

# KONFERENCE ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ

Sborník recenzovaných příspěvků konference  
**ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2011**

[www.zkouseniajakost.cz](http://www.zkouseniajakost.cz)

**4. - 5. října 2011**

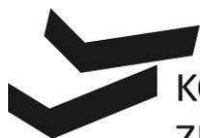
**Fakulta stavební VUT v Brně**

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## **VĚDECKÝ VÝBOR KONFERENCE:**

Prof. Ing. Leonard Hobst, CSc. - předseda výboru  
Prof. Ing. Jiří Adámek, CSc. - místopředseda výboru  
Ing. Ondřej Anton, Ph.D.  
Prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.  
Doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.  
Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Prof. Ing. Tibor Ďurica, CSc.  
Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.  
Doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc.  
Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.  
Doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc.  
Ing. Zuzana Slížková, Ph.D.  
Prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Ing. Petr Tůma, Ph.D.  
Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.



## **KONFERENCE ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ**

Sborník recenzovaných příspěvků konference  
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2011

4. - 5. října 2011, Fakulta stavební VUT v Brně

Vydavatel:  
Vysoké učení technické v Brně

Editoři:  
Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.  
Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

ISBN 978-80-214-3438-9

## OBSAH

Mrazuvzdornost betonů z nového druhu umělého kameniva Michal Batelka, Jiří Adámek	....	7
Zkoušení vlastností nově vyvíjených kompozitních teplotně namáhaných materiálů Zdena Bažantová, Jan Toman, Ondřej Michalko, Tomáš Korecký, Mirka Lapková, Robert Černý, Michal Frank	....	17
Hodnocení trvanlivosti dřevěného lepeného spoje použitím infračervené absorpční spektroskopie Anna Benešová, Jan Vaněrek	....	27
Skúšanie stĺpov zosilnených cfrp na nárazové zaťaženie Jakub Brondoš, Juraj Bilčík	....	37
Metody kontroly kvality podloží v železničním stavitelství Petr Břešťovský, Leoš Horníček	....	43
Možnosti využití ultrazvukové metody pro stanovení pevnosti v tlaku mostního betonu Petr Cíkrle, Dalibor Kocáb, Ondřej Pospíchal	....	53
Metodika stavebně technických průzkumů inženýrských staveb Jana Daňková, Vojtěch Mencl	....	61
Koncepce zkoušení betonů s extrémní dobou exploatace Rostislav Drochytka, Jiří Bydžovský, Amos Dufka	....	65
Chování trémových prvků z vláknobetonu s polymerovými vlákny při dlouhodobém zatížení Josef Fládr, Jiří Krátký, Jan Vodička, Jiří Lukš, Karel Šeps	....	73
Diagnostické metody pro hodnocení konstrukčního dřeva Věra Heřmánková, Michal Kloiber, Jan Tippner, Ondřej Anton	....	77
Porovnání hodnot vzduchové propustnosti u betonů s různým vodním součinitelem a s použitím různých druhů vláken Petra Hronová, Zlata Kadlecová, Jiří Adámek, Ivo Rohrbacher	....	97
Vliv způsobu zakoncování tlačných ploch zkušebního tělesa na hodnotu statického modulu pružnosti v tlaku Petr Huňka, Karel Kolář, Petr Bouška, Stanislav Řeháček	....	103
Technická normalizácia v oblasti geodézie a kartografie v slovenskej republike Ján Ježko	....	113

---

Sledování vzduchové propustnosti pohledových betonů v čase Zlata Kadlecová, Jiří Adámek, Pavel Reiterman	....	123
Experimentální ověřování vlastností štíhlých pilířů Petra Kalafutová, Lucie Drbohlavová	....	133
Zatěžovací zkoušky ocelového mostního provizoria „žbm 30“ M. Karmazínová, J. Melcher, M. Pilgr, M. Štrba, P. Simon, F. Superata	....	139
Vybrané experimenty realizované na kdkk stu v Bratislavě v letech 2008 až 2011 Tomáš Klas, Ján Brodniansky	....	149
Vliv nízké počáteční teploty betonu na výsledný modul pružnosti Dalibor Kocáb, Petr Cikrle, Barbara Kucharczyková, Ondřej Pospíchal	....	159
Diagnostika a posouzení cihelné klenby pod zámeckým parkem v Moravském Krumlově Dalibor Kocáb, Ladislav Klusáček, Michal Požár, Ondřej Pospíchal	....	169
Vliv teploty na transport vlhkosti v pórobetonu Tomáš Korecký, Kamil Ďurana, Miroslava Lapková, Jan Toman, Robert Černý	....	179
Cementové kompozity s obsahem plastové dřeviny Oľga Koronthályová, Martin Križma, Ľubomír Bágel	....	189
Porovnání metod zkoušení tloušťky nátěrových systémů Michaela Kostelecká, Lucie Matoušová, Jiří Kolísko	....	199
Dlhodobý tenzometrický monitoring ocelové konstrukce sila Lukáš Kowalski	....	205
Pevnost v tahu ohybem betonu s vloženým extrudovaným materiálem Barbara Kucharczyková, Dalibor Kocáb, Ondřej Pospíchal	....	215
Ověření vlastností vláknocementových desek metodou TPT a GWT Barbara Kucharczyková, Dalibor Kocáb, Ondřej Pospíchal	....	225
Zkoušky tahem polymerových vláken-pracovní diagramy Jiří Lukš	....	235
Meranie napätí na ocelových konštrukciách rôznymi typmi snímačov Martin Magura, Tomáš Klas	....	245

---

Experimentální stanovení dynamických charakteristik mostu pro posouzení účinků odstřelů v blízkém lomu Daniel Makovička, Jaromír Král, Ivo Šimůnek	.... 255
Studium vlivu příměsí druhého druhu na parametry cementových kompozitů v rámci praktické výuky na ÚTHD, Fakulty stavební VUT v Brně Tomáš Melichar, Jiří Bydžovský	.... 265
Ke změnám v provedených revizích českých norem platných v oboru nedestruktivní zkoušení betonu Hana Nohelová	.... 271
Únavová únosnost cementobetonových vozovek Petr Pánek	.... 279
Zkoušení výseku kovové konstrukce se zaměřením na chování kloubového styčnicku Milan Pilgr	.... 285
Pevnost v tlaku a v tahu extrudovaných vláknocementů Ondřej Pospíchal, Dalibor Kocáb, Barbara Kucharczyková	.... 293
Vývoj modulu pružnosti zmrazovaného mostního betonu Ondřej Pospíchal, Petr Cikrle, Dalibor Kocáb	.... 301
Nedestruktivní zkoušení dřevěných prvků in-situ Jan Pošta, Jakub Dolejš, Lubomír Vítek	.... 309
Další směr v navrhování mechanického upevnění ETICS plastovými hmoždinkami Miroslav Procházka, Karel Kalivoda	.... 315
Stanovení přídržnosti pu lepidla k podkladu v rámci ověření vlastností vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS) Hynek Remeš	.... 321
Drevo na stavebné konštrukcie – skúšanie a kvalita Alena Rohanová, Jozef Kúdela	.... 325
Vliv vodního součinitele a disperzních vláken na krychelnou pevnost betonových vzorků Ivo Rohrbacher, Zlata Kadlecová, Petra Hronová	.... 341
Rázová odolnost cementovláknových kompozitů, kruhové vzorky Stanislav Řeháček, Ivo Šimůnek, Petr Huňka, Jiří Kolísko	.... 347
Předpínané konstrukce z nerezových ocelí Kateřina Servítová, Josef Macháček	.... 355

---

Ověření chování pilíře pižmo při výsunu mostu v bohumíně Pavel Simon, Aleš Píro	.... 365
Problémy jakosti vápenných malt s přídavkem metakaolinu aplikovaných při opravách architektonického dědictví Zuzana Slížková, Dita Frankeová, Petra Hauková, Dana Křivánková	.... 375
Vliv vývrtů malých průměrů na únosnost vyztužených vláknobetonových prvků Karel Šeps, Jan Vodička	.... 385
Hodnocení ekotoxicity stavebních výrobků Hana Štegnerová, Jaroslava Ledererová, Miroslav Svoboda, Pavel Leber	.... 393
Experimentální ověření chování předpjatých sloupů z odstředovaného betonu Petr Štěpánek, Petr Šimůnek, Petr Daněk, Ivana Laníková, Martin Zlámal	.... 401
Problematika měření předepnutých zděných objektů Pavel Šulák	.... 411
Využitie korelačných vzťahov medzi vlastnosťami tehliarskeho črepu Mikuláš Šveda	.... 419
Měření rovinnosti průmyslových podlah u nás a ve světě Petr Tůma	.... 431
Zkoušení lehkých plovoucích podlah s cementotřískovými deskami CETRIS® Miroslav Vacula	.... 445
Geometrické tolerance sádrokartonových konstrukcí Linda Veselá	.... 453
Tepelné a vlhkostní vlastnosti cihelného střepu J. Výborný, M. Jerman, E. Vejmelková, R. Černý	.... 463
Programy zkoušení způsobilosti poskytované úszk fast vut pro rozvoj zkušebních laboratoří Tomáš Vymazal, Petr Misák, Barbara Kucharczyková, Petr Daněk	.... 473
Kombinované makroskopické a mikroskopické charakterizace cemntových past Jaromír Wasserbauer, Bernhard Pichler, Martin Zmrzlý	.... 479

## MRAZUVZDORNOST BETONŮ Z NOVÉHO DRUHU UMĚLÉHO KAMENIVA

### FROST RESISTANCE OF CONCRETE FROM A NEW KIND OF ARTIFICIAL AGGREGATE

**Michal Batelka, Jiří Adámek**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST, VUT v Brně

***Anotace:***

*V poslední době se v rámci výzkumu a vývoje řešila možnost využití vypalovaných uhelných hlušin jako kameniva do betonu. Vzhledem k dosaženým výsledkům z předchozích etap byla část prací zaměřena na sledování mrazuvzdornosti betonů z tohoto pórovitého kameniva. Tento článek se mj. zaměřuje na sledování vlivu použití plastifikačních přísad na vybrané základní vlastnosti betonu při užití nového druhu umělého kameniva.*

***Annotation:***

*Recently, the research and development to solved the possibility of using coal-burnt tailings as aggregate in concrete. Due to the achievements of previous phases of the work was focused on monitoring the frost resistance of concrete from the porous aggregate. This article is focussing on monitoring the effect the use of plasticizing additives on the basic properties of concrete with the use of a new kind of artificial aggregate.*

***Klíčová slova:*** *Uhelná hlušina, samovýpal, umělé kamenivo, mrazuvzdornost, plastifikační přísada, lehký beton*

***Keywords:*** *Coal tailings, self-burning, artificial aggregate, frost resistance, plasticizing additive, lightweight concrete*

## 1. Úvod

Během posledních několika let se jedno z brněnských výzkumných pracovišť zabývá možností výroby umělého kameniva z černouhelných hlušín. Výroba tohoto kameniva spočívá v tepelné úpravě této suroviny na aglomeračním roštu a doposud probíhá v laboratorních podmínkách. Černouhelné hlušiny jsou v dnešní době z převážné většiny odkládány na skládku a to především z důvodu, že mineralogické a chemické složení této suroviny nedává příliš možností jejich využití bez patřičné úpravy.

Jednou z možností využití takto upraveného umělého kameniva je jako plniva do betonu. V rámci předchozích etap bylo s velmi uspokojivými výsledky zjištěno, že z tohoto nového druhu umělého kameniva je možné vyrábět i betony vyšších pevnostních tříd.

## 2. Cíl

Hlavním cílem pracovní etapy, z níž je čerpáno, bylo ověření a prokázání možnosti výroby kvalitních betonů z nového druhu umělého kameniva se specifickým zaměřením na zkoušku mrazuvzdornosti. Ta byla ověřována v rámci nedestruktivní metody stanovení dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku. Dalším ne méně důležitým cílem bylo prokázání dobrých výsledků dosažených v předchozí pracovní etapě.

## 3. Umělé kamenivo

Výroba umělého kameniva z černouhelných hlušín spočívá v tepelném procesu nazývaném také samovýpal. Surovina je v první fázi procesu úpravy podrcena a přetříděna do vhodné granulometrie. Takto upravená je uložena na aglomerační rošt v předem určené výšce, kde je v další fázi procesu zapálena a za současného posunu spékacího roštu je vsázkou prosáván vzduch. Tímto způsobem dojde k vypálení černouhelné hlušiny a vzniká tak umělé kamenivo.

Výpalem dojde k rozrušení struktury původní suroviny a v kamenivu následně vzniká velké množství otevřených pórů. Tato skutečnost se následně projeví jednak v nasákavosti kameniva, která se běžně pohybuje v rozmezí 10-13%, ale také na mechanických vlastnostech kameniva. Tato rozrušená struktura má obrovský vliv při zkoušce odolnosti proti drcení kameniva ve válci, která je jednak závislá na pevnosti zrna kameniva, ale v neposlední řadě také na odolnosti zrna proti stlačení. Při zkoušení pak dochází k výraznému snížení



mechanické odolnosti kameniva, kdy průměrná hodnota tohoto nového druhu umělého kameniva se pak pohybuje kolem hranice 5 MPa.

*Tabulka 1.: Základní vlastnosti odebraného vzorku uhelné hlušiny Darkov (2010)*

Frakce	-	Sypná hmotnost		Nasákavost	Objemová hmotnost	Obsah spalitelných látek
		Volně sypaná	Zhutněná			
		Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%	Kg/m <sup>3</sup>	%
<b>4-8</b>	-	1250	1310	3,7	2200	12,3
<b>8-16</b>	-	1180	1250	1,8	2350	10,1

*Tabulka 2.: Základní vlastnosti vypáleného vzorku uhelné hlušiny Darkov (2010)*

Frakce	Odolnost proti drcení ve válci	Sypná hmotnost		Nasákavost	Objemová hmotnost	Obsah spalitelných látek
		Volně sypaná	Zhutněná			
	MPa	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%	Kg/m <sup>3</sup>	%
<b>4-8</b>	5,4	950	1100	12	1760	1,5
<b>8-16</b>	4,8	920	1040	10	2020	0,95

V tabulkových přehledech jsou uvedeny jak vybrané základní vlastnosti nevypálené černouhelné hlušiny (Tabulka č. 1), tak základní vlastnosti vyrobeného umělého kameniva (Tabulka č. 2).

#### 4. Navržené receptury

Návrh receptur byl proveden na základě informací získaných v předchozí pracovní etapě se zaměřením na zopakování dobrých výsledků. Cílem návrhu receptur bylo také ověřit a vhodným způsobem prokázat mrazuvzdornost tohoto nového druhu betonu. Vzhledem ke skutečnosti, že toto pórovité kamenivo disponuje poměrně vysokou nasákavostí, je zapotřebí při návrhu receptury počítat s jistým množstvím předmáčecí vody. To má za následek nárůst vodního součinitele a tím samozřejmě zvýšené riziko, že daný druh navrženého betonu nebude patřičně odolávat vystavení zmrazovacím cyklům. Z tohoto důvodu byl do této pracovní etapy zahrnut především vliv plastifikačních přísad, které mohou tento negativní vliv výrazným způsobem snížit.

Tabulka 3.: Vybrané receptury

LC16/18	A2	Bez přísad a příměsí
	A3	Plastifikační přísada 0,5%
	A4	Plastifikační přísada 0,8%
	A5	Plastifikační přísada 1,1%
LC30/33	C2	Bez přísad a příměsí
	C3	Plastifikační přísada 0,5%
	C4	Plastifikační přísada 0,8%
	C5	Plastifikační přísada 1,1%
C20/25	E2	Bez přísad a příměsí
	E3	Plastifikační přísada 0,5%
	E4	Plastifikační přísada 0,8%
	E5	Plastifikační přísada 1,1%

Byly vybrány dvě receptury lehkých betonů (LC 16/18 a LC 30/33) dále označované jako A2 a C2 a jedna receptura prostého betonu (C 20/25) dále označená jako E2. Ty byly následně upraveny pomocí přísad. Receptury s přidavkem plastifikátoru v dávce 0,5% z hmotnosti cementu jsou dále označené jako A3, C3 a E3, receptury s přidavkem 0,8% A4, C4, E4 a v poslední řadě s přidavkem plastifikační přísady v množství 1,1% jako A5, C5 a E5.

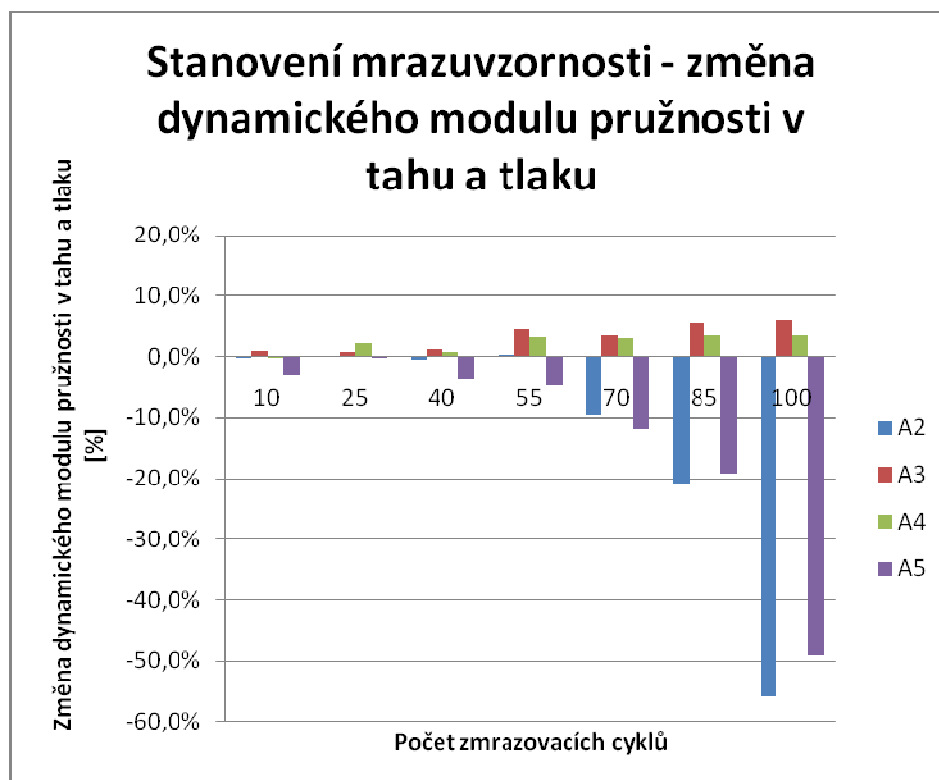
## 5. Výsledné vlastnosti

V rámci provádění této pracovní etapy bylo zjištěno několik velmi zajímavých poznatků. Prvním z nich je potvrzení výsledků mrazuvzdornosti dosažených v předchozí pracovní etapě, kde bylo zjištěno, že nižší návrhová třída lehkého betonu dosahuje výrazně lepších výsledků. Vytvořené vzorky byly vystaveny zmrazovacím cyklům a průběžně na nich byl stanoven dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku. Následně byla tato hodnota porovnána s referenčním vzorkem a byl stanoven procentuální nárůst (+) popřípadě pokles (-) této hodnoty. Na základě takto provedených zkoušek lze konstatovat, že navržené betony dle třídy LC 30/33 (vzorek C) zkoušce mrazuvzdornosti nevyhověly. Vliv plastifikátoru se v tomto případě projevil sice kladně, ale i přes tuto skutečnost se dynamický modul pružnosti výrazněji snížil. Dále bylo zjištěno, že v případě návrhu betonu dle specifikace prostého betonu, bylo dosaženo v této oblasti velmi dobrých výsledků. Dynamické moduly pružnosti v tahu a tlaku se u této návrhové třídy betonu (C20/25) zvýšily po vystavení cyklického zmrazování až o 13%. Jistou anomálií je skutečnost, že vyšší přidavek plastifikační přísady se u této třídy projevil spíše

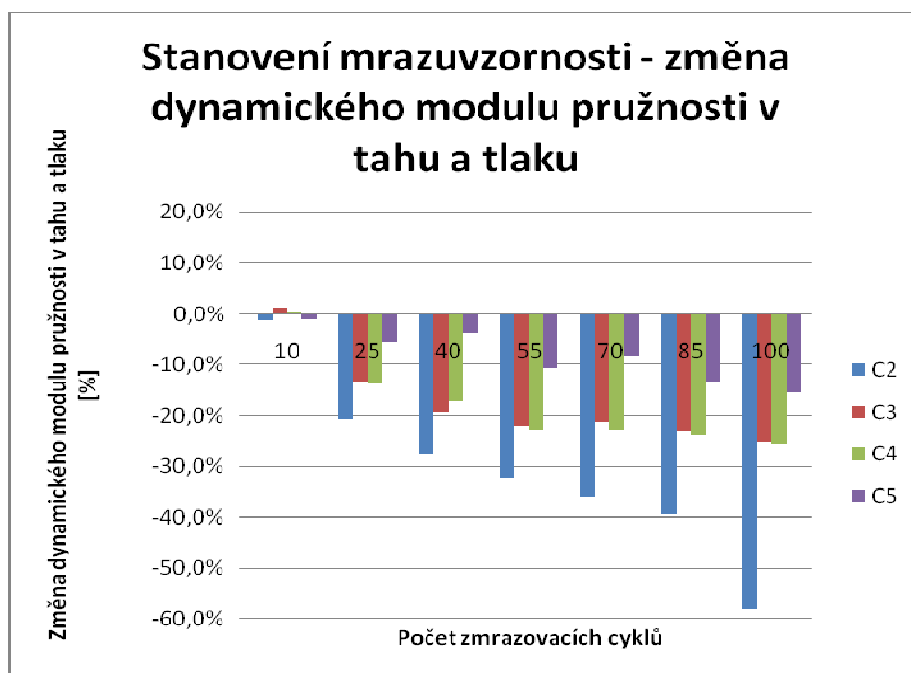
snížením sledované vlastnosti, avšak i přes to bylo dosaženo velmi dobrých výsledků.

Dále lze konstatovat, že objemová hmotnost těchto nových druhů betonů se pohybuje na hranici lehkých a prostých betonů. Výsledky objemových hmotností jsou uvedené níže v grafickém přehledu (Graf. č. 4). Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo v rámci sledování pevnosti v tlaku prostém. Vliv plastifikační přísady se v nižší návrhové třídě lehkého betonu projevil nárůstem až o 40%. Důležitým poznatkem je také skutečnost, že z tohoto nového druhu umělého kameniva lze vyrábět i betony vyšších pevnostních tříd. To se projevilo u návrhové třídy LC 30/33, kdy bylo dosaženo pevnosti v tlaku po 28 dnech až 66 MPa. Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo i u třídy C20/25. Pevnost v tlaku prostém se zde pohybovala až u hranice 45 MPa.

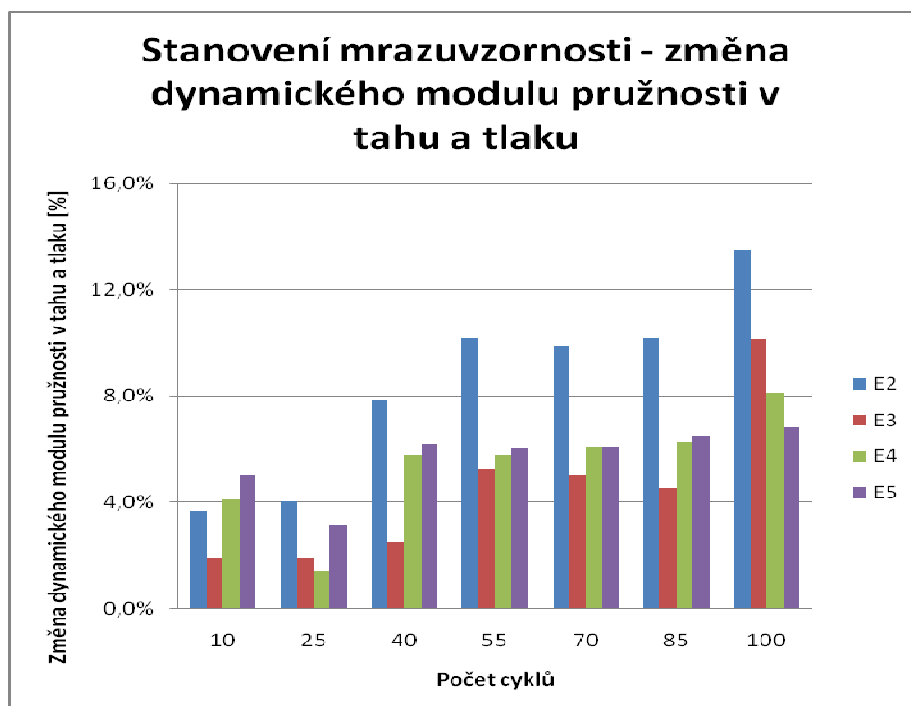
Poslední sledovanou vlastností tohoto příspěvku byl statický modul pružnosti v tlaku. Opětovně bylo prokázáno, že při užití tohoto nového druhu umělého kameniva z vypalovaných černouhelných hlušin jako plniva do betonu lze očekávat poměrně nižší hodnoty, než v případě použití kameniva přírodního. U vyšších pevnostních tříd se budeme pohybovat v předpokládaném rozsahu 21-27 GPa, v případě tříd nižších pod hranicí 20 GPa.



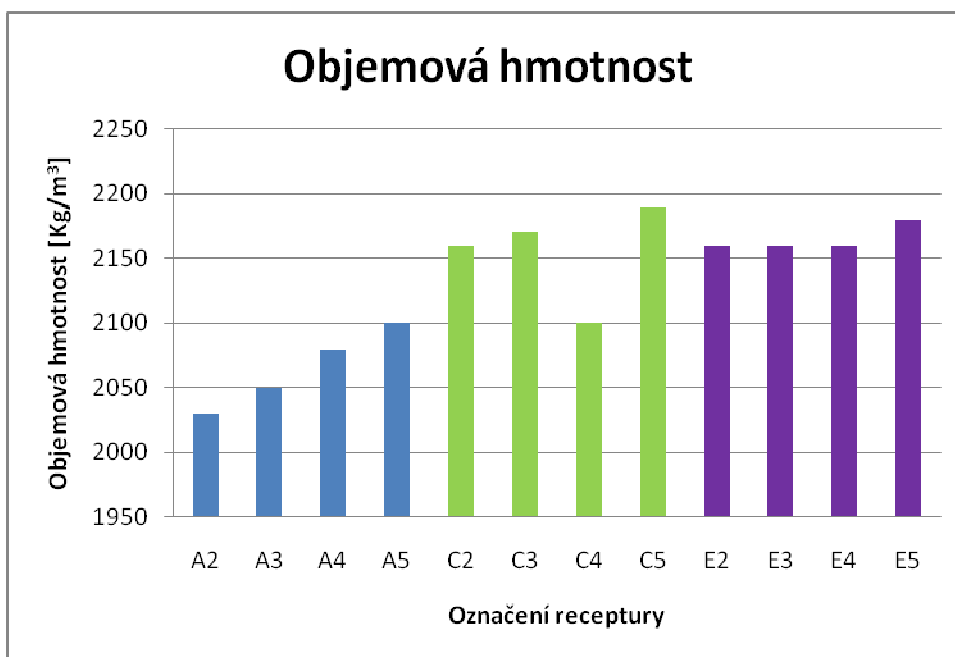
Graf 1: Vyjádření mrazuvzdornosti betonů (záměs A) formou změny dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku



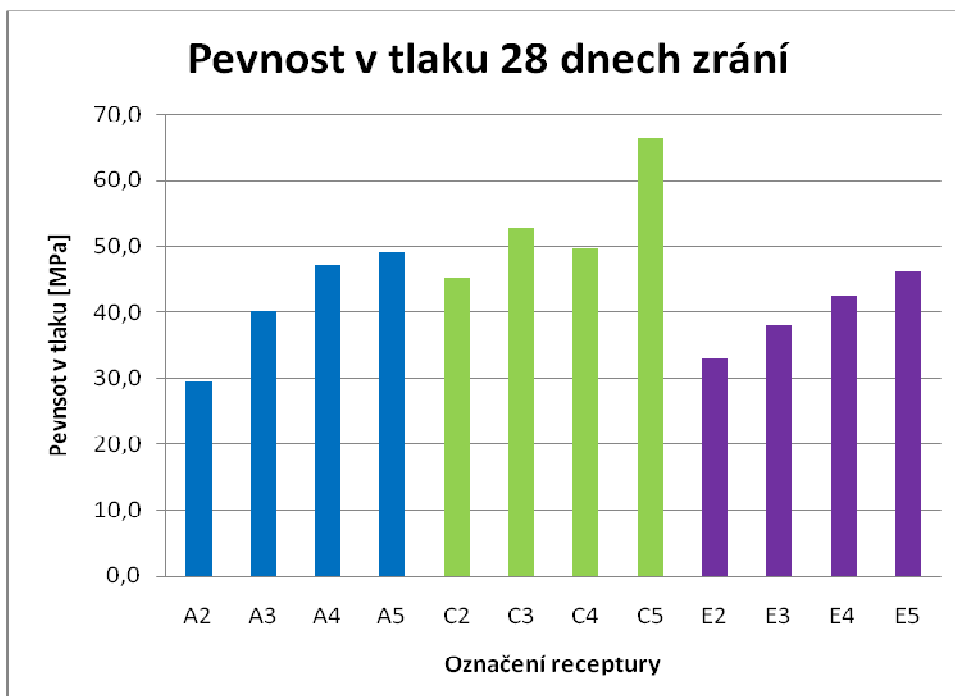
Graf 2: Vyjádření mrazuvzornosti betonů (záměs B) formou změny dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku



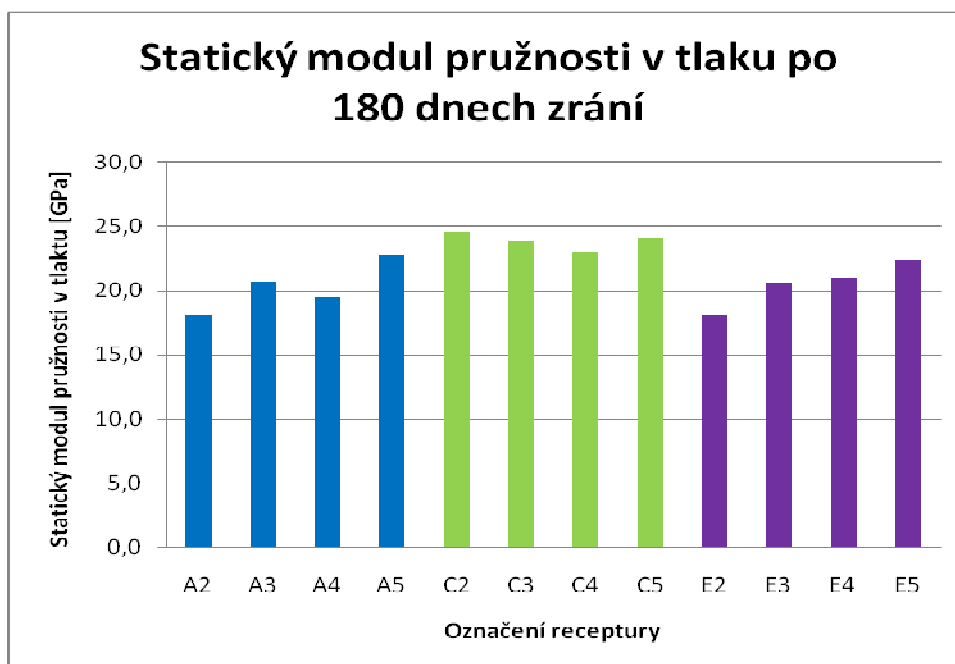
Graf 3: Vyjádření mrazuvzornosti betonů (záměs C) formou změny dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku



Graf 4: Objemová hmotnost betonů po 28 dnech zrání



Graf 5: Pevnost betonu v tlaku prostém po 28 dnech zrání stanovených na krychlích o hraně 150 mm.



Graf 6: Statický modul pružnosti v tlaku po 180 dnech zrání

## 6. Závěrečné shrnutí

Betony vyráběné z vypalovaných černouhelných hlušin se vyznačují mnoha specifiky. Jedním z nich je skutečnost, že užitím tohoto nového druhu kameniva snížíme objemovou hmotnost navrhovaného betonu o 10-20%. Běžně se tyto betony pohybují na rozmezí lehkých a prostých betonů (2000Kg/m<sup>3</sup>).

Dále bylo zjištěno, že i přes nepříliš dobré mechanické vlastnosti tohoto kameniva lze vyrobit i betony vyšších pevnostních tříd. Pevnost v tlaku prostém se pohybovala až u hranice 70 MPa. Vliv plastifikační přísady se projevil velmi pozitivně, kdy nárůst pevností byl až o 40%.

Kladný vliv plastifikátoru se projevil také při stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. Jak již bylo uvedeno výše, statické moduly pružnosti v tlaku jsou poměrně nižší, než je tomu u běžných druhů betonů. U betonů do třídy C20/25 lze očekávat hodnoty do 20 GPa, v případě vyšších pevnostních tříd hodnoty nad touto hranicí.

Jak již bylo uvedeno, v rámci návrhu byly zvoleny dvě třídy lehkých betonů (LC 16/18 a LC 30/33) a jedna třída prostých betonů (C 20/25). Pro vyjádření mrazuvzdornosti betonů bylo zvoleno nedestruktivní metody stanovení dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku měřenou pomocí ultrazvukové metody, kdy mrazuvzdornost je vyjádřena procentuální změnou dynamického modulu vztáženou k referenčnímu vzorku. Betony byly postupně vystavovány

zmrazovacím cyklům, během kterých byly průběžně sledovány změny dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku.

Z výsledků dosažených při zkoušce mrazuvzdornosti betonů bylo dosaženo hned několika zajímavých poznatků. Jedním z nich bylo prokázání lepších výsledků mrazuvzdornosti u nižší třídy lehkých betonů. Tato třída poukazuje na skutečnost, že z tohoto nového druhu umělého kameniva lze za jistých předpokladů vyrobit mrazuvzdorný beton. Projevila se zde jedna anomálie, kdy při vyšší dávce plastifikační přísady (1,1% z mc) došlo k prudkému poklesu dynamických modulů pružnosti v tlaku a tahu po vystavení betonu zmrazovacím cyklům. Dalším poznatkem je, že třída lehkého betonu LC 30/33 zkoušce mrazuvzdornosti prokazatelně nevyhověla a to i přes kladný vliv přídatku plastifikátoru. Tato skutečnost bude náplní dalších betonářských zkoušek, které budou mimo jiné zaměřeny také na mikrostrukturu těchto betonů.

Velmi dobrých výsledků prokázání mrazuvzdornosti bylo dosaženo u návrhové třídy C 20/25. Zde se hodnota dynamického modulu pružnosti po vystavení zmrazovacím cyklům zvýšila až o 12%. Zde bylo dosaženo obdobné anomálie jako v předchozím případě, kdy při použití plastifikační přísady bylo dosaženo nepatrného zhoršení. I přes tuto skutečnost je zřejmé, že tato navržená třída betonu zkoušce mrazuvzdornosti vyhověla.

S ohledem na dosažené výsledky bude provedena další etapa zaměřena na porovnání těchto betonů s betony běžně vyráběnými.

## **Poděkování**

Článek byl vypracován v rámci výzkumu projektů GA103/09/0065.

## **Kontakt**

Ing. Michal Batelka., e-mail: batelka.m@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Prof. Ing. Jiří Adámek, CSc., e-mail: adamek.j@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



**ZKOUŠENÍ VLASTNOSTÍ  
NOVĚ VYVÍJENÝCH KOMPOZITNÍCH  
TEPLOTNĚ NAMÁHANÝCH MATERIÁLŮ**

**TESTING OF NEWLY DEVELOPED  
PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS  
SUBJECTED TO TEMPERATURE**

**Zdena Bažantová, Jan Toman, Ondrej Michalko, Tomáš  
Korecký, Mirka Lapková, Robert Černý, Michal Frank**

ČVUT, Stavební fakulta,  
katedra Materiálového inženýrství a chemie

***Anotace:***

*Ve stati je popsána metodika vyhodnocování vlastností protipožárních materiálů s ohledem na proměřované veličiny - tj. tepelně technické a mechanické materiálové parametry a je provedeno ověřovací měření na známých materiálech, které budou sloužit jako srovnávací pro materiály nově vyvíjené.*

***Annotation:***

*The methodology of evaluation of fire protection boards properties is describes in the paper. All properties were set on measured quantities – i.e. heat-technical and mechanical material parameters and the comparative measurement were made on know materials, which will be used as references for the new developed materials.*

***Klíčová slova :***

*Zkoušení, materiálové vlastnosti, kompozitní materiály, teplotní namáhání*

***Keywords :***

*Testing, material properties, composite materials, thermal stress*

## 1. Úvod

Cílem příspěvku bylo stanovit metodiku pro zkoušení nově vyvíjených kompozitních materiálů, které mají sloužit hlavně pro výrobu protipožárních obkladových desek. Vycházelo se z toho, že klíčovými vlastnostmi, které budou rozhodující pro jakost sledovaných materiálů budou jednak jejich vlastnosti tepelně technické, ale také jejich vlastnosti mechanické, hlavně pevnostní a posouzení strukturální stability při teplotním namáhání.

## 2. Výběr sledovaných veličin

Proto byly vybrány tyto materiálové parametry, které se sledovaly po namáhání různými teplotami, kterým byly materiálové vzorky předem vystaveny:

- Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ )
- Součinitel teplotní vodivosti ( $a$ )
- Měrná tepelná kapacita ( $c$ )
- Dynamický modul pružnosti ( $E = \rho c^2$ )
- Rychlost šíření vlnění v materiálu ( $c$ )
- Objemová hmotnost ( $\rho = M/V$ )
- Hmotnost okamžitá ( $M$ )
- Objem vzorku ( $V$ )
- Relativní změna hmotnosti ( $M/M_p$ )
- Hmotnost počáteční ( $M_p$ ).

Další charakteristická vlastnost, která se určí přímo v závislosti na teplotě, je součinitel délkové teplotní roztažnosti ( $\alpha_T$ ) a součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda_T$ ), změřený přímo při teplotě  $T$ .

## 3. Výběr teplot pro namáhání vzorků

Teploty pro teplotní namáhání byly určeny s ohledem na teoretické kritické teploty pro stabilitu betonů, tj. cca 470 °C (rozklad portlanditu) a cca 680 °C (rozklad hydrátů):

- |  |         |
|--|---------|
| 1. normální teplota                                | 25 °C   |
| 2. vysoušení                                       | 110 °C  |
| 3. střední zahřátí                                 | 250 °C  |
| 4. vyšší zahřátí – pod 1. kritickou teplotou       | 450 °C  |
| 5. vyšší zahřátí – mezi 1. a 2. kritickou teplotou | 650 °C  |
| 6. vysoké zahřátí – nad 2. kritickou teplotou      | 750 °C  |
| 7. maximální teplotní namáhání                     | 1000 °C |

#### 4. Ověření testovací metodiky

Ověření navržené testovací metodiky bylo provedeno na několika materiálových vzorcích které byly dodány Výzkumným ústavem stavebních hmot v Brně. Jednalo se o tyto materiály :

PROMATECT – bílý kompozitní materiál, deska tloušťky 3 cm .

FIREBOARD – šedý kompozitní materiál, deska tloušťky 2,5 cm .

SÁDROKARTON – růžový mat.na bázi sádry, deska tloušťky 1,2 cm.

FERMACELL – bílý materiál na bázi sádry, deska tloušťky 1,2 cm.

Jelikož se jedná o komerčně vyráběné materiály, jejich přesné složení a receptura je vlastnictvím firmy.

Z těchto materiálů byly nařezány vzorky – z každého materiálu 16 ks čtvercových destiček o straně 7 cm a 16 trámečků o rozměrech 16 x 3 x tloušťka desky.

#### 5. Popis měření

Pro určení teplotní stability tepelně technických vlastností se provádělo měření na destičkách z dodaných materiálů přístrojem IZOMET 2114, kterým je možno stanovit **součinitele tepelné a teplotní vodivosti a objemovou tepelnou kapacitu** (součin měrné tepelné kapacity s objemovou hmotností). A protože lze předpokládat, že struktura proměřovaných materiálů se bude částečně měnit s teplotou [1], proměřovaly se tyto parametry po teplotních šocích, kterým se nejprve materiál vystavil.

Pro určení dynamického modulu pružnosti byly zvoleny 2 nedestruktivní metody, založené na zjištění rychlosti šíření vlnění v materiálu a objemové hmotnosti [2] :

1.Určení rychlosti šíření vlnění sonickou metodou na průchod použitím přístroje **DiO 562** se proměří rychlost šíření vlnění v daném trámečku. Jeho hmotnost se určí na vahách a posuvným měřítkem se změří rozměry. Modul pružnosti pro dlouhou tenkou tyč se potom vypočítá podle vzorce

$$E = c^2 \cdot \rho$$

Kde E je dynamický modul pružnosti

c rychlost šíření vlnění

$\rho$  hustota

2.Určí se vlastní frekvence vlnění rezonanční metodou [1] v daném trámečku jehož délku změříme posuvným měřítkem a potom už snadno určíme rychlost šíření daného vlnění v materiálu. Modul pružnosti vypočítáme podle výše uvedeného vzorce.

A protože lze předpokládat, že struktura proměřovaných materiálů se bude částečně měnit s teplotou [3], proměřovaly se tyto vzorky po teplotních šocích, kterým se nejprve vystavily. Měření probíhalo tak, že se vytvořily skupiny vzorků, aby se mohl posoudit vliv postupného zvyšování teploty tj. opakované teplotní namáhání či zahřátí přímo na vysokou teplotu (viz tabulky, kde je možno barevně odlišit teplotní namáhání u jednotlivých vzorků).

Další rozdíl byl ve výchozích podmínkách před vyšším teplotním namáháním : Vzorky 1 – 8 byly předem vysušeny na 110 °C ( u vzorků na bázi sádry pouze 70 °C) po dobu 7 dnů (do konstantní hmotnosti), skupina vzorků 9 – 16 byla teplotně namáhána přímo z ustálené vlhkosti. Po dobu vysoušení vzorků 1 – 8 byly vzorky 9 – 16 volně uloženy v laboratoři při teplotě cca 25 °C. Počáteční měření je u všech vzorků uváděno jako „nevysušené“.

Pro teplotní namáhání na určité teplotě byla vybraná skupina vložena do elektrické pece, zahřátá na danou teplotu a na ní setrváno 3 hod. Potom se topení vypnulo a postupně vzorky v peci chladly.

K měření tepelně technických vlastností došlo po vychladnutí vzorků na cca 30 - 25 °C.

## 6. Výsledky měření

Protože se touto problematikou zabýváme již delší dobu, byly některé výsledky publikovány [4,5].

Zde uvádíme pro názornost tabulkové zpracování (Viz tabulka I.) pouze výsledky měření jednoho materiálu.

Měření na ostatních materiálech probíhala a byla zpracována obdobným způsobem. Záznamy o měření a podrobném zpracování všech proměřovaných vzorků je k dispozici u autorů na katedře Materiálového inženýrství a chemie stavební fakulty ČVUT v Praze.

V tabulce jsou různým stínováním pro určité teploty označeny řádky zápisů podle toho, jak byl který vzorek teplotně namáhán.

Naměřené hodnoty jsou zpracovány v EXCEL EDITORU

Tabulka 1.: Tabulkové zpracování měření na materiálu PROMATECT.

Bílý Promatect							
		Označení vzorku					
		hmot.	hmot. úbytek	lambda	c.p	a	T
		g	%		x10E6	x10E-6	°C
1	nevysušené	89,1	100				
	vysušeno na 110°C	85,70	96,18	0,111	0,557	0,199	34,82
	3hod. na 250°C	86,20	96,75	0,108	0,583	0,185	
	3hod. na 450°C	83,20	93,38	0,101	0,572	0,177	34,28
	3 hod. na 650°C	81,80	91,81	0,098	0,489	0,200	
	3 hod. na 750°C	69,50	78,00	0,102	0,476	0,214	
	3 hod. na 1000°C	63,20	70,93	0,079	0,380	0,207	29,94
2	nevysušené	88,00	100,00				
	vysušeno na 110°C	84,60	96,14	0,099	0,591	0,168	35,93
	3hod. na 250°C	85,20	96,82	0,102	0,538	0,189	32,56
3	nevysušené	87,00	100,00				
	vysušeno na 110°C	84,20	96,78	0,102	0,599	0,170	
	3hod. na 450°C	81,50	93,68	0,099	0,570	0,173	32,95
4	nevysušené	90,20	100,00				
	vysušeno na 110°C	87,20	96,67	0,110	0,558	0,197	
	3 hod. na 550°C	83,30	92,35	0,103	0,503	0,208	
5	nevysušené	89,00	100,00				
	vysušeno na 110°C	85,90	96,52	0,102	0,586	0,175	36,31
	3 hod. na 750°C	75,70	85,06	0,098	0,532	0,185	
6	nevysušené	89,00	100,00				
	vysušeno na 110°C	86,00	96,63	0,106	0,547	0,194	35,99
	3 hod. na 1000°C	63,60	71,46	0,080	0,392	0,205	29,31
7	nevysušené	86,90	100,00				
	vysušeno na 110°C	83,60	96,20	0,104	0,619	0,168	36,03
	3hod. na 250°C	84,30	97,01	0,102	0,604	0,169	30,32
	3 hod. na 650°C	80,20	92,29	0,105	0,560	0,191	
8	nevysušené	89,60	100,00				
	vysušeno na 110°C	86,60	96,65	0,101	0,607	0,167	35,92
	3hod. na 450°C	84,10	93,86	0,101	0,561	0,181	34,03

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

	3 hod. na 750°C	75,80	84,60	0,083	0,378	0,219	
	3 hod. na 1000°C	63,70	71,09	0,074	0,339	0,219	28,18
9	nevysušené	89,30	100,00				
	nesušené	89,00	99,66	0,121	0,669	0,181	29,94
	3hod. na 250°C	86,30	96,64	0,106	0,552	0,193	31,53
10	nevysušené	88,10	100,00				
	nesušené	87,80	99,66	0,113	0,593	0,190	
	3hod. na 450°C	83,30	94,55	0,121	0,557	0,218	32,38
11	nevysušené	88,80	100,00				
	nesušené	88,60	99,77	0,110	0,629	0,175	
	3 hod. na 650°C	81,80	92,12	0,099	0,505	0,197	
12	nevysušené	87,90	100,00				
	nesušené	87,70	99,77	0,113	0,606	0,187	33,31
	3 hod. na 750°C	70,80	80,55	0,083	0,378	0,219	
13	nevysušené	86,90	100,00				
	nesušené	86,60	99,65	0,109	0,632	0,172	
	3 hod. na 1000°C						
14	nevysušené	86,50	100,00				
	nesušené	86,30	99,77	0,120	0,604	0,198	29,78
	3hod. na 250°C	84,10	97,23	0,103	0,608	0,170	29,11
	3 hod. na 650°C	79,60	92,02	0,096	0,408	0,199	
15	nevysušené	89,70	100,00				
	nesušené	89,30	99,55	0,116	0,611	0,190	33,38
	3hod. na 450°C	84,80	94,54	0,102	0,590	0,173	35,45
	3 hod. na 750°C	68,30	76,14	0,088	0,365	0,185	
16	nevysušené	91,00	100,00				
	nesušené	90,70	99,67	0,119	0,615	0,193	
	3 hod. na 1000°C	64,50	70,88	0,082	0,382	0,213	28,88

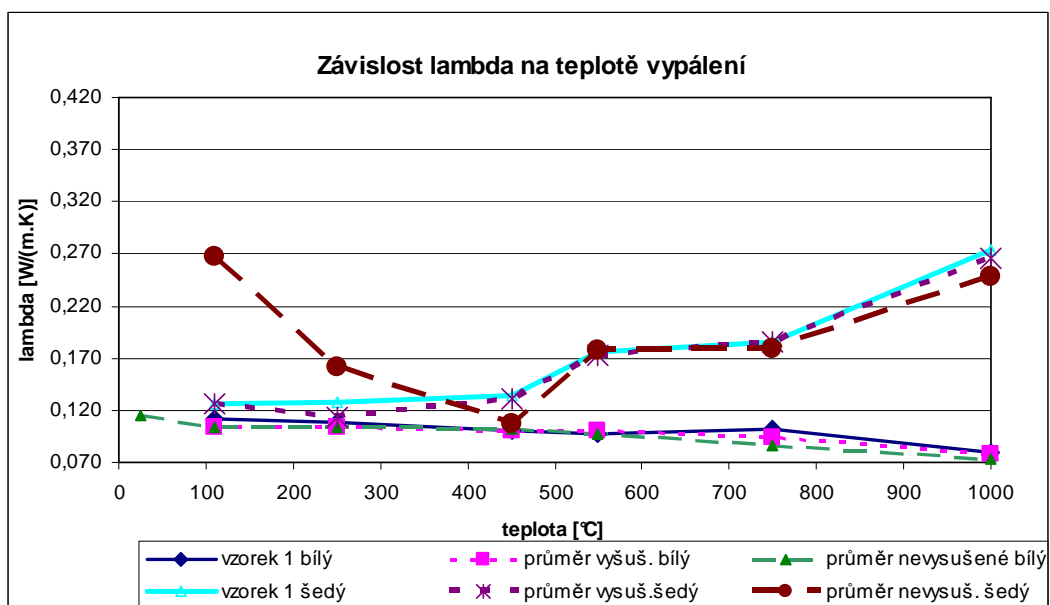
## 7. Zpracování výsledků měření a diskuse.

Z naměřených hodnot je možno sestavit řadu grafických závislostí. Z těchto grafů je velmi dobře vidět, jaké trvalé změny jednotlivých veličin (vlastností) teplotní zatížení materiálů způsobí.

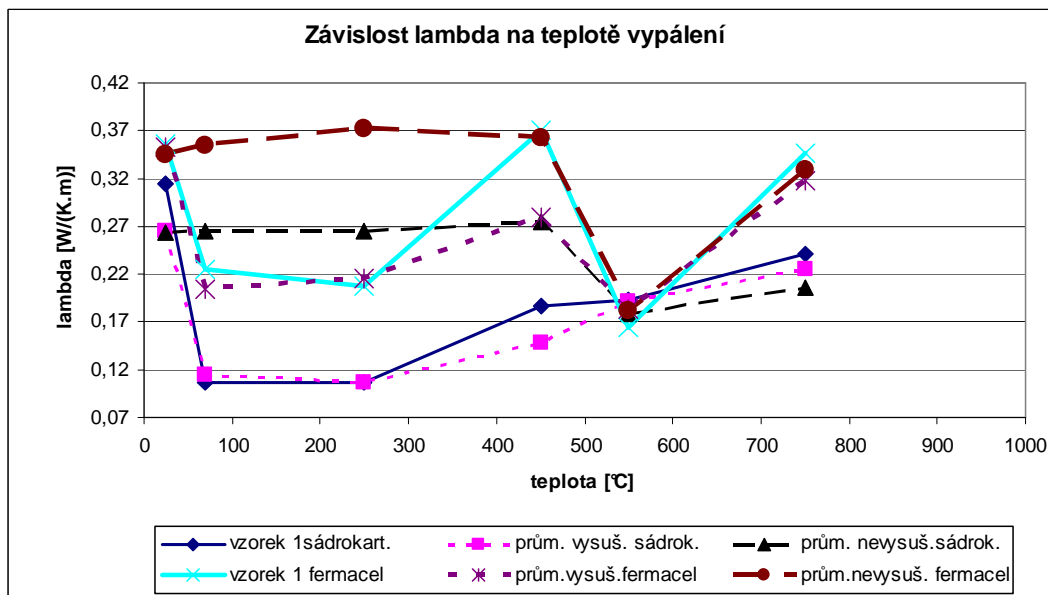
Pro nedostatek místa zde uvádíme pouze např. grafické zpracování závislosti součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  na teplotě vypálení pro materiály Promatect a Fireboard (viz obr. 1.) a pro materiály na bázi sádky t.j. Farmacell a Sádrokarton - Rigibs (obr. 2.), závislost modulu pružnosti (obr. 3.) a objemové hmotnosti (obr. 4.) na teplotě pro jednotlivé materiály.

Z tabulkového zpracování se dalo vyčíst, že např. namáhání teplotou postupné či šokové nemělo velký vliv. Proto se v grafech objevuje většinou vzorek 1 (postupně zahříváný), dále průměr ze vzorků předem vysušených a průměr z nesusušených – zde byly rozdíly patrné. Také moduly pružnosti vypočtené různými metodami se příliš nelišily.

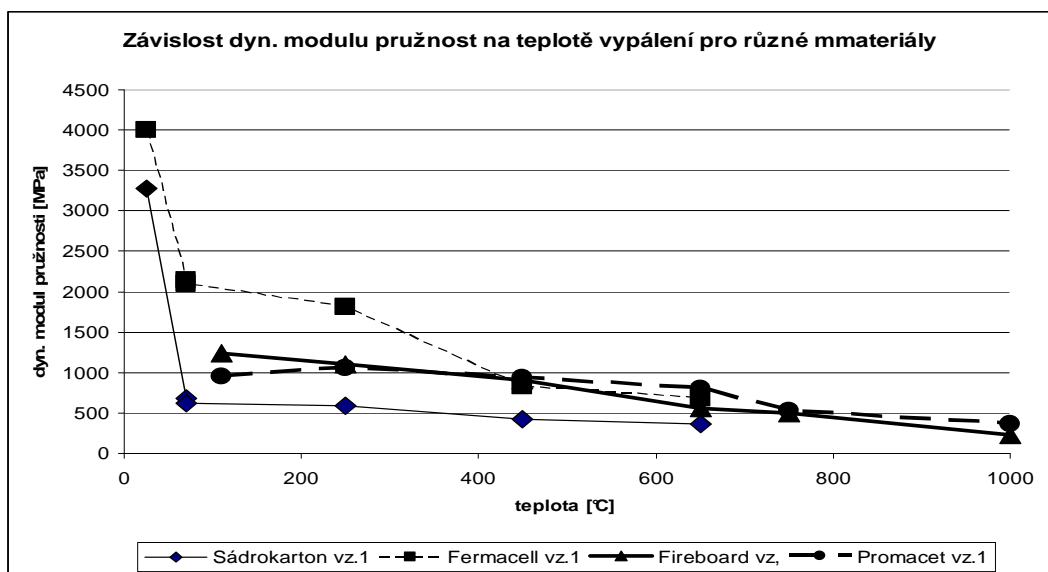
Stejným způsobem byly vyhodnoceny i ostatní veličiny..



Obr. 1. Promatect-bílý, Fireboard-šedý

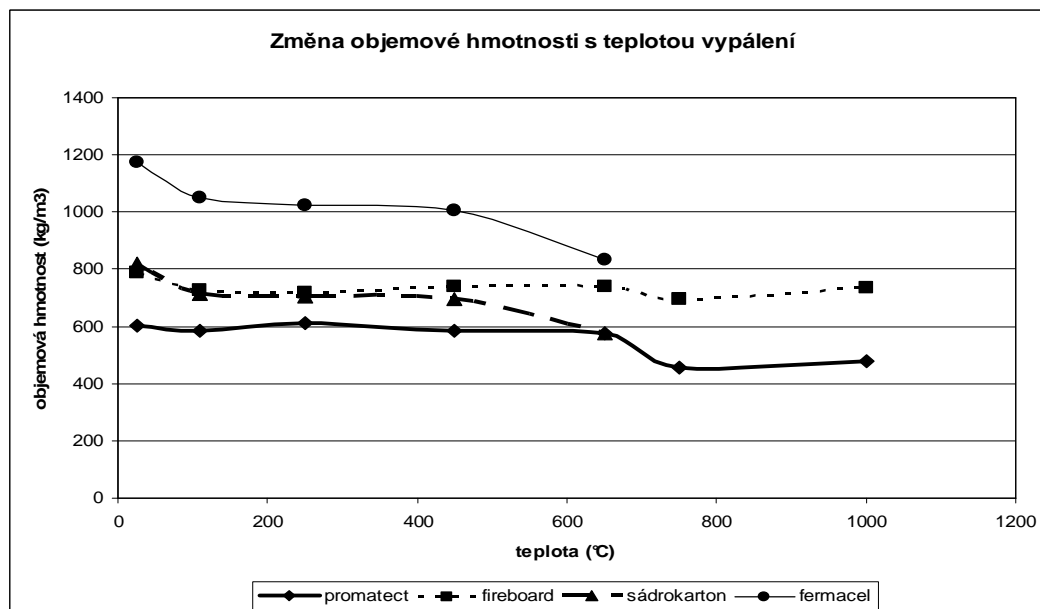


Obr. 2 Sádrokarton-Rigibs, Fermacel



Obr. 3 Závislost dyn. modulu pružnosti na teplotě vypálení pro různé materiály,





Obr.4. – Změna objemové hmotnosti s teplotou vypálení

Z přiložených grafů je vidět, že z testovaných materiálů je nejvhodnější materiál PROMATECT, který je kompozitního charakteru a vyznačuje se poměrně velkou stabilitou tepelně technických parametrů (lepší než FIREBOARD) a i mechanické vlastnosti jsou dosti dobré. Materiály na bázi sádky, i když vyhovují pro nižší teploty, jsou z protipožárního hlediska méně vhodné, protože při vyšších teplotách dochází u nich ke strukturální destrukci vlivem přeměny dihydrátu na hemihydrát či dokonce na sypký anhydrit.

## 8. Závěr

Protože výroba nového kompozitního materiálu se poněkud zpozdila, není jeho vyhodnocení dokončeno. Na tomto materiálu budou provedena stejná měření, jako na materiálech již testovaných a měření bude doplněno ještě proměřením teplotní závislosti součinitele lineární teplotní roztažnosti a proměřením teplotní závislosti součinitele tepelné vodivosti.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za přispění grantu MPO FR-TI 1/216 a výzkumného záměru MŠMT MSM 684077031

## Literatura

- [1] Toman J.: Vliv teploty a vlhkosti na fyzikální parametry stavebních materiálů. Disertační práce DrSc. ČVUT Praha 1992
- [2] Toman J., Semerák P.: Fyzika 10 Praktická cvičení, Skriptum ČVUT Praha 2003
- [3] Carslaw, Jaeger : Conduction of heat in solids. Oxford. 1959.
- [4] Toman J., Korecký T., Frank M., Černý R.: Stabilita tepelně technických vlastností deskových kompozitů za vysokých teplot. Sborník konference „Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2010“ str. 381, FAST VUT Brno 2010.
- [5] Michalko O., Bažantová Z., Korecký T., Frank M., Toman J., Černý R.: Mechanická stabilita kompozitních deskových materiálů namáhaných vysokými teplotami. Sborník konference „Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2010“ str. 351. FAST VUT Brno 2010.

## Kontakt

Ing. Arch. Zdena Bažantová CSc., tel. 420 22435 4445, e-mail: zdena.bazantova@fsv.cvut.cz, ČVUT, FSv. Kat. materiálového inženýrství a chemie, Thakurova 7, 166 29 Praha 6

Prof. Mgr. Jan Toman, DrSc. , tel.: 420 22435 4694, e-mail: toman@fsv.cvut.cz, ČVUT, FSv. Kat. materiálového inženýrství a chemie, Thakurova 7, 166 29 Praha 6

Doc. Ing. Ondřej Michalko, CSc., tel.: 420 22435 4445 , e-mail: michalko@fsv.cvut.cz, ČVUT, FSv. Kat. materiálového inženýrství a chemie, Thakurova 7, 166 29 Praha 6.

Ing. Michal Frank, tel :420 54352 9271, e-mail: frank@vustah.cz, Výzkumný ústav stavebních hmot, Hněvkovského 11/65, 618 00 Brno

## HODNOCENÍ TRVANLIVOSTI DŘEVĚNÉHO LEPENÉHO SPOJE POUŽITÍM INFRAČERVENÉ ABSORPČNÍ SPEKTROSKOPIE

## THE DURABILITY EVALUATION OF GLUED WOOD JOINT USING INFRARED ABSORPTION SPECTROSCOPY

**Anna Benešová, Jan Vaněrek**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav technologie stavebních hmot a dílců

***Anotace:***

*Náplní článku je popis přípravy metodiky pro zkoušení trvanlivosti dřevěného lepeného spoje na vzorcích určených pro stanovení jeho smykové pevnosti. Pro odhalení strukturních aspektů polymerního adheziva bylo použito analytické metody infračervené absorpční spektroskopie. Výsledkem výzkumu je porovnání spektrogramů vzorků vystavených působení aklimatizační expozici A1 dle ČSN EN 302-1 v souvislosti se stanovenou smykovou pevností spoje a objemovou hmotností použité podkladní dřevní hmoty.*

***Annotation:***

*The aim of this paper is to describe the preparation methodology of samples intended for wood joint durability testing. The samples will be analyzed using infrared absorption spectroscopy, which should reveal structural aspects of the polymer base of adhesive. The comparison of spectrograms, which have been conditioned at exposition A1 according to standard ČSN EN 302-1, should be a result of this research. This results will be also evaluated in connection with the shear strength and density of the specimen.*

***Klíčová slova:*** adheziva, dřevěné lepené spoje, infračervená spektroskopie

***Keywords:*** adhesives, glued wood joints, infrared spectroscopy

## 1. Úvod

Konstrukční lepené spoje jsou využívány zejména při výrobě nosných prvků, ať už se jedná o lepené lamelové dřevo nebo dřevo aglomerované. Hodnocení kvality lepeného spoje upravuje norma ČSN EN 302-1, která předepisuje stanovení smykové pevnosti na vzorcích definovaných rozměrů a typu a vlastností nosného dřeva. Dle normy jsou dále vzorky vystaveny pěti typům expozice A1-A5, které se liší stupněm působení vlhkosti, která má za následek objemové změny nosného dřeva a tudíž vyvolává napětí ve styčné spáře. Důsledkem tohoto napětí je snížení smykové pevnosti lepeného spoje.

Vystavení těmto expozicím má simulovat nepříznivé podmínky při užívání lepených konstrukcí zejména v exteriéru, kde dochází k cyklickému navlhání a vysoušení dřevní hmoty. Podle dosažené průměrné smykové pevnosti vzorků vystaveným působení jednotlivých expozic, je pak adhezivum zařazeno do specifické třídy, která zohledňuje nejenom nejvyšší dosaženou pevnost, ale rovněž použití v interiéru nebo exteriéru.

Protože při zkoušení dle zmíněné normy nedochází ke změnám v makromolekule polymerní složky lepidla, byla prozatím odzkoušena metodika odběru vzorků pro analýzu infračervenou spektroskopií pouze pro prostředí A1 (vzorky klimatizovány ve standardním prostředí při 20°C a 65% vzdušné vlhkosti).

Jedná-li se o lepený spoj, který užívá dvousložkové lepidla, bývá výrobcem deklarován poměr, ve kterém se příslušné tvrdidlo s lepidlem smíchá. Taková směs má pak předepsaný způsob vytvrzování, který zahrnuje teplotu okolního prostředí, vytvrzovací tlak a dobu vytvrzování. Standardně se snižujícím se množstvím tvrdidla zvyšuje se hodnota jednoho nebo více parametrů vytvrzování. Není-li dodržen správný vytvrzovací postup, lze předpokládat, že síťování makromolekul nebude dokonalé a nebude dosaženo dostatečné smykové pevnosti spoje. Proto byly namíchány i směsi dvousložkových lepidel s nižším obsahem tvrdidla a bylo zjišťováno, zda lze nesprávný poměr analýzou pomocí infračervené spektroskopie odhalit.

## 2. Příprava vzorků

Zkušební vzorky byly připraveny ze třech typů lepidel – s polyuretanovou (PUR), melamin-močovino-formaldehydovou (MUF) bází a bází EPI (emulsion polymer isocyanate) od firmy Akzo Nobel.

Adheziva MUF a EPI jsou dvousložková, s deklarovaným poměrem složek 100:100 – 100:20 pro MUF a 100:15 – 100:10 pro EPI. Pro MUF byly tedy vybrány oba extrémní, přičemž pro vytvrzování byly dodrženy podmínky 100%-ního přídatku tvrdidla. Při lepení lepidlem s EPI bází se ve výše

uvedeném rozmezí dodržují stejné podmínky vytvrzování, proto byly vytvořeny směsi s podílem 100:15 a 100:5.

## 2.1. Pro zkoušku smykové pevnosti

Vzorky pro smykovou zkoušku byly vyrobeny z bukového dřeva *Fagus sylvatica*. U každého dodaného náklížku byla stanovena objemová hmotnost, neboť dle normy ČSN EN 302-1 je požadována objemová hmotnost podkladního dřeva z intervalu  $700 \pm 50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  při  $12 \pm 1\%$ -ní vlhkosti. Hustota letokruhů a tedy i objemová hmotnost může mít výrazný vliv na adhezi lepidla k povrchu podkladu. Objemové hmotnosti jednotlivých náklížků stejně jako typy lepidel, pro která byly použity, jsou uvedeny v tabulce 1.

*Tabulka 1 Objemové hmotnosti náklížků a typy lepidel, která na ně byla nanášena*

Označení náklížku	Použité lepidlo	Objemová hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
1	MUF 100:100	700,2
2	MUF 100:20	724,9
3	EPI 100:15	715,3
4	EPI 100:5	757,1
5	PUR	690,9

Ze všech náklížků byly po nalepení a vytvrzení vyrobeny vzorky pro smykovou zkoušku a uloženy v klimatizační komoře v expozici A1, tedy 7 dnů při  $20^\circ\text{C}$  a 65% vzdušné vlhkosti. Po vyjmutí z klimatizační komory byla stanovena smyková pevnost vzorků a na polovině zlomků vlhkost při zkoušení. Druhá polovina zlomků byla analyzována pomocí infračervené spektroskopie.

## 2.2. Pro infračervenou absorpční spektroskopii

Pro analýzu užitím infračervené absorpční spektroskopie byly připraveny dva druhy vzorků:

- **Referenční** – kapky směsí lepidel o průměru přibližně 1cm vytvrzované na polyetylenové fólii. Vzhledem k nízké křehkosti vzorků (kromě MUF) byly analyzovány vcelku pomocí nástavce ATR.
- **Testované** – zlomky vzorků ze zkoušení smykové pevnosti byly 1 den namočený ve vodě a potom mechanicky rozpojeny v lepené spáře tak, aby bylo možné změřit spektrum pomocí nástavce ATR.

Pro testované vzorky byl navíc naměřen spektrogram dřeva, aby bylo možné vyloučit znečištění zkoušené vrstvy lepidla.

### 3. Vyhodnocení

#### 3.1. Smyková pevnost

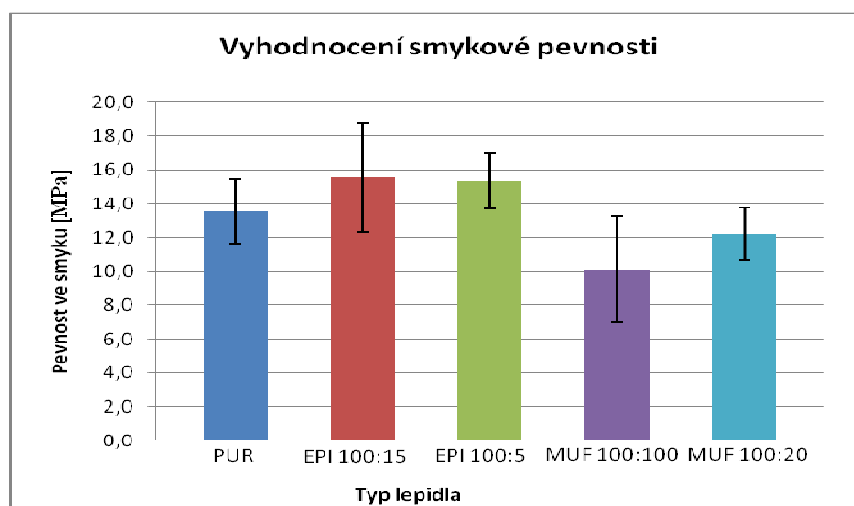
Při zkoušení smykové pevnosti vzorků byl brán ohled nejen na nejvyšší dosaženou sílu a stanovenou vlhkost, ale také na procento porušení vzorku ve dřevě. Je-li porušení ve dřevě vyšší nežli 0%, předpokládá se, že smykovou pevnost přenáší částečně nebo úplně dřevní podklad a smyková pevnost lepeného spoje je vyšší.

Dosažené hodnoty smykové pevnosti, vlhkosti a průměrného porušení ve dřevě jsou v tabulce 2.

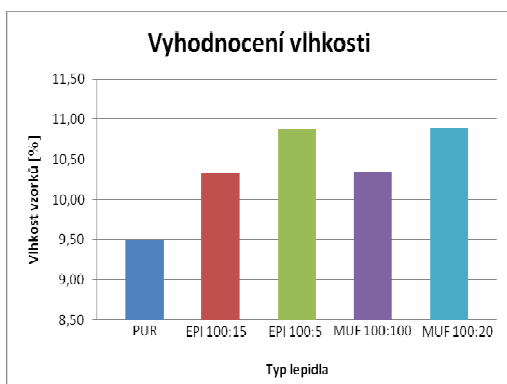
Tabulka 2 Vyhodnocení smykové pevnosti zkoušených vzorků

Použité lepidlo	Objemová hmotnost náklížku při lepení [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	Vlhkost dřeva při zkoušení [%]	Procento porušení ve dřevě [%]	Smyková pevnost [MPa]
MUF 100:100	700,2	10,3	38,5	10,1±3,118
MUF 100:20	724,9	10,9	36,0	12,2±1,553
EPI 100:15	715,3	10,3	65,0	15,6±3,252
EPI 100:5	757,1	10,9	57,0	15,3±1,627
PUR	690,9	9,5	21,0	13,6±1,900

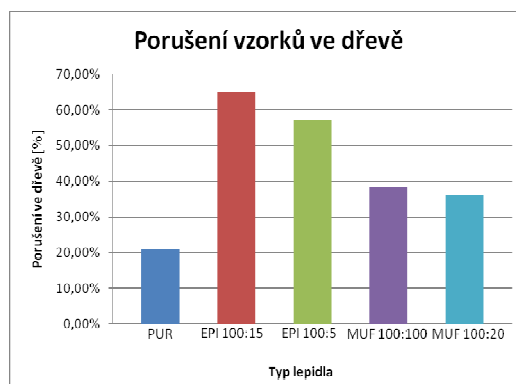
Vyhodnocení zkoušení smykové pevnosti je zobrazeno v následujících grafech.



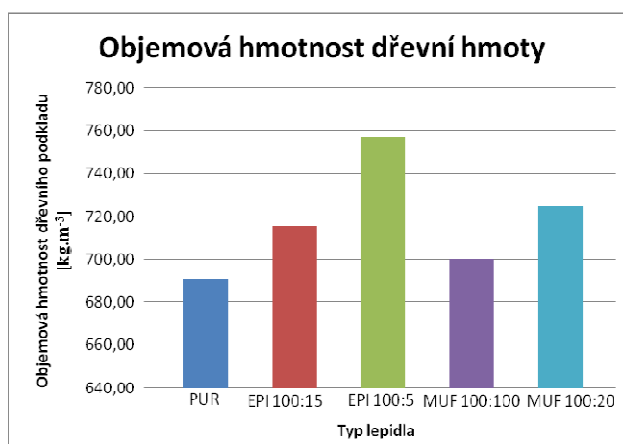
Graf 1 Vyhodnocení smykové pevnosti vzorků



*Graf 2: Vyhodnocení vlhkosti vzorků při zkoušce smykové pevnosti*



*Graf 3 Vyhodnocení procentuálního porušení vzorků mimo lepenou spáru při zkoušce smykové pevnosti*



*Graf 4 Porovnání objemové hmotnosti náklížků při lepení vzorků*

Nejvyšší smykovou pevnost dosáhli vzorky spojovány lepidlem s EPI bází a to ve standardním poměru mísení složek 100:15 ovšem s velkým rozptylem hodnot, což je nejspíše způsobeno vysokým procentem porušením mimo lepenou spáru. Lze tedy předpokládat, že pevnost spoje je vyšší a bylo by nutné tuto skutečnost prokázat opětovným odzkoušením nové sady vzorků nalepených na náklížcích o vyšší objemové hmotnosti. Má-li podklad vyšší objemovou hmotnost, vykazuje nižší pórovitost a vrstva lepidla dosáhne požadovanou tloušťku.

Lepicí směs EPI s poměrem složek 100:5 dosáhla naproti očekávání rovněž vysokou smykovou pevnost při téměř stejném procentu porušení vzorků ve dřevě. Náklížky, které byly touto směsí slepeny, měli ovšem nižší pórovitost a rozptyl hodnot byl rovněž nižší.

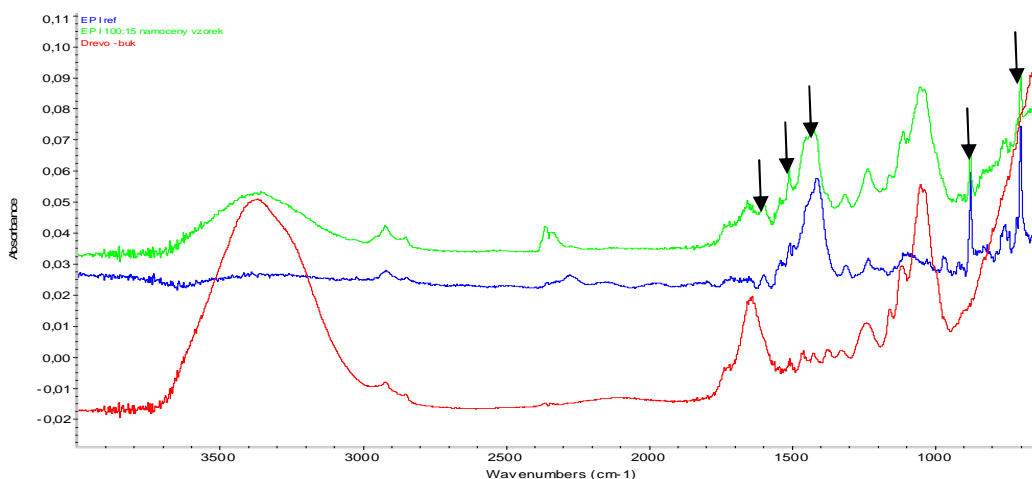
Nejvyšší procento porušení v lepené spáře dosáhly vzorky lepeny PUR lepidlem. Hodnota smykové pevnosti tedy přibližně odpovídá skutečné pevnosti lepící směsi.

Smyková pevnost směsí s melamin-močovino-formaldehydovou bází byla vzhledem k porušení mimo lepenou spáru a rozptylu hodnot přibližně stejná. Výsledek měření je nejspíše opět způsoben vyšší pórovitostí podkladního dřeva použitého pro směs s vyšším obsahem tvrdidla a také skutečností, že vytvrzovací tlak působící na obě směsi byl na horní hranici povoleného intervalu, takže zkrácení doby vytvrzování u směsi s nižším podílem tvrdidla nemělo tak výrazné následky, jak bylo předpokládáno.

### 3.2. Analýza užitím infračervené absorpční spektroskopie

Vzorky

- **EPI 100:15**

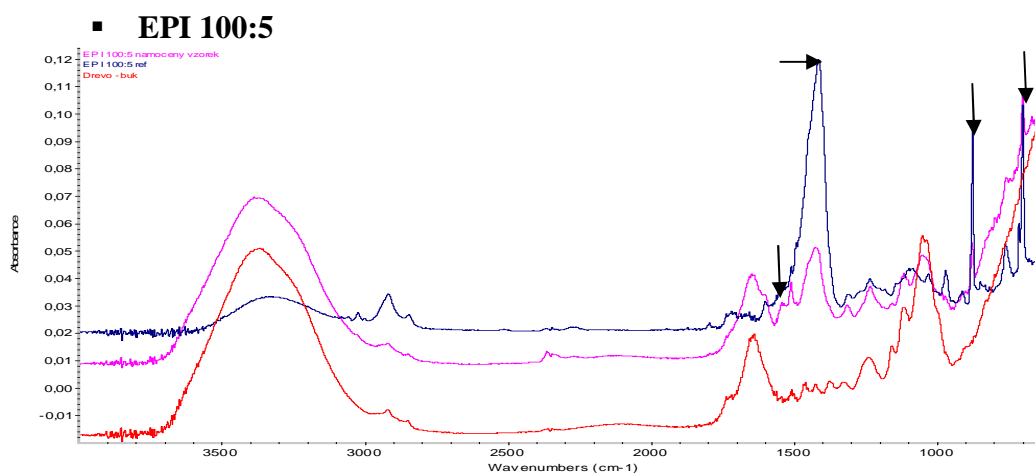


Obrázek 1 EPI 100:15 - spektrogramy referenčního (modrý), testovaného (zelený) vzorku a vzorku dřeva (červený)

Pro analýzu změn při dlouhodobém uložení lepeného materiálu v nepříznivých podmínkách je nutno sledovat změny na následujících vlnočtech: 1598 cm<sup>-1</sup>, 1510 cm<sup>-1</sup>, 1446-1410 cm<sup>-1</sup>, 883 cm<sup>-1</sup> a 701 cm<sup>-1</sup>. Jak je patrné ze zobrazených spektrogramů na obrázku 1., na těchto vlnočtech se nachází souhlasné píky referenčního a testovaného vzorku s vyloučením těch, které obsahuje i spektrogram dřeva a které představují znečištění testovaného vzorku.

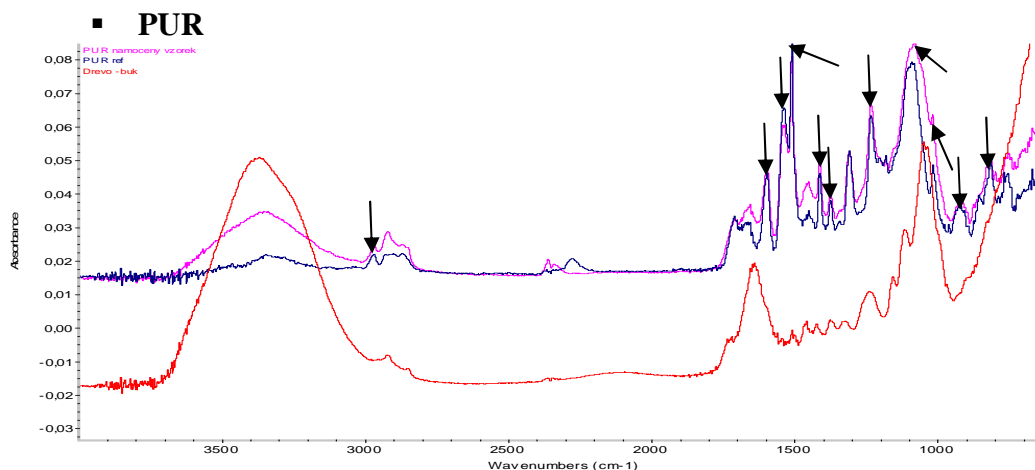
Protože se ovšem jedná o lepidlo plněné, bude nutná další analýzy pro extrahování pouze polymerní složky lepidla a na jejím základě pak budou označeny píky, které budou vypovídat o stupni síťování a posléze rozpadu makromolekul.





Obrázek 2 EPI 100:5 - spektrogramy referenčního (růžový), testovaného (modrý) vzorku a vzorku podkladního dřeva (červený)

Vzhledem k nízkému obsahu tvrdidla u obou směsí, při dlouhodobém uložení lepeného materiálu v nepříznivých podmínkách je nutno sledovat změny na stejných vlnočtech jako u předchozího, tedy: 1604  $\text{cm}^{-1}$ , 1510  $\text{cm}^{-1}$ , 1446-1410  $\text{cm}^{-1}$ , 883  $\text{cm}^{-1}$  a 701  $\text{cm}^{-1}$ .

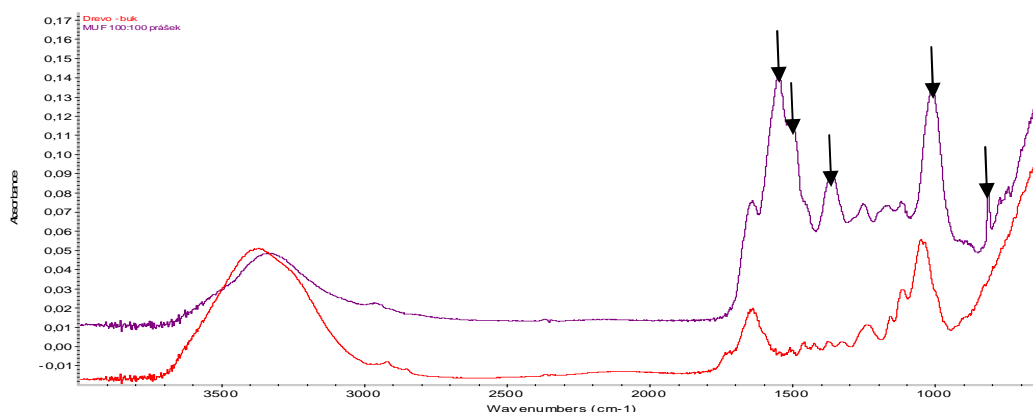


Obrázek 3 Spektrogramy referenčního (modrý) a testovacího (růžový) vzorku a vzorku podkladního dřeva

Pro analýzu změn při dlouhodobém uložení lepeného kompozitu v nepříznivých podmínkách bude nutné sledovat píky na následujících vlnočtech: 2964  $\text{cm}^{-1}$ , 1601  $\text{cm}^{-1}$ , 1540  $\text{cm}^{-1}$ , 1513  $\text{cm}^{-1}$ , 1413  $\text{cm}^{-1}$ , 1372  $\text{cm}^{-1}$ , 1239  $\text{cm}^{-1}$ , 1100-1060  $\text{cm}^{-1}$ , 1016  $\text{cm}^{-1}$ , 939-903  $\text{cm}^{-1}$  a 823  $\text{cm}^{-1}$ .

▪ **MUF 100:100**

Při odběru testovacího vzorku se nepodařilo rozpojit lepený spoj v dostatečné ploše tak, aby bylo možné jej změřit, proto pro sledování změn při dlouhodobém uložení lepeného kompozitu v nepříznivých podmínkách budou v první fázi sledovány píky, které by neměli být v testovacích vzorcích překryty píky dřeva.

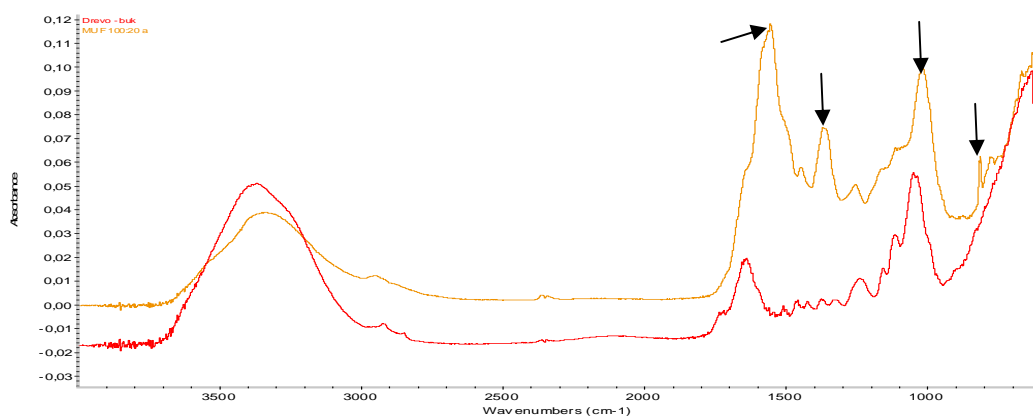


Obrázek 4 Spektrogramy vzorku referenčního (fialový) a dřeva (červený)

Sledovanými by měli být píky na vlnočtech: 1546-1500 cm<sup>-1</sup>, 1370 cm<sup>-1</sup>, 1110 cm<sup>-1</sup> a 817 cm<sup>-1</sup>.

▪ **MUF 100:20**

Při odběru testovacího vzorku nastal stejný problém jako u předchozí směsi, sledované píky jsou tedy opět získány pouze porovnáním spektrogramu dřeva a referenčního vzorku.



Obrázek 5 Spektrogramy referenčního (oranžový) vzorku a vzorku dřeva (červený).

Sledovanými by, stejně jako u předchozí směsi, měli být píky na vlnočtech:  $1546-1500\text{ cm}^{-1}$ ,  $1370\text{ cm}^{-1}$ ,  $1110\text{ cm}^{-1}$  a  $817\text{ cm}^{-1}$ .

#### 4. Závěr

V rámci zkoušení byla stanovena smyková pevnost vzorků lepených spojů klimatizovaných dle ČSN EN 302-1 v prostředí A1. Vyhodnocením získaných hodnot bylo dosaženo následujících výsledků:

- Všechny typy lepidel dosáhli smykové pevnosti vyšší jak 10 MPa, a to i v případě, že nebyl dodržen správný postup namíchání či vytvrzování směsi dvousložkového lepidla.
- Smykovou pevnost lepeného spoje ovlivňuje několik parametrů, zejména se jedná o objemovou hmotnost lepeného dřeva, jeho vlhkost při lepení a zkoušení a tloušťku lepené vrstvy.

Pro stanovení trvanlivosti pomocí infračervené spektroskopie byly v první fázi označeny výrazné píky u všech získaných referenčních vzorků. Pro lepidlo s EPI bází, které je plněno anorganickým materiálem, bude k upřesnění sledovaných píků potřeba extrahovat polymerní složku lepidla. U obou směsí melamin-močovino-formaldehydového lepidla se mechanickým rozpojováním nepodařilo získat dostatečnou plochu lepeného spoje – rozpojování bude odzkoušeno na nových vzorcích, ponořených do vody delší dobu než 1 den, což byla doba dostačující pro zbylé dva typy lepidla.

#### Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory projektu Specifického výzkumu č.: FAST-J-11-32 Hodnocení kvality lepidel pro dřevěné konstrukční lepené spoje pomocí infračervené absorpční spektroskopie - vývoj metodiky přípravy vzorků a měření.

#### Literatura

- [1] SVEHLA, G.: Comprehensive analytical chemistry VI, Amsterdam, Elsevier scientific publishing company 1976, p. 1-555, ISBN 0-444-41165-8.
- [2] ČSN EN 302-1 Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Metody zkoušení - Část 1: Stanovení podélné smykové pevnosti. Třídící znak 668531, datum vydání 1. 12. 2004
- [3] Technické listy společnosti Casco Adhesives AB

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## **Kontakt**

Ing. Anna Benešová, tel: 00420 541 147 521, e-mail: benesova.a@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Jan Vaněrek, Ph.D., tel: 00420 541 147 514, e-mail: vanerek.j@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## SKÚŠANIE STĽPOV ZOSILNENÝCH CFRP NA NÁRAZOVÉ ZAŤAŽENIE

## TESTING OF COLUMNS STRENGTHENED WITH CFRP UNDER IMPACT LOAD

**Jakub Brondoš, Juraj Bilčík**

Stavebná fakulta STU v Bratislave

***Anotace:***

*Článok je zameraný na plánované skúšanie železobetónových stĺpov zaťažených nárazom pred a po zosilnení CFRP. Skúška by mala preukázať vhodnosť ako aj účinnosť zosilnenia CFRP proti nárazu.*

***Annotation:***

*This article is focused on planned testing of RC columns under impact load before and after CFRP strengthening. This testing may show fitness and efficiency of strengthening by CFRP under impact load.*

***Klíčová slova:*** CFRP, zaťaženie nárazom, železobetónové stĺpy, zosilnenie

***Keywords:*** CFRP, impact load, RC columns, strengthening

## 1. Úvod

Zvýšená motorizácia v posledných rokoch a s tým spojená intenzívna výstavba dopravnej infraštruktúry vyvoláva požiadavku overenia odolnosti betónových stĺpov na účinky nárazového zaťaženia na mostoch. V rámci výskumného projektu sa plánuje parametrická štúdia zohľadňujúca vplyv štíhlosti, pevnostnej triedy betónu, stupňa vystuženia a množstva pridanej CFRP výstuže vo forme tkanín a lamiel na odolnosť stĺpov vystavených nárazovému zaťaženiu. Príspevok je zameraný na návrh skúšobných vzoriek, usporiadanie, meranie a vyhodnotenie experimentálneho overenia zosilnených a referenčných vzoriek železobetónových stĺpov.

## 2. Návrh skúšobných vzoriek

Zaťaženie nárazom je relatívne komplikovaná skúška, pri ktorej treba vopred uvážiť viaceré aspekty. Pri určovaní parametrov skúšobnej vzorky treba zohľadniť, aký silný náraz je možné simulovať, t.j. hmotnosť závažia a výška, z akej sa bude spúšťať na skúšobnú vzorku. Pri známej výške sa dá vypočítať rýchlosť dopadu na skúšobnú vzorku. Oceľové závažie v tvare valca s hmotnosťou približne 125kg, pri páde z výšky 2m dosiahne rýchlosť približne 6,2m/s aj so započítaním strát. Tesne pred nárazom dosiahne kinetickú energiu 2400J. Z predošlých experimentov [1][2] je známe, že pri takomto type nárazu je energia pohlcovaná prevažne skúšobnou vzorkou a maximálny priehyb vzorky sa dá približne vypočítať. Pokiaľ je vopred známy maximálny priehyb aspoň približne, dajú sa správne vybrať prístroje na meranie deformácií. Jedná sa predovšetkým o indukívne dynamické deformometre, ktoré majú v závislosti od typu svojej rezervy, napríklad maximálnu možnú merateľnú deformáciu. Pre kinetickú energiu pri náraze 2400J, je vhodné použiť skúšobnú vzorku rozmerov 0,2x0,2x2,2m pozdĺžne vystuženú 4Φ10 z ocele B500(B). Použitý betón sa odhaduje triedy C30/37. Takáto skúšobná vzorka za predpokladu klbového uloženia s rozpätím 2m a nárazom v strede rozpätia by nemala prekročiť deformáciu približne 65mm. Uvedená skúšobná vzorka bola vybraná pre jej optimálne rozmery. Pri väčších rozmeroch by bolo potrebné zväčšiť silu nárazu a pri výrazne menších rozmeroch by sa nechovala zodpovedajúco reálnej konštrukcii (size efekt). Štvorcový prierez je volený preto, aby sa skúšobná vzorka pri náraze nemala tendenciu krútiť.



Na meranie jednotlivých veličín budú použité už spomínané indukčné dynamické deformometre s rozmedzím merania deformácie 100mm umiestnené symetricky 200mm na každú stranu od stredu nosníka. Deformometre budú osadené na samostatnej konštrukcii. Ďalej je plánované použiť dva akcelerometre, pričom jeden bude umiestnený na samotnom závaží a bude merať zmenu zrýchlenia pri náraze, druhý bude umiestnený na nosníku a poskytne informácie o odozve skúšobnej vzorky na náraz. Použité budú aj silomery v podperách, ktoré priamo namerajú reakcie počas nárazu. Tenzometre budú rozmiestnené na povrchu betónu a výstuže a pri zosilnenej vzorke aj na povrchu tkanín, prípadne lamiel. Pokiaľ by boli schopné zaznamenať zmenu pretvorenia materiálov v čase, resp. v čase pri relatívne hustom vzorkovaní, poskytl by informácie o chovaní materiálov skúšobnej vzorky. Všetky meracie prvky budú pripojené na prístroj SPIDER8. Samostatný problém je použitie vzorkovacej frekvencie. Samotný náraz je relatívne veľmi krátky časový dej, zatiaľ čo podstatná odozva skúšobnej vzorky môže trvať aj niekoľko desiatok milisekúnd. Najvyššia možná vzorkovacia frekvencia je 9800kHz. Pre zmenšenie množstva výstupných dát a ich lepšiu spracovateľnosť bude na začiatok volená menšia vzorkovacia frekvencia a to 4800kHz, pričom ani samotné deformometre nie sú schopné zaznamenávať vo vyššej frekvencii.

Ako prvé sa budú skúšať referenčné vzorky bez zosilnenia, kde sa plánuje postupným zvyšovaním výšky závažia ísť až na medzu porušenia. Problém je, že pri skúške nárazom pri viacnásobnom skúšaní jednej skúšobnej vzorky vzorka stráca svoje tuhostné vlastnosti a správa sa odlišne ako nepoškodená. Hranica porušenia by mala byť približne rovnaká. Po získaní výsledkov z referenčných vzoriek sa budú skúšať zosilnené vzorky. Postupne by sa mali odskúšať rôzne druhy zosilnenia CFRP tkaninami, lamelami a ich kombinácie a tak zistiť najefektívnejší spôsob zosilnenia. Po zistení najvhodnejšieho spôsobu zosilnenia sa plánuje aj zosilnená vzorka odskúšať až na medzu porušenia.

#### 4. Záver

Cieľom skúšok je overiť možnosti dodatočného zvýšenia odolnosti existujúcich stĺpov na účinky nárazového zaťaženia pomocou nových kompozitných materiálov na báze polymérov vystužených vláknami (FRP). Skúšky budú doplnené analytickými modelmi a numerickou simuláciou a diskutované na základe vlastných a v literatúre publikovaných výsledkov experimentov. V rámci prác sa plánuje urobiť parametrickú štúdiu zohľadňujúcu vplyv štíhlosti, pevnostnej triedy betónu, stupňa vystuženia stĺpov a množstva pridanej CFRP výstuže vo forme tkanín a lamiel na odolnosť stĺpov.



## Literatura

- [1] TACHIBANA, S.; MASUYA, H. ; NAKAMURA, S.: Performance based design of reinforced concrete beams under impact load. In Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1069-1078, doi:10.5194/nhess-10-1069-2010.
- [2] FUJIKAKE, K.; LI, B. ; SOEUN, S.: Impact Response of Reinforced Concrete Beam and Its Analytical Evaluation. In Journal of structural engineering august 2009.

## Kontakt

Ing. Jakub Brondoš, tel: 00421 259 274 380, e-mail: jakub.brondos@stuba.sk, Katedra betónových konštrukcií a mostov, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

Prof. Ing. Juraj Bilčík, Ph.D., tel: 00421 259 274 546, e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk, Katedra betónových konštrukcií a mostov, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## METODY KONTROLY KVALITY PODLOŽÍ V ŽELEZNIČNÍM STAVITELSTVÍ

## QUALITY CONTROL METHODS OF TRACK BED FOR RAILWAY ENGINEERING

**Petr Břešťovský, Leoš Horníček**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,  
Katedra železničních staveb

***Anotace:***

*Cílem příspěvku je představení možností kontroly kvality (únosnosti a míry zhutnění) zemních konstrukcí a pražcového podloží v železničním stavitelství. Standardní, běžně používanou a předpisy zakotvenou zkouškou pro zjišťování únosnosti a kontrolu míry zhutnění provedené zemní konstrukce železničního spodku, je statická zatěžovací zkouška. V současné době, kdy je kladen důraz na snížení časové náročnosti při zachování stejných kvalitativních výstupů, jsou hledány rychlejší a jednodušší postupy jak zhodnotit kvalitu provedené konstrukce.*

***Annotation:***

*The goal of this paper is to introduce the methods of quality control of soil constructions and track bed in railway engineering. A static plate load test is a standard, commonly used and by requirements approved test. It is used for bearing capacity investigation and checking of compaction rate of accomplished soil constructions in railway substructure. Currently, faster and simpler ways how to evaluate quality of an accomplished construction are searched, because of decreasing time demands with keeping the same number of qualitative outputs.*

***Klíčová slova:*** statická zatěžovací zkouška, dynamická penetrace, rázová zatěžovací zkouška, Geogauge

***Keywords:*** static plate load test, dynamic penetration, impact load test, Geogauge

## 1. Úvod

Kontrola kvality podloží a únosnosti vrstev pražcového podloží je nezbytnou součástí výstavby a rekonstrukce železniční tratě. V železničním stavitelství je kontrola kvality postavená na zjišťování objemové hmotnosti zemin (destruktivní zkouška) a na zjišťování únosnosti pomocí statické zatěžovací zkoušky (nedestruktivní zkouška).

V současné době, kdy je kladen důraz na rychlost a efektivitu zkoušení, již tyto zkoušky nedostačují. Dnes už existují nová moderní přenosná zařízení, která dokáží poskytnout reprezentativní výsledky o vlastnostech zkoušených vrstev a zkoušeného materiálu. Příspěvek přináší informace o současných možnostech kontroly kvality podloží železničních staveb nedestruktivními metodami a dalším možném vývoji zkušebních metod v rámci železničního stavitelství v ČR.

## 2. Zkušební zařízení

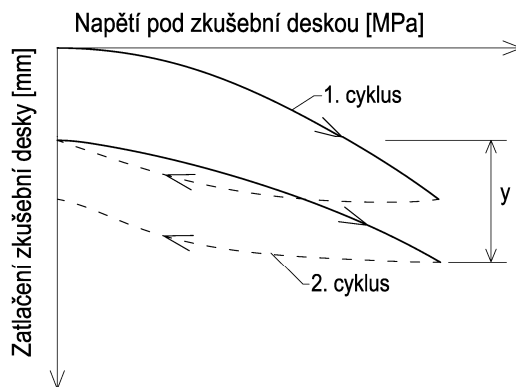
### 2.1. Statická zatěžovací zkouška

Statická zatěžovací zkouška je základní zkouškou používanou v železničním stavitelství pro zjišťování únosnosti jednotlivých vrstev pražcového podloží a je vhodná pro nesoudržné i většinu soudržných zemin. Zkouška se provádí podle předpisu SŽDC S4 Železniční spodek, Příloha 5 [1]. Princip zkoušky spočívá ve statickém zatěžování zkušební desky o průměru 300 mm a sledování poklesu desky v průběhu zatěžování. Zatížení se vnáší pomocí hydraulického pístu, který je opřen o dostatečně hmotné protizávaží. Při stavbě tratě to bývá většinou nákladní automobil nebo stavební stroj, při pracích v koleji železniční vozidlo. Ke snímání poklesů tuhé kruhové desky se používají mechanické nebo digitální snímače poklesů s přesností 0,01 mm.

Měření se provádí ve dvou zatěžovacích cyklech, z nichž každý sestává ze čtyř zatěžovacích a odlehčovacích stupňů. Zatěžuje se do maximálního napětí 0,2 MPa pod zkušební deskou. Schéma postupu zatížení je uvedeno na obr. 1. Celkové zatlačení zkušební desky z druhého zatěžovacího cyklu je směrodatné pro výpočet statického modulu přetvárnosti dle rovnice:

$$E = 1,5 \cdot \frac{p \cdot r}{y} \quad , \quad (1)$$

kde	$E$	statický modul přetvárnosti [MPa],
	$p$	napětí vyvolané pod zkušební deskou [MPa],
	$r$	poloměr zkušební desky [mm],
	$y$	zatlačení zkušební desky [mm].



Obr. 1.: Průběh zatlačení zkušební desky

Pro kontrolu zhutnění se také využívá číslo odpovídající poměru modulů přetvárnosti z druhé a první zatěžovací větve [2].

Výhodou statické zatěžovací zkoušky je její dlouholeté prověření při provádění kontroly kvality podloží v železničním stavitelství. Pro jednotlivé typy železničních tratí jsou stanoveny minimální požadavky na únosnost, které v průběhu času vykazaly dobré nastavení použitelnosti.

Nevýhodou je časová náročnost a nutnost protizátěže. Provedení jedné zkoušky, včetně přípravné fáze, trvá přibližně jednu hodinu. Na tento čas je nutné blokovat vozidlo, které tak nemůže po uvedené dobu sloužit primárnímu účelu.

## 2.2. Dynamická penetrační zkouška

Dynamická penetrační zkouška je vhodná pro písčité a soudržné zeminy. Při zkoušce se spouští závaží o hmotnosti 10, 20, 50 nebo 63,5 kg z výšky 0,5 m na kovadlinu. Počet úderů závaží se má pohybovat v rozmezí 20 – 60 úderů za minutu (doporučuje se 30 úderů za minutu). Z počtu úderů potřebných na zaražení hrotu v délce 10 cm, resp. 20 cm (hodnota N10 a N20) a parametrů přístroje se vypočítá měrný dynamický penetrační odpor  $q_d$  podle:

$$q_d = \left( \frac{m}{m + m^I} \right) \cdot r_d \quad , \quad (2)$$

kde  $q_d$  měrný dynamický penetrační odpor [Pa],  
 $m$  hmotnost beranu [kg],  
 $m^I$  celková hmotnost tyčí a kovadliny [kg],  
 $r_d$  zarážecí práce vykonané při penetraci [Pa].

Počet úderů  $N$  se ve výpočtu koriguje o vliv tření na plášti soutyčí. Tření je měřené vždy po zaražení hrotu o 1,0 m pomocí momentového klíče. Ze

změřeného krouticího momentu je možné určit počet úderů potřebných k překonání tření na plášti. Výsledky se vynášejí do grafu, kde je na vodorovné ose vynesena počet rázů a na svislé ose hloubka zaražení. Měřicí zařízení se dělí podle hmotnosti závaží na lehká – 100 N, střední – 300 N, těžká – 500 N a velmi těžká – 635 N. Zařízení pro dynamickou penetrační zkoušku je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2.: Zařízení pro dynamickou penetrační zkoušku [3]

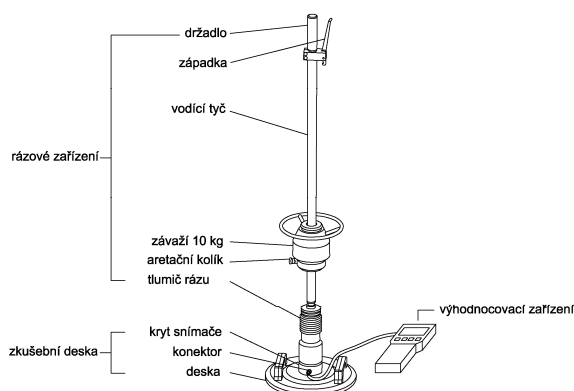
Výhodou této zkoušky je jednoduché, rychlé a efektivní zjišťování tuhosti materiálu v závislosti na hloubce.

Nevýhodou je horší aplikovatelnost výsledků. Při tuhé konzistenci jílu bude zaražení hrotu velmi malé a výsledky mohou vést k určení jiného materiálu (kámen). Při nárazu hrotu na větší zrno mohou vést ke stejným závěrům. Ve zprávě [3] z pokusného měření bylo zjištěno, že tato metoda není vhodná pro zkoušky na železničních tratích. Vliv kolejového lože na výsledky je zásadní a v negativním smyslu.

### 2.3. Rázová zatěžovací zkouška

Rázová zatěžovací zkouška je zkouškou pro zjišťování únosnosti podkladních vrstev a je vhodná pro nesoudržné zeminy se zrnitostí do 63 mm. Její použití v železničním stavitelství není dosud v ČR předepsáno, a tak se její výsledky používají jenom jako kontrolní. K provedení zkoušky se používá lehká dynamická deska (LDD) a její použití se řídí podle normy ČSN 73 6192 Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží [4].

V principu se jedná o podobnou zkoušku, jakou je statická zatěžovací zkouška, zkušební deska o průměru 300 mm se však zatěžuje dynamickým rázem. Tento ráz je vyvolán pádem závaží o hmotnosti 10 kg na soustavu pružin a tím je vyvolána síla na zkušební desku o velikosti 7070 N. Rázový puls, kterým je deska zatížena, trvá 18 ms. Měřicí zařízení od českého výrobce obsahuje akcelerometr, kterým je změřeno zatlačení zkušební desky do zkoušené zeminy. Ke zkušební desce je připojeno vyhodnocovací zařízení, které okamžitě zobrazí výsledek zkoušky. Schéma LDD je zobrazeno na obr. 3.



Obr. 3.: Schéma lehké dynamické desky

Před zkouškou je potřeba provést tři konsolidační rázy, aby byla zkušební deska v dokonalém kontaktu s prostředím. Samotné měření se skládá ze tří rázů, přičemž je zjištěno zatlačení zkušební desky do zeminy. Ze zjištěných údajů je vypočtena průměrná hodnota a je dosazena do vzorce na zjištění rázového modulu deformace:

$$M_{vd} = \frac{F}{d \cdot y} \cdot (1 - \mu^2) \quad , \quad (3)$$

kde  $M_{vd}$  rázový modul deformace [MPa],  
 $F$  síla působící na desku [N],  
 $d$  průměr zkušební desky [mm],  
 $\mu$  Poissonovo číslo materiálu zkušební vrstvy [-].

Zařízení zjišťuje zatlačení zkušební desky v rozmezí 0,1 až 10 mm a je schopno vypočítat rázový modul deformace do 225 MPa.

Výhodou této zkoušky je časová nenáročnost. Provedení jedné zkoušky trvá přibližně 5 minut a tím je umožněno obsáhnout v průběhu stejného časového intervalu větší měřenou plochu oproti statické zatěžovací zkoušce. Pro transport, přípravu a měření pomocí LDD je dostačující obsluha jedné osoby. Je také vhodná pro použití v hůře dostupných místech, například pro kontrolu míry

zhutnění vrstev pražcového podloží u kontinuálně se pohybujících strojních mechanismů na výměnu železničního svršku a spodku.

Nevýhodou je zatím menší zkušenost s tímto relativně novým přístrojem a její nezahrnutí do předpisů SŽDC jako standardní zkoušky pro kontrolu kvality pražcového podloží.

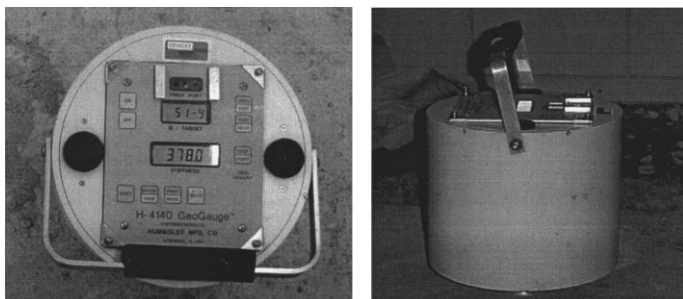
Někteří zahraniční výrobci LDD (CSM, Prima aj.) umožňují větší variabilitu jednotlivých částí zkušebního zařízení [5]. Průměr desky se může pohybovat od 100 do 300 mm. Hmotnost závaží lze použít v rozsahu 10-20 kg, a tím se velikost působícího zatížení na desku mění v rozsahu 1-20 kN. Rozdíly lze nalézt i v použitém snímači pohybu desky. Místo akcelerometru je použit geophone (příruční seizmograf).

Přídavné geophony lze použít u LDD pro rozšíření interpretace výsledků zkoušky při použití tohoto zařízení s akcelerometrem. Jeden geophone lze umístit přímo na desku a další v určité vzdálenosti od zkušební desky. Pomocí přesně definovaného rázového pulzu tak lze sledovat šíření seizmických vln ve zkoumaném prostředí [6].

#### 2.4. Geogauge

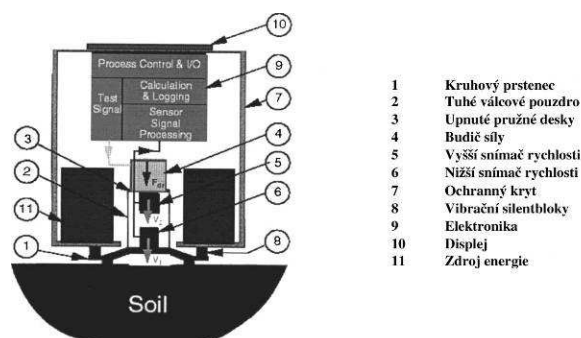
Geogauge je lehké přenosné zařízení, které umí vykonat jednoduché měření tuhosti a modulu pružnosti zemin in-situ. Zařízení váží přibližně 10 kg, je kruhového profilu o průměru 280 mm a výšce 254 mm. Zařízení je zobrazeno na obr. 4. Zařízení se pokládá na povrch zkoumané zeminy přes kruhový prstenec o vnějším průměru 114 mm a vnitřním průměru 89 mm. Na kruhovém prstenci jsou umístěny snímače rychlosti a elektromechanický budič síly. Schéma zařízení je zobrazeno na obr. 5. Zdroj napájení a obal přístroje jsou ke kruhovému prstenci připojeny přes několik gumových izolantů.

Budič síly vyvozuje sílu přibližně 9 N a zatěžuje kruhový prstenec 25 různými frekvencemi v rozsahu 100 až 196 Hz s krokem 4 Hz. Senzory snímají velikost síly působící na prstenec a jeho deformaci. Svislý pohyb kruhového prstence je menší než  $1,27 \cdot 10^{-6}$  m, proto je pohyb snímán pomocí rychlostních senzorů.



Obr. 4.: Zařízení Geogauge





Obr. 5.: Schéma zařízení Geogauge

Zařízení automaticky vyhodnotí tuhost vrstvy  $H_{SG}$  (odpor vrstvy proti výchylce kruhového prstence) pro každou z 25 frekvencí. Na displeji je zobrazena průměrná hodnota a standardní odchylka. Tuhost  $H_{SG}$  lze převést na modul pružnosti podle vzorce:

$$E_G = H_{SG} \cdot \frac{(1 - \mu^2)}{1,77 \cdot r} \quad (4)$$

kde  $E_G$  modul pružnosti [MPa],  
 $H_{SG}$  tuhost zeminy [ $\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $r$  poloměr zatěžovacího prstence [mm],  
 $\mu$  Poissonovo číslo materiálu zkoušené vrstvy [-].

Zařízení je schopno sledovat tuhost vrstvy v rozmezí 3 až 70  $\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$  a modul pružnosti v rozmezí 26 až 610 MPa při hloubce měření až 310 mm.

Geogauge je nové zařízení, vyvinuté v USA, které zřejmě nebylo doposud v ČR použito. Ve světě jsou několik let prováděna srovnávací měření s ostatními metodami, které jsou již zavedeny nebo měření, kdy je sledována změna tuhosti zeminy při měnících se fyzikálních vlastností materiálu (např. vlhkosti).

Výhodou zařízení Geogauge je lehká manipulovatelnost a jednoduchost provedení zkoušky. Z výsledků studie [7] vyplynula její vhodnost jako metoda kontroly pro podkladní vrstvy, ale též vysoká senzibilita výsledků měření v závislosti na vlhkosti prostředí

### 3. Závěr

Statická zatěžovací zkouška je v současné době jedinou zkouškou, která je v českých předpisech zahrnuta jako kontrolní metoda pro zjišťování únosnosti pražcového podloží a tedy i kontroly jeho kvality. Tato zkouška bude i přes některé své nevýhody stále základní zkouškou v železničním stavitelství v ČR. Dynamická penetrační zkouška se používá jakou doplňující zkouška při

geotechnickém průzkumu. Pro její horší aplikovatelnost výsledků se s ní nepočítá jako s široce použitelnou metodou kontroly kvality. Zařízení Geogauge má velký potenciál, především s ohledem na zatížení zkoumaného povrchu různými frekvencemi, což umožňuje získat více informací o zkoumaném zeminovém prostředí. Toto zařízení je nové a v českých podmínkách nevyzkoušené, ale je to dobrá vize do budoucnosti. Největší potenciál pro doplnění, a v některých případech i nahrazení statické zatěžovací zkoušky, má rázová zatěžovací zkouška pomocí LDD. Je to zařízení poměrně jednoduché a snadno dostupné uživatelům. Drobnou nevýhodou je zatím horší aplikovatelnost výsledků. V zahraničí i u nás probíhá řada měření pro zjišťování korelací mezi jednotlivými metodami [7, 8].

Směr, kterým by se mohla kontrola kvality podloží v železničním stavitelství v budoucnu ubírat, je možné hledat v širším použití LDD a jejím rozšíření aplikovatelnosti pomocí geophone.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory interního grantového projektu ČVUT SGS11/112/OHK1/2T/11.

## Literatura

- [1] SŽDC S4, Železniční spodek, 2008
- [2] ČSN 72 1006 *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*, ČNI, Praha, Prosinec 1998
- [3] Suchánek A.: *Dynamická penetrační zkouška DPM*, ČVUT, Praha, Květen 2008
- [4] ČSN 73 6192 *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží*, ČNI, Praha, Březen 1996
- [5] Mooney M. A., Miller P. K.: *Analysis of Lightweight Deflectometr Test Based on In Situ Stress and Strain Response*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, February 2009, pp. 199-208.
- [6] Mooney M. A., Ryden N.: *Analysis of surface waves from the light weight deflectometr*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 29, 2009, pp. 1134–1142.
- [7] Alsihbli K. A., Abu-Farsakh M., Seman E.: *Laboratory Evaluation of the Geogauge and Light Falling Weight Deflectometer as Construction Control Tools*, Journal of Materials in Civil Engineering, October 2005, pp. 560-569
- [8] Břešťovský P.: *Únosnost konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě*, JUNIORSTAV 2011, Brno, únor 2011, str. 6, ISBN 978-80-214-4232-0.

## **Kontakt**

Ing. Petr Břešťovský, tel: 224 353 868, e-mail: petr.brestovsky@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Ing. Leoš Horníček, Ph.D., tel: 224 354 754, e-mail: hornicek@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉ METODY  
PRO STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU  
MOSTNÍHO BETONU**

**POSSIBILITIES OF ULTRASONIC METHOD  
UTILIZATION FOR DETERMINATION OF BRIDGE  
CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH**

**Petr Cikrle, Dalibor Kocáb, Ondřej Pospíchal**

Ústav stavebního zkušebnictví, VUT v Brně, FAST

***Anotace:***

*Příspěvek pojednává o možnostech využití ultrazvuku při stanovení pevnosti v tlaku betonu. Vztahy mezi rychlostí šíření impulsu a pevností v tlaku se mohou lišit podle konkrétního složení betonu. Metodu lze tedy využít spíše pro odhad pevnosti v tlaku. Větší přesnosti lze dosáhnout u betonu známého složení po vytvoření vlastního kalibračního vztahu.*

***Annotation:***

*This paper deals with possibilities of ultrasonic utilization for determination of the concrete compressive strength. The relationships between pulse velocity propagation and compressive strength can differ in dependence on the concrete composition of concrete. This method can be used rather for the estimation of the concrete compressive strength. Higher accuracy can be achieved in the case of concrete with known composition after creation of the calibration relationship.*

***Klíčová slova:*** Beton, pevnost v tlaku, modul pružnosti, ultrazvuk, rychlost šíření.

***Keywords:*** Concrete, compressive strength, modulus of elasticity, ultrasonic method, pulse velocity.

## 1. Úvod

Ultrazvuková metoda je ve stavebnictví využívána již řadu desetiletí. Pro její použití při zkoušení betonu přímo v konstrukcích jsou zpracovány hned dvě platné normy – původní ČSN 73 1371 [5] a novější ČSN EN 12504-4 [6]. Jedná se o čistě nedestruktivní metodu s řadou možností využití ve stavebnictví [1]. Nejčastěji se pomocí pulsní rychlosti zjišťuje dynamický modul pružnosti, výborných výsledků lze dosáhnout také při stanovení stejnorodosti betonu prvků i celých konstrukcí. Metodu lze využít rovněž pro odhad pevnosti v tlaku.

## 2. Pevnost v tlaku z rychlosti šíření ultrazvukového impulsu

### 2.1. Obecný popis vztahu mezi pevností a pulsní rychlostí

Stanovení pevnosti v tlaku z rychlosti šíření ultrazvukového impulsu je u betonu poměrně problematické. Rychlost šíření vlnění má úzkou vazbu na hutnost a modul pružnosti materiálu. U betonu jsou tyto charakteristiky závislé zejména na vlastnostech kameniva (křivka zrnitosti, druh kameniva, fyzikální vlastnosti) a až v druhé řadě na vlastnostech tmelu (vodní součinitel, stáří betonu). Pevnost v tlaku betonu je naopak více závislá na vodním součiniteli než na druhu a složení kameniva a tmelu [5]. Vztahy mezi rychlostí šíření impulsu a pevností v tlaku se tedy mohou lišit podle konkrétního složení betonu [2]. Pro neznámý beton je odhad pevnosti pouze na základě rychlosti šíření impulsu nevěrohodný. Se vzrůstající pevností betonu také klesá přesnost i citlivost metody – vzájemný vztah pevnosti a rychlosti šíření UZ impulsu je méně přesný a navíc větší změně pevnosti v tlaku odpovídá menší změna rychlosti [3].

### 2.2. Vztahy pro pevnost v tlaku uváděné v literatuře a normách

Prakticky dodnes je citováno orientační stanovení kvality betonu podle [4], které po převodu na metrické jednotky uvádí Tabulka 1. Jedná se však pouze o hrubý odhad, který se podle konkrétního složení betonu může lišit o  $\pm 20\%$ .

Slovní hodnocení z Tabulky 1 se jen velice obtížně převádí na dnešní označení pevnostních tříd betonu. Velmi orientačně lze hodnotu 3000 m/s brát jako hranici pro třídu betonu C 8/10. Klesne-li pulsní rychlost pod hodnotu 3000 m/s, pak máme prakticky jistotu, že beton nesplňuje ani minimální požadavky pro použití v nosných konstrukcích. Naopak přesáhne-li pulsní rychlost 4000 m/s, jedná se s velkou pravděpodobností o dobrý konstrukční beton pevnostní třídy minimálně C 16/20.

Tabulka 1.: Kvalita betonu a rychlost šíření ultrazvuku [4].

Všeobecné hodnocení	Rychlost šíření ultrazvuku [m/s]
Vynikající	nad 4500
Dobrý	3700 – 4500
Diskutabilní	3000 – 3700
Špatný	2100 – 3000
Mizerný	nižší než 2100

Dosud platná norma ČSN 73 1371 [5] uvádí více možností, jak získat upřesněnou pevnost v tlaku, vyhodnocením z kalibračních vztahů:

- Z úzkého určujícího kalibračního vztahu;
- Ze širokého určujícího kalibračního vztahu;
- Z obecného kalibračního vztahu upřesněného pomocí součinitele  $\alpha$ ;
- Ze směrného kalibračního vztahu upřesněného pomocí součinitele  $\alpha$ .

Zatímco určující kalibrační vztah je vytvořen pro beton konkrétního známého složení (úzký pro jednu pevnostní třídu, široký pro více pevnostních tříd), směrné a obecné vztahy zahrnují betony různého složení (různé druhy kameniva, cementu, přísad). V poznámce pod čarou je v [5] uveden jeden z možných směrných kalibračních vztahů pro výpočet pevnosti v tlaku z pulsní rychlosti v tomto tvaru:

$$R_{be} = 9,9 v_{L3}^2 - 56 v_{L3} + 87,8 \quad (\text{rov. 1})$$

kde  $R_{be}$  je pevnost betonu, v MPa;  
 $v_{L3}$  je rychlost šíření ultrazvuku v trojrozměrném prostředí, v km/s.

Dosadíme-li do vztahu (rov. 1) klíčové hodnoty z Tabulky 1, získáme tyto výsledky:

$$\begin{array}{ll} v_L = 3000 \text{ m/s} & R_{be} = 8,9 \text{ MPa;} \\ v_L = 3700 \text{ m/s} & R_{be} = 16,1 \text{ MPa;} \\ v_L = 4500 \text{ m/s} & R_{be} = 36,3 \text{ MPa.} \end{array}$$

Vztah uvedený v (rov. 1) je třeba brát s rezervou, neboť byl vytvořen pro betony vyráběné před 30 lety, zkoušené ve stáří přibližně 14 až 56 dnů. Pro dnešní účely již nevyhovuje a ve většině případů platí, že hodnoty pevnosti v tlaku jsou ve skutečnosti vyšší, než hodnoty vypočtené podle (rov. 1).

### 2.3. Odhad pevnosti betonu z pulsní rychlosti podle ČSN EN 13791 [7]

Norma ČSN EN 13791 [7] uvádí postup pro získání charakteristické pevnosti v tlaku betonu v konstrukci nepřímými metodami, mezi něž patří odrazové tvrdoměry, ultrazvuk a stanovení síly na vytržení. Z důvodu upřesnění výsledků je nutné současně provádět zkoušky v tlaku na vývrtech. Norma popisuje dvě alternativy:

- Alternativa 1: Přímá korelace s vývrty. Vyžaduje se minimálně 18 výsledků zkoušek vývrťů;
- Alternativa 2: Kalibrace s vývrty pro vymezený rozsah pevnosti použitím stanoveného vztahu. Je zapotřebí minimálně 9 výsledků zkoušek vývrťů.

V případě alternativy 1 se kalibrační křivka získá regresní analýzou dvojic výsledků zkoušek (přímé a nepřímé stanovení pevnosti).

Pokud je počet vývrťů omezený, je nutné použít alternativu 2, jejímž základním principem je využití normové „základní křivky“, která je záměrně posunuta níže tak, aby veškeré výsledky pevnostních zkoušek na vývrtech vycházely více než podle této křivky. Ze skutečných pevností na vývrtech a pevností vypočtených podle základní křivky se vypočte posun této základní křivky, který by měl být vždy kladný. Podle takto posunuté křivky se následně provádí odhad pevnosti betonu v konstrukci na základě nepřímých měření, v našem případě ultrazvukových. Základní křivka pro rychlost šíření ultrazvuku podle [7] je:

$$f_v = 62,5 v^2 - 497,5 v + 990 \quad \text{pro } 4,0 \leq v \leq 4,8 \quad (\text{rov. 2})$$

kde  $f_v$  je odhad pevnosti v tlaku betonu, v MPa;  
 $v$  je rychlost šíření ultrazvuku, v km/s.

Pro každou další konstrukci se musí provést nový posun základní křivky a získá se tak nový vztah pro stanovení odhadu pevnosti v tlaku. Vztah je platný pouze v rozsahu od 4,0 do 4,8 km/s, takže je prakticky vyloučeno jeho využití pro betony horší kvality, které se běžně vyskytují ve starších konstrukcích. Pro takové betony je vždy nutné vytvořit vztah pomocí regresní analýzy minimálně na 18 vývrtech.

Uvedený přehled nevyčerpal všechny možnosti pro stanovení pevnosti v tlaku z rychlosti šíření ultrazvukového vlnění, zejména kombinované metody, při nichž se použije více nepřímých metod (obvykle ultrazvuk v kombinaci s některou tvrdoměrnou metodou).



### 3. Příklady stanovení pevnosti v tlaku z pulsní rychlosti

Způsoby stanovení pevnosti v tlaku z ultrazvukového měření uvedené v předchozí kapitole jsou z hlediska principu poměrně odlišné. Na dvou příkladech z praxe bychom se pokusili ukázat, zda je vůbec jejich využití reálné.

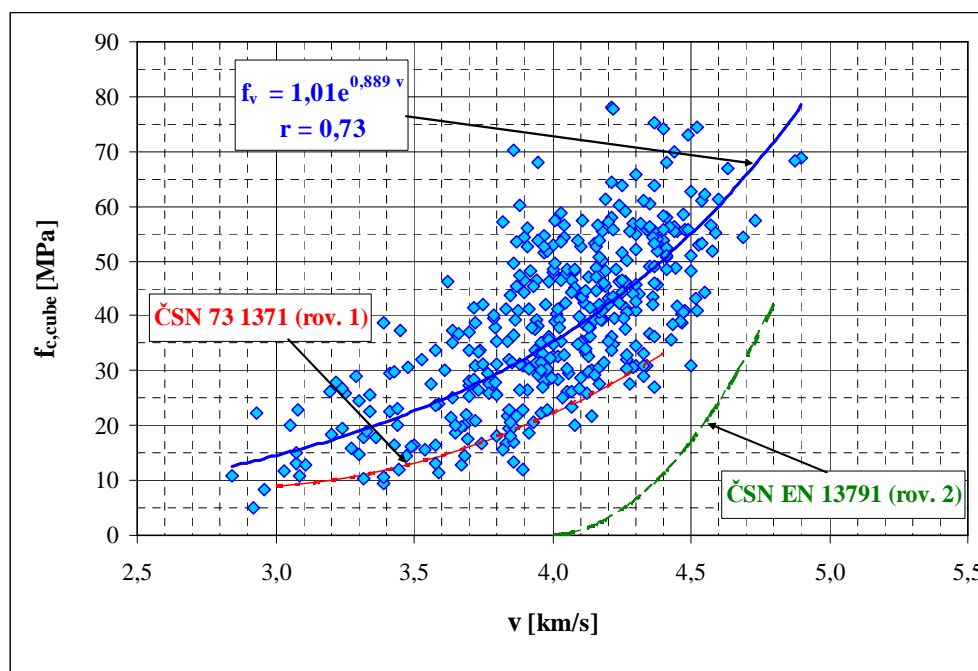
#### 3.1. Vztah získaný na vývrtech ze stávajících mostních konstrukcí

Prvním příkladem z praxe je kalibrační vztah pro pevnost v tlaku betonu stávajících mostních konstrukcí z ultrazvukové rychlosti. Pevnost v tlaku na vývrtech z různých částí mostů byla vždy přepočtena na krychelnou pevnost. Celkem bylo odzkoušeno 417 jádrových vývrťů ze 49 mostů převážně z Moravy, ale i z Čech – jedná se o výsledky získané od roku 2003 do roku 2011.

Kalibrační vztah je uveden na Obr. 1 a má tvar:

$$f_v = 1,01 e^{0,889 v} \quad \text{pro } 3,0 \leq v \leq 4,8 \quad (\text{rov. 3})$$

kde  $f_v$  je odhad krychelné pevnosti v tlaku betonu, v MPa;  
 $v$  je rychlost šíření ultrazvuku, v km/s.



Obr. 1.: Vztah mezi pevností v tlaku a rychlostí šíření ultrazvuku získaný na betonech ze stávajících mostních konstrukcí. Získaná křivka je pro srovnání doplněna křivkami podle norem [5] a [7].

Z Obr. 1 je patrné, že sice existuje statisticky významná závislost mezi oběma veličinami, ovšem součinitel korelace  $r = 0,73$  je příliš nízký na to, aby se dal kalibrační vztah obecně použít. Větší rozptyl výsledků je dán především značnou růzností betonů z hlediska druhu, velikosti zrn a obsahu hrubého kameniva.

Je zřejmé, že vztah podle (rov. 1) z normy ČSN 73 1371 [5] je posazen o něco níže (na stranu bezpečnou), neboť téměř 95 % hodnot pevnosti v tlaku leží nad touto normovou křivkou (rov. 1). Upřesněním pomocí součinitele  $\alpha$  ve smyslu [5] by však odhad pevnosti nabyl reálnějších hodnot. Diskutabilní je základní křivka (rov. 2) podle ČSN EN 13791 [7]. Ne proto, že všechny hodnoty pevností leží nad základní křivkou (rov. 2), neboť je z principu záměrně posunuta dolů. Problematický je sklon základní křivky, který je podstatně strmější než v případě vytvořeného kalibračního vztahu (rov. 3).

### 3.2. Kalibrační vztah pro nárůst pevnosti mostního betonu

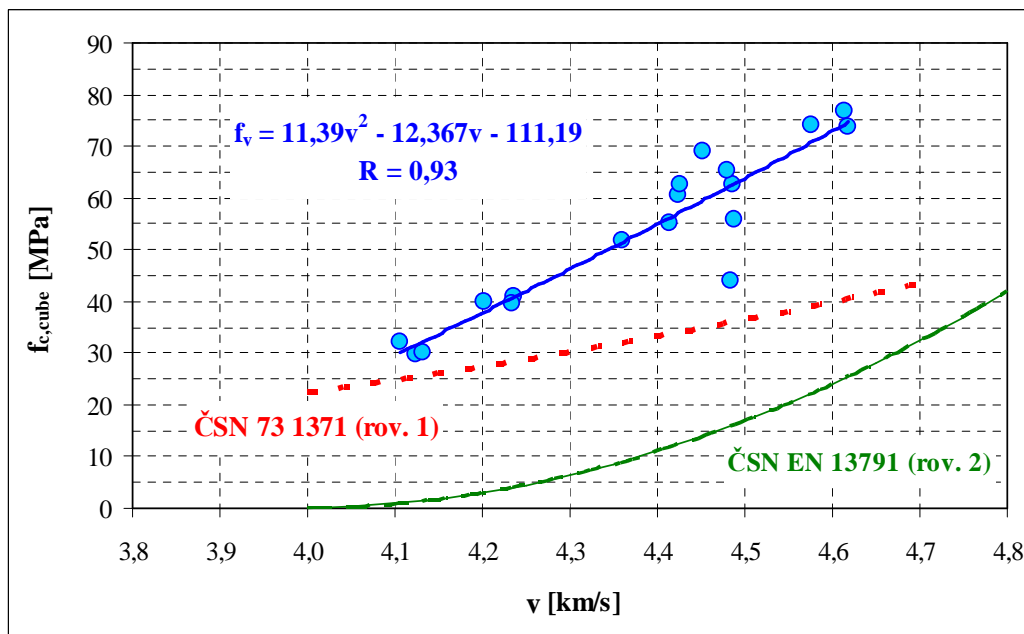
Druhý příklad z praxe se týká betonu třídy C30/37 určeného pro novou mostovku nového mostu betonovaného v září 2010. Cílem bylo vytvořit kalibrační vztah, podle něhož by mohl být přímo na konstrukci, bez možnosti vrtání, sledován nárůst pevnosti v tlaku. Pro tento účel bylo při betonáži mostovky odebráno celkem 18 ks zkušebních těles ve tvaru krychle ( $d = 150$  mm), které byly rozděleny do 6 sad po 3 tělesech. Zkoušením těchto sad v různém stáří (2, 3, 7, 14, 28 a 90 dnů) byl dosažen rozsah pevností v tlaku přibližně od 30 MPa do 75 MPa, čemuž odpovídal rozsah pulsní rychlosti ultrazvuku přibližně od 4,1 km/s do 4,7 km/s. Kalibrační vztah je znázorněn na Obr. 2. a je doplněn o křivky z norem [5] a [7].

$$f_v = 11,39 v^2 - 12,367 v - 111,19 \quad \text{pro } 4,1 \leq v \leq 4,7 \quad (\text{rov. 4})$$

kde  $f_c$  je odhad krychelné pevnosti v tlaku betonu, v MPa;  
 $v$  je rychlost šíření ultrazvuku, v km/s.

Kalibrační křivka (rov. 4) vykazuje značnou míru závislosti vyjádřenou součinitelem korelace  $r = 0,93$ . Důvodem vysoké závislosti je skutečnost, že se jedná o jeden druh betonu známého složení, kdy parametr pevnosti v tlaku se mění pouze vlivem doby zrání betonu. Při aplikaci vztahu na beton zabudovaný v konstrukci by však bylo nutné vzít v úvahu vlhkostní stav betonu, který může rychlost šíření ultrazvuku určitým způsobem ovlivnit.

Zajímavé je porovnání sklonu křivek. Na rozdíl od předchozího příkladu (starý beton) je sklon kalibrační křivky (rov. 4) výrazně strmější a lépe odpovídá základní křivce z ČSN EN 13791 [7] (rov. 2).



Obr. 2.: Vztah mezi pevností v tlaku a rychlostí šíření ultrazvuku získaný ze zkoušek v různém čase zrání mostovkového betonu třídy C 30/37. Pro srovnání je graf doplněn křivkami podle norem [5] a [7].

#### 4. Závěr

Cílem příspěvku bylo ukázat, že z pulsní rychlosti šíření ultrazvuku je možné dobře odhadnout pevnost v tlaku betonu. Obecné kalibrační vztahy však nejsou příliš přesné, neboť pulsní rychlost je výrazně ovlivňována složením betonu, zejména druhem a obsahem hrubého kameniva. Zpřesnění lze dosáhnout tvorbou vlastních kalibračních vztahů pro konkrétní beton známého složení. Při porovnání starších betonů s nově vyráběnými bylo zjištěno, že došlo ke změně vzájemného vztahu mezi pulsní rychlostí a pevností v tlaku – u moderních betonů jsou křivky výrazně strmější, což znamená, že na stejný rozdíl rychlostí připadá větší rozdíl pevností betonu. Metoda je tedy méně citlivá než tomu bylo u betonů vyráběných v minulosti.

#### Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru *MSM 0021630511* a grantového projektu *GAČR 103/09/0065*.

## Literatura

- [1] CIKRLE, P.: Nové normy pro nedestruktivní zkoušení betonu. In Non-destructive testing in engineering practice 2005. Brno, CERM, s.r.o. 2005. p. 14 - 17. ISBN 80-7204-420-6.
- [2] CIKRLE, P.; BÍLEK, V.: Modul pružnosti vysokopevných betonů různého složení. Beton TKS. 2010. 2010(5). p. 40 - 44. ISSN 1213-3116.
- [3] CIKRLE, P.; KOUKAL, J.: Zkoušení vysokopevnostních betonů odrazovými tvrdoměry a ultrazvukem. In Workshop NDT 2006. Brno, VUT FAST v Brně. 2006. p. 10 - 12. ISBN 80-7204-487-7.
- [4] LESLIE, J. R.; CHEESEMAN, W. J.: An ultrasonic method for studying deterioration and cracking in concrete structures. Amer. Concrete Inst., Proceedings. Vol. 46. Sept. 1949. p. 17 - 36.
- [5] ČSN 73 1371: Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu. ÚNM, 1981.
- [6] ČSN EN 12504-4: Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu. ČNI, 2005.
- [7] ČSN EN 13791: Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. ČNI, 2007.

## Kontakty

Ing. Petr Cikrle, Ph.D., tel: 541 147 814, e-mail: cikrle.p@fce.vutbr.cz,  
Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Dalibor Kocáb, tel: 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz,  
ÚSZK FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ondřej Pospíchal, e-mail: pospichal.o@fce.vutbr.cz, tel:  
541 147 811, ÚSZK FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

**METODIKA STAVEBNĚ TECHNICKÝCH  
PRŮZKUMŮ INŽENÝRSKÝCH STAVEB**

**METHODOLOGY OF STRUCTURAL TECHNICAL  
INVESTIGATION OF ENGINEERING STRUCTURES**

**Jana Daňková, Vojtěch Mencl**

Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství,  
Fakulta stavební, VŠB – TU Ostrava

***Anotace:***

*Metodika průzkumu a hodnocení staveb v systému norem pro navrhování konstrukcí. Postup průzkumu dle současných doporučení evropských norem, poznatků stavebního zkušebnictví a řízení kvality ve stavebnictví.*

***Annotation:***

*Methodology of inspections and evaluations of engineering structures in the system of standards for structural design. Procedures for inspections according to current recommendations of European standards, recommendations of testing methods and quality management in civil engineering.*

***Klíčová slova:*** průzkum , hodnocení, řízení kvality

***Keywords:*** investigation , assessment , quality management

## 1. Úvod

Zájem převážné většiny stavebně technických průzkumů je soustředěn na průzkum a následné hodnocení stavu nosných konstrukcí staveb. Tento postup je podporován řadou metodických pokynů a norem. V praxi vyžaduje souběh požadavků na průzkum a hodnocení úzkou součinnost autorizovaného inženýra ve specializaci Zkoušení a diagnostika staveb s autorizovaným inženýrem v oboru Statika a dynamika staveb. Jak vyplývá z postupu předběžného a podrobného hodnocení je úzká spolupráce oborů předpokladem pro účelný a hospodárný průběh průzkumu a hodnocení. Cílem příspěvku je popořit průzkum a hodnocení celých staveb jako funkčních celků, které zahrnují mimo jiné i funkční díly technologických zařízení nezbytných pro provoz stavby. Jak ukazují příklady z praxe tento přístup vede k možné optimalizaci životnosti a spolehlivosti staveb.

## 2. Systémy pro průzkum a hodnocení staveb

Problematika managementu životnosti a spolehlivosti nosných konstrukcí je předmětem výzkumu a jeho výsledky jen obtížně pronikají do evropských předpisů [ 1 ]. Výjimkou je základní norma pro navrhování konstrukcí ČSN EN 1990 : ed.2.2011 uvádějící zásady managementu spolehlivosti **konstrukcí** ( čl.2.2.) s odkazem na management kvality (čl.2.5.) Tato ustanovení normy doplňuje informativní příloha B, která je věnována managementu spolehlivosti **staveb** . Je zřejmé, že definice tříd následků (tab.B.1) poruchy nebo funkční nezpůsobilosti konstrukce je vázána na zařazení celých staveb jako funkčních celků. Cílem managementu kvality a kontrolních opatření je vyloučit poruchy způsobené hrubými chybami (tab.B.4), (tab.B.5) při návrhu a výstavbě.

Pro jednotlivé typy staveb jsou charakteristické vady a poruchy, které vznikají na základě tradiční skladby funkčních dílů a podmínek působení zatížení a prostředí. Prvotní vady a následné poruchy postupně vytvářejí **řetězce vad a poruch**, které vyvolávají procesy degradace navazujících funkčních dílů. Nedostatečné znalosti návaznosti degradačních procesů mohou vést k chybným závěrům o spolehlivosti jednotlivých funkčních dílů stavby ( např. závažná poškození vodotěsnosti mostních závěrů vedoucí poškození kotevních oblastí nosné konstrukce, ložisek a úložných prahů).

Cílem nově budovaných systémů pro hodnocení staveb je získání údajů periodického průzkumu a hodnocení provozuschopnosti stavby. Systém následně umožňuje stanovit rizika ukončení provozu stavby a ohrožení uživatelů, modelování variant a četnosti údržby a oprav, odhad nákladů na nutnou údržbu a opravy, případně modernizaci. Jako příklad komplexního hodnocení na základě posouzení rizik je možno uvést metodu REMAB ( Reconstruction and

Maintenance of Buildings ) pro soubor starších městských budov [2]. Užití metody umožňuje optimalizaci technickoekonomických charakteristik životního cyklu stavebního díla [3].

### 3. Metodika průzkumu a hodnocení staveb

Cílem metodiky je výběr osvědčených postupů k dosažení efektivního a hospodárneho výsledku průzkumu a hodnocení s přijatelným rizikem chybných výsledků. Obecný model průzkumu a hodnocení staveb lze chápat jako řízený **technický proces** v systému managementu kvality s uplatněním mezioperačních kontrol a zpětné vazby [4]. Při tvorbě metodiky lze doporučit kriticky posoudit proces průzkumu z následujících hledisek :

- Doporučené normy a jejich vývoj v jednotném systému navrhování staveb, tedy v současnosti v soustavě Eurokódů, pro hodnocení staveb reprezentované normou ČSN ISO 13822. .
- Úroveň dokumentace a podkladů zahrnující rovněž doklady o kvalitě vstupů a technologií, provozní řád stavebního objektu, doklady o údržbě a revizích,
- Úroveň návrhu stavby a technologických procesů na základě míry uplatnění systému prevence vzniku vad a poruch.
- Procesy degradace staveb a úroveň jejich modelování na základě znalostí o průběhu degradační křivky materiálu nebo funkčního dílu. Doporučené postupy jsou uvedeny v TP MD 175.
- Kritické materiály, dílce a konstrukce , které výrazně snižují parametry spolehlivosti stavby.
- Využití osvědčených metod stavebního zkušebnictví s průkazem spolehlivosti výsledků ( opakovatelnost a reprodukovatelnost zkoušek, nejistoty měření, metrologie apod.)
- Znalosti o stavu technologických zařízení nezbytných pro provoz stavby.
- Respektování nových požadavků na stavby ( zatížení, prostředí, hospodárnost provozu ).

Při posouzení výsledků průzkumu z těchto hledisek možno zpracovat kvalifikovaný závěr hodnocení a doporučení pro další postup. Je vhodné vyjádřit se nejen k neodkladným rozhodnutím pro provoz stavby, ale zejména ke strategii prohlídek a údržby [5].

#### **4. Závěr**

Význam průzkumů staveb možno posuzovat dle jejich uplatnění v praxi a jejich přínosu k rozvoji oboru navrhování konstrukcí. Společenské požadavky velmi často preferují obnovu existujících staveb při zachování tradičního vzhledu. Obdobně jako při rozvoji nedestruktivních zkušebních metod v polovině minulého století je nezbytné systematicky budovat teoretickou základnu oboru

#### **Literatura**

- [1] TEPLÝ, B.: Management životnosti a spolehlivosti konstrukcí. Čas. Beton TKS,č.2,roč.2010,p.6-8.,
- [2] MIKŠ, L., MENCL, V., a kol. : Údržba a rekonstrukce starších městských budov. Učební text VŠB TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1137-5
- [3] MIKŠ,L.,TICHÁ, A., a kol. : Optimalizace technickoekonomických charakteristik životního cyklu stavebního díla. Akademické nakladatelství CERM,Brno,2008, ISBN 978-80-7204-599-0
- [4] MENCL,V.,NOVÁK,J. a kol.: Řízení jakosti ve stavebnictví.ČKAIT,Praha,2002,ISBN 80-86426-12-2
- [5] ŠMERDA,Z. a kol.: Životnost betonových staveb. ČKAIT,Praha,1999,ISBN 80-902697-8-8

#### **Kontakt**

Ing. Jana Daňková, tel. 597 321 322, e-mail: jana.dankova@vsb.cz,  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství,Fakulta stavební,VŠB TU  
Ostrava,ul.Ludvíka Podéštně 17/1875, 708 33 Ostrava- Poruba

Doc.Ing.Vojtěch Mencl , tel.597 321 952 , e-  
mail:vojtech.mencl@vsb.cz,Katedra stavebních hmot a hornického  
stavitelství,Fakulta stavební VŠB TU Ostrava,.



## KONCEPCE ZKOUŠENÍ BETONŮ S EXTRÉMNÍ DOBOU EXPLOATAČE

### THE CONCEPT OF TESTING OF CONCRETE WITH EXTREME LONG TERM OF EXPLOITATION

**Rostislav Drochytka, Jiří Bydžovský, Amos Dufka**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav technologie hmot a dílců

***Anotace:***

*Článek se zabývá problematikou koncepčního přístupu k vývoji a testování životnosti betonů, u kterých je požadována extrémní trvanlivost. Typickým příkladem tohoto typu betonů jsou betony určené pro realizaci úložišť jaderného odpadu. U těchto betonů přesahuje požadavek na jejich předpokládanou životnost stovky let.*

***Annotation:***

*The article deals about the conceptual approach to test the durability of concrete where extreme durability is required. A typical example of this type of concrete pads are designed for the implementation of nuclear waste. Required service life of these concrete exceeds hundreds of years.*

***Klíčová slova:*** *Úložiště jaderného odpadu, extrémní doba exploatace, beton s extrémní životností, působení vnějšího prostředí.*

***Keywords:*** *Storage of nuclear waste, extreme exploitation time, concrete with extreme durability, effect of the external environment*

## 1. Úvod

Mezi zásadní otázky související s jadernou energetikou patří nakládání se vznikajícím radioaktivním odpadem. Přesto, že aktivita vyhořelého paliva je příliš nízká pro provoz současných reaktorů, je nutno toto vyhořelé palivo z hlediska životního prostředí klasifikovat jako odpady vysoce aktivní, a je tedy nutno je izolovat od okolního prostředí. V obecné rovině lze konstatovat, že k oddělení radioaktivních odpadů od okolního prostředí se využívají jak umělé (tzv. inženýrské), tak přírodní bariéry. Inženýrské bariéry jsou tvořeny jednak vlastní konstrukcí úložiště, způsobem ukládání odpadů do úložiště a dále pak obalem nebo maticí, do nichž jsou odpady vloženy a ukládány. Prvním typem opatření je fixace radionuklidů v odolné a stabilní formě. Vysoceaktivní odpady jsou vázány např. pomocí borosilikátového skla, případně keramiky apod. Druhou bariérou úložiště je obal, do kterého se jaderný odpad umístí. U vysoceaktivních odpadů je to zpravidla silnostěnný ocelový, měděný příp. betonový kontejner. Z hlediska eliminace radioaktivních odpadů sehrává ovšem klíčovou roli především bariéra, která je tvořena vlastní konstrukcí úložiště. Zpravidla se jedná o železobetonovou konstrukci, které je realizována buď z prefabrikovaných dílců, častěji pak jako monolitická. Z hlediska konstrukčního uspořádání vlastního úložiště je rovněž velmi významná skutečnost, že v současnosti ukládaný jaderný odpad vykazuje vysoký potenciál pro opětovné využití v budoucnu (rozvoj technologií jaderných reaktorů atd.). Těmito skutečnostmi jsou tedy determinovány základní požadavky na konstrukci úložiště [6].

Úložiště jsou obvykle realizována důlním způsobem v kompaktním horninovém masivu, a to v hloubkách pohybujících se v řádech stovek metrů pod povrchem terénu. Vlastní konstrukce úložiště je štola příp. štoly se světlým průřezem 50-150 m<sup>2</sup> s ostěním z betonu na bázi portlandského cementu. Zpravidla je používán beton „běžných“ pevnostních tříd, tedy zpravidla tříd C20/25 příp. C30/37 vyztužený betonářskou výztuží

## 2. Faktory limitující životnost betonů jaderných úložišť

Je zřejmé, že u betonů u kterých je předpokládána extrémní životnost, je nutno k analýze faktorů ovlivňujících jejich životnost přistoupit daleko komplexnějším způsobem, než v případě betonů určených pro „běžné“ stavby. Toto lze dokumentovat skutečností, že u průmyslových staveb se předpokládaná doba životnosti pohybuje mezi 20 až 50 roků u průmyslových staveb, u obytných staveb se pak doba životnosti předpokládá v intervalu 50 až 100 roků. V případě úložiště jaderného odpadu je ovšem situace diametrálně odlišná, a to vzhledem k faktu, že se předpokládá velmi dlouhá doba deponace radioaktivního odpadu.

Tímto faktem je pak pochopitelně determinován požadavek na enormně vysokou životnost samotného betonu.

V obecné rovině pak faktory limitující životnost úložiště shrnout do tří majoritních aspektů:

- vlivy vnějšího okolního prostředí. Jedná o působení agresivních kapalin či plynů pronikajících do struktury betonu z vnějšího prostředí.
- působení deponovaného jaderného odpadu. V důsledku samovolných reakcí probíhajících v uskladněném odpadu dochází nejen ke vzniku ionizujícího záření, ale může též docházet k vývinu poměrně značného množství tepla.
- zatížení vyvozované okolní zeminou. Při konstrukci úložiště jen nutno počítat s nepředvídatelnými událostmi, jako například zemětřesení apod.

Má-li být dosaženo maximální životnosti je nutno při projektovém návrhu úložiště fundovaným způsobem zohledňovat podmínky, ve kterých má být konstrukce exploatována..

### **3. Konceptní přístup k predikci betonů s extrémní životností**

U betonů pro „běžné“ typy železobetonových konstrukcí je predikce jejich životnosti v konkrétních podmínkách exploatace zpravidla deklarována většinou empiricky, a to na základě výsledků zkoušek vybraných parametrů betonu. Jedná se o stanovení souboru zvolených parametrů betonu, a to především o stanovení jeho pevnostních parametrů, jeho mrazuvzdornosti, odolnosti vůči působení CHRL atd. V případě, že existuje riziko, že betony budou vystaveny působení chemických látek je jejich odolnost stanovována většinou tak, že zkušební vzorky jsou vystaveny působení vybraných typů agresivních látek definovanou dobu. Míra agresivity prostředí je hodnocena na základě komparace parametrů exponovaných těles s parametry těles referenčních. Klasifikace chemické agresivity prostředí vůči betonu je definována normou ČSN EN 206-1 atd. Dalším z přístupů, kterými lze predikovat životnost betonů je aplikace matematických modelů. Efektivním způsobem pro predikci životnosti betonů je kombinace obou způsobů.

Je zřejmé, že v případě betonů pro jaderná úložiště je nutno tyto „klasické“ přístupy modifikovat s ohledem na požadovanou extrémní trvanlivost. Dominantní roli v tomto případě pochopitelně sehrávají poznatky získávané matematickými modely. Aby tyto modely byly v maximální možné míře relevantní, je nezbytné získat a aplikovat korektní vstupní údaje. Na rozdíl oproti betonům pro „běžné“ konstrukce je nutno například detailněji analyzovat kapilárně pórovitou strukturu betonu, a to nejen v povrchových vrstvách betonu,

ale vzhledem k předpokládané extrémní době exploatace i v betonu tvořícího „vnitřní masu“ stěny. Klíčovou roli rovněž sehrává charakter cementové matrice, a to především její chemické a mineralogické složení. Má-li být dosaženo maximální životnosti je nutno při návrhu receptury betonu fundovaným způsobem zohledňovat podmínky, ve kterých má být konstrukce exploatována. Z hlediska životnosti úložiště pochopitelně sehrává pochopitelně zásadní roli i jeho konstrukční uspořádání.

Do skupiny opatření, která je možno využít pro omezení účinku vnějšího prostředí na konstrukci úložiště je vyplnění prostoru mezi horninovým masivem a vlastním ostění úložiště bentonitem. Tento postup je v souladu s výzkumy renomovaných pracovišť [např. 2,3].

Ústav THD se podílí na vývoji betonů určených pro jaderná úložiště. Vzhledem k extrémním nárokům na trvanlivost těchto betonů jsou předmětem prováděného výzkumu například tyto aspekty zkoušení:

### **3.1. Analýza odolnosti betonů vůči působení agresivních látek**

Jak již bylo zmíněno je testování odolnosti betonů vůči působení chemicky agresivních prostředí je založeno na komparaci vlastností referenčního betonu a těles exponovaných ve zkušebních prostředích. Při volbě zkušebních prostředí jsou akcentovány podmínky exploatace konstrukce. Je zřejmé, že doba expozice betonů ve zkušebních prostředích je podstatně nižší, než doba expozice v reálných podmínkách. V případě zkoušení betonů pro konstrukce s požadavky „běžnou“ životností je tento fakt eliminován tím, že koncentrace agresivních látek ve zkušebních prostředích je řádově vyšší. U betonů pro jaderná úložiště ovšem tento přístup dostatečný není. Prostředkem, který umožňuje alespoň částečně kompenzovat skutečnosti související s požadavky na extrémní životnost betonů je vtlačení agresivního média do jejich kapilárně pórové struktury pod tlakem. Tímto způsobem je urychlováno pronikání agresivní látky do betonu a migrace jeho strukturou. Jsou tak akcelerovány reakce mezi agresivními látkami a cementovou maticí. Jednou z efektivních možností, kterou lze zajistit tlakovou penetraci kapalných agresivních roztoků do struktury betonu je úprava stolice pro stanovení vodotěsnosti betonu. Následně pak lze postupovat postupem inspirovaným ustanoveními normy ČSN 731321, kdy zkušební roztok působí na povrch testovaného betonu danou dobu zvoleným tlakem. U takto exponovaných vzorků jsou pak ve zvolených časových krocích (např. s periodou 6 měsíců) prováděny zkoušky změn jejich fyzikálně mechanických a především pak fyzikálně chemických charakteristik.

### 3.2. Analýza interakcí mezi cementovou maticí a bentonitem

Bentonit je materiál, který je tvořen sodnými příp. draselnými hydratovanými hlinitokřemičitany. Bentonity se vyznačují vysokou afinitou k vodě a snadno tedy hydratují tzn. ji adsorbují bez poškození krystalové struktury. Tuto vlastnost lze ilustrovat například na montmorillonitu, u kterého dochází k hydrataci kationů ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ) včleněných do struktury mezi sousední vrstvy. Vnikání vody mezi vrstvy způsobuje tlak bobtnání krystalu.

Z hlediska životnosti železobetonových konstrukcí s „běžnou“ životností chráněných bentonitovým zásypem sehrává roli především fakt, že částice bentonitu jsou vodou transportovány kapilárně pórovitým systémem do struktury betonu. V důsledku působení vlhkosti zvětšují svůj objem a „utěšňují“ tak kapilárně pórovitou strukturu a tím výrazně omezují pronikání agresivních látek do betonu.

Vzhledem k chemickému a mineralogickému složení bentonity vykazují potenciál, že při dlouhodobé expozici ve vysoce alkalickém prostředí cementové matrice mohou vstupovat do reakcí, jejichž produktem budou především kalciumhydrosilikátové fáze. Tyto reakce byly prokázány četnými vědeckými pracemi, např. [2, 3]. Kalciumhydrosilikátové fáze patří mezi složky cementové matrice, které vykazují vysokou odolnost vůči působení agresivních látek.

Z uvedeného je tedy zřejmé, že v případě úložišť jaderného odpadu tedy mohou být interakce mezi bentonitem a cementovou maticí být z hlediska životnosti těchto konstrukcí velmi významné. Vzhledem k těmto skutečnostem je tedy probíhající výzkum zaměřen do těchto oblastí:

- Zda a v jaké míře bentonit proniká do struktury betonu. Migrace bentonitu do masy betonu je determinována řadou faktorů (především strukturou pórového systému betonu, charakterem částic bentonitu, distribucí vlhkosti, dobou interakce atd.),
- Zda a v jaké míře dochází k reakcím mezi bentonitem a cementovou maticí betonu. Míra a intenzita reakcí mezi bentonitem a cementovou maticí je ovlivňována řadou faktorů (především chemickým a mineralogickým složením složek, přítomností vlhkosti, dobou působení atd.).
- Zda a v jaké míře přítomnost bentonitu v kapilárně pórové struktuře betonu ovlivňuje jeho odolnost vůči působení chemicky agresivních prostředí.

Analogicky jako v předchozím případě je pro urychlení vnikání a migrace kapilárně pórovitým využíváno tlakové působení bentonitu na povrch betonu.

#### 4. Závěr

Článek se zabývá problematikou predikce životnosti betonů určených pro hlubinná úložiště jaderného odpadu, tj. betonů, u kterých jsou enormní požadavky na jejich životnost. Analyzuje některé odlišnosti v přístupech testování těchto typů betonů a betonů určených pro realizaci „běžných“ typů staveb. Je zřejmé, že u betonů, u kterých je předpokládána životnost v řádu stovek resp. tisíců let sehrávají při predikci jejich životnosti zásadní roli především poznatky získávané matematickými modely. Aby tyto modely byly korektní, je nezbytné zajistit co nejpřesnější vstupní údaje (tj. zejména popsat chemismus cementové matrice, kapilárně pórovitou strukturu betonu atd.). Tyto údaje jsou získávány experimentálně a to je další z aspektů, na které je článek zaměřen.

Vývoj betonů pro jaderné úložiště není ukončen a Ústav THD se bude i nadále podílet na dalším výzkumu.

#### Poděkování

Práce byla řešena s podporou projektu GAČR 103/09/1935 Studium dlouhodobé stability mikrostruktury cementových kompozitů pro hlubinné úložiště jaderného odpadu.

#### Literatura

- [1] BALEK, M. BENES, Z. MALEK, G. MATUSCHEK, A. KETTRUP, S. YARIV: Emanation thermal analysis study of Na-montmorillonite and montmorillonite saturated with various cations *J. Therm. Anal.* 83 (2006), 617,
- [2] GAUCHER, E.C, BLANC, P.: Cement/clay interactions – A review: Experiments, natural analogues, and modeling, *Waste management* 26 (2006), available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com),
- [3] GAUCHER, E.C, BLANC, P.: Modeling diffusion of an alkali plume in clay barrier, *Applied Geochemistry*, available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com),
- [4] BALEK, D. LI, J. SUBRT, E. VECERNIKOVA, S. HISHITA, T. MITSUHASHI, H. HANEDA: Characterization of nitrogen and fluorine co-doped titania photocatalyst: Effect of temperature on microstructure and surface activity properties *J. Phys. Chem. Solids* 68 (2007),
- [5] PEREZ-MAQUEDA, J. POYATO, Z. CERNY, V. RAMIREZ-VALLE, I. M. BUNTSEVA, J. L. PEREZ-RODRIGUEZ: Effect of grinding on thermal reactivity of ceramic clay minerals *J. Therm. Anal.* 88 (2007), 87,

- [6] DROCHYTKA, R, BYDŽOVSKÝ, J. DUFKA, A: Influence of bentonite powders on durability of concrete for nuclear waste storages, In Sanace a rekonstrukce staveb 2010 - sborník příspěvků, Brno, WTA CZ. 2010. p. 239 - 245. ISBN 978-92-871-6498-8.
- [7] DROCHYTKA, R, BYDŽOVSKÝ, J. DUFKA, A: Vývoj betonů určených pro realizaci podzemních úložišť jaderného odpadu, VII. odborná konference Maltoviny 2009, Brno,

## **Kontakt**

Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., tel: 00420 541 147 501, e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno,

Doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc., tel: 00420 541 147 505, e-mail: bydzovsky.j@fce.vutbr.cz, Ústav technologie hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno,

Ing. Amos Dufka, Ph.D., tel: 00420 541 147 823, e-mail: dufka.a@fce.vutbr.cz, Ústav technologie hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno,

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



## CHOVÁNÍ TRÁMOVÝCH PRVKŮ Z VLÁKNOBETONU S POLYMEROVÝMI VLÁKNY PŘI DLOUHODOBÉM ZATÍŽENÍ

### BEHAVIOUR OF BEAM MEMBERS OF FIBRECONCRETE REINFORCED BY POLYMER FIBERS WITH LONG TERM LOADING

Josef Fládr <sup>1</sup>, Jiří Krátký <sup>1</sup>, Jan Vodička <sup>1</sup>,  
Jiří Lukš <sup>2</sup>, Karel Šeps <sup>1</sup>

1 - ČVUT v Praze, Fakulta stavební,  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

2 - VŠB-TU Ostrava, FAST,  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

***Anotace:***

*Betony s náhodně rozptýlenými vlákny na bázi polymerů s nízkým modulem pružnosti tzv. vláknobetonu, vykazují zlepšené přetvárné schopnosti a přenášet tahové síly i po vzniku trhlin. V neporušeném vláknobetonovém prvku polymerová vlákna omezují vznik trhlin velmi malou měrou, neboť mají velmi malý modul pružnosti, ale po vzniku trhliny vlákna přebírají veškerý tah v oblasti vytvořené trhliny.*

***Annotation:***

*Concrete with randomly dispersed fiber-based polymers with low modulus of elasticity of fiber known, exhibit improved deformation properties and the ability to resist tensile forces after cracking. In uncracked polymer fibre concrete member polymer fibres reduce cracking very little, because of their low modulus of elasticity, but after cracking fibers sustain all the tension in the area of created crack.*

***Klíčová slova:*** vláknobeton s polymerovými vlákny, deformační vlastnosti, zkouška v tahu za ohybu, dlouhodobě působící zatížení, vznik makrotrhliny

***Keywords:*** fibreconcrete with polymer fibres, deformation properties, bending test, long term loading, macrocracking

## 1. Úvod

Polymerová vlákna jsou vyráběna ze syntetických materiálů typu polypropylen a polyetylen, přičemž jejich vnitřní struktura vykazuje určité odlišnosti oproti např. ocelovým vláknům. Měření dlouhodobých přetvárných vlastností (tzv. dotvarování) syntetických vláken je předmětem výzkumu, který započal ve spolupráci ČVUT v Praze, Fakulty stavební a Fakulty stavební VŠB - TU v Ostravě koncem roku 2010.

## 2. Základní charakteristika zkoušek

Pro zkoušku deformačních vlastností polymerových vláken byly připraveny, rozřezáním základního tělesa 155x155x800 mm, čtyři vzorky ve tvaru trámku o rozměrech 75x75x800 mm. Betonová matrice je tvořena prostým betonem pevnostní třídy C 50/60 podle ČSN EN 206-1 při přidání 1 % objemu vyráběných polymerových vláken k objemu betonu.

Z vyráběných typů polymerových vláken, které lze v současnosti užít pro výrobu vláknobetonu, byla pro zkoušku vybrána vlákna FORTA FERRO (FF), BENESTEEL (BS), STRUX (D) a navíc též vlákna řezaná z odpadových PET lahví (0,7% objemu těchto vláken).

Zkoušky v tahu za ohybu byly při rozpětí trámku  $L = 600$  mm prováděny na lisu EU 40 s grafickým snímáním zatížení a deformace podle Obr. 1.



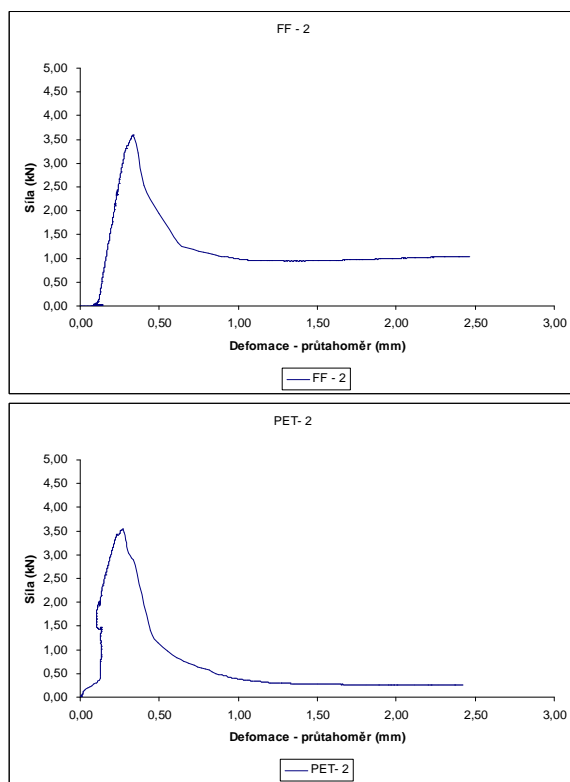
*Obr. 1.: Zkouška ohybem vzorku s třibodovým zatížením  
(prostý nosník zatížený uprostřed)*

První vzorky ze čtyř nařezaných trámků (tj: FF-1, BS-1, D-1 a PET-1) byly využity pro navržení dlouhodobého zatížení všech dosud zkoušených vzorků č. 2 (viz. Tab. 1). Pro získání potřebných deformačních charakteristik byl u všech uvedených vzorků sledován průhyb vzorku ohybem na lisu při vzniku makrotrhliny a dále průhyb při aktivaci vláken v trhlině, které se projevuje vzrůstem popřípadě neklesáním reziduální odolnosti vzorků při zatížení. Dále u vzorku č. 1 pokračovalo zatěžování lisem až do průhybu 10 mm, při němž byl už vzorek silně porušen, neboť rozevření makrotrhlin dosáhlo šířky 5 mm, takže vzorky č. 1 nemohli být dlouhodobě zatěžovány.

U vzorků č. 2 bylo zatěžování lisem ukončeno při max. průhybu 2,5 mm a šířce trhliny max. 1,3 mm. Grafické průběhy ohybových zkoušek vzorků č. 2 ukazují dosažená zatížení při vzniku makrotrhliny a jejich reziduální odolnost zajištěnou v tahové trhlině použitými vlákny (např. pro vlákna FF-2 a PET-2, viz Obr. 2).

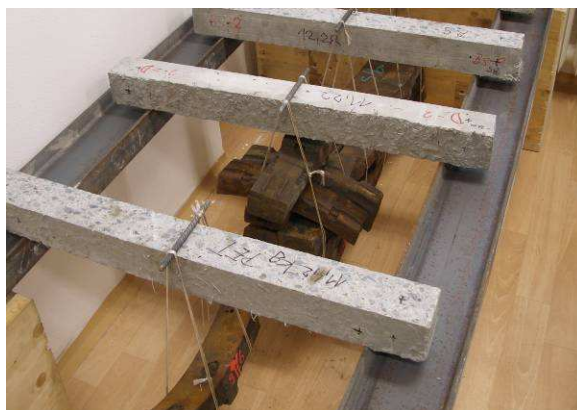
Tabulka 1.: Deformace (průhyb) vzorků při tříbodovém zatížení.

V l á k n a	V z o r e k č.	Průhyb na lisu při zatížení vzorku ohybem		Navrže- né dlouho- dobé břemeno hmot- nosti	Průhyb vzorku na podepřené konstrukci					
		Při vzniku makro- trhliny	Při aktivaci vláken v trhlině		Před	Po			Zavě- šení bře- mene	Dnech
					Zatíže- ním	25	80	132		
		[mm]	[mm]		[kg]	[mm]				
FF	1	0,36	1,25	-						
	2	0,24	1,00	52,1	0,91	1,63	2,15	3,30	3,70	
BS	1	0,33	1,15	-						
	2	0,25	1,10	49,2	0,72	1,70	1,75	1,80	2,25	
D	1	0,46	1,20	-						
	2	0,39	1,15	81,4	0,49	0,82	0,86	0,95	1,20	
PET	1	0,52	1,75	-						
	2	0,25	1,05	9,4	0,88	1,05	1,10	1,20	1,95	



Obr. 2.: Graf zatížení – průhyb vzorků: FF-2(nahoře), PET-2 (dole)

Vzorky č. 2 po odlehčení lisu byly přemístěny na podpůrnou konstrukci zajišťující stejné rozpětí (600 mm) trámců, kde byly zatíženy bezpečně navrženým závažím podle použitých vláken. Tato vlákna jsou pak v makrotrhlině vystavena dlouhodobě působícímu konstantnímu namáhání (viz. Obr. 3).



Obr. 3.: Zatížení vzorků č. 2 dlouhodobě působícím zavěšeným závažím

---

Průběh změn průhybu u všech vzorků č. 2 umístěných na podpěrné konstrukci před i po zavěšení závaží, jakož i časový růst průhybu během dosaženého dosavadního měření po 25, 80, 132 dnech je uveden v Tab. 1.

### **3. Experimentální část zkoušek**

Experimentální část zkoušek není dosud uzavřena a proto příspěvek informuje jen o dosavadních výsledcích a etapách dlouhodobých zkoušek trámek s polymerovými vlákny. Z tohoto důvodu nejsou v příspěvku uvedeny všechny podrobnosti o zkouškách a ani metodika stanovení dlouhodobého zatížení trámek.

### **4. Závěr**

Získat informace o deformačních vlastnostech polymerních vláken a jejich hodnocení se ukazuje jako nezbytné. Výrobci vláken se omezují ve vydaných certifikátech pouze na základní informace o vláknech, tj. geometrii, pevnost, hmotnost, modul pružnosti apod. Informace o přetvárných vlastnostech (dotvarování) chybí, přestože je to jejich nezanedbatelná charakteristika.

Ve struktuře vláknobetonu mají vlákna mimo jiné vliv na jeho duktilitu, po vzniku makrotrhliny, tj. mezní přetvoření při únosnosti vzorku. Snížená duktilita vláknobetonu vede k menší únosnosti prvku při větší dlouhodobé deformaci. Dlouhodobá duktilita vláknobetonu je značně závislá na použitých polymerových vláknech a to, i když uvedené výsledky zkoušek jsou teprve začátkem měření přetvořitelnosti těchto vláken, takže z nich nelze zatím vyvozovat konečné závěry.

### **Poděkování**

Příspěvek byl vypracován z podnětu při řešení grantů GA ČR č. 103/09/1778 a 103/09/2039 a za podpory GA ČR č. 104/10/1778.

### **Literatura**

- [1] VODIČKA, J., VÝBORNÝ, J., HANZLOVÁ, H.: Vliv různých typů syntetických vláken na duktilitu vláknobetonu vyrobeného s využitím betonového recyklátu. Sborník RECYCLING 2011, Brno 2011, str. 38-43, IBSN 978-80-214-4253-5.

- [2] HANZLOVÁ, H., ŠEPS, K.: Vlákno-beton z recyklátů a syntetických vláken. Sborník mezinárodní konference Waste utilization, recycled materials in building industry. Praha 2011, str. 53-58, IBSN 978-80-01-04734-7.
- [3] LUKŠ, J., VODIČKA, J., KRÁTKÝ, J.: Mechanické vlastnosti vláken z odpadových PET lahví zakotvených v cementové matrici. Sborník 14. Mezinárodní konference- Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky, str. 111-116, IBSN 978-8087397-02-2.

## **Kontakt**

Ing. Josef Fládr, tel: +420 224 354 624, e-mail: josef.fladr@fsv.cvut.cz,  
Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze,  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

doc. Ing. Jiří Krátký, CSc., tel +420 224 354 677, e-mail:  
jiri.kratky@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta  
stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

doc. Ing. Jan Vodička, CSc., tel: +420 224 354 622, e-mail:  
jan.vodicka@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta  
stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Ing. Jiří Lukš, Ph.D., tel: +420 596 991 958, e-mail: jiri.luks@vsb.cz,  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, FAST VŠB-TU Ostrava,  
Ludvíka Podéště 1875, 708 33 Ostrava - Poruba

Ing. Karel Šeps, tel: +420 224 354 624, e-mail: karel.seps@fsv.cvut.cz,  
Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze,  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## DIAGNOSTICKÉ METODY PRO HODNOCENÍ KONSTRUKČNÍHO DŘEVA

## DIAGNOSTIC METHODS FOR EVALUATION OF CONSTRUCTION TIMBER

Věra Heřmánková<sup>1</sup>, Michal Kloiber<sup>2</sup>,  
Jan Tippner<sup>3</sup>, Ondřej Anton<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav stavebního zkušebnictví, FAST, VUT v Brně,

<sup>2</sup> Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.,

<sup>3</sup> Ústav nauky o dřevě, LDF, MENDELU v Brně

### **Anotace:**

*V současnosti lze pozorovat v České republice snahu o zvýšení podílu realizace dřevěných staveb. Z toho plyne zřejmá potřeba věnovat zvýšenou pozornost dřevu jako stavebnímu materiálu, naučit se kontrolovat jeho kvalitu před zahájením stavby i již zabudovaného dřeva. Příspěvek představuje diagnostické metody používané na pracovištích autorů pro hodnocení konstrukčního dřeva rozdělené podle způsobu invazivnosti na nedestruktivní, semi-destruktivní a destruktivní.*

### **Annotation:**

*In the present time, there is an effort in the Czech Republic to increase the share of realization of wooden structures. For this reason the necessity to pay higher attention to wood as building material, to learn how to inspect its quality before starting the building as well as of the already built-in wood is evident. The paper performs diagnostic methods for evaluation of construction timber being used at the workplaces of the authors. The methods are sorted according to the kind of invasiveness onto non-destructive, semi-destructive and destructive.*

**Klíčová slova:** *dřevo, dřevěné konstrukce, diagnostické metody*

**Keywords:** *wood, wooden structures, diagnostic methods*

## 1. Úvod

Základem diagnostiky dřeva zabudovaného ve stavbách je vizuální průzkum, který patří mezi nejstarší nedestruktivní metody používané při stavebně technických průzkumech. Umožňuje odhalit viditelné poškození dřeva. Problém nastává ve chvíli, kdy je třeba přesně definovat celkové poškození jednotlivých prvků konstrukce, tzn. identifikovat rozsah vnitřního poškození, lokalizovat přechod mezi zdravou a poškozenou částí, a určit mechanické a fyzikální vlastnosti. Příspěvek představuje diagnostické metody rozdělené podle principu invazivnosti na nedestruktivní (zcela neinvazivní), semi-destruktivní (malý, téměř zanedbatelný destruktivní zásah do konstrukčního prvku v podobě vývrtnu apod.) a destruktivní (většinou odběr části nebo celého prvku).

## 2. Měření vlhkosti

Dřevo je ve vztahu k okolnímu prostředí hygroskopickým materiálem a má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí. Zvýšená vlhkost dřeva ovlivňuje jak riziko biotické degradace dřeva způsobené dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem, tak také ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti.

Jelikož má vlhkost dřeva vliv na fyzikální i mechanické vlastnosti prvku, je tedy třeba ji vždy určit, zvláště při průzkumu konstrukcí in-situ. Zvýšený obsah vody může ovlivňovat výsledky průzkumu a zároveň může být dobrým vodítkem např. při identifikaci míst průsaku vody střešním pláštěm. V místě lokalizace části konstrukce, kde se vyskytuje problém se zvýšenou vlhkostí, by měl být proveden detailní průzkum a následně zhodnocen rozsah poškození. Při diagnostice zabudovaných prvků se používají především příruční vlhkoměry, kalibrované na zjišťování vlhkosti s ohledem na druh a teplotu dřeva. Dělíme je na základě principu na kterém pracují, na odporové, kapacitní, absorpční, mikrovlnné a jiné. V praxi nejpoužívanější jsou odporové, které využívají elektrický stejnosměrný odpor a vodivost dřeva.



*Obr. 1.: Příklad na měření vlhkost dřeva Hygrotest 6500 se zářezací sondou.*



### **3. Nedestruktivní diagnostické metody**

#### **3.1. Vizualní hodnocení**

Metoda vizuálního průzkumu je při průzkumech dřevěných konstrukcí nejrozšířenějším diagnostickým postupem a to i díky své jednoduchosti. S její pomocí se získávají informace nejen o vlastnostech a stavu materiálu, ale i o technologických postupech, dodatečných zásazích do konstrukce, rekonstrukcích a také o přibližném stáří dřevěných konstrukcí. Touto metodou lze i určit druh použitého dřeva, charakteristické znaky prvku, vady dřeva, a odhadnout povrchové biotické a abiotické poškození prvku. Vizualní hodnocení je dále zaměřeno na zjištění přítomnosti a identifikaci biologických škůdců (výletové otvory, změny povrchu, drť a prach blízko poškozeného prvku, plodnice hub, mycelium, změny barvy). Rovněž je možné odhalit deformace dřevěných prvků nebo uvolnění konstrukčních spojů.

Největší úskalí vizuálního hodnocení vyplývá jednoznačně ze stanovení hodnotících kritérií a subjektivního hodnocení diagnostika. Vizualní hodnocení je proto vhodné zejména pro identifikaci kritických míst, která je třeba následně detailně vyhodnotit pomocí nedestruktivních diagnostických metod.

Vizuální určování stupně biotického poškození hnilobou a hmyzem při srovnání s následně zjištěnými mechanickými vlastnostmi vykazuje lepší závislosti, než mezi vizualním hodnocením přirozených vad (trhlin a suků) a mechanickými vlastnostmi. Hodnocení přirozených vad dřeva je v rámci celkového hodnocení prvků problematické. Třídy vizuálního hodnocení stanovuje norma ČSN EN 1912 (73 2073) Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Přiřazení vizualních tříd jakosti a dřevin. [12]

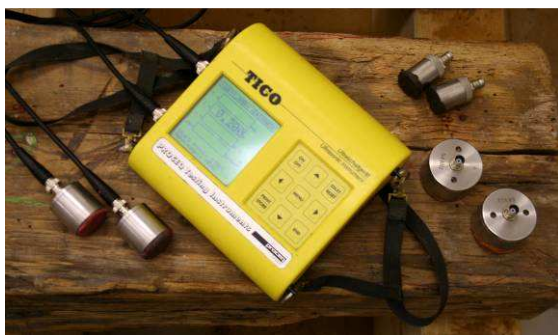
#### **3.2. Měření šíření ultrazvukových vln**

Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln je jedna z nejpoužívanějších metod vyšetřování stavu konstrukcí. Je to způsobeno hlavně tím, že je zcela nedestruktivní, poskytuje okamžité výsledky a to nejen lokálně, ale i z hlediska celkového hodnocení stavu prvku. Diagnostické přístroje pracují s frekvencemi od 20 kHz do 500 kHz, záleží na typu přístroje a použitých sondách. Mezi nejpoužívanější ultrazvukové přístroje patří Arborsonic Decay Detector, Sylvatest, Pundit a Tico.

Měří se nejčastěji pomocí dvou sond, jedna z nich je budič ultrazvukového signálu, druhá snímač. Rychlost šíření vlny je závislá nejen na druhu dřeva, jeho vlastnostech, hustotě, tuhosti atd., ale hlavně na jednotlivých anomáliích v růstu jako jsou např. suky, praskliny a různá námi hledaná poškození. Rychlost šíření vln klesá se vzrůstající vlhkostí dřeva. Rychlost šíření je anizotropní a závisí na aktuálním stavu dřeva a jeho vlhkosti. V místě trhliny je doba průchodu vlny delší

než ve zdravém dřevě. Stejně tak se šíří rychleji v místech zdravého dřeva a má tendenci se po těchto zónách „svézt“ kolem defektů, čímž se opět zvýší doba průchodu vlny. [12]

Nejvíce vypovídající výsledek měření získáme při měření rychlosti šíření vln podél vláken, tím získáme i odhad vlastností celého prvku. Při průzkumech konstrukcí in-situ je ale většinou nemožné provést měření tímto způsobem. Pro získání výsledků podél vláken přikládáme sondy na jednu stranu prvku, teoretický průběh vlny je potom po oblouku a ne po přímce, anebo můžeme měřit rychlost prostupu napříč vláknou, potom přikládáme sondy z obou protilehlých stran prvku, což je přesnější způsob měření, vyžaduje však přístup na obě protilehlé strany prvku. Pro diagnostiku celého prvku potřebujeme opět měření na více místech, tímto způsobem lze ale odhalit lokální poruchy, které nám měření podélně jen naznačí.



*Obr. 2.: Ultrazvukový přístroj TICO umožňuje použití více sond o různých frekvencích.*

Při diagnostice větších prvků dochází k útlumu signálu, což lze eliminovat použitím nižších frekvencí. Ty jsou ale méně citlivé na menší vnitřní vady prvku. Měření při použití vysokých frekvencí, které jsou více citlivé, je ovlivněno velkým útlumem signálu. Ultrazvuková metoda je tedy plně použitelná spíše na prvky malých rozměrů. [12]

Možnost detekce poškozených míst závisí na vlnové délce. Vady s rozměrem menším než polovina vlnové délky nemohou již zpravidla být detekovány pomocí ultrazvukové diagnostiky. Proto je pro detekci poškození v podobě drobných dutých míst a vad v materiálu vhodnější ultrazvuk s vyšší frekvencí a menší vlnovou délkou.

### **3.3. Radiační diagnostické metody**

Do této skupiny se řadí radiometrie a radiografie, metody, jejichž společným jmenovatelem je využití ionizujícího záření, a výhodou fakt, že jde o zcela nedestruktivní metody, což je cenné zejména při provádění diagnostiky historických dřevěných konstrukcí. Nevýhodou je nutnost zvláštních bezpečnostních opatření, vyplývající právě z práce s ionizujícím zářením.

## **Radiometrie**

Radiometrie je diagnostickou metodou, která umožňuje měření objemové hmotnosti a vlhkosti bez porušení materiálu, s využitím ionizujícího záření. Radiometrie se ve stavebnictví používá zejména v případech, kde měření objemové hmotnosti a vlhkosti klasickými metodami (např. měřením objemu a vážením) jsou zdlouhavá nebo technicky nerealizovatelná. V případě dřeva může být radiometrie použita zejména k určení objemové hmotnosti bez jakéhokoli poškození materiálu.

Radiometrické určení objemové hmotnosti je založeno na principu průchodu a zeslabení záření gama, případně na principu rozptylu záření gama v měřeném materiálu. Jako zdroje záření gama se nejčastěji používá vhodný radioaktivní zářič, např. cesium Cs 137. Detektory záření jsou buď Geiger – Müllerovy počítací částic nebo scintilační detektory, které jsou spojeny s vyhodnocovací jednotkou. Výsledkem měření je četnost impulsů za časovou jednotku, kterou je třeba pomocí kalibrační křivky převést na objemovou hmotnost. U moderních přístrojů je kalibrační křivka ve vyhodnocovací jednotce naprogramována a výsledky měření jsou udávány přímo v kilogramech na krychlový metr.

### **Metoda průchodu a zeslabení záření gama**

Tato spočívá v umístění zdroje záření a detektoru záření na protilehlých stranách měřeného materiálu. Záření je při průchodu materiálem zeslabováno v závislosti na tloušťce materiálu a jeho objemové hmotnosti.

Výsledkem měření je průměrná objemová hmotnost materiálu mezi zdrojem záření a detektorem. Touto metodou se dosahuje velmi přesných výsledků měření. Základní podmínkou pro přesnost měření je dodržet stálost geometrického uspořádání sestavy zářič – detektor.

### **Metoda rozptylu záření gama**

Při použití metody rozptylu záření gama detektor zaznamenává pouze záření, které bylo v materiálu rozptýleno převážně tzv. Comptonovým efektem, zdroj záření i detektor jsou umístěny na jedné straně zkoumaného prvku (jsou vedle sebe, jako součást jedné měřicí jednotky). Mezi zdrojem záření a detektorem se nachází stínící vrstva z materiálů velké hustoty (olovo, ochuzený uran apod.), která brání přímému průchodu záření ze zářiče do detektoru. Hodnověrnost naměřených objemových změn zkoumaných vrstev materiálu se však zmenšuje se vzrůstající vzdáleností od detekční jednotky.

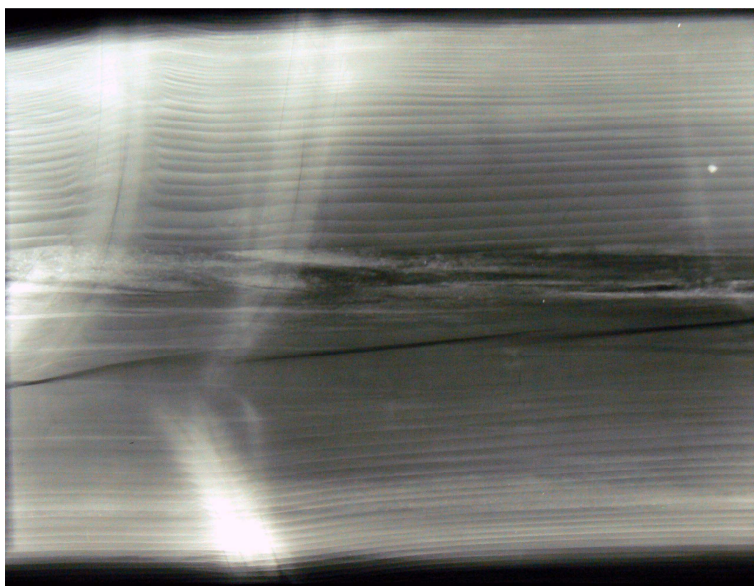
## **Radiografie**

Radiografická metoda je založena na specifických vlastnostech rentgenového záření a záření gama, které je rozptylováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na

prozařované tloušťce a na objemové hmotnosti materiálu. V technické praxi jde tedy o metodu, umožňující zobrazení vnitřních nehomogenit v materiálech a prvcích konstrukcí zcela bez porušení.

Míra zeslabení záření po průchodu materiálem je dosud obvykle zaznamenávána na radiografickém filmu, který po vyvolání zobrazuje vnitřní strukturu kontrolovaného místa. Místa s vyšší hustotou v prozařovaném předmětu se projeví světlejšími stopami nižšího zčernání na vyvolaném filmu. V posledních letech se pro detekci prošlého záření využívají místo radiografických filmů i mnohonásobně použitelné tzv. záznamové folie.

V případě diagnostiky dřevěných konstrukcí může být radiografie cenným pomocníkem při zobrazení vad a poruch uvnitř dřevěných prvků, které by nemusely jiné diagnostické metody odhalit, navíc jde o 100% nedestruktivní metodu. Jako zdroje záření je v diagnostice dřevěných konstrukcí vhodné využít některý z technických rentgenů.



*Obr. 3.: Radiogram masivního jedlového trámu v konstrukci krovů historického objektu. Dobře je patrna struktura dřeva, suky, trhliny ve středu rozvinutá středová hniloba, z povrchu trámu neviditelná.*

#### **4. Semi-destruktivní diagnostické metody**

Řada nedestruktivních metod hodnocení zabudovaného dřeva ve stavbách je založena na nepřímém zjišťování hustoty, která úzce souvisí s mechanickými vlastnostmi určujícími statickou kondici konstrukce. Pro zjišťování hustoty se jako nejvhodnější způsob osvědčily odporové metody, které dobře reagují na změny ve struktuře materiálu na rozdíl od metod zcela neinvazivních (např. ultrazvukové metody).

#### 4.1. Odporové zarážení trnu

Nejčastěji používaný přístroj Pilodyn 6J Forest je jednoduché mechanické zařízení umožňující měřit hloubku průniku trnu s průměrem 2,5 mm, vystřeleného do dřeva při konstantní práci 6 J. Maximální hloubka zarážení trnu je 40 mm. Při dynamickém nárazu kalibrovaného výstřelu, který zajišťuje penetraci trnu do povrchu materiálu, je registrována hloubka průniku trnu. Poškození testovaného materiálu je velmi malé a téměř zanedbatelné. Existuje několik verzí tohoto zařízení, např. Pilodyn 12J a Pilodyn 18J, které mají větší úderovou sílu, nebo Pilodyn 4JR s opakovaným výstřelem.



Obr. 4.: Pilodyn 6J Forest.

Pro zjišťování hustoty konstrukčního dřeva na základě měření vlhkosti a hloubky vniku rázového trnu do dřeva lze použít tyto vztahy [10]:

$$\rho_{p,12} = \rho_{12} \cdot \frac{t_p}{t_{p,12}}$$

$$\Delta^2 = w - \frac{t_p^2}{w}$$

Kde:  $\rho_{12}$  – hustota dřeva při vlhkosti 12% [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ],  
 $t_{p,12}$  – hloubka zarážení trnu do dřeva o vlhkosti 12% [mm],  
 $t_p$  – hloubka zarážení trnu do dřeva o známé vlhkosti [mm],  
 $w$  – vlhkost dřeva v době měření [%].

Watt a kol. [3] prokázali, že Pilodyn může být použit na predikci hodnoty povrchové hustoty s dostatečnou přesností, a proto je alternativou pro pomalejší a dražší zjišťování hustoty pomocí radiálních vývrtů, které je i více destruktivní. Görlacher [1] získal průkazné korelační koeficienty pro kladnou závislost mezi hustotou a hloubkou zarážení trnu Pilodynu 6J, kde hustota se zvyšuje s větší penetrací.

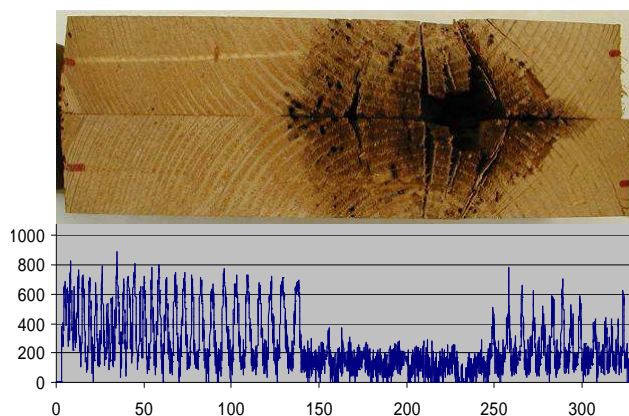
Testování v radiálním směru se jeví jako průkaznější z důvodu pravidelného střídání jarního a letního dřeva v rámci letokruhu. Při odklonu od radiálního směru menším než 30°, je variabilita měření do 10%. V případě použití tangenciálního směru měření Pilodynem dochází často k zarážení trnu jenom do jedné části letokruhu, čímž se výsledky značně zkreslují.

## 4.2. Odporové mikrovrtání

Odporové mikrovrtání se liší od odporového zarážení trnu zejména tím, že díky pozvolnému pronikání materiálem nabízí přehled o jeho vnitřní struktuře. Například měření pomocí přístroje Resistograph 2450-S; pracujícího na tomto principu, je založeno na odporu materiálu k prostupu malého vrtáku s průměrem 1,5 - 3,0 mm, nebo přístroje RESIF 400 firmy IML, kde lze grafický záznam zaznamenávat pouze na papírovou pásku bez možnosti digitálního výstupu. Vřeteno vrtáku je neustále stabilizováno uvnitř vrtajícího zařízení speciálním teleskopem. Hmotnost přístroje je přibližně 3 kg, má dva elektrické motory, ze kterých jeden zabezpečuje konstantní posun  $30 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  a druhý neměnné otáčky  $6\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . Výstupem je profil spotřeby energie resp. relativní odpor, zahrnující eliminaci spotřeby energie vrtáku při tření v hlubších vrstvách. Vrcholy v grafickém záznamu odpovídají vyšším odporům potažmo hustotě dřeva, zatímco nižší body jsou spojené s nižším relativním odporem dřeva [8].



Obr. 5.: Přístroj Resistograph firmy Rinntech



Obr. 6.: Grafický záznam naznačující snížení odporu dřeva vlivem hniloby.

Výstupem z měření je grafický záznam. Příklad grafu je uvedený na obr. 6. Vrcholy v grafickém záznamu odpovídají vyšším odporům a tedy i vyšší hustotě, zatímco nižší body jsou spojené s nižším odporem a nižší hustotou. Resistograph se liší tím, že nabízí přehled o vnitřním poškození oproti Pilodynu, který

je schopen penetrace jenom povrchové. Nejčastější poškození dřevěných prvků je způsobeno vnitřním poškozením bez povrchových změn, proto je Resistograph velmi vhodnou metodou na diagnostiku zabudovaného dřeva. Vrtání na několika místech v rámci jediného objektu poskytuje přehled o stavu poškození prvku. Grafy mohou definovat stav pouze lokálně v místě vrtání. Odlišný vrtací odpor může odhalit různé stupně poškození.

Podobně jako u většiny diagnostických metod, i zde existují limitující omezení. Optimální je vrtání v radiálním směru, protože je zaručeno střídání jarního a letního dřeva v letokruhu. Je nutné zabezpečit ostrost vrtáku, jeden vrták je možné použít přibližně na 300 vrtání [2]. Vrták má díky malému průměru malou ohybovou tuhost, což může vést k jeho ohýbání, vedení v zóně jarního dřeva letokruhu. Další slabinou metody je poskytování jen lokální informace. Nejlépe je Resistograph používat spolu s jinými nedestruktivními metodami. Hodnocení stavu příčného průřezu je velmi vhodné pro lokalizaci a identifikaci rozsahu vnitřního poškození, ale vyžaduje mnohonásobné, časově náročné vrtání. Odporové vrtání, ostatně jako většina nedestruktivních a semi-destruktivních metod, je závislé na vlhkosti dřeva.

#### 4.3. Odporové zatlačování trnu

Ve spolupráci Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AVČR a Ústavu Nauky o dřevě Mendelovy univerzity v Brně byl vyvinut přístroj umožňující „in-situ“ stanovení mechanického odporu k pozvolnému vnikání tělesa a to do hloubky odpovídající rozměrům běžných dřevěných konstrukčních prvků, využitelný pro následně nepřímé stanovení hustoty a mechanických vlastností dřeva.

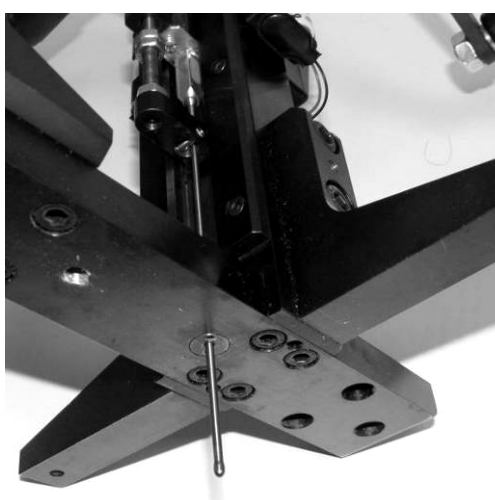
Těleso přístroje lze k testovanému objektu upevňovat různými způsoby, nejčastěji textilním popruhem nebo opásáním pomocí válečkového řetězu. Těleso zařízení lze k testovanému objektu upevňovat také pomocí spojovacích vrutů. Po upevnění je kolmo k základně přípravku vtlačován trn pomocí ozubeného hřebenu poháněného přes ozubené kolo, obouřučně pomocí dvou proti sobě uložených klik. Průběžně je snímána a zaznamenána působící síla při vtlačování trnu, vztažená k měřené dráze [11]. Měřicí program zajišťuje zpracování dat, jejich zobrazování v reálném čase a ukládání. Zobrazuje se vždy právě měřený průběh síly (buď v závislosti na čase  $x-t$ , nebo v režimu  $x-y$  společně s posuvem trnu). Během měření jsou v PC počítány základní charakteristiky, a to práce [N.mm] jakožto plocha pod křivkou síly vztažené k posuvu, délka vniku [mm], čas posuvu trnu [s] a max. a min. síla [N]. Dělením plochy pod křivkou hloubkou zatlačování je následně vypočtena průměrná síla [N] potřebná pro zatlačení trnu. Tento parametr je klíčový pro hodnocení zjišťovaného mechanického odporu dřeva.

Přístroj byl navržen a testován pro hodnocení rostlého zabudovaného dřeva, zdravého či o různém stupni degradace. Přístroj zaznamenává poměrně široké spektrum mechanického odporu dřeva proti vnikání trnu, plynoucí jak

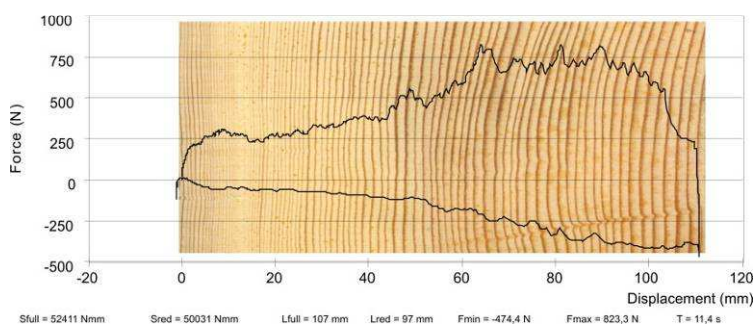
z přirozených vlastností různých dřev, tak z různého stupně degradace. Odpor je ovlivněn nejen druhem, kvalitou a hustotou dřeva, ale rovněž vlhkostí dřeva. Tyto parametry musí být při interpretaci výsledků zohledněny. Případné vady dřeva, jako jsou trhliny, suky, cizí tělesa apod. výrazně zkreslují výsledky. Měření v místech s vadami je velmi vhodné se vyhnout, nebo výsledky takového měření interpretovat velmi opatrně. Podmínkou pro zatlačování trnu napříč vlákny do dřeva je použití pouze v radiálním směru, kde dochází k pravidelnému střídání jarní a letní části letokruhu.



*Obr. 7.: Boční pohled na přístroj pro „in-situ“ měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu.*



*Obr. 8.: Detail průniku trnu základnou přístroje*



*Obr. 9.: Záznam průběhu síly a posunutí při průniku trnu do dřeva borovice*



#### 4.4. Vytahování vrutu

Metoda využívá jednoduchého ručního zařízení pro vytažení standardního vrutu průměru 4 mm zašroubovaného do hloubky 18 mm. Přístroje určené pro vytahování vrutu ze dřeva vyrábí např. maďarská firma Fakopp. Alternativní možností je vytahování pomocí univerzálního přístroje pro zatlačování trnu, kde jednoduchou výměnou trnu za háček lze přístroj uzpůsobit opačnému pohybu a tedy měřit sílu potřebnou na vytažení vrutu ze dřeva. Výstupy z metody vytahování vrutu jsou využívány pro nepřímé stanovení hustoty dřeva [5], mohou být také kombinovány s výstupy ostatních nedestruktivních metod s cílem odvodit základní mechanické vlastnosti dřeva.

Jelikož odpor při vytahování vrutu je lokální charakteristika materiálu, tak je nutné provést výběr místa a počet zkoušení, který reprezentuje celkový stav hodnoceného prvku.

Metoda vytahování vrutu má podobně jako dynamické zarážení trnu povrchový charakter, tedy vypovídá především o vlastnostech na okraji prvku a není možné stanovit případné vnitřní poškození.



*Obr. 10.: Univerzální přístroj pro zatlačování trnu a vytahování vrutu*

#### 4.5. Zkoušení radiálních vývrtů

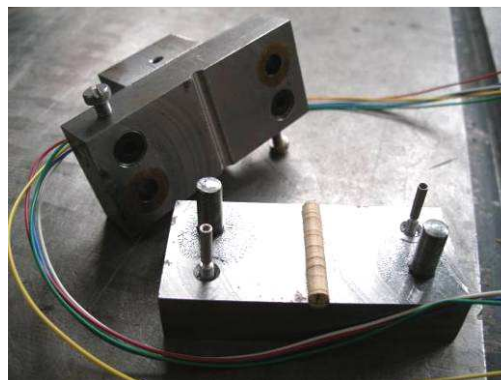
Princip metody je založen na odběru vzorků válcovitého tvaru, na kterých je ve speciálním zatěžovacím zařízení zjišťována pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken [6]. Otvory po odběru výrazně nesnižují pevnost prvku a mohou být zazátkovány, ať už z důvodu prevence proti vnikání vlhkosti, napadení hmyzem, snížení pravděpodobnosti vzniku hniloby nebo v případě cennějších konstrukcí z estetického hlediska.

Radiální vývrty mají průměr 4,8 mm a otvor v prvku je 10 mm. Délka vývrtů by měla být minimálně 20 mm, kvůli zabezpečení hodnověrnosti výsledků a eliminaci variability výsledků v důsledku střídání jarního a letního dřeva. Radiální vývrty jsou odebírány elektrickou vrtačkou se speciálním vrtákem (Obr. 11), který byl vyvinutý na ÚTAM AVČR. V průběhu odběru je zabezpečována konstantní rychlost, aby nedošlo k poškození vzorků. Hrot vrtáku musí být ostrý a čistý. Vzorek je přenášán do laboratoře ve schránce, která brání jeho poškození a změně vlhkosti. [9].

Metoda zkoušení radiálních vývrtů byla vyvinuta pro zjišťování kvality řeziva pomocí tlakových zkoušek rovnoběžně s vlákny. Odběr vývrtu by měl probíhat z nepoškozených míst prvku a zároveň v čistě radiálním směru, protože orientace letokruhů je velmi důležitým základem pro správné provedení zatěžovací zkoušky.



Obr. 11.: Kompletní vybavení pro odběr radiálního vývrtu



Obr. 12.: Zatěžovací čelisti s drážkou pro radiální vývrt

Radiální vývrtky mohou být použity pro determinaci několika dalších vlastností dřeva, jako jsou např.: hustota, vlhkost, modul pružnosti a pevnost v tlaku podél vláken. Lze je využít i pro identifikaci druhu dřeva, dendrochronologické datování, mikroskopickou analýzu hniloby, vizuální hodnocení a zároveň i penetraci ochranných látek.

Pro vlastní zkoušení radiálních vývrtů se používají čelisti s drážkami, které umožňují zatěžování tlakem kolmo na osu vývrtu, tedy ve směru vláken dřeva (Obr. 12). Dva lineárně proměnné snímače jsou použity na měření vzdálenosti mezi čelistmi a tedy k měření deformace vývrtu. Náležité umístění vývrtu ve zkušebním zařízení je rozhodující pro správné určení pevnosti a modulu pružnosti. Dřevo má největší pevnost podél vláken a nevycentrované vývrtky v čelistech způsobují větší variabilitu měření [9].

V průběhu zkoušení je tlaková síla a deformace vývrtu zaznamenávána do pracovního diagramu. Výpočet tlakové pevnosti se vypočítá podle rovnice:

$$f_c = \frac{F_{\max}}{l \cdot d_c} \quad [\text{MPa}]$$

Kde:  $f_c$  – tlaková pevnost [MPa],

$F_{\max}$  – zatížení [N], zatížení  $F_{\max}$  je odčítáno z diagramu,

$l$  – délka radiálního vývrtu [mm],

$d_c$  – průměr radiálního vývrtu [mm].

Jedním z problémů při stanovení regresního vztahu mezi vlastnostmi u radiálních vývrtů a normovaných tělísek je destruktivnost obou metod. Není proto možné použít obě metody na totožných těliscích.

Vzhledem k rozměrům radiálních vývrtů, je tato metoda lokální. Z důvodu variability dřeva, nemusí poskytovat relevantní přehled o stavu zabudovaného dřeva. Eliminace tohoto nedostatku a dosažení stupně spolehlivosti, je zvýšení počtu odebraných vzorků pro jeden prvek. Tím ale narůstá invazivnost metody, časová pracnost, náklady terénního měření a v neposlední řadě se snižuje pevnost konstrukčního prvku [8].

#### 4.6. Zkoušení tahových mikrovzorků

Hodnocení ohybové pevnosti je důležitý aspekt pro „in-situ“ hodnocení dřevěných prvků, protože se jedná o převládající způsob zatěžování. Pomocí tahových vlastností je možné stanovit ohybové vlastnosti, protože ohybová pevnost je blízká tahové a dá se považovat za přibližně stejnou [7].

Vzorky pro určení tahové pevnosti se odebírají jednoduchým způsobem pomocí přestavitelné okružní pilky. Odběr se provádí dvěma řezy orientovanými pod úhlem  $45^\circ$  vzhledem k povrchu prvku. Hloubka řezu je upravená tak aby vznikla trojúhelníková lišta s pravouhlými stěnami v rozmezí 5-8 mm. V průběhu výroby je plocha průřezu lišty ve středové části zeslabena na cca 8-12 mm<sup>2</sup> což podle ASTM odpovídá výrobě tahových vzorků [4]. Odebrané vzorky nesmí obsahovat žádné přirozené vady (suky, trhliny nebo jiné poškození). Na oba konce vzorků se nalepí dřevěné bloky pravouhlého tvaru, které v průběhu tahové zkoušky slouží pro uchycení mikrovzorku v zatěžovacím stroji.



*Obr. 13.:* Okružní pila s pojezdem upravená pro odběr tahových mikrovzorků



*Obr. 14.:* Trojúhelníkové lišty délkově zakrácené

Tahový vzorek se vkládá do jednoduchých čelistí, navržených pro tento účel a zatěžuje v běžném zkušebním stroji. Zkouška je sice nestandardní, ale svým pojetím se standardní zkoušce podle ASTM velmi blíží, neboť používá stejně jednoduché uspořádání, eliminující parazitní ohyb a průřez s malým počtem letokruhů. Při zkoušce je zjišťována tahová pevnost a modul pružnosti. Maximální tahové zatížení pro každý vzorek je zatížení při porušení a dovolené zatížení je určené podle vztahu:

$$f_c = \frac{F_{max}}{\frac{1}{2} \cdot bh} \quad [\text{MPa}]$$

Kde:  $f_t$  – tahová pevnost [MPa],  
 $F_{max}$  – porušení při zatížení [N],  
 $b$  – přepona trojúhelníkové lišty [mm],  
 $h$  – výška trojúhelníkové lišty [mm].

Výsledky dosažené touto zkouškou není třeba korelovat a mohou být prohlášeny za srovnatelné se standardním testem. Mechanické charakteristiky určené výše popsanou zkouškou musí být pro posuzování bezpečnosti konstrukce a dimenzování převedeny na technické vlastnosti řeziva, které berou v úvahu redukci lokálně zjištěné pevnosti na čistém dřevě v důsledku defektů, které se běžně vyskytují na velkých prvcích (suky, praskliny a další vady dřeva). Nevýhodou metody je zásah do povrchu hodnoceného prvku, což je v případě hodnocení stavu dřeva v historické konstrukci nežádoucí.

#### 4.7. Endoskopie

Nejjednodušší defektoskopickou metodou pro zjišťování stavu dřevěných prvků zabudovaných do konstrukcí je vizuální hodnocení. Tato metoda je ovšem limitovaná přístupem k jednotlivým prvkům. V případě stropních konstrukcí, těžce dostupných míst nebo zazděných prvků je možné používat endoskop či videoskop. Pomocí endoskopu lze vizuálně posuzovat biotické poškození dřeva, dále je možné odhadovat vývojové stádium hub, změny barvy, zborcení, povrchový nebo kostkovitý rozklad a mechanické poškození. Dřevokazný hmyz může být identifikován pomocí charakteristického požerku a trusu. Přesné určování druhu hmyzu a hniloby ovšem vyžaduje odběr vzorků, což již v dnešní době pro některé typy endoskopů není problém.

Mezi běžně dostupné typy endoskopů patří např. Videoprobe XL PRO. Přístroj se skládá ze zdrojové jednotky, ovládacího panelu s displejem a pružného bovdenu s mikrokamerou a světlem. Zařízení umožňuje sledovat obraz přenášený z mikrokamery na displej ovládacího panelu. Záznam je ukládán ve formě videosouborů. Předpokladem pro provedení průzkumu pomocí endoskopu je

předem připravený otvor o velikosti 10–12 mm do kterého je následně zasouván bovden s mikrokamerou. Požadované otvory mohou být po dokončení průzkumu vhodným způsobem zazátkované.



*Obr. 15.: Obraz získaný pomocí přístroje Videoprobe XL PRO z jednotlivých vrtaných sond.*

Poškození, které vzniká navrtáním otvorů je vzhledem k rozsahu odhalení v nepřístupných místech konstrukcí velmi zanedbatelné. V některých případech lze využít různé štěrby, např. ve skladbě stropů.

Identifikace poškození předpokládá velmi dobré znalosti průzkumníka, stejně jako v případě vizuálního hodnocení, bez použití endoskopu.

## **5. Destruktivní diagnostické metody**

### **5.1. Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky**

Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva jsou vždy jen orientační, pro jejich zpřesnění by měly být provedeny průkazné zkoušky. Průkazné zkoušky se provádějí podle ČSN EN 384 „Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty“ a ČSN EN 408 „Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností“ a slouží k přímému stanovení některých fyzikálně-mechanických vlastností.

Zkoušky dřeva provádíme na vzorcích bez suků, smolnatosti a jiných vad a z výsledků těchto zkoušek usuzujeme na vlastnosti dřeva i s vadami. U konstrukčního dřeva zjišťujeme hlavně jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, které jsou různé z hlediska základních anatomických směrů ve dřevě. Na výsledky zkoušek má také velký vliv vlhkost dřeva. Referenční příčné rozměry zkušebních těles při stanovení mechanických vlastností konstrukčního dřeva musí být 150 mm. Alternativně lze stanovovat mechanické vlastnosti na malých bezvadných tělesech, nebo na tělesech konstrukčních rozměrů. Charakteristické hodnoty stanovené tímto způsobem se musí upravit součiniteli.

## 6. Závěr

Každá z uvedených diagnostických metod má své klady a zápory a pro jejich eliminaci je vždy výhodnější provést kombinaci několika nedestruktivních či semidestruktivních metod. V případě, že potřebujeme výsledky nedestruktivního zkoušení zpřesnit, musíme tyto zkoušky vždy kombinovat s metodou destruktivní.

Mezi nejspolehlivější metody hodnocení dřevěných konstrukcí lze zařadit po destruktivním zkoušení radiační defektoskopické metody. Jejich velkou výhodou je, že jde o zcela nedestruktivní metody. Nevýhodou je nutnost zvláštních bezpečnostních opatření, vyplývajících z práce s ionizujícím zářením.

Průkazné výsledky lze získat z odporového vrtání a z metody zatlačování trnu. Dále ze zkoušek radiálních vývrtů a tahových mikrovzorků. Osvědčily se i metody odporového zarážení trnu a vytahování vrutu, zde jde ale o metody spíše povrchové, jejich vypovídající schopnost je proto omezená.

Správnost interpretace vizuálního a endoskopického hodnocení závisí na zkušenostech diagnostika.

Jako nejméně spolehlivé se jeví měření rychlosti ultrazvukových vln.

## Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory výzkumného projektu GAČR 105/10/P573 a výzkumných záměrů MSM 6215648902, AV0Z20710524 a MSM0021630519.

## Literatura

- [1] Görlacher, R.: Non destructive testing of wood: an in-situ method for determination of density. Holz as Roh-und Werkstoff. Vol. 45, 1987, pp. 273-278.
- [2] Rinn, F.: Catalogue of relative density profiles of trees, poles and timber derived from Resistograph® microdrillings. 9th International Symposium on Non-destructive Testing. Madison, USA, 1994, pp. 61-67.
- [3] Watt, M., Garnett, B., Walker, J.: The use of the Pilodyn for assessing outerwood density in New Zealand radiate pine. Forest Products Journal. Vol. 46(11/12), 1996, pp. 101–105.
- [4] ASTM D 143-94 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. For referenced ASTM standards, 2000.
- [5] Cai, Z., Hunt, M.O., Ross, R.J., Soltis, L.A.: Screw Withdrawal – A Means to Evaluate Densities of In-situ Wood Members. In: 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, August 2002, Richmond, USA. ISBN 1-892529-31-9, pp. 277-281.

- 
- [6] Kasal, B., Drdácký, M., Jirovsky, I.: Semi-destructive methods for evaluation of timber structures. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture VIII. C.A. Brebia, Editor. Advances in Architecture. WIT Press. Southampton, 2003, pp. 835–842.
- [7] Kasal, B., Anthony, R.: Advances in in situ evaluation of timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials. John Wiley & Sons Ltd. London. UK. Vol. 6 No 2 April-June 2004, pp. 94-103.
- [8] Drdácký, M., Jirovský, I., Slížková, Z.: On the Structural Health and Technological Survey of Historic Timber Structures. Proceedings of the International Conference: The Conservation of Historic Wooden Structures, Florence, Vol. I, 2005. pp. 278–284.
- [9] Drdácký, M., Kloiber, M., Kotlíňová, M.: Low invasive diagnostics of historic timber. In: In-situ evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures, RILEM Workshop, 10-14 July 2006, Prague, Czech Republic. ISBN: 978-80-86246-36-9, pp. 24-40.
- [10] Kuklík, P.: Stanovení vlastností konstrukčního dřeva. In: Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí, Praha, 2007, 10 s.
- [11] Kloiber, M., Tippner, J., Drdacky, M.: Semi-destructive Tool for "In-situ" Measurement of Mechanical Resistance of Wood. In: SHATIS' International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, June 2011, Lisbon, Portugal. 3 pp.
- [12] Křivánková, S. Diagnostické metody pro ověření míry poškození a materiálových charakteristik dřevěných prvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011. 65 s.

## Kontakt

Ing. Věra Heřmánková, Ph.D., tel: 00420 541 147 817, e-mail: hermanova.v@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST, VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Michal Kloiber, Ph.D., tel: 00420 286 882 121, e-mail: kloiber@itam.cas.cz, Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., Prosecká 809/76, 190 00 Praha 9.

Ing. Jan Tippner, Ph.D., tel: 00420 545 134 544, e-mail: jan.tippner@mendelu.cz, Ústav nauky o dřevě, LDF, MU v Brně, Zemědělská 3, 61300 Brno

Ing. Ondřej Anton, Ph.D., tel: 00420 541 147 823, e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST, VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



## POROVNÁNÍ HODNOT VZDUCHOVÉ PROPUSTNOSTI U BETONŮ S RŮZNÝM VODNÍM SOUČINITELEM A S POUŽITÍM RŮZNÝCH DRUHŮ VLÁKEN

## THE COMPARISON OF THE AIR PERMEABILITY VALUES FOR CONCRETE WITH DIFFERENT WATER/CEMENT RATIOS AND DIFFERENT FIBRES

**Petra Hronová, Zlata Kadlecová,  
Jiří Adámek, Ivo Rohrbacher**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST, VUT v Brně

***Anotace:***

*Článek se snaží přehledně informovat o dosažených výsledcích výzkumu, který je zaměřen na stanovení vzduchové propustnosti různých betonů. Betony se liší jednak hodnotou vodního součinitele a jednak druhem použitých vláken. Byly betonovány vždy tři druhy betonů, a to referenční receptura, beton s vlákny Stavon a beton s vlákny Econo-Net o délce 38 mm. Proběhly tři etapy betonáže, vždy s různým vodním součinitelem. Dosažené hodnoty vzduchové propustnosti získané měřením přístrojem Torrent jsou zpracovány v tabulkách a dávají ucelený přehled o propustnosti a tím potažmo i aktuální trvanlivosti betonu.*

***Annotation:***

*The article deals with the results of research which focuses on determination of values of air permeability for different types of concrete. The concrete varies in water/cement ratio and it also varies in the type of used fibres. Three kinds of concrete mixture were manufactured: reference mixture, mixture with Stavon fibres and mixture with Econo-Net fibres with length of 38 mm. Three phases of concreting took place, each with different water/cement ratio. Measured values of air permeability coefficients are in tables and they indicate permeability and actual durability of each concrete mixture.*

***Klíčová slova:*** vodní součinitel, vzduchová propustnost, aktuální trvanlivost, vláknobeton, přístroj TPT.

***Keywords:*** water/cement ratio, air permeability, actual durability, fibre concrete, TPT machine.

## 1. Úvod do problematiky

Beton je jedním z nejrozšířenějších stavebních materiálů. Betonové konstrukce se navrhují s životností 50 až 100 i více let, proto je velmi podstatné umět odhadnout trvanlivost betonové konstrukce v jakémkoli období její životnosti. Stále není jednoznačně určeno, čím by se trvanlivost měla měřit, nicméně se jako velmi slibné jeví odhadovat trvanlivost betonu pomocí vlastností krycí vrstvy. Jedná se o vrstvu o tloušťce 25 – 50 mm, jejíž propustnost pro vzduch a vodu je určujícím kritériem pro odhad aktuální trvanlivosti betonu.

## 2. Experimentální část

### 2.1. Zkušební tělesa a jejich receptury

Experimentální měření zaměřená na porovnání vzduchové propustnosti u betonů s různými vlákny a různými vodními součiniteli probíhala na krychlích o rozměrech 150 x 150 x 150 mm. Receptury jednotlivých záměsí jsou patrné z Tabulky 1.

Tabulka 1.: Receptury záměsí – různé vodní součinitele

CEM I 42,5 R	DTK 0-4 mm	HK 4-8 mm	HK 8-16 mm	voda	w/c
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[l]	-
349	760	380	760	157	0,45
349	724	362	724	192	0,55
349	686	343	686	227	0,65

Jak již bylo zmiňováno výše, pro každý vodní součinitel byly vyrobeny betony s dvěma různými druhy vláken a jedna referenční receptura bez vláken. Vlákna byla dávkována v množství doporučeném výrobcem, což je 600 g na 1 m<sup>3</sup> čerstvého betonu. Jednalo se o vlákna:

- Stavon – polymerní monofilamentní mikrovlákná, délka vláken 12 mm, množství v 1 m<sup>3</sup> cca 450 miliónů kusů.
- Econo-Net – polypropylenová vlákna vyráběná ve fibrilované formě, délka vláken 38 mm.

## 2.2. Metodika zkoušení

Při měření vlastností povrchové vrstvy betonu hraje důležitou roli aktuální povrchová vlhkost betonového vzorku. Před měřením vzduchové propustnosti bylo vždy provedeno měření povrchové vlhkosti kapacitním vlhkoměrem PSMXi. Povrchová hmotnostní vlhkost každého vzorku pak byla odečítána z kalibrační křivky.

Měření vzduchové propustnosti probíhalo přístrojem TPT (Torrent Permeability Tester) od švýcarské firmy Proceq (viz. Obrázek 1). Tento přístroj se skládá z dvoukomorové vakuové buňky, regulátoru tlaku a čerpadla. Třída kvality povrchové vrstvy se určí z tabulky dodávané výrobcem (viz. Tabulka 2) podle hodnot naměřeného součinitele vzduchové propustnosti  $k_T$ .



Obr. 1.: Přístroj TPT (Torrent Permeability Tester)

Tabulka 2.: Třídy kvality povrchové vrstvy dle výrobce

Kvalita krycí vrstvy	Index	$k_T$ ( $10^{-16} \text{ m}^2$ )
velmi špatná	5	> 10
špatná	4	1,0 - 10
střední	3	0,1 - 1,0
dobrá	2	0,01 - 0,1
velmi dobrá	1	< 0,01

### 3. Naměřená data

V tabulkách 3 - 5 je seznam průměrných naměřených hodnot koeficientů vzduchové propustnosti  $k_T$ , hloubky průniku vzduchu  $L$  a tlaků vyvozených při zkoušce  $\Delta p$ .

Tabulka 3.: Vzduchová propustnost pro  $w/c=0,65$

<i>směs</i>	$k_T [m^2]$	$P [mbar]$	$L [mm]$	<i>hm. vlhkost [%]</i>	<i>kvalita</i>
referenční	0,229E-16	70	31,0	3,2	střední
Stavon	0,082E-16	83	14,0	2,8	dobrá
Econo-Net	0,161E-16	77	24,1	3,4	střední

Tabulka 4.: Vzduchová propustnost pro  $w/c=0,55$

<i>směs</i>	$k_T [m^2]$	$P [mbar]$	$L [mm]$	<i>hm. vlhkost [%]</i>	<i>kvalita</i>
referenční	0,356E-16	72	28,6	2,6	střední
Stavon	0,097E-16	101	21,0	2,8	dobrá
Econo-Net	0,306E-16	126	36,0	2,4	střední

Tabulka 5.: Vzduchová propustnost pro  $w/c=0,45$

<i>směs</i>	$k_T [m^2]$	$P [mbar]$	$L [mm]$	<i>hm. vlhkost [%]</i>	<i>kvalita</i>
referenční	0,055E-16	74	15,8	2,7	dobrá
Stavon	0,108E-16	83	22,0	2,7	střední
Econo-Net	0,151E-16	79	26,2	2,5	střední

### 4. Závěr

Z výše uvedených tabulek jasně vyplývají následující poznatky:

- U vyšších vodních součinitelů má přidání vláken pozitivní vliv na propustnost pro vzduch. U směsí s vodním součinitelem 0,45 má lepší vlastnosti prostý beton, dá se to vysvětlit tím, že se s prostým betonem při takto „suché“ směsi lépe pracuje – lépe se hutní.

- Výrazně lepších vlastností bylo odsaženo přidáním vláken Stavon, navíc jsou receptury s vlákny Stavon co se týče hodnot vzduchové propustnosti poměrně stabilní.

- Přidáním vláken Econo-Net se nedosáhlo výrazného zlepšení kvality krycí vrstvy. Je to dáno tím, že funkcí těchto vláken je spíše zlepšovat mechanické vlastnosti betonu (taková pevnost, houževnatost) než fungovat jako vlákna Stavon, která mají protismršťovací účinky.

## Poděkování

Tento text vznikl za podpory projektů GAČR 103/09/0065 Omezení vzniku a rozvoje trhlin v betonových mostech a FAST-J-11-12 Měření propustnosti betonu NDT metodami jako podklad k odhadu aktuální trvanlivosti.

## Literatura

- [1] KADLECOVÁ, Z.; ODEHNALOVÁ, P., ADÁMEK, J.: Porovnání výsledků zkoušek propustnosti povrchové vrstvy pro vzduch a vodu. Betonářské dni 2010. Bratislava
- [2] ODEHNALOVÁ, P.; KADLECOVÁ, Z., ADÁMEK, J.: Hodnocení povrchové vrstvy betonu zkouškami propustnosti, Betonářské dni 2010, Bratislava
- [3] ADÁMEK, J., JURÁNKOVÁ, A.: Detection of Imperfection in Concrete Structure from Durability Viewport. XVI. International Conference MCM – Mechanics of Composite Materials 2010, Latvia
- [4] ADÁMEK, J., JURÁNKOVÁ, V., KADLECOVÁ, Z., STEHLÍK, M.: Three NDT Methods for the Assessment of Concrete Permeability as a Measure of Durability, NDT MS 2011, Int. Symposium of Nondestructive Testing of Materials and Structures, 2011, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

## Kontakt

Ing. Petra Hronová, tel: 00420 541 147 828, e-mail: hronova.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Zlata Kadlecová, tel: 00420 541 147 829, e-mail: kadlecova.z@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

prof. Ing. Jiří Adámek, CSc, tel: 00420 541 147 800, e-mail: adamek.j@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ivo Rohrbacher, tel: 00420 541 147 829, e-mail: rohrbacher.i@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## VLIV ZPŮSOBU ZAKONCOVÁNÍ TLAČNÝCH PLOCH ZKUŠEBNÍHO TĚLESA NA HODNOTU STATICKEHO MODULU PRUŽNOSTI V TLAKU

### INFLUENCE OF CAPPING OF SPECIMEN ON RESULT OF MODULUS OF ELASTICITY

**Petr Huňka, Karel Kolář,  
Petr Bouška, Stanislav Řeháček**

Kloknerův ústav, Experimentální oddělení, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Zkušební tělesa pro zkoušku modulu pružnosti betonu dle normy ČSN ISO 6784 jsou obvykle válce o rozměrech 150/300 mm nebo trámce 100×100×400 mm. Normy pro zkoušení ztvrdlého betonu předepisují požadavky na kvalitu (rovinnost, rovnoběžnost) tlačných ploch. Trámce z kvalitních forem tyto podmínky obvykle splňují. Problém nastává u válců, neboť jedna tlačná plocha je s ohledem na výrobu válcových těles vždy „hlazená“, tzn. nesplní podmínky normy. Tlačné plochy zkušebních těles, které nesplňují podmínky na kvalitu, musí být upraveny některým z následujících způsobů: broušení, koncování sirnou maltou, hlinitanovým cementem či pískovým ložem. V článku jsou prezentovány výsledky experimentálního programu zaměřeného na ověření vlivu způsobu zakoncování tlačných ploch válců na pevnost v tlaku a statický modul pružnosti v tlaku.*

***Annotation:***

*The article presents the results of the experimental programme focused on determining the influence of the method of capping of compressive surface of cylinders on compressive strength and modulus of elasticity.*

***Klíčová slova:*** modul pružnosti, koncování, tlačné plochy, rovinnost

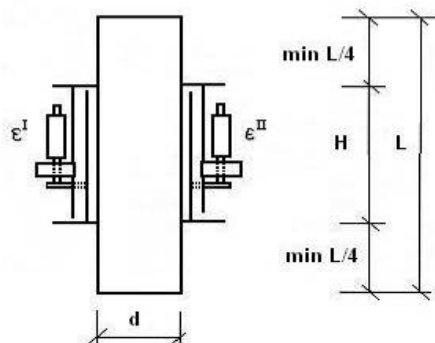
***Keywords:*** modulus of elasticity, capping material, bearing surface, planarity

## 1. Úvod

Jednou z hlavních materiálových charakteristik každého betonu je modul pružnosti betonu  $E$ , který popisuje schopnost betonu chovat se pod určitým zatížením do jisté míry pružně a určuje, jak moc se bude daný beton (materiál) pod zatížením deformovat. Modul pružnosti vstupuje do statických výpočtů a má úzký vztah k řadě dalších fyzikálně mechanických vlastností betonu jako je dotvarování, smršťování, mrazuvzdornost atd. Je obecně známo, že hodnoty modulu  $E$  stanovené na zkušebních vzorcích z betonů stejných pevnostních tříd, avšak různého složení nenabývají s ohledem na řadu technologických vlivů stejných hodnot [1], [2], [5]. Kromě technologických vlivů se uplatňují i vlivy zkušební [3], [5]. Výsledky experimentálního měření vlivu způsobu zakoncování tlačných ploch na pevnost v tlaku a modul pružnosti betonu jsou prezentovány v dalších kapitolách.

## 2. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku ČSN ISO 6784

Dle ČSN ISO 6784 by se pro zkoušku mělo přednostně použít válců o průměru 150 mm a výšce 300 mm, avšak je možno použít i jiná zkušební tělesa, která mají poměr příčného rozměru k výšce v rozmezí 1:2 až 1:4, přičemž příčný rozměr tělesa je nejméně čtyřnásobek největšího zrna kameniva v betonu. Této podmínce vyhovují například velmi často používané trámce 100/100/400 mm. Na každé zkušební těleso se osazují minimálně dva snímače deformací, které nesmí být umístěny v krajních čtvrtinách délky vzorku a jejichž délka musí být alespoň dvě třetiny příčného rozměru tělesa. Během zkoušky se provádí opakované zatěžování ve dvou mezích mezi 0,5 MPa, což je dolní napětí a jedna třetina pevnosti v tlaku srovnávacích těles (horní napětí), která se zjišťuje na třech tělesech stejného stáří, stejné velikosti a stejného uložení jako tělesa, která budou použita pro stanovení statického modulu pružnosti [4].



Obr. 1.: Umístění snímačů deformací na zkušebním tělese [1]



### **3. Experimentální část**

#### **3.1. Vzorky**

Pro zkoušky byly vyrobeny dvě série zkušebních těles. První série byla vyrobena z betonu pevností třídy C30/37 – XA2 90d Druhá série byla vyrobena z betonu C70/85 XF2. Třída C30/37 – XA2 90d v experimentu reprezentuje běžně používanou pevností třídu betonu, třída C70/85 XF2 reprezentuje vysokopevnostní, resp. vysokohodnotný beton. Důvodem, proč v experimentu byly použity takto velice odlišné pevností třídy betonu, byla mimo jiné i snaha postihnout vliv pevnosti betonu k pevnosti koncovacích hmot (síra, sádra, cement, neopren, hobra). Zkušebními tělesy byly válce o rozměrech 150/300 mm pro stanovení modulu pružnosti a následně válcové pevnosti v tlaku. Rovněž byly vyrobeny krychle o hraně 150 mm pro stanovení krychelné pevnosti v tlaku a dále trámce o rozměrech 100/100/400 mm pro stanovení modulu pružnosti v tlaku a hranolové pevnosti. Volný povrch těles byl zahlazen hladítkem. Zkušební tělesa byla 1 den uložena ve formách v NLP, po odformování byla dána do vodního uložení až do stáří 28 dní. Následně byla tělesa obou sad uložena 52 dní v NLP. Důvodem proč tělesa nebyla zkoušena v normovém stáří 28 dní, byla snaha omezit vliv pokračující hydratace na výsledek měření, neboť je poměrně obtížné vyzkoušet takto rozsáhlou sérii těles v jednom dni. Vyšší stáří pro C30/37 – XA2 90d 180-187 dní a pro C70/85 XF2 123-125 dní a tedy i vyzrání těles umožnilo provést zkoušky v průběhu tří dnů s minimálním dopadem na výsledek.

#### **3.2. Použité způsoby koncování**

V experimentálním měření byly použity následující způsoby zakoncování tlačných ploch:

- Sírná malta
- Cementem CEM I 42,5 R
- Rychle tuhnoucí sádra
- Neoprenové podložky
- Hobrové podložky
- Zaříznutí pilou
- Ručně hlazená plocha

Uvedeným způsobem byly upraveny vždy 4 válce z dané série. Zakoncování sírnou maltou, cementovou maltou a sádrkou bylo provedeno 7 dní před zkouškou a byly zakončovány oba konce válců. Neoprenové a hobrové podložky se vkládají do ocelových botek, kterými se osadí oba konce válce, tzn. jeden konec válce je hlazený, druhý je hladký obtisk dna formy. Pilou bylo zaříznuto pouze hlazené čelo válce, řez byl proveden diamantovým kotoučem s vodním chlazením 7 dní před zkouškou, druhý konec válce je hladký obtisk dna formy. Vzorky s jednou plochou ručně hlazenou z výroby a druhou plochou

tvořenou hladkým obtiskem dna formy byly do zkušebního stroje vkládány bez další povrchové úpravy.

### 3.3. Okrajové podmínky zkoušky

Zkoušky byly provedeny v laboratoři Kloknerova ústavu na zkušebním stroji Instron 3000 kN, který umožňuje poloautomatický provoz, tzn. obsluha po zadání dolní a horní zatěžovací úrovně, rychlosti zatěžování, umístění snímačů na vzorek a jeho vycentrování do průběhu zkoušky dále nezasahuje. Pro zkoušky byly použity dva extenzometrické snímače deformací o odměrné délce 150 mm. Díky stáří vzorků 6 resp. 4 měsíce se domníváme, že byl eliminován vliv pokračující hydratace na výsledek zkoušky, které byly provedeny v poměrně krátkém časovém intervalu 3 dní. Horní zatěžovací napětí bylo pro tělesa z dané série vždy shodné a bylo zvoleno jako 1/3 pevnosti v tlaku válců zakoncovaných sirnou maltou. Tato skutečnost byla vynucena poměrně velkým rozsahem testů a další navyšování počtu těles nebylo možné. Zakoncování sirnou maltou, cementovou maltou, sádrou a zařízením bylo provedeno týden před samotnou zkouškou. Veškeré zkoušky provedl jeden pracovník při shodném uspořádání testů.

### 3.4. Výsledky pro třídu C30/37 – XA2 90d

Celkem bylo zkoušeno 28 válců, 3 krychle a 3 trámce. Pro každý způsob zakoncování tlačných ploch byly použity 4 válce. Zkouška proběhla ve stáří 180-187 dní. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v následující tabulce, přičemž se vždy jedná o hodnoty průměrné, stanovené ze 4, resp. 3 těles.

Tabulka 1.: C30/37–XA2 90d – objemová hmotnost, pevnost, modul pružnosti

Způsob zakoncování tlačných ploch válců 150/300 mm	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Skutečná zatěžovací úroveň [%]
Sírná malta	2250	45,0	29,5	31,5
Cement	2240	41,5	29,5	34,2
Sádra	2260	41,5	30,0	34,2
Neopren	2250	41,5	32,0	34,2
Hobra	2240	37,0	32,5	38,4
Řez	2260	42,5	30,5	33,4
Hladítko	2250	36,0	28,5	39,4
Průměrná hodnota:	<b>2250</b>	<b>40,5</b>	<b>30,5</b>	-
Směrodatná odchylka:	<b>10</b>	<b>2,9</b>	<b>1,3</b>	-
Variační koeficient [%]:	0,4	7,2	4,4	-
Krychle – o hraně 150 mm	<b>2230</b>	<b>48,0</b>	-	-
Trámec – 100/100/400 mm	<b>2230</b>	<b>32,0</b>	<b>32,0</b>	33,7

Válce, jejichž tlačná plocha byla opatřena hobrou, resp. neoprenem, mají nejvyšší hodnotu modulu pružnosti (32,5 resp 32,0 GPa); nejnižší hodnotu modulu pružnosti má potom plocha hlazená (28,5 GPa). Přitom hobra a hlazené plochy mají nejnižší pevnost v tlaku (37,0 resp. 36 MPa), neopren má spolu se sádrou, cementem a řezanou plochou pevnost v tlaku na úrovni 41,5 – 42,5 MPa. Nejvyšší pevnost v tlaku válce byla naměřena u koncování sirnou maltou (45,0 MPa) při spíše lehce podprůměrné hodnotě modulu pružnosti (29,5 GPa).

Porovnáme-li tělesa s podobnou pevností v tlaku, zjistíme, že hladítko a hobra (36,0 MPa, resp. 37,0 MPa) mají přitom nejnižší (28,5 GPa), resp. nejvyšší (32,5 GPa) hodnotu modulu pružnosti. Rovněž zajímavé srovnání dává porovnání pevnosti a modulu pružnosti stanoveném na trámci k hodnotám stanovených na válcích. Při nejnižší hodnotě pevnost v tlaku (32,0 MPa - dané štíhlostí tělesa) je naměřený modul (32,0 GPa) vyšší o 1,5 GPa než průměrný modul stanovený z válců při různém způsobu zakoncování a je pouze o 0,5 GPa nižší než nevyšší zjištěná hodnota (hobra 32,5 GPa) a totožný s naměřenou hodnotou modulu u neoprenu (32,0 GPa). Této problematice se blíže věnuje například článek [3].

### 3.5. Výsledky pro třídu C70/85 XF2

Celkem bylo zkoušeno 20 válců, 3 krychle a 3 trámece. Pro každý způsob zakoncování tlačných ploch byly použity 4 válce. Zkouška proběhla ve stáří 123-125 dní. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v následující tabulce, přičemž se vždy jedná o hodnoty průměrné, stanovené ze 4, resp. 3 těles.

Tabulka 2.: C70/85 XF2 – objemová hmotnost, pevnost v tlaku, modul pružnosti

Způsob zakoncování tlačných ploch válců	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Skutečná zatěžovací úroveň [%]
Sirná malta	2440	86,5	41,5	32,8
Cement	2440	83,5	41,5	33,9
Sádra	2440	87,0	39,5	32,6
Neopren	2450	93,5	42,0	30,2
Hobra	2450	77,0	41,5	36,6
Průměrná hodnota:	<b>2440</b>	<b>85,5</b>	<b>41,2</b>	-
Směrodatná odchylka:	<b>5,0</b>	<b>5,4</b>	<b>0,9</b>	-
Variační koeficient [%]:	0,2	6,3	2,1	-
Krychle – o hraně 150 mm	<b>2450</b>	<b>105,5</b>	-	-
Trámeček – 100/100/400 mm	<b>2430</b>	<b>88,0</b>	<b>45,0</b>	26,4

Oproti předchozímu betonu C30/37 – XA2 90d nebylo u této sady z betonu C70/85 XF2 pro testy využito zakoncování zaříznutím pilou a zahlazení povrchu válce v čerstvém stavu.

Nejvyššího modulu pružnosti (42,0 GPa) a zároveň i nevyšší pevnosti v tlaku (93,5 MPa) bylo dosaženo u zakoncování pomocí neoprenových podložek. Ostatní způsoby zakoncování s výjimkou sádry mají hodnotu modulu pružnosti shodnou (41,5 GPa) a jen o 0,5 GPa nižší oproti neoprenovým podložkám (42,0 GPa). Sádra měla nejnižší hodnotu modulu pružnosti (39,5 GPa), přestože pevnost v tlaku dosáhla druhé nevyšší hodnoty (87,0 MPa).

Sírná malta, cement, hobra a neopren při stejné hodnotě modulu pružnosti (41,5 GPa, resp. 42,0 GPa) dosáhli značně rozdílných hodnot pevností v tlaku. Hobra se 77,0 MPa a neoprenové podložky s 93,5 MPa tvoří dolní a horní hranici zjištěných hodnot. Rozdíly v pevnostech mezilehlých hodnot (sírná malta 86,5 MPa a cement 83,5 MPa) potom nejsou nijak veliké.

Velmi zajímavé je i porovnání pevnosti a modulu pružnosti u trámce, který při vyšší štíhlosti tělesa má pevnost v tlaku (88,0 MPa) o 2,5 MPa vyšší než je průměrná hodnota stanovená na válcích (85,5 MPa), modul pružnosti má (45,0 GPa) potom o 3,0 GPa vyšší než je nejvyšší hodnota (neopren 42,0 GPa). Této problematice se blíže věnuje článek [3].

### 3.6. Výhody a nevýhody použitých způsobů koncování z různých hledisek

Z hlediska hodnocení času potřebného na přípravu zakoncování zkušební tělesa (pomineme-li neupravené těleso) vychází nejlépe použití neoprenových případně hobrových podložek. Čas přípravy je v řádu sekund. Zkušební těleso se vyndá z vody a otre se suchým hadrem, vloží se mezi neoprenové podložky a do zkušebního stroje. Výhodou je zde rychlost a nenáročnost přípravy vzorku, mírnou nevýhodou je opotřebení vložek (po desítkách zkoušek) a jejich cena (stokoruny) a rovněž to, že tento způsob není povolen normou. Otázkou je potom dosažení rovinnosti a rovnoběžnosti tlačných ploch.

O něco více času, řádově minuty, je potřeba pro zaříznutí či broušení hlazené plochy válců. Zkušební těleso po vyndání z vody a zaříznutí, či zabroušení stačí pouze otřít hadrem a vložit do stroje. Velkou výhodou je, že těleso je zatěžováno přímo a ne prostřednictvím vyrovnávací plochy z jiného materiálu, a doba přípravy vzorku je malá, navíc se jedná o dovolený způsob koncování. Nevýhodou je pořizovací cena kvalitní pily či brusky (statisíce Kč) a řezných či brusných kotoučů. U kvalitních pil a brusek obvykle není problém s dosažením požadované rovinnosti a rovnoběžnosti tlačných ploch.

Více času je potřeba pro zakoncování tělesa sírou. Samotné koncování sírou je poměrně rychlé (minuty), nicméně povrch tlačných ploch musí být suchý. To znamená, že se těleso po vyjmutí z vodního uložení nechává obvykle 30 minut (v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu) oschnout, a teprve poté se koncuje

roztavenou sirnou maltou. Celkový čas na přípravu válce je cca 35 minut. Koncování sírou je poměrně rychlé a cenově výhodné (řádově stokoruny), jedná se i o dovolený způsob koncování. Problémem může být zdravotní hledisko, kdy při nahřívání síry dochází k úniku sirných výparů. Proto je nutné mít dobře odvětrávanou digestoř a používat vhodný respirátor. Problém v dosažení rovinnosti tlačných ploch obvykle není, hůře je to s rovnoběžností, nicméně s vhodným koncovacím přípravkem a zkušeným pracovníkem se dosahuje velmi dobrých výsledků.

Nejdelšího času pro přípravu vzorku je potřeba v případě koncování cementem a to i hlinitanovým, případně sádrou. Válec vyndaný z vody stačí pouze povrchově otřít, a uložit do namíchaného cementu či sádry. Tvrdnutí je v řádu minut, ale i hodin. V případě, že se uvedeným způsobem koncují obě tlačné plochy válce, se čas zdvojnásobuje. Celkový čas potom může být v rozmezí 1-24 hodin na přípravu tělesa. U tohoto způsobu koncování vzorků lze spatřovat následující problémy: vyšší čas na přípravu, nutnost vyžrávání malty (hodiny až dny), těleso je obvykle po celou dobu přípravy na vzduchu, a tak vysychá, vyšší pracnost. Výhodou může být nízká cena cementu a malá náročnost na vybavení a v případě použití hlinitanového cementu jde i o dovolený způsob koncování.

#### 4. Závěr

V článku jsou prezentovány výsledky poměrně rozsáhlého experimentálního měření vlivu způsobu zakoncování tlačných ploch na výsledek zkoušky modulu pružnosti a pevnosti v tlaku a to na dvou pevnostních třídách betonu.

Lze konstatovat, že použitý způsob zakoncování má na výslednou hodnotu modulu pružnosti i tlaku poměrně zajímavý vliv. Dá se říci, že vyvážených výsledků modulu i pevnosti bylo dosaženo zakoncováním pomocí síry, cementu, sádry a řezu. Překvapivé jsou výsledky u zakoncování pomocí hobrových a neoprenových podložek, kdy naměřený modul pružnosti mají téměř shodný, ale pevnost v tlaku je naprosto rozdílná, u hobry nejnižší naměřené hodnoty, u neoprenu nejvyšší nebo průměrné. Na základě provedených měření lze konstatovat, že nejvyšších hodnot pevnosti v tlaku a modulu pružnosti lze získat pomocí neoprenových podložek. Naprosto nevhodné z hlediska dopadu na výslednou hodnotu pevnosti v tlaku je potom použití hobrových podložek a „neupraveného“ hlazeného povrchu. Vzorky s hlazeným povrchem mají i nejnižší hodnotu modulu pružnosti v tlaku.

Rozdíly při použití síry, cementu či sádry na pevnost a modul pružnosti jsou relativně malé a tyto způsoby zakoncování tlačných ploch dávají, dalo by se říci, průměrné hodnoty.

## 5. Diskuse

Na základě výše uvedených výsledků měření, komentářů a závěrů je patrné, že problematika modulu pružnosti z hlediska přípravy vzoru a jejich zkoušení je poměrně zajímavé téma. Různé způsoby zakoncování, ale i přípravy vzorků mají vliv jak na pevnost v tlaku, tak i na hodnotu statického modulu pružnosti v tlaku.

Z hlediska provedeního experimentu je třeba zvážit zejména dopad volby horního zatěžovacího napětí, které bylo pro tělesa z dané série vždy shodné a bylo zvoleno jako 1/3 pevnosti v tlaku válců zakoncovaných sirnou maltou. Rozdíly ve stanovených válcových pevnostech v tlaku při různém způsobu zakoncování jsou v některých případech poměrně veliké. Rozdíl v zatěžovacích úrovních je ve většině případů poměrně malý, nicméně maximální rozdíl je až 8%. Z toho důvodu jsou v současné době prováděny testy vlivu stanovení horní zatěžovací úrovně na výslednou hodnotu modulu pružnosti.

Bez zajímavosti ani není vyšší hodnota modulu pružnosti v tlaku stanovená na trácích 100/100/400 mm vyrobených, ošetřovaných a zkušných stejně jako válce 150/300 mm. Této problematice se věnujeme například v článku [3].

## Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS10/228/OHK1/2T/31.

## Literatura

- [1] CIKRLE, P.; Zkoušení stavebních materiálů, CERM Brno 1997.,
- [2] HUŇKA, P.; Diplomová práce: Sledování růstu modulu pružnosti vysokohodnotného betonu, listopad 2006 VUT BRNO – fakulta stavební.,
- [3] HUŇKA, P.; KOLÍSKO, J.; KOLÁŘ, K.; Vliv zkušebního tělesa na výsledek zkoušky statického modulu pružnosti betonu v tlaku, příspěvek na konferenci 15th Construmat 2009, ISBN 978-80-01-04355-4, ČVUT v Praze, Praha, 2009.,
- [4] ČSN ISO 6784 Beton - Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku,
- [5] HUŇKA, P.; Studie k disertační práci - Modul pružnosti betonu – možnosti stanovení, technologické a zkušební vlivy, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, květen 2011.,

## **Kontakt**

Ing. Petr Huňka, tel: 00420 224 353 521, e-mail: petr.hunka@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, Experimentální oddělení, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Doc. Ing. Karel Kolář, CSc., tel: 00420 224 354 959, e-mail: karel.kolar@fsv.cvut.cz, Experimentální centrum, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha.

Doc. Ing. Petr Bouška, CSc., tel: 00420 224 353 561, e-mail: petr.bouska@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, Experimentální oddělení, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. Stanislav Řeháček, tel: 00420 224 353 521, e-mail: stanislav.rekacek@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, Experimentální oddělení, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



**TECHNICKÁ NORMALIZÁCIA  
V OBLASTI GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
V SLOVENSKEJ REPUBLIKE**

**TECHNICAL STANDARDISATION IN GEODESY  
AND CARTOGRAPHY IN SLOVAK REPUBLIC**

**Ján Ježko**

Katedra geodézie, Stavebná fakulta,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

***Anotace:***

*Normalizačná činnosť a normy a v oblasti geodézie a kartografie v SR. Technická komisia (TK) 89 Geodézia a kartografia. Medzinárodná spolupráca v oblasti tvorby a preberania technických noriem. Technické normy pre oblasť testovania a kontroly geodetických prístrojov.*

***Annotation:***

*Standardisation activity and standards in Geodesy and Cartography in Slovak republic. Technical Committee TK 89 Geodesy and Cartography. International cooperation in creation and acceptance of technical standards. Technical standards in testing and controlling surveying instruments.*

***Klíčová slova:*** *Normalizačná činnosť, technické normy, medzinárodná spolupráca, technické komisie (TK), TK 89 Geodézia a kartografia, testovanie a kontrola geodetických prístrojov.*

***Keywords:*** *Standardisation activity, technical standards, international cooperation, technical committees (TK), TK89 Geodesy and Cartography, testing and controlling surveying instruments.*

## 1. Úvod

Technická normalizácia je činnosť ktorá zahŕňa oblasť tvorby noriem, ich revízie a harmonizácie s medzinárodnými normami. Norma je všeobecne definovaná ako dokument vytvorený na základe dohody a schválený uznaným orgánom. Obsahuje pravidlá, pokyny a charakteristiky činností a ich výsledky na spoločné a opakované použitie s cieľom dosiahnuť optimálny stupeň poriadku v danej oblasti [6]. Je výsledkom normalizačnej činnosti, t. j. činnosti, ktorou sa zavádzajú ustanovenia na všeobecné a opakované použitie a ktorá je zameraná na dosiahnutie optimálneho stupňa poriadku s ohľadom na aktuálne alebo potenciálne problémy v danej oblasti.

Bez tvorby technických noriem a následného rešpektovania týchto noriem by geodézia, stavebníctvo i vlastne všetky odvetvia ľudskej činnosti nemohli existovať, či existovať na súčasnej rozvinutej úrovni. Vykonávanie mnohých bežných denných činností by bolo v súčasnom svete zložité alebo nebezpečné, dokonca nemožné bez noriem. V zásade akýkoľvek jednoduchý proces výroby by bol nemožný.

## 2. Normy a predpisy v technickej praxi

Technické normy a predpisy predstavujú overené a optimálne postupy a riešenia rôznej problematiky v technickej praxi. Ich využitie uľahčuje štandardizovaný charakter, prehľadnosť, jednoznačnosť, zrozumiteľnosť a stručnosť textovej časti [1, 5].

Riešenie problematiky v oblasti technickej normalizácie nadväzuje na uzatvorenú dohodu o pridružení SR k Európskej únii (EÚ) i na ďalšie odporúčania zo strany Medzinárodnej organizácie pre normalizáciu (ISO) a Európskej komisie pre normalizáciu (CEN) [1, 2].

Slovenská republika (SR) je od 1. 07. 1993 riadnym členom ISO a od 1. 01. 2003 riadnym členom CEN. Tento prístup predpokladá vytvorenie nového systému zabezpečenia technickej normalizácie, ktorý bude zhodný so systémami štátov EÚ. Jeho cieľom je vydávanie a zavádzanie Európskych noriem (EN) do sústavy Slovenských technických noriem (STN) [1, 2].

### 2.1. Postavenie noriem v právnom systéme

Zákon č. 264/1999 Z. z., jeho § 6 popisuje proces tvorby, schvaľovania a vydávania noriem, v § 7 hovorí o zhode so slovenskou technickou normou a odsek 3 predmetného paragrafu priamo definuje, že „Dodržiavanie slovenskej technickej normy je dobrovoľné“.

STN dostáva nové postavenie - dobrovoľnosť, teda nezáväznosť, čo však neznamená neplatnosť. Norma aj napriek dobrovoľnosti sa stáva zárukou, že jej dodržanie sa bude považovať za splnenie technických požiadaviek a ak je harmonizovaná s technickým predpisom, tak to považuje za splnenie požiadaviek týmto predpisom stanovených [3, 5].

V praxi to znamená, že ak napríklad projektant, alebo zhotoviteľ dodrží pri svojom návrhu alebo výrobnom postupe platnú STN, pri problémoch, ktoré by sa mohli vyskytnúť (porucha, prípadne nehoda) mu na obhájenie stačí dôkaz, že dodržal platnú STN. V prípade nedodržania normy sú potrebné znalecké analýzy, či jeho riešenie bolo pre daný prípad optimálne. Norma je bezpečným riešením na danej úrovni technického rozvoja a na druhej strane nekladie prekážky, pre svoju dobrovoľnosť, novým riešeniam, inováciám, ktoré výrobca dokáže obhájiť.

## 2.2. Slovenské technické normy

Po vzniku Slovenskej republiky sa stali základom systému Slovenských technických noriem (STN) všetky československé normy (ČSN) a všetky odborové normy (ON), platné ku dňu 1. 1. 1993 [3, 6]. Na základe výmeru č. 1/1994 a výmeru č. 2/1994 Úradu normalizácie, metrologie a skúšobníctva (ÚNMS) SR bolo zmenené označenie ČSN na STN a súčasne bolo uložené všetkým organizáciám, ktoré vlastnia normy, aby zabezpečili preznačenie aspoň jednej sady noriem na STN. Na základe požiadaviek ústredných orgánov štátnej správy bol výmerom č. 79/1994 ÚNMS SR vyhlásený zoznam záväzných STN. Výmer nadobudol účinnosť dňa 1. 1. 1995 a jeho platnosť skončila 31. 12. 2000.

Na základe zákona č. 142/1991 Zb. v znení neskorších predpisov boli ku dňu 1. 1. 1994 zrušené všetky ON a zároveň bolo umožnené ministerstvám, aby vyhlásili tie ON, ktoré sú potrebné a nie sú nahradené štátnymi normami za normy odvetvové. Tieto bolo možné používať ako nezáväzné dokumenty po dobu troch rokov [2, 3].

Slovenský ústav technickej normalizácie (SÚTN) so sídlom v Bratislave je určenou právnickou osobou na tvorbu, schvaľovanie a vydávanie slovenských technických noriem a preberanie noriem ISO a EN. SÚTN zastupuje Slovenskú republiku (SR) a plní povinnosti, vyplývajúce z medzinárodných zmlúv a členstva v medzinárodných a európskych normalizačných organizáciách v ISO, IEC (Medzinárodná elektrotechnická komisia), v CEN a CENELEC (Európska komisia pre normalizáciu v elektrotechnike) a zároveň plní funkciu národného normalizačného orgánu (NNO).

### 2.3. Preberanie noriem ISO a EN

Európske normy vypracúvajú technické komisie CEN, CENELEC. Európske normalizačné organizácie ich ratifikujú, ale do skutočného života normy vstupujú po ich zavedení do národných sústav najneskôr 6 mesiacov po ich sprístupnení. Spôsoby preberania stanovujú vnútorné predpisy CEN, CENELEC, v SR i zákon č. 264/1999 Z. z.. Normy sa preberajú *prekladom* s vydaním národnej titulnej strany, národného predhovoru, nezmeneného, neupravovaného preloženého textu európskej normy (EN) vrátane príloh a v prípade potreby národnej prílohy. Ak sa preberá EN *prevzatím originálu*, STN EN obsahuje text EN v pôvodnej anglickej verzii a národná titulná strana obsahuje národný predhovor a krátku anotáciu s predmetom normy. *Oznámením vo Vestníku* sa norma len odporučí na používanie ako STN [3, 5].

Proces preberania noriem zabezpečujú technické komisie (TK), ktoré sú v zmysle „Štatútu a rokovacieho poriadku technických komisií“ odborný poradný orgán SÚTN, spolupracujúci pri tvorbe a preberaní noriem a ďalších činnostiach súvisiacich s normalizačnou činnosťou SÚTN [6].

SÚTN v súlade s „Kódexom správnej normalizačnej praxe“ predkladá na verejné prerokovanie návrhy medzinárodných noriem ISO a iných dokumentov, pripravovaných v ISO, ktoré môže SÚTN v budúcnosti prevziať do sústavy STN, alebo sa môžu po schválení používať priamo v origináli. Orgány štátnej a verejnej správy, právnické a fyzické osoby môžu predložiť pripomienky k textom návrhov noriem a ďalších dokumentov najneskôr 4 týždne pred termínom na odpoveď, uvedenom pri každom dokumente ISO na jeho adresu, alebo e-mailom na adresu: navrhynoriam@sutn.gov.sk. Pripomienky musia byť vložené do priloženého formulára (na stránke SÚTN), prednostne v angličtine. Texty návrhov medzinárodných noriem a ďalších dokumentov ISO sú dostupné len v anglickom jazyku. Pre spracovateľov úloh normalizačnej spolupráce a členov TK sú uvedené návrhy prístupné cez webovú stránku SÚTN [3, 5].

V minulých rokoch sa vzhľadom na cieľ dosiahnuť štatút riadneho (národného) člena CEN/CENELEC pristúpilo k ďalšej forme preberania EN a to je *prevzatie EN v jazyku člena CEN/CENELEC*, (najčastejšie v českom jazyku). Podľa Vnútorných predpisov CEN/CENELEC má verzia normy, ktorú vydal člen CEN/CENELEC v národnom jazyku rovnaké postavenie ako oficiálne verzie. Zákon č. 264/1999 Z. z. dovoľuje všetky spôsoby preberania noriem určené medzinárodnými a európskymi normalizačnými organizáciami (§ 5, ods. 4).

Spracovanie normy neznamená len technický preklad textu originálu s použitím správnej terminológie, ale zahŕňa i návrh opatrení, t. j. návrh zmien platných pôvodných STN, prípadne ich úplné zrušenie, ak to zavedenie novej normy vyžaduje [3, 5].

### 3 Technické komisie a systém technickej normalizácie v SR

Technické komisie sú odborné, poradné a pracovné orgány SÚTN. SÚTN zriaďuje, registruje, metodicky riadi a koordinuje všetky TK. Zriaďuje ich za účelom komplexného riešenia všetkých otázok technickej normalizácie vo vymedzenom rozsahu pôsobnosti. Činnosť TK je založená na princípoch reprezentácie záujmov rôznych sfér spoločnosti s cieľom dosiahnuť vzájomne výhodné normalizačné riešenia [4, 5].

TK v zmysle „Štatútu a rokovacieho poriadku technickej komisie“ (v platnosti od 1. 2. 2008) v rozsahu svojej pôsobnosti, rešpektujúc zásady slovenskej, európskej a medzinárodnej normalizácie najmä [6]:

- prerokúva návrhy pôvodných STN, návrhy na ich zmeny, revízie a zrušenia,
- vypracúva národné stanoviská k dokumentom ISO, IEC, CEN, CENELEC a ETSI,
- navrhuje, prerokúva a vypracúva podklady na zostavenie plánu technickej normalizácie na základe požiadaviek zastúpených zákazníkov a väzieb na európsku a medzinárodnú normalizáciu,
- navrhuje spôsob preberania európskych noriem do sústavy STN podľa kritérií SÚTN,
- vypracúva stanovisko k návrhu STN, ktoré preberá európsku normu, ak spracovateľ normalizačnej úlohy o to požiada,
- zabezpečuje previerku pôvodných noriem STN, ktoré patria do jej kompetencie z hľadiska ich aktuálnosti a prípadného konfliktu s EN,
- dodáva podklady pre SÚTN na poskytovanie vysvetlení k ustanoveniam STN.

#### 3.1 Vznik a činnosť TK 89 pre oblasť Geodézie a kartografie

TK sú zriaďované pri SÚTN na návrh rôznych orgánov, resp. organizácií so spoločnou sférou profesijných záujmov. Návrh na zriadenie TK obvykle podávajú ústredné orgány štátnej správy, celorezortné pracoviská (dozorujúce dodržanie kvalitatívnych kritérií v príslušnom rezorte), ale aj iné profesijné zoskupenia, činné v predmetnej oblasti. Zriadenie TK pre oblasť geodézie a kartografie je výsledkom dlhoročného spoločného úsilia Komory geodetov a kartografov (KGK), Úradu geodézie, kartografie a katastra (ÚGKK) SR, Topografickej služby (TS) Armády SR, ako aj profesijných združení, pôsobiacich v oblasti geodézie a kartografie [4]. Ustanovujúce zasadanie TK 89 „Geodézia a kartografia“ sa konalo dňa 6. 10. 1999.

TK 89 „Geodézia a kartografia“ pracuje od začiatku v štruktúre dvoch subkomisií, orientovaných na oblasti:

- geodetických základov, geoinformačných systémov, topografickej služby armády, kartografie – subkomisia č.1,
  - inžinierskej geodézie a geodézie v stavebníctve – subkomisia č.2.
- Členovia TK 89 zastupujú všetky zložky rezortu vrátane štátnej správy, súkromného a akademického sektoru, profesijných združení a KGK [4].

### 3.2 Normalizačná činnosť a aktivity TK Geodézia a kartografia

TK 89 sa pri svojom vzniku i v súčasnom období zameriava na nasledujúce oblasti:

- preberanie európskych noriem (EN) a medzinárodných noriem (ISO) v menovaných oblastiach,
- tvorbu nových slovenských technických noriem (STN) a revíziu existujúcich STN v oblasti geodézie, kartografie a katastra i geografických informačných systémov (GIS),
- tvorbu nových STN a revíziu existujúcich STN v oblasti geodetických prác vo výstavbe (geometrická presnosť vo výstavbe, vytyčovacie práce, meranie posunov a pretvorení stavebných objektov),
- tvorbu nových STN a revíziu existujúcich STN v oblasti spadajúcej do pôsobnosti TS Ozbrojených síl SR.

Medzinárodné a európske normalizačné organizácie, v ktorých má TK 89 delegáta:

- CEN/TC 287 - Geographic Information (Geografické informácie),
- ISO/TC 211 - Geographic Information/Geomatics (Geografické informácie/Geomatika),
- ISO/TC 172 SC 6 – Optics and optical instruments /Geodetic and surveying instruments (Optika a optické prístroje/Geodetické a meracie prístroje).

Medzinárodné a európske normalizačné organizácie, ktorých oblasť pôsobnosti súvisí s jednotlivými časťami pracovného programu TK 89:

- CEN/TC 123 – Lasers and laser related equipment (Lasery a laserové zariadenia),
- CEN/TC 147 – Cranes - Safety (Žeriavy - Bezpečnosť),
- CEN/TC 256 – Railway applications (Železničné aplikácie),
- CEN/TC 278 – Road transport and traffic telematics (Telematika v cestnej doprave a preprave),
- ISO/TC 57 – Metrology and properties of surfaces (Metrológia a vlastnosti povrchov),
- ISO/TC 59 – Building constructions (Stavebné konštrukcie),
- ISO/TC 96 – Cranes (Žeriavy),
- ČNI/TNK 24 – Geometrická presnosť budov a stavieb,
- ČNI/TNK 122 - Geografická informácie/Geomatika.

Aktivity v oblasti previerok technických noriem sú každoročne publikované v „Strategickom vyhlásení TK“ [4, 5, 6].

K normám z oblasti terminológie v geodézii a kartografii, zložených z troch častí, (STN 73 0401-1 Terminológia geodetických základov a inžinierskej geodézie, STN 73 0401-2 Terminológia katastra nehnuteľností, mapovania a fotogrametrie, STN 73 0401-3 Terminológia kartografie a geoinformačných systémov), ktoré boli vydané v roku 2009 [2], pribudli začiatkom roku 2010 normy z oblasti pôsobnosti medzinárodnej technickej komisie ISO/TC 172/SC 6 - Optics and optical instruments /Geodetic and surveying instruments (Optika a optické prístroje/Geodetické a meracie prístroje), ktoré boli do sústavy STN prevzaté originálom – úvodná časť v slovenskom jazyku, text normy v anglickom jazyku.

Jedná sa o nasledujúce normy:

- STN ISO 17123-2: 2002 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 2. časť: Niveláčne prístroje.,
- STN ISO 17123-3: 2001 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 3. časť: Teodolity.,
- STN ISO 17123-4: 2001 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 4. časť: Elektrooptické diaľkomery.,
- STN ISO 17123-5: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 5. časť: Elektronické tachymetre.,
- STN ISO 17123-6: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 7. časť: Rotačné laserové prístroje.,
- STN ISO 17123-7: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 7. časť: Optické prevažovacie prístroje.,
- STN ISO 17123-8: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 8. časť: GNSS meracie systémy pracujúce kinematickou metódou v reálnom čase.

### **3.3 Niektoré poznatky z testovania geodetických prístrojov podľa STN ISO 17123**

Túto sadu noriem (ISO 17123) pripravila TK ISO/TC 172, Optika a optické prístroje, subkomisia SC 6, Geodetické a meracie prístroje. Medzinárodné normy ISO 17123 špecifikujú skúšobné postupy, zamerané na určovanie a odhad presnosti geodetických prístrojov a pomocného vybavenia pri meraniach v stavebníctve a geodézii. Cieľom testovania je overenie vhodnosti jednotlivých prístrojov pre príslušnú úlohu a splnenie požiadaviek iných noriem. Postupy sú určené na skúšanie prístrojov v teréne bez potreby ďalších zariadení a sú navrhnuté tak, aby bol minimalizovaný vplyv atmosférických podmienok na výsledok testu [2].

Všeobecne možno testovanie podľa tejto sady noriem rozdeliť na testovanie podľa:

- zjednodušeného postupu,
- úplného postu.

**Zjednodušený postup** skúšky je založený na obmedzenom počte meraní. Ak zjednodušený postup skúšky nie je postačujúci, je potrebné prejsť k úplnému - presnejšiemu postupu testovania a určení kvalitatívnych charakteristík prístroja, vrátane štatistických postupov spracovania nameraných výsledkov.

**Úplný postup** je všeobecne založený na komplexnejšom meraní, väčšom počte meraní v niekoľkých sériách, vyhodnotenie je realizované pomocou vybraných štatistických testov. V rámci vedecko – výskumnej a pedagogickej činnosti boli na Katedre geodézie SvF STU Bratislava podľa predmetnej sady noriem testované a skúšané vybrané geodetické prístroje s výsledkami uvedenými v tabuľke . 1.

*Tabuľka 1.: Výsledky z testovania vybraných geodetických prístrojov*

STN - ISO	Testovaný prístroj	Zjednodušený postup	Úplný postup
17123-2: Niveláčn é prístroje	Zeiss Ni 025 Zeiss Ni 007 Sokkia C40 Geo Fennell NO.10 Spectra AL224 Leica Sprinter 150	vyhov el netestovaný vyhov el vyhov el vyhov el vyhov el	vyhov el vyhov el vyhov el vyhov el vyhov el vyhov el
17123-5: Elektronické tachymetre	Topcon GPT-3005 Leica TCR 407	vyhov el vyhov el	vyhov el nevyhov el
17123-7: Optické prevažovacie prístroje	Zeiss PZL 100	netestovaný	nevyhov el

Vzhľadom na rozličnosť postupov podľa jednotlivých noriem a prístrojov sú podrobnosti a výsledky uvedené v [4, 5, 7, 8].

## 4 Záver

Riešenie normalizačných úloh v akejkoľvek oblasti technickej praxe je dôležitou súčasťou celého systému tvorby a realizácie produktu – výrobku, alebo služby. STN a ich nové postavenie v právnom systéme SR majú svoju oporu v zákone i medzinárodných dohodách, na ktoré SR pristúpila pri svojom pridružení k EÚ. Ich držiavanie napriek postaveniu „dobrovoľnosti“ neznamená



ich neplatnosť. Riešenie technickej úlohy, realizácie výrobku alebo služby v zmysle platnej STN znamená pre zhotoviteľa i právnu istotu a zároveň „dobrovoľnosť“ nekladie prekážky novému, inovačnému riešeniu, ktoré výrobca dokáže obhájiť.

Tvorba nových noriem, preberanie noriem i ich rušenie sú náplňou práce TK 89 Geodézia a kartografia. TK 89 pôsobiaca pri SÚTN umožňuje prezentovať a presadzovať potreby a záujmy geodetickej obce na poli technickej normalizácie a stáva sa tak prostriedkom na vybudovanie moderného systému STN (pre oblasť jej pôsobnosti), konformného so systémami členských krajín EÚ.

**Príspevok je súčasťou riešenia projektu „Kvalitatívne aspekty tvorby priestorových modelov geodetickými a fotogrametrickými metódami“, č. 1/0142/10 realizovaného za podpory agentúry VEGA.**

## Literatúra

- [1] LUKÁČ, Š.: Aktuálne právne a technické predpisy v odbore geodézia a kartografia na Slovensku. In.: Geodézia, fotogrametria a inžinierska geodézia v informačnej spoločnosti. Bratislava, Katedra geodézie SvF STU, 2001, s. 93-104.
- [2] JEŽKO, J.: Testovanie a kalibrácia geodetických prístrojov z pohľadu technických noriem. In.: Interdisciplinárne aplikácie geodézie, inžinierskej geodézie a fotogrametrie. Bratislava, Katedra geodézie SvF STU, 2008, 10 s., (CD ROM) ISBN 978-80-227-2938-3.
- [3] TÖLGYESSYOVÁ, H.: Tvorba sústavy slovenských technických noriem a jej harmonizácia so sústavou európskych a medzinárodných noriem. Techcon 5/2007, s. 25-30.
- [4] KOPÁČIK, A. - JEŽKO, J.: Aktuálne otázky normotvornej činnosť v oblasti geodézie a kartografie na Slovensku. Slovenský geodet a kartograf, roč. X, 2005, č. 2, s. 14-20, ISSN 1335-4019.
- [5] JEŽKO, J. - KOPÁČIK, A.: Technické normy a normotvorná činnosť v odbore geodézia a kartografia. In: 70 rokov SvF STU. Sekcia 4: Geodézia a kartografia. Medzinárodná vedecká konferencia. Bratislava, SvF STU, 2008, ISBN 978-80-227-2979-6, s. 63-73.
- [6] Štatút a rokovací poriadok technických komisií. SÚTN, Bratislava, 2008, 15 s.
- [7] JEŽKO, J.: Testovanie elektronických tachymetrov podľa STN ISO 17123-

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

5. In: Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2010 : VI. vedecko-odborná konferencia s medzinárodnou účasťou. Demänovská dolina, SR, 7.-9.9.2010, ISBN 978-80-553-0468-7. -nestr.

- [8] JEŽKO, J.: Testovanie nivelačných prístrojov podľa STN ISO 17123-2. In: Aktuálne problémy geodézie, inžinierskej geodézie a fotogrametrie : Vedecko-odborný seminár s medzinárodnou účasťou pri príležitosti 60. výročia založenia Katedry geodézie SvF STU v Bratislave. Bratislava, SR, 14.6.2011. - Bratislava : STU v Bratislave SvF, 2011. - ISBN 978-80-227-3501-8. - nestr.

## **Kontakt**

Ing. Ján Ježko, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: 59274 338, e-mail: jan.jezko@stuba.sk

## SLEDOVÁNÍ VZDUCHOVÉ PROPUSTNOSTI POHLEDOVÝCH BETONŮ V ČASE

## MONITORING OF AIR PERMEABILITY OF VISIBLE CONCRETE IN TIME

**Zlata Kadlecová, Jiří Adámek, Pavel Reiterman**

Ústav stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně  
Experimentální centrum, FSv ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Příspěvek se zabývá hodnocením pohledových betonů z hlediska vzduchové propustnosti metodou TPT (Torrent Permeability Tester). Experimentální měření bylo prováděno ve spolupráci s ČVUT v Praze na betonových kvádrech o rozměrech 700 x 400 x 150 mm po 28 dnech a 10 měsících a byl sledován vliv stáří na součinitel vzduchové propustnosti povrchové vrstvy betonu.*

***Annotation:***

*The paper presents some results from the experimental tests of covercrete permeability both for air during methods TPT (Torrent Permeability Tester) on different concrete cover with proportion 700 x 400 x 150 mm. It compares the value of the coefficient of air permeability in the age of 28 days and a 10 months in different finishes covercrete.*

***Klíčová slova:*** Trvanlivost, beton, TPT, povrchová vrstva betonu.

***Keywords:*** Durability, concrete, TPT, covercrete.

## 1. Úvod

Ve stavební praxi se stále častěji setkáváme s využitím pohledových betonů, které již neplní funkci pouze mechanickou, ale velký důraz je kladen na funkci estetickou. Tyto betony jsou přímo vystaveny působení agresivních látek z okolního prostředí a proto musíme při návrhu konstrukce tento aspekt zohlednit. Důležitým parametrem, který ovlivňuje trvanlivost betonů, je kvalita povrchové vrstvy v tloušťce cca 25 ~ 50 mm. Jedním z parametrů, které popisují vliv struktury povrchové vrstvy betonu, je propustnost pro vzduch. Výrobce přístroje TPT (Torrent Permeability Tester) pro měření vzduchové propustnosti dodává k zařízení tabulku, která rozděluje kvalitu povrchové vrstvy podle součinitele vzduchové propustnosti do 5 tříd: velmi dobrá, dobrá, střední, špatná a velmi špatná. Takto stanovenou charakteristiku lze využít k hodnocení výsledné trvanlivosti betonové konstrukce.

## 2. Experimentální část

Ve spolupráci s ČVUT v Praze byla vyrobena zkušební tělesa pohledového betonu (*Obr. 1*) s různými povrchovými úpravami v bednění při betonáži (fólie, hadr, sprej, bez úpravy) a byl sledován vliv stáří na součinitel vzduchové propustnosti povrchové vrstvy betonu po 28 dnech a 10 měsících. Na každém povrchu pohledového betonu byly provedeny 3 měření, které přispěly nejen k hodnocení hutnosti betonu po výšce, ale také i pro hodnocení betonových povrchů z hlediska trvanlivosti.

### 2.1. Popis zkušebních vzorků a jejich receptury

Pro experimentální měření byly vyrobeny zkušební tělesa o rozměrech 700 x 400 x 150 mm ve dvou sadách, vždy po 3 kusech. Sady se lišily složením čerstvé betonové směsi, kdy první sada měla vyšší dávkování plastifikátoru (*Tabulka 1*). Každá měřicí plocha byla označena číslem (13 až 24) a popisem úpravy povrchu v bednění. Celkem bylo vyrobeno 12 měřících ploch s různými povrchovými úpravami v bednění při betonáži.



Obr. 1.: Zkušební tělesa včetně jejich označení

Tabulka 1.: Složení betonových směsí

Povrch	Složení betonové směsi na 1 m <sup>3</sup>					
	CEM I 42,5 R Mokrý	Kamenivo			Voda	Plastifikátor
		0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm		
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
13 - 18	400	930	315	600	180	3
19 - 24	400	930	315	600	180	2

Vzhledem k velké výšce zkušebních těles probíhalo hutnění ve třech hutnicích cyklech, vždy po třetinách výšky formy. Byly využity následující způsoby hutnění:

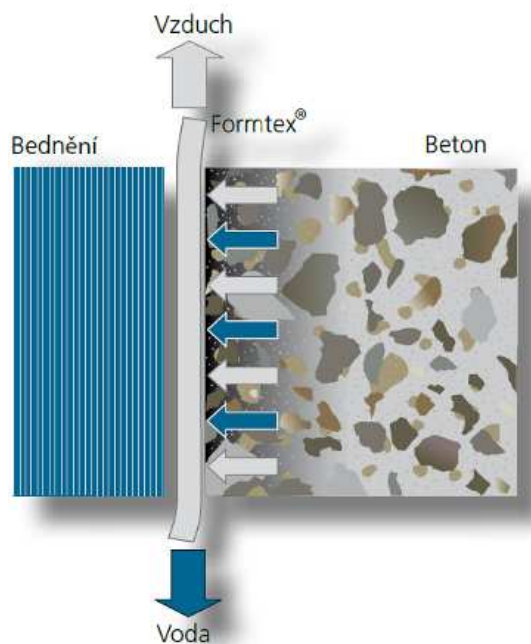
- Ponorný ruční vibrátor,
- spodní vibrace na vibračním stole.

Způsob označování zkušebních těles dle výrobního postupu je patrný z následující tabulky (Tabulka 2).

Tabulka 2.: Přehled jednotlivých typů povrchových úprav

Ozn.	Způsob provádění povrchu	Způsob vibrace
<b>hadr 1</b>	Deska bednění PERI separační prostředek nanesen textilií	ponorný vibrátor
<b>sprej 1</b>	Deska bednění PERI separační prostředek CLEAN nanesený rozprašovačem	ponorný vibrátor
<b>hadr 2</b>	Deska bednění PERI separační prostředek nanesený textilií	spodní vibrace
<b>sprej 2</b>	Deska bednění PERI separační prostředek CLEAN nanesený rozprašovačem	spodní vibrace
<b>fólie</b>	Deska bednění PERI drenážní fólie Formtex	spodní vibrace
<b>bez</b>	Deska bednění PERI bez ošetření	spodní vibrace

Drenážní fólie Formtex je netkaná textilie vyrobená z jemného polypropylenového vlákna. Jedná se o dvouvrstvý separační systém, kde vrchní vrstva v kontaktu s čerstvým betonem je tvořena polopropustnou fólií odvádějící přebytečnou vodu a vzduch a plní funkci filtru. Druhá vrstva funguje jako drenážní (Obr. 2).[7]

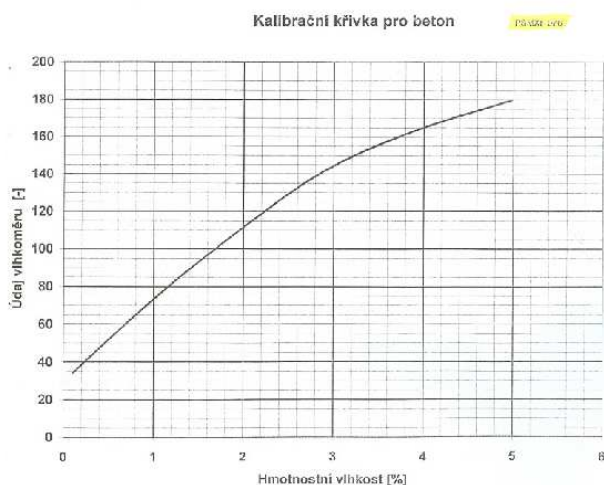


Obr. 2.: Drenážní fólie Formtex [7]

## 2.2. Popis metodik prováděných zkoušek

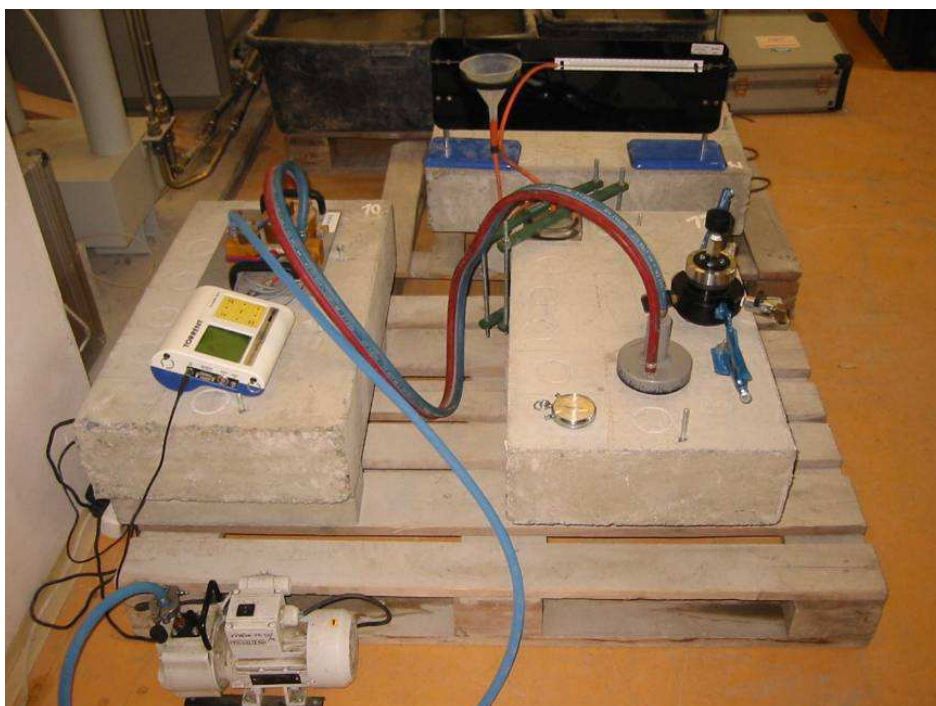
Každá ze zkušebních ploch byla rozdělena na tři části (A, B a C) a na každé ploše bylo provedeno měření povrchové hmotnostní vlhkosti kapacitním vlhkoměrem PSMXi a na stejném místě byl stanoven součinitel vzduchové propustnosti  $k_T$  metodou TPT.

Kapacitní vlhkoměr PSMXi je příložná sonda (Obr. 3), která po přiložení ke zkušebnímu povrchu a stisknutí tlačítka zobrazí na digitálním displeji bezrozměrnou hodnotu. Z kalibrační křivky (Obr. 4) se odečte povrchová hmotnostní vlhkost  $w$  v %.



Obr. 3.: Kapacitní vlhkoměr Obr. 4.: Kalibrační křivka [5]

Pro stanovení koeficientu vzduchové propustnosti  $k_T$  bylo použito zařízení švýcarské firmy Proceq Torrent Permeability Tester (dále jen TPT). Přístroj (Obr. 5) se skládá z dvoukomorové vakuové buňky a regulátoru tlaku, který koriguje prodějí vzduchu do vnitřní komory, a z vakuového čerpadla. Přístroj po 12 minutách stanoví součinitel vzduchové propustnosti  $k_T$  a třída kvality krycí vrstvy betonu z hlediska trvanlivosti se určí z tabulky dle výrobce (Tabulka 3).



Obr. 5.: Vlevo přístroj TPT – ovládací jednotka regulátor tlaku,, vpravo měřící komora

Tabulka 3.: Kvalita povrchové vrstvy betonu dle výrobce [3]

Kvalita povrch. vrstvy	5 Velmi špatná	4 Špatná	3 Střední	2 Dobrá	1 Velmi dobrá
$k_T (*10^{-16} \text{ m}^2)$	> 10	1.0 – 10	0.1 – 1.0	0.01 – 0.1	< 0.01

### 3. Naměřená data

Vzhledem k tomu, že povrchová vlhkost významným způsobem ovlivňuje hodnoty součinitele  $k_T$ , byly naměřené hodnoty přepočítány na srovnávací 3 % vlhkost dle metodiky [4] vyvinuté na Ústavu stavebního zkušebnictví, Fakulty stavební, VUT v Brně. Průměrné výsledky měření součinitele vzduchové propustnosti po 28 dnech a po 10 měsících jsou uvedeny v následující tabulce.



Tabulka 4.: Průměrné výsledky měření součinitele propustnosti  $k_T$

Plocha	Úprava povrchu	Po 28 dnech				Po 10 měsících			
		Povrchová vlhkost $w$ [%]	Součinitel $k_T * 10^{-16} \text{ m}^2$	Hloubka vniknutí vakua [mm]	$k_{T\ 3\%} * 10^{-16} \text{ m}^2$	Povrchová vlhkost $w$ [%]	Součinitel $k_T * 10^{-16} \text{ m}^2$	Hloubka vniknutí vakua [mm]	$k_{T\ 3\%} * 10^{-16} \text{ m}^2$
13	hadr	3,4	0,013	7,7	0,018	2,3	0,027	11,4	0,014
14	sprej	3,6	0,009	6,3	0,015	2,2	0,016	8,6	0,008
15	hadr 2	3,7	0,015	8,3	0,027	2,1	0,039	13,6	0,018
16	sprej 2	3,2	0,010	6,9	0,012	2,2	0,041	13,6	0,020
17	fólie	3,6	0,008	3,9	0,013	2,8	0,009	6,6	0,008
18	bez	4,0	0,021	8,7	0,050	2,4	0,026	10,6	0,016
19	sprej	3,3	0,025	10,6	0,032	1,5	0,036	12,5	0,009
20	fólie	3,0	0,017	10,6	0,017	1,6	0,025	11,0	0,007
21	bez	3,6	0,004	2,7	0,007	2,1	0,165	29,8	0,074
22	hadr	3,2	0,015	4,0	0,018	1,2	0,043	14,1	0,010
23	hadr 2	3,9	0,019	9,3	0,041	1,5	0,051	15,4	0,014
24	sprej 2	3,9	0,009	6,3	0,020	1,6	0,036	12,9	0,010

#### 4. Diskuze výsledků

Měřením vzduchové propustnosti metodou TPT bylo zjištěno, že povrchovou vrstvu betonových bloků po 28 dnech lze hodnotit jako 2 – dobrou a to u obou typů záměsí. Velkým překvapením byl pohledový beton bez povrchové úpravy, který byl hodnocen jako 1 – velmi dobrý. Výsledné hodnoty součinitele vzduchové propustnosti přepočtené na 3 % vlhkost  $k_{T\ 3\%}$  dosahovaly hodnot v rozmezí  $(0,007 \sim 0,050) * 10^{-16} \text{ m}^2$ .

Zkoušky byly opakovány po 10 měsících a na betonech se jasně projevil vliv stáří a vyzrálosti povrchu na kvalitu povrchové vrstvy betonu. Téměř ve všech případech se to projevilo i na hodnotách součinitele vzduchové propustnosti pro 3 % vlhkost, které byly v rozmezí  $(0,007 \sim 0,074) * 10^{-16} \text{ m}^2$ . Kvalita povrchové vrstvy betonu byla tedy 1 – velmi dobrá nebo 2 – dobrá.

Z vizuálního hlediska dopadl nejlépe povrch s drenážní fólií Formtex, který nejevil žádné negace z hlediska estetiky.

## 5. Závěr

Experimentální měření propustnosti povrchové vrstvy betonových bloků metodou TPT ukázalo, že se součinitel vzduchové propustnosti  $k_T$  je výrazným kritériem pro hodnocení povrchu betonu. Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo s použitím drenážní fólie Formtex, která vytvořila na povrchu dokonale hladký povrch bez prohlubní či nerovností. Tímto byl potvrzen fakt vhodnosti použití této fólie pro exponované stavby vystavené vlivu agresivního prostředí a předpoklad vyšší odolnosti z hlediska trvanlivosti.

## Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory projektů GAČR č.103/09/0065 a FAST-J-11-12.

## Literatura

- [1] ADÁMEK, J.; JURÁNKOVÁ, V. Durability of the Concrete as a Function of Properties of Concrete Layer. TRANSACTIONS ON TRANSPORT SCIENCES. 2010. 2(4). p. 188 - 195. ISSN 1802-971X.
- [2] TORRENT, R., LUCO, L. F. Non-Destructive Evaluation of the Penetrability and Thickness of the Concrete Cover. Rilem Report 40. 2007. 223 s. ISBN 978-2-35158-054-7.
- [3] Přístroj pro měření permeability TORRENT – návod k použití.
- [4] MISÁK, P., KUCHARCZYKOVÁ, B., VYMAZAL, T. Standardní operační postup pro přepočítání hodnoty součinitel vzduchové propustnosti vzhledem k aktuální vlhkosti. 2009.
- [5] SEMERÁK, P. Kapacitní vlhkoměr PSMXi – návod k obsluze vlhkoměru, Praha, 2008.
- [6] ADÁMEK J., JURÁNKOVÁ, V., KADLECOVÁ, Z., STEHLÍK., M. Three NDT Methods for the Assessment of Concrete Permeability as a Measure of Durability. NDTMS-2011. International Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures. Program and Abstracts. Str 55.
- [7] Podklady výrobce drenážní textilie Formtex.
- [8] KADLECOVÁ, Z., ODEHNALOVÁ, P., ADÁMEK, J. Permeability Tests of the Surface Layer of Concrete as a Basis for the Estimation of Current Durability of Concrete. In 8th Workshop NDT 2009 Non Destructive Testing in Engineering Practice. Brno. 2010.

- [9] REITERMAN,P., KOLÁŘ, K., KADLECOVÁ, Z., ADÁMEK, J., HOLČAPEK, O. Sorptive Properties of Concrete Surface Layer. 6th CCC Congress Mariánské Lázně. 2010.
- [10] REITERMAN,P., KOLÁŘ, K., KADLECOVÁ, Z., ADÁMEK, J., HOLČAPEK, O. Experimentální vyšetřování vlastností povrchových vrstev. Speciální betony. 2010.

## **Kontakt**

Ing. Zlata Kadlecová, tel: 00420 541 147 829, e-mail: kadlecova.z@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Prof. Ing. Jiří Adámek, CsC., tel: 00420 541 147 800, e-mail: adamek.j@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Pavel Reiterman, tel: 00420 224 354 959, e-mail: pavel.reiterman@fsv.cvut.cz, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ ŠTÍHLÝCH PILÍŘŮ

## EXPERIMENTAL VERIFICATION OF SLENDER ELEMENTS PROPERTIES

**Petra Kalafutová, Lucie Drbohlavová**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,  
katedra betonových a zděných konstrukcí

***Anotace:***

*Normou doporučené metody pro posouzení štíhlých prvků poskytují velmi konzervativní závěry, které podstatně omezují velikosti působícího zatížení. Tento fakt byl motivací k realizaci experimentu, kterým se ověří skutečné chování materiálových a geometrických vlastností štíhlých a velmi štíhlých prvků.*

***Annotation:***

*Standard recommended methods for assessing the slender elements provide a very conservative conclusion, which significantly reduce the size of the load. This fact was the motivation for the realization of the experiment, which verifies the actual behaviour of material and geometric properties of slender and very slender elements.*

***Klíčová slova:*** štíhlé prvky, štíhlé betonové pilíře, účinky druhého řádu, statická schémata, mostní konstrukce, experimentální vyšetřování betonu

***Keywords:*** slender elements, slender concrete pillars, second degree influence, static schematics, bridge structures, experimental research of concrete

## 1. Úvod

Dnešní trendy v architektuře a stavitelství vedou, resp. nutí projektanty k zeštíhlování navrhovaných konstrukcí, čímž se dosáhne výrazného estetického dojmu, efektivnějšího využívání materiálů a celkové hospodárnosti návrhu. Jedním z prvků, kde se nejvíce projevuje současný trend zeštíhlování, jsou pilíře, pylony, sloupy a rámové stojky, které jsou charakteristické pro mostní, ale i pozemní konstrukce. Všechny tyto prvky jsou v dnešní době velmi často navrhovanou konstrukcí.

Příkladem realizace konstrukce se štíhlými betonovými pilíři je most přes údolí řeky Hačka v ČR, kde jsou navrženy pilíře s délkami 42,8 m až 46,6 m (viz *Obr. 1*), další neopomenutelnou ukázkou návrhu konstrukce se štíhlými pilíři je Viadukt Millau ve Francii, jenž je v současnosti nejvyšším mostem s betonovými pilíři na světě (nejvyšší z nich měří téměř 245 m - viz *Obr. 2*). Další podobné mostní konstrukce se nacházejí například v Rakousku, jedním z nich je Europa-Brücke (nejvyšší pilíř měří 146 m), Lippitzbach-Brücke (maximální výška mostu je 96 m) [1].

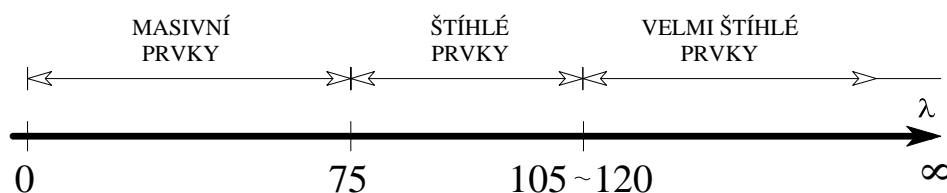


*Obr. 1.: Štíhlý pilíř mostu přes řeku Hačka Obr.2.: Pylon mostu Pont de Millau*

Typickým znakem všech těchto podpěrných železobetonových konstrukcí je jejich štíhlost. Se vzrůstající štíhlostí prvků ovšem přicházejí jisté problémy, které se odrážejí jednak ve fázi projekční náročnějšími návrhovými postupy, při provádění pak nutností uplatnění moderních technologických postupů.

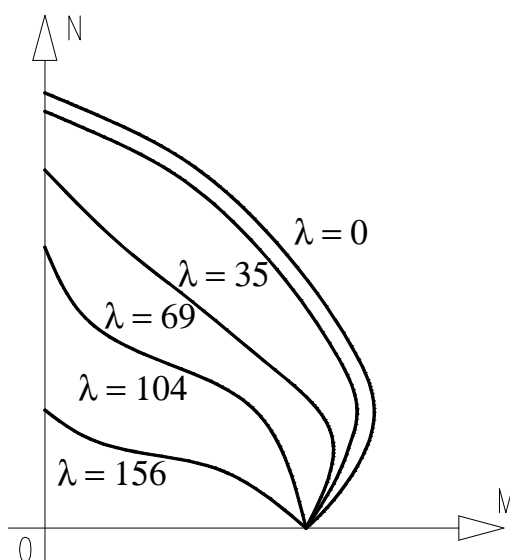
## 2. Problematika chování štíhlých prvků

Z hlediska návrhového postupu rozdělujeme konstrukce na masivní, štíhlé a velmi štíhlé prvky (viz Obr. 3). O zatřídění konstrukce z hlediska její subtilnosti rozhoduje poměr účinné délky prvku a poloměru setrvačnosti betonového průřezu (neporušeného trhlinami) – tzv. štíhlost prvku  $\lambda$ .



Obr. 3.: Definice prvků podle štíhlosti  $\lambda$

U masivních konstrukcí rozhoduje při posouzení prvku kritérium únosnosti, naproti tomu u štíhlých a velmi štíhlých prvků většinou rozhoduje kritérium stability, resp. dosažení kritického břemene. Hodnota kritického zatížení je u takovýchto konstrukcí menší, než zatížení na mezi únosnosti. Se vzrůstající štíhlostí narůstají též vlivy, které nebývají při menších štíhlostech podstatné. Jedná se o vliv reologických vlastností betonu, tedy dotvarování, cyklické namáhání a rychlosti zatěžování (viz Obr. 4).



Obr. 4.: Definice prvků podle štíhlosti  $\lambda$

### 3. Dostupné metody navrhování

V loňském roce skončila platnost některých částí normy ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí, kde bylo definováno omezení štíhlosti betonových prvků (pro vyztužený beton  $\lambda \leq 150$ ). Nově platná norma pro návrh betonových konstrukcí (ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí) již v sobě omezení horní hranice štíhlosti neobsahuje (viz Obr. 3).

Norma ČSN EN 1992-1-1 řeší účinky druhého řádu od poměrně přesné, ale zároveň komplikované obecné metody, přes méně pracné zjednodušující metody jako jsou metody jmenovité tuhosti a jmenovité křivosti. Normou doporučené metody pro posouzení štíhlých prvků poskytují velmi konzervativní závěry, které podstatně omezují velikosti působícího zatížení. Tato skutečnost byla motivací k realizování experimentální analýzy, kterou se ověří reálné chování velmi štíhlých prvků.

### 4. Experiment

#### 4.1. Dosavadní situace experimentální poznatky

Otázky únosnosti a zjišťování stability železobetonových štíhlých konstrukcí zaměstnávají již řadu let širokou odbornou veřejnost. Cílem experimentů je přispět k zodpovězení těchto otázek, zpřesnit a popsat únosnosti těchto konstrukcí a ulehčit práci široké inženýrské veřejnosti při navrhování.

Jeden z experimentů zaměřený na zkoumání vlivů parametrů pracovních diagramů materiálů a charakteristik jednotlivých průřezů byl proveden na Technické univerzitě v Darmstadtu v roce 1965. Zkoumáno bylo 16 železobetonových sloupů se štíhlostmi v rozmezí od  $\lambda = 30$  do  $\lambda = 105$ . Výsledky celého experimentu byly publikovány v roce 1969 [2]. Další příklady experimentů provedených ve světě jsou shrnuty v *Tabulce 1*.

*Tabulka 1.: Přehled prováděných experimentů*

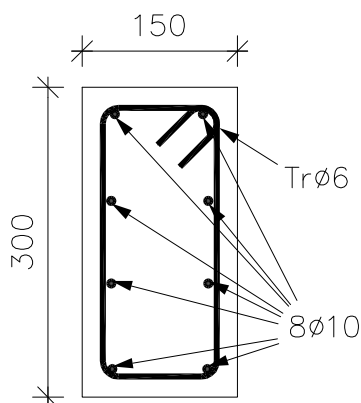
rok	celkový počet zkoušených prvků	délka zatížení [ks]		beton	
		krátkod.	dlouhod.	HSC	NSC
1955	44	13	31	0	44
1995	30	30	0	20	10
2000	16	16	0	0	16
2005	12	12	0	12	0

*Pozn.: HSC: Vysokopevnostní beton, NSC: Běžný beton.*

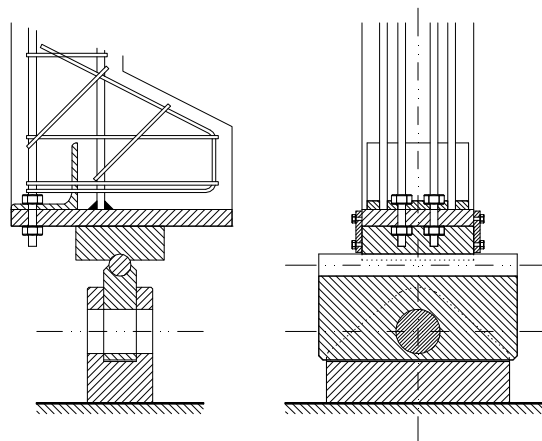


## 4.2. Vlastní experiment

Experimentální zkoušení velmi štíhlých pilířů je specifické jak samotnou přípravou, tak i velikostí zkoušených vzorků. Vzhledem k obtížnosti a finanční náročnosti prováděných zkoušek je stále nedostatek relevantních dat. Hlavním cílem tohoto projektu je vytvoření uceleného souboru experimentálních dat vystihující reálné chování štíhlých a velmi štíhlých pilířů, který by doplnil chybějící informace o mechanických a geometrických vlastnostech těchto prvků.



Obr. 5.: Příčný řez vzorkem



Obr. 6.: Názorný detail uložení vzorku

Program experimentu je naplánován do dvou částí:

- Cílem první etapy je důkladně analyzovat použité materiály, beton C 70/85 a výztuž B500B. Výstupem této analýzy bude komplexní přehled o vývoji mechanických a reologických vlastností betonu v čase za konstantních podmínek, stejně tak mechanické a přetvárné vlastnosti betonářské výztuže. Získané informace budou popisovat nárůst krychelné a válcové pevnosti, modulu pružnosti a tah za ohybu ve vybraných časových úsecích. Další skupina zkušebních vzorků bude vystavena dlouhodobému účinku zatížení za účelem získání predikce reologických vlastností betonu.

- Cílem druhé etapy je provedení chystané série zkoušek na vyztužených zkušebních tělesech (viz Obr. 5) s různými štíhlostmi (viz Tabulka 2). Na Obr. 6 je názorný detail kloubového uložení zkušebních prvků. Krátkodobým účinkům zatížení bude vystaveno 9 vzorků ve stáří betonu 28 dní, dlouhodobým účinkům zatížení pak bude ve stáří 7 dní vystaven stejný počet vzorků v délce působení zatížení cca 1,5 roku.

Zkoušky první etapy jsou plánovány v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zkoušky druhé etapy, které se týkají samotného zkoušení štíhlých prvků, se budou realizovat ve Výzkumném a zkušebním leteckém ústavu, a.s., který svou kapacitou a vybavením poskytuje vhodné zázemí pro realizaci experimentu. Dodavatelem betonových prvků je firma Metrostav, a.s.

Tabulka 2.: Přehled experimentálních vzorků

$\lambda$	b [m]	h [m]	výztuž	beton	třmínky	počet prvků [ks]	
						krátkod.	dlouhod.
80	0,150	0,300	B500B	C70/85	Ø 6	3	3
120						3	3
160						3	3

## 5. Závěr

Po zavedení normy ČSN EN 1992-1-1 vznikla možnost navrhovat konstrukce s libovolnou štíhlostí, což umožňuje využít subtilní průřezy z moderních materiálů. Absence informací o materiálovém a geometrickém chování štíhlých prvků se stala motivací pro realizaci série zkoušek, které by chybějící data doplnily.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Studenské grantové soutěže ČVUT SGS11/107/OHK1/2T/11 a Technologické agentury ČR TA01031920.

## Literatura

- [1] DRBOHLAVOVÁ, L.: Navrhování vysokých štíhlých mostních pilířů. In Diplomová práce 2008. Praha.
- [2] NEUMEL, A.; SCHWARZ H.; KASPAREK K. H. und MAKOVI J.: In Tragverhalten ausmittig beanspruchter Stahlbetondruckglieder, Heft 204, 1969, Verlag Berlin
- [3] PALLARÉS, L.; BONET, J. L.; MIGUEL, P. F.; FERNÁNDEZ PRADA, M. A.: In Experimental research on high strength concrete slender colimns subjected to compression and biaxial bending forces, ScienceDirect, 2008. p. 1879 – 1894. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029607004646>

## Kontakt

Ing. Petra Kalafutová, tel: 00420 224 354 624, e-mail: [petra.kalafutova@fsv.cvut.cz](mailto:petra.kalafutova@fsv.cvut.cz), katedra betonových a zděných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha.

Ing. Lucie Drbohlavová, tel: 00420 224 354 623, e-mail: [lucie.drbohlavova@fsv.cvut.cz](mailto:lucie.drbohlavova@fsv.cvut.cz), katedra betonových a zděných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha.

## ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY OCELOVÉHO MOSTNÍHO PROVIZORIA „ŽBM 30“

### LOADING TESTS OF STEEL TEMPORARY BRIDGE OF „ŽBM 30“

M. Karmazínová<sup>1</sup>, J. Melcher<sup>1</sup>, M. Pilgr<sup>1</sup>, M. Štrba<sup>1</sup>,  
P. Simon<sup>2</sup>, F. Superata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

<sup>2</sup> FIRESTA – Fišer, rekonstrukce, stavby, a.s., Brno

**Anotace:**

*Příspěvek uvádí podstatné informace o realizaci zatěžovacích zkoušek ocelového mostního provizoria ŽBM 30. Cílem bylo získání podkladů o reálném namáhání hlavních nosných prvků a jejich napjatosti a přetvoření při provozním zatížení. Zatěžovací zkoušky byly zaměřeny na skutečné působení tohoto konstrukčního systému v procesu zatěžování s důrazem na objektivní mezní únosnost a tuhost systému. Pro zatěžovací zkoušky byla použita metodika zatěžování a odpovídající princip zkušebního zařízení, které byly vyvinuty a dále technicky rozpracovány do podoby konkrétní zatěžovací sestavy kolektivem autorů příspěvku.*

**Annotation:**

*The paper presents basic information on the realization of loading tests of steel temporary bridge of ŽBM 30. The main aim was to obtain the knowledge on the actual loading actions of main load-carrying structural members and their stress states and deflections within the usual service loading actions. Loading tests were oriented to the structural system actual behaviour during the loading process accented to the objective load-carrying capacity and the system stiffness. The loading procedure and corresponding principle of the test equipment used for the full-scale loading tests have been developed by the paper authors.*

**Klíčová slova:** *Zatěžovací zkouška, mostní provizorium, testování ve skutečné velikosti, ocelový most, napětí, průhyb, tuhost, spolupůsobení.*

**Keywords:** *Loading test, temporary bridge, full-scale testing, steel bridge, stress, deflection, stiffness, interaction.*

## 1. Úvod

Zatěžovací zkoušky byly provedeny na základě zadání firmy FIRESTA – Fišer rekonstrukce, stavby, a.s., Brno jako předmět řešení inovačního vouchery Jihomoravského inovačního centra. Z hlediska požadavků na charakter výsledků řešení a jejich následného efektivního využití byly záměry a rozsah zatěžovacích zkoušek projednávány a průběžně konzultovány se zástupci fy FIRESTA.

Ocelové mostní provizorium ŽBM 30 v konkrétním uspořádání pro rozpětí 18 m (popis viz dále), jež bylo předmětem zatěžovacích zkoušek, je v majetku zadavatele a bylo poskytnuto zpracovateli pro realizaci zkoušek ve skutečné velikosti jako originální zkušební těleso. Z důvodu nadměrných rozměrů zkušební tělesa byly zatěžovací zkoušky realizovány v exteriéru v areálu fy FIRESTA v Brně Modřicích.

## 2. Předmět zatěžovacích zkoušek

Předmětem zatěžovacích zkoušek je speciální železniční most ŽBM 30 vyvinutý železničním vojskem a používaný jako mostní provizorium nebo dočasný most pro obnovu mostních polí o rozpětí do 30 m. Systém ŽBM 30 s plnostěnnými hlavními nosníky a mostovkou v poloze horní je použitelný pro obnovu, resp. dočasnou náhradu jednokolejných železničních mostů.

Základní skladebný systém mostu tvoří následující hlavní konstrukční části: hlavní nosníky, příčné ztužení, vodorovné ztužení, ložiska, mostovka, resp. vozovka a chodníky. Základní skladebné prvky hlavních nosníků a variabilita uspořádání společně s možností změny polohy ložisek poskytují rozpětí L v rozsahu od 12 do 30 m.

Předmětem zatěžovacích zkoušek bylo zkušební těleso představované konkrétní skladbou železničního mostního provizoria ŽBM 30 ze dvou hlavních nosníků pro rozpětí  $L = 18$  m. Hlavní nosník se skládá ze tří segmentů, dvou lichoběžníkových krajních kusů délky 6 m a jednoho obdélníkového středního kusu rovněž o délce 6 m. Svařovaný I-průřez hlavního nosníku má ve středním úseku výšku 1 800 mm, výška hlavního nosníku nad podporou činí 900 mm, osová vzdálenost hlavních nosníků je 1 512 mm. Tuhost dvojice nosníků v příčném směru je zabezpečena celkem osmi příčnými ztužidly, z toho čtyřmi krajními plnostěnnými a čtyřmi vnitřními příhradovými. Ilustrace skutečného uspořádání zkušební tělesa znázorňují obr. 1 a 2.

Nutnost ověření skutečného namáhání, napjatosti a tuhosti železničního mostu ŽBM 30 byla vyvolána dosavadními zkušenostmi s jeho používáním ve stavební praxi, které naznačují, že jeho skutečné chování a statické parametry při zatěžování provozními účinky zatížení ne zcela korespondují s údaji a parametry uvedenými ve výrobních a montážních podkladech.



*Obr. 1.: Sestava mostu ŽBM pro rozpětí 18 m – pohled na dvojici hlavních nosníků a podpory z prvků systému PIŽMO*



*Obr. 2.: Sestava mostu ŽBM pro rozpětí 18 m – příhradové příčné ztužení*

### **3. Realizace zatěžovacích zkoušek**

#### **3.1. Uspořádání zatěžovacích zkoušek a zkušebního zařízení**

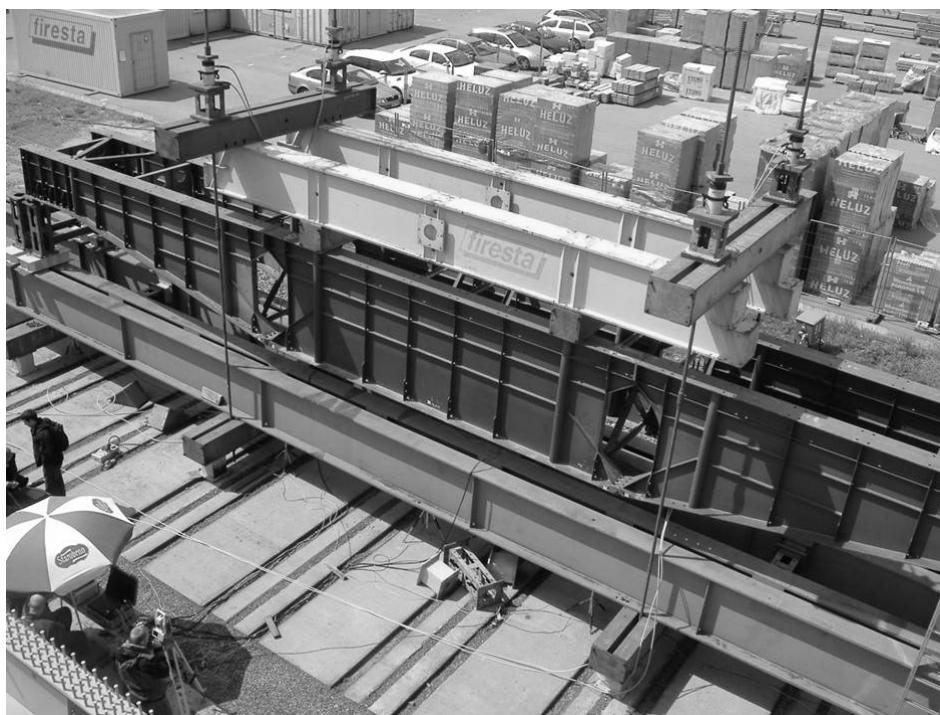
V areálu fy FIRESTA v Brně Modřicích byla sestavena nosná konstrukce mostu ŽBM 30 ve skladbě pro rozpětí 18 m. Z důvodu značných rozměrů i hmotnosti zkušebních těles byl při montáži zkušebního tělesa a zatěžovacího zařízení použit portálový jeřáb o nosnosti 60 t, jímž je areál vybaven.

Princip zatěžování je zřejmý z uspořádání sestavy zkušebního zařízení na obr. 3 a 4. Pro realizaci sestavy zkušebního zařízení byly jako „pomocný“ materiál (podpurné nosníky, příčnický, táhla) využity mj. prvky různých typů mostních provizorií, kterými disponuje zadavatel. Zkušební těleso je podepřeno úložnými (podpurnými) nosníky ze dvou dvojic nosníků IP100, které současně slouží pro kotvení zatěžovacích táhel. Hlavní nosníky zkušebního tělesa jsou uloženy pomocí ocelových ložisek na podporách vytvořených z prvků soustavy PÍŽMO. V místech vyztužení stěny hlavních nosníků uzavřenými příčnými výztuhami jsou přes horní pásnice převedeny dva roznášecí příčnický tvořené prvky R4. Na nich jsou uloženy podélné roznášecí nosníky (nad každým hlavním nosníkem jeden) tvořené prvky R28. Pomocí dalších dvou příčnicků z prvků R2, resp. R4, vedených přes horní pásnice podélných roznášecích nosníků, jsou vně zkušebního tělesa vedena táhla, která prochází otvory v dutých zatěžovacích válcích osazených na horních příčnicích a jsou kotvena do spodních příčnicků (rovněž z prvků R2) opřených zdola do úložných (podpurných) nosníků IP100. Úložné nosníky jsou v místech podpor zkušebního tělesa uloženy na podporové příčnický ze stejných prvků R2, které jsou dále uloženy na terénu.

Zkušební těleso bylo zatěžováno vnášením zatížení společně do obou hlavních nosníků (Test T1) a vnášením zatížení pouze přes jeden hlavní nosník (Test T2) s cílem zjistit míru spolupůsobení obou hlavních nosníků a ověřit tuhost příčných ztužidel z hlediska schopnosti zabezpečit příčný roznos zatížení.



*Obr. 3.: Uspořádání zkušebního zařízení – zkušební sestava: pohled z boku*



Obr. 4.: Uspořádání zkušebního zařízení – zkušební sestava: pohled shora

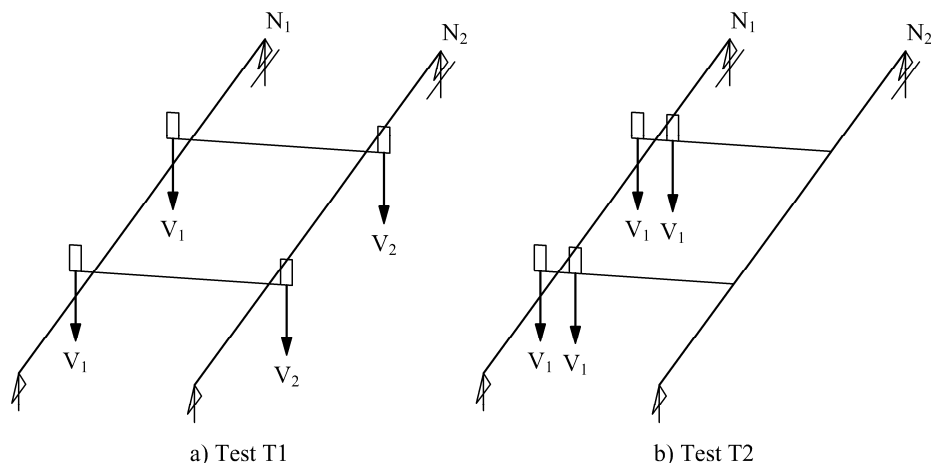
### 3.2. Režim zatěžování

Maximální zatížení na jeden hlavní nosník bylo určeno podle požadavků zadavatele. Zkušební zatížení vychází z reálných hodnot provozního zatížení při praktickém použití provizoria a je omezeno podmínkou, že u testovaných prvků nesmí dojít k poruše ani poškození, aby byly schopny dalšího použití. Zkušební zatížení bylo na základě toho určeno jako spojitě rovnoměrné zatížení o velikosti  $50 \text{ kNm}^{-1}$  působící na jeden hlavní nosník. Protože způsob zatěžování aplikovaný v daných podmínkách neumožňuje vyvození spojitě rovnoměrného zatížení, bylo nahrazeno dvěma osamělými silami vnášenými do hlavních nosníků v místech uzavřených příčných výztuh. Hodnoty sil byly odvozeny ze spojitě rovnoměrného zatížení na základě rovnosti maximálních ohybových momentů na nosníku.

Pro stanovené zkušební zatížení byly určeny síly v zatěžovacích válcích pro Test T1 a Test T2. V případě Testu T1 byla táhla vedena vně celé soustavy, aby byl zajištěn roznoš zatížení na oba hlavní nosníky stejným dílem. V případě Testu T2 byla táhla vedena vně po stranách jednoho hlavního nosníku a zatížení tak bylo vnášeno bezprostředně pouze do tohoto jednoho nosníku.

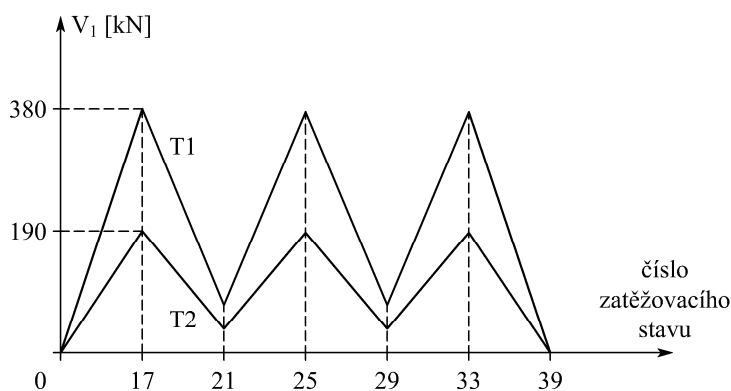
Zatížení bylo vnášeno jako síly vyvozené hydraulickými válci: v případě Testu T1 (zatěžování obou nosníků) síly V1 v zatěžovacích válcích na nosníku  $N_1$  a síly V2 v zatěžovacích válcích na nosníku  $N_2$  (viz obr. 5a); v případě Testu

T2 (zatěžování jednoho nosníku) síly  $V_1$  v zatěžovacích válcích na nosníku  $N_1$  (viz obr. 5b), přičemž nosník  $N_2$  není přímo zatěžován.



Obr. 5.: Síly v zatěžovacích válcích

Režim zatěžování byl volen s ohledem na to, aby byly zjištěny účinky pro maximální předpokládané zatížení stanovené hodnotou  $50 \text{ kNm}^{-1}$  na jeden hlavní nosník, jemuž odpovídá přepočtená hodnota maximální zatěžovací síly na jeden hlavní nosník. Lze očekávat, že v počátečních krocích zatěžování při působení nízkých hodnot zatížení dochází nejprve k dosedání a dotlačování podpor a spojů, tudíž bylo zatěžování realizováno celkem ve 3 zatěžovacích cyklech zahrnujících celkem 39 zatěžovacích stavů.



Obr. 6.: Schéma průběhu zatěžování – režim zatěžování

První zatěžovací cyklus začal na nulové hodnotě sil (zatěžovací stav č. 1) a zatížení bylo stupňovitě zvyšováno po krocích až na maximální hodnotu sil



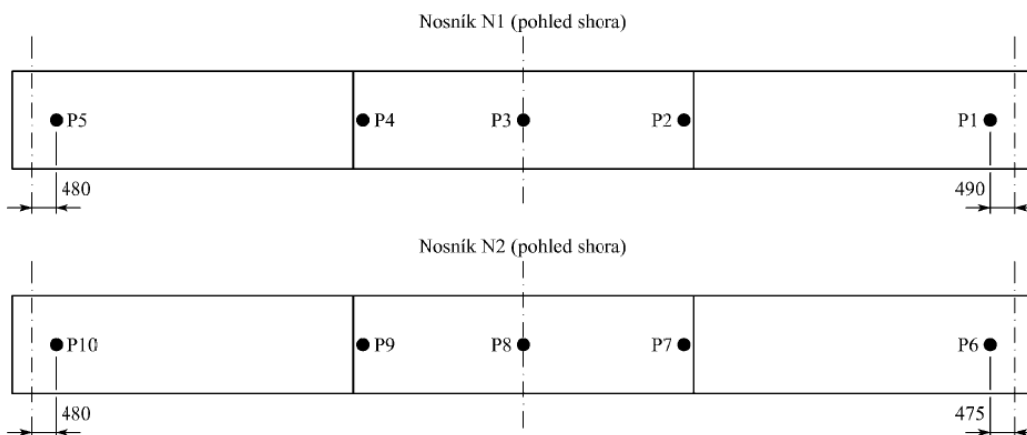
odpovídající zatěžovacímu stavu č. 17. V druhé, sestupné fázi prvního cyklu došlo k postupnému odtížení až na hodnotu sil 75 kN (zatěžovací stav č. 21). Druhý zatěžovací cyklus měl rovněž dvě fáze, a to vzestupnou od zatěžovacího stavu č. 21 po zatěžovací stav č. 25 a sestupnou od zatěžovacího stavu č. 25 po zatěžovací stav č. 29. Třetí zatěžovací cyklus obsahoval vzestupnou fázi od zatěžovacího stavu č. 29 po zatěžovací stav č. 33 a sestupnou fázi od zatěžovacího stavu č. 33 po zatěžovací stav č. 39, tzn. až do úplného odtížení konstrukce. Grafické schéma průběhu zatěžování je znázorněno na obr. 6.

### 3.3. Výstupy měření při zatěžovacích zkouškách

Metodika měření a výběr sledovaných měřených veličin byly podřízeny požadavkům zadavatele. S ohledem na to byly určeny na konstrukci měřicí body, v nichž bylo sledováno svislé přetvoření (průhyb) hlavních nosníků a napjatost. Poloha těchto měřicích bodů byla stanovena tak, aby byla pokryta místa s největšími očekávanými hodnotami průhybů a napětí.

#### 3.3.1. Měření průhybů

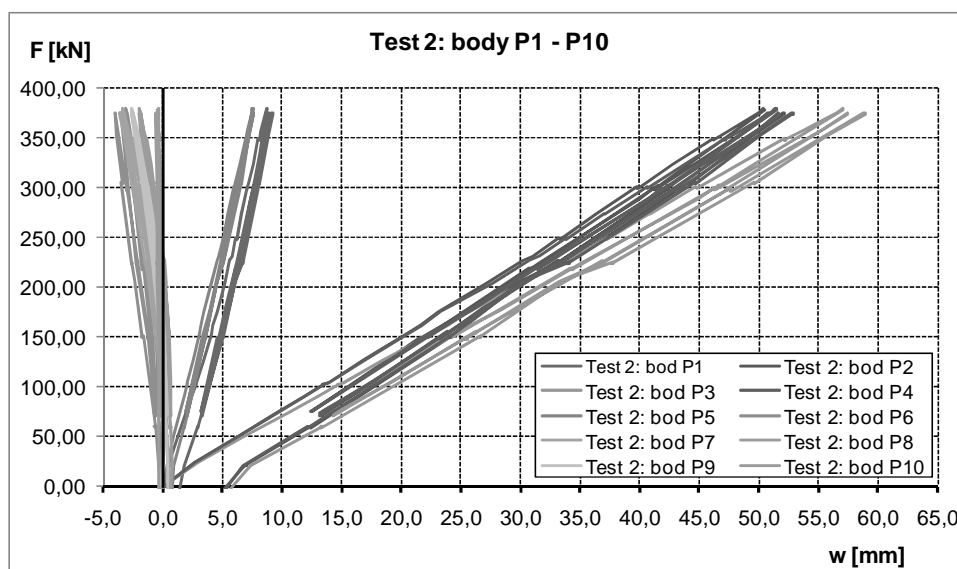
Potenciometrické snímače průhybu byly osazeny do středu rozpětí, do míst spojů jednotlivých segmentů a pro kontrolu do blízkosti podpor. Celkem byl každý nosník osazen 5 snímači průhybů (viz obr. 7), a to na obou nosnících ve stejných místech, aby bylo zřejmé porovnání průhybů obou nosníků.



Obr. 7.: Osazení potenciometrickými snímači průhybu

V případě zatěžování dvojice nosníků (Test T1) byly průhyby obou nosníků v odpovídajících si bodech téměř shodné. Pak je zřejmé, že zatížení se vnáší do obou nosníků prakticky rovnoměrně a oba nosníky jsou zatíženy stejně. Pro ilustraci jsou na obr. 8 graficky vyneseny naměřené průhyby obou nosníků

v místech průhyboměrů P1 až P10 pro Test T2. Z obr. 7 je zřetelné, že průhyby nosníků  $N_1$  a  $N_2$  v případě vnášení zatížení pouze do jednoho nosníku jsou značně rozdílné, dokonce průhyby nosníku  $N_2$  vykazují opačné znaménko, tzn. nosník  $N_2$  se při zatěžování pohybuje směrem nahoru, nikoliv dolů. Přitom maximální průhyby nosníku  $N_1$  jsou jen cca o necelých 10 % nižší než průhyby nosníků v případě Testu T1. To ukazuje na skutečnost, že míra spolupůsobení obou nosníků z hlediska roznosu zatížení v příčném směru v důsledku příčného ztužení je prakticky zanedbatelná. Při vnášení zatížení pouze do jednoho nosníku se účinek zatížení na druhý nosník téměř vůbec neprojeví a podstatnou část přenáší přímo zatěžovaný nosník.



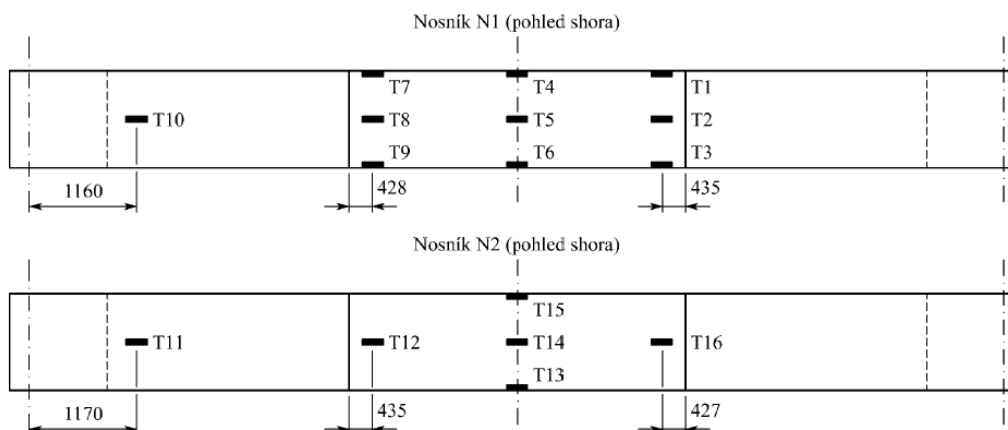
Obr. 8.: Průhyby: Test T2 – nosníky  $N_1$ ,  $N_2$

### Tenzometrické měření

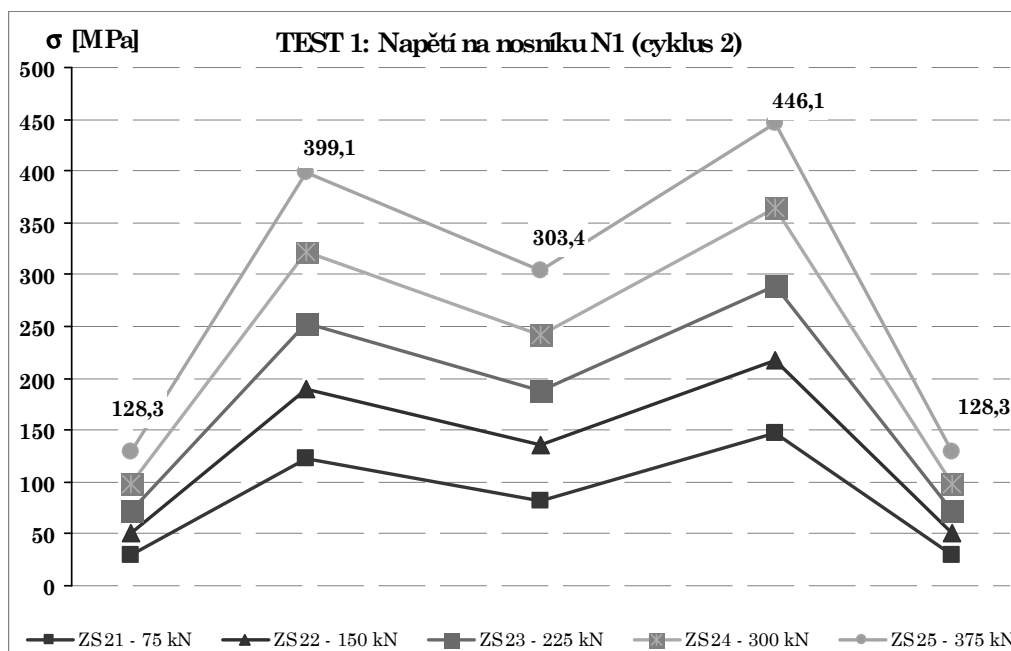
Tenzometry byly osazeny do míst, kde se očekávala největší napětí, tzn. do středu rozpětí nosníků, do míst spojů segmentů a do míst lomu pásnice na začátku náběhu. Tenzometry byly umístěny na spodní stranu dolních pásnic, a to v některých místech (ve středním úseku) po třech po šířce pásnice, v ostatních místech po jednom tenzometru na pásnici. Schéma rozmístění tenzometrů T1 až T16 na obou nosnících je znázorněno na obr. 9.

Pro ilustraci jsou v grafu na obr. 10 vynesena normálová napětí na nosníku  $N_1$  pro Test T1. Průběh napětí je vynesena v měřených bodech po délce nosníku (podélný profil) pro vybrané hladiny zatížení. Z grafu je zřejmé, že napětí v místech spojů, jak se dalo očekávat, je výrazně vyšší než napětí uprostřed rozpětí nosníku. To je způsobeno oslabením průřezu v místě spoje středního a podporového segmentu soustavy.

To opět potvrzuje již zjištěnou skutečnost, že míra spolupůsobení nosníků zabezpečovaná příčným ztužením je minimální, v důsledku čehož se příčný roznos zatížení prakticky neuplatní. Při vnášení zatížení pouze do jednoho nosníku se účinek zatížení na druhý nosník téměř vůbec neprojeví a podstatnou část přenáší přímo zatěžovaný nosník.



Obr. 9.: Osazení tenzometrů na spodní straně nosníků



Obr. 10.: Normálová napětí: Test T1 – nosník N<sub>1</sub>

#### 4. Vyhodnocení výsledků a závěry

Tuhost hlavního nosníku vyplývá z průhybů konstrukce, které uprostřed rozpětí nepřesahují hodnotu  $L / 300$  jako základní hodnota pro omezení průhybu u běžných konstrukčních prvků. Vzhledem k tomu, že vyšetřovaná konstrukce je určena pro provizorní přemostění, lze hodnotu  $L / 300$  považovat za vyhovující z hlediska tuhosti a tím i použitelnosti a dostatečné provozuschopnosti.

Napětí hlavního nosníku v žádném z měřených bodů nepřekračují mez kluzu použité oceli uváděnou v podkladech výrobce systému. Využití materiálu při maximálních hodnotách zatížení dosahuje 76 % a konstrukce tedy vykazuje dostatečnou rezervu únosnosti. Podle očekávání vznikají vyšší normálová napětí v místech spojů krajních dílců konstrukce se středním, což je dáno oslabením průřezu v těchto místech. Ani zde však nejsou napětí vyšší než 76 % meze kluzu.

Výše uvedené výsledky ukazují na zcela zásadní skutečnost, že míra spolupůsobení nosníků a tím i roznos zatížení na oba nosníky při vnášení zatížení pouze do jednoho je zanedbatelná. To naznačuje, že nelze uvažovat prakticky s žádným účinkem příčných ztužidel na roznos zatížení na oba nosníky. V případě zatížení vnášeného přímo pouze do jednoho nosníku je tedy nutno uvažovat, že prakticky celý účinek zatížení bude přenášen pouze tímto přímo zatíženým nosníkem, a tato skutečnost musí být při použití v praxi velmi důsledně respektována.

#### Poděkování

Příspěvek byl vypracován v návaznosti na řešení úkolů inovačního vouchera Jihomoravského inovačního centra (2010-11) pro firmu FIRESTA, a.s. Koncepce a metodika zatěžování jsou využitelné v rámci řešení výzkumného záměru MŠMT č. MSM0021630519 a projektu TAČR č. 01030849.

#### Literatura

- [1] KARMAZÍNOVÁ, M.; MELCHER, J.; PILGR, M.; ŠTRBA, M.: Zatěžovací zkoušky mostního provizoria ŽBM, závěrečná zpráva o řešení inovačního vouchera, VUT v Brně – Fakulta stavební, 2011, 48 str.
- [2] MELCHER, J.: Full-Scale Testing of Steel and Timber Structures: Examples and Experience, In *Proceedings Structural Assessment – The Role of Large and Full Scale Testing*, E&FN SPON, London, 1997.
- [3] Železniční most ŽBM 30, technický předpis, Federální ministerstvo dopravy ČSSR, Praha 1971.

**VYBRANÉ EXPERIMENTY  
REALIZOVANÉ NA KKDK STU V BRATISLAVE  
V ROKOCH 2008 AŽ 2011**

**THE SELECTED EXPERIMENTS CARRIED  
OUT AT KKDK STU IN BRATISLAVA  
FROM 2008 TO 2011**

**Tomáš Klas, Ján Brodniansky**

Katedra kovových a drevených konštrukcií,  
Stavebná fakulta,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

***Anotace:***

*Na Katedre kovových a drevených konštrukcií sa v posledných rokoch realizovalo niekoľko zaujímavých experimentov týkajúcich sa overovania konštrukcií. Článok sa zaoberá terénnymi experimentmi v mierke 1:1.*

***Annotation:***

*At the Department of Steel and Timber Constructions have in recent years implemented a number of interesting experiments relating to verification of structures. The article deals with field experiments in 1:1 scale.*

***Klíčová slova:*** potrubie, silo, tenzometer, experiment, monitoring

***Keywords:*** pipeline, silo, strain gage, experiment, monitoring

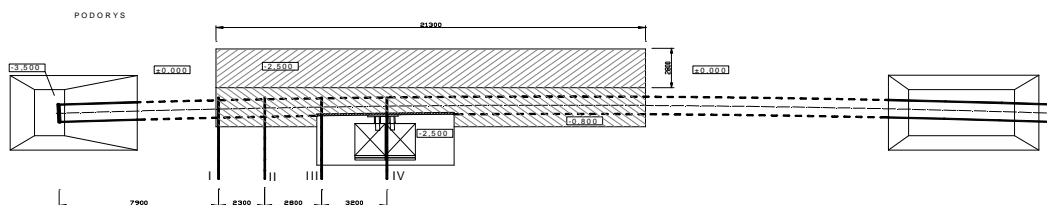
## 1. Potrubné vedenia

Katedra kovových a drevených konštrukcií STU v Bratislave už dlhodobo spolupracuje s firmou EUSTREAM, ktorá spravuje zariadenia na tranzit zemného plynu cez územie Slovenskej republiky. Spolupráca spočíva v riešení teoretických, ale aj experimentálnych úloh na tranzitnom plynovode.

Experimentálne úlohy boli zamerané prevažne na riešenie problémov vznikajúcich pri svahových zosunoch. Na simuláciu tohto ohrozenia sa realizovali dva experimenty v mierke 1:1 na lokalitách Ipeľ a Nitra. Oba experimenty sa realizovali pri príležitosti výmeny potrubného vedenia, kde po určitý čas bola k dispozícii dostatočná dĺžka potrubia v neporušenom stave a bežných podmienkach krytia zeminou, potrebného na realizáciu daných simulácií.

Prvý experiment, na lokalite Ipeľ, prebiehal v dňoch 18 – 21. 11. 2008. Tento experiment bol prevažne skúšobného charakteru, aby sa overili možnosti realizácie osadenia meracej aparatúry a samotnej simulácia svahového zosuvu. Experiment prebiehal v druhej polovici novembra, kedy už počasie nebolo najideálnejšie na realizáciu externého merania a ani na 100% prácu pri osadzovaní tenzometrickej meracej aparatúry, nakoľko sa tenzometre lepia pomocou dvojzložkového lepidla, ktoré vyžaduje na svoje tvrdnutie vyššiu teplotu. Ale keďže bolo potrebné overiť možnosti realizácie ešte pred experimentom na lokalite Nitra musela sa oželiť bezporuchovosť a presnosť merania.

Ako prvý sa simuloval priečny svahový zosuv. Potrubie priemeru 1200 mm a dĺžky približne 40 m bolo pomocou dvoch hydraulických lisov zatláčané do vopred pripravenej ryhy dĺžky 22 m vzdialenej 2 až 3 m od osi potrubia.



Obr. 1 Pôdorys simulácie priečného zosuvu



*Obr. 2 Skutočná situácia simulácie priečneho zosuvu*

Nakoľko sa meracie miesto nachádzalo v tesnej blízkosti rieky Ipeľ bolo potrubie prakticky celé pod úrovňou spodnej vody. Preto bolo potrebné neustále odčerpávanie vody a z tohto dôvodu bola aj práca pri inštalácii fóliových tenzometrov náročnejšia.



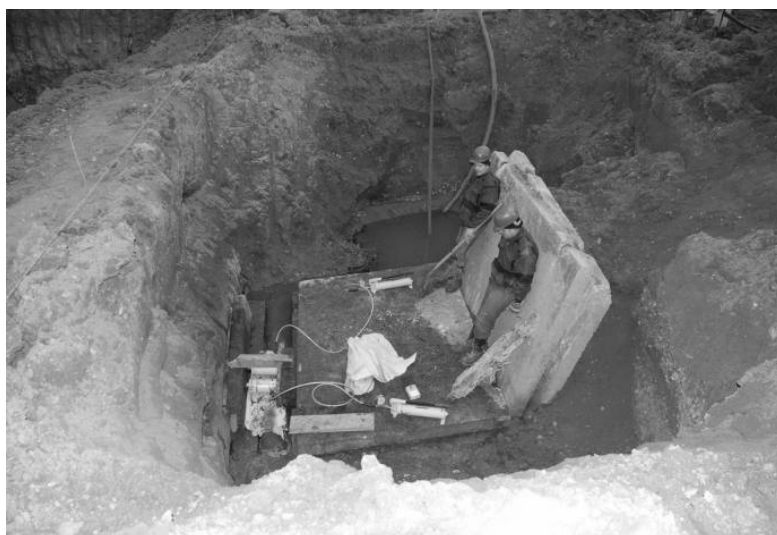
*Obr. 3 Klimatické podmienky*

Nízka teplota okolitého prostredia spôsobila aj zníženie teploty potrubia čo výrazne predĺžilo dobu vytvrdzovania lepidla. Pri 20°C je lepidlo zavädnuté za približne 5 min., ale pri 5°C sa táto doba predĺžila na 20-30 min. Z týchto dôvodov nakoniec zo siedmich inštalovaných tenzometrov fungovali len štyri.



*Obr. 4 Osadenie tenzometrov*

Na základe týchto skúseností sme vylúčili pre ďalšie experimenty tenzometre umiestnené v dolnej časti potrubia (z dôvodu prípadného prietoku spodnej vody) a tenzometre umiestnené v hornej časti potrubia (z dôvodu veľkej náročnosti inštalácie tenzometra „nad hlavou“).

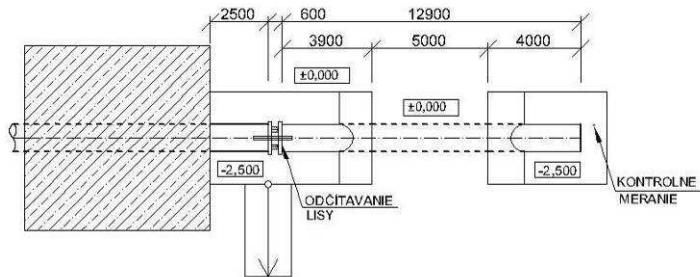


*Obr. 5 Tlačné lisy simulujúce svahový zosuv*

Priaznivým výsledkom bolo, že sme vedeli simulovať svahový zosuv, kedy sa nám podarilo zatlačiť potrubie do pripravenej ryhy (aj keď posuv a prírastok napätia bol len nepatrný).



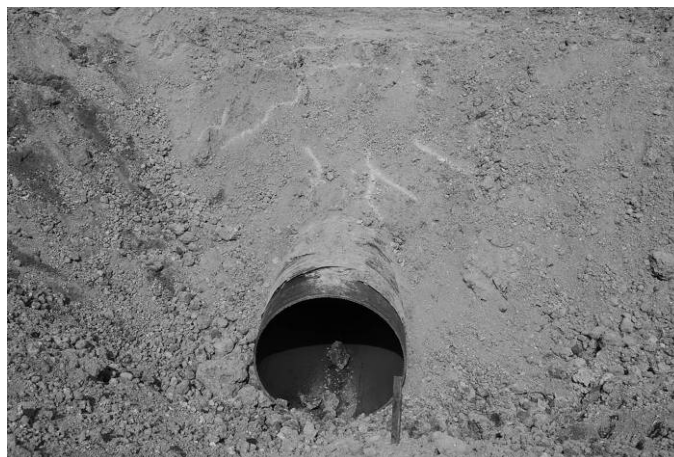
Na základe tohto experimentu sa v dňoch 7. - 16.7.2009 realizoval rozsiahlejší experiment v lokalite Nitra. V týchto dňoch boli realizované tri typy simulácií. Ako prvý bol realizovaný pozdĺžny zosuv, kde sa sledovala oblasť ovplyvnenej zeminy. V tomto prípade sa sledoval len posuv a poškodenie izolácie potrubia.



*Obr. 6 Pôdorys simulácie pozdĺžneho zosuvu*

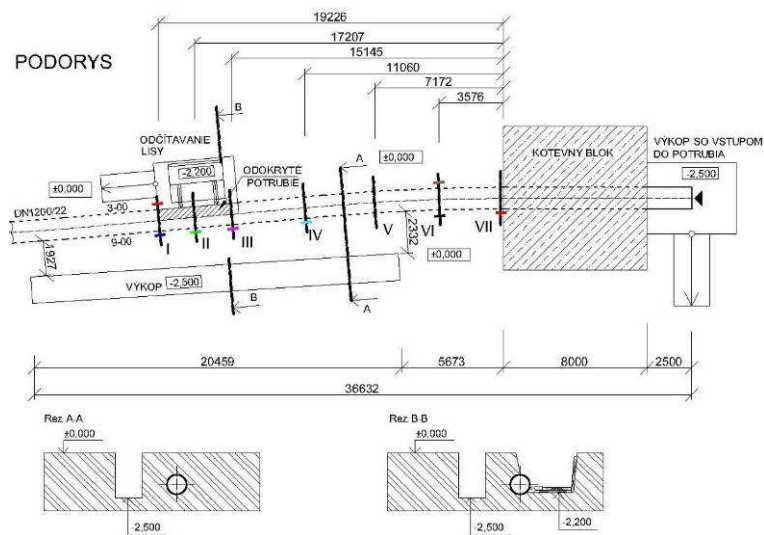


*Obr. 7 Realizácia simulácie pozdĺžneho zosuvu*



*Obr. 8 Oblasť ovplyvnenej zeminy*

Následne bol simulovaný obdobný priečný svahový zosuv ako na lokalite Ipeľ.



Obr. 9 Pôdorys simulácie priečného zosuvu

V tomto prípade bolo osadených osem fóliových tenzometrov, ktoré boli funkčné.



Obr. 10 Osadenie tenzometrov

Pri realizácii sa nám podarilo zatlačiť potrubie do vlhkej zeminy približne 15 mm a tým vyvolať maximálne prídavné napätia 5,2 MPa. Následkom tohto posuvu vznikli v zemine nadložia trhliny a neskôr sa aj časť tejto zeminy oddelenej trhlinami zrútila do pripravenej ryhy.



*Obr. 11 Trhliny v zemi nadložia*

Ako tretí typ simulácie bol realizovaný náhly priečny svahový zosuv, kde sa potrubie odokrylo a pomocou trubca sa nadvihlo do výšky. V tomto prípade bolo osadených šesť fóliových tenzometrov na hornej časti potrubia, teda v smere simulovaného zosuvu.



*Obr. 12 Simulácia prudkého priečneho zosuvu*

## 2. Silá

Od roku 2009 Katedra kovových a drevených konštrukcií spolupracuje s firmou Holcim a.s. na monitoringu rekonštruovaného slinkového sila. Monitoring prebieha prostredníctvom sledovania zmeny napätia steny sila v reakcii na zmenu stavu naplnenosti slinkom a od zmien teploty spôsobenej oslnením konštrukcie.

Na silo bolo inštalovaných 16 fóliových tenzometrov, z ktorých 8 je jednosmerných a 8 krížových. Prvá fáza realizácie experimentu začala 1. – 3. 12. 2009, kedy boli nainštalované tri tenzometre. Aj napriek nepriaznivým podmienkam, kedy teplota poklesla pod 5°C, čo prakticky znemožňovalo prácu s lepidlom, ktoré za daných podmienok tvrdne neúnosne dlho sa podarilo tieto tri tenzometre sfunkniť. Tak bolo možné overiť, či nami navrhnuté izolačné opatrenia sú postačujúce a tenzometre prečkajú zimu v neporušenom stave.

Po zlepšení poveternostných podmienok a overení funkčnosti už inštalovaných tenzometrov sa v dňoch 19. 4. – 10. 5. 2010 prišlo k inštalácii zostávajúcich tenzometrov vo výškach približne 5.5m, 6.7m, 8.0m a 10.5m.



*Obr. 13 Rozmiestnenie tenzometrov na plášti slinkového sila*

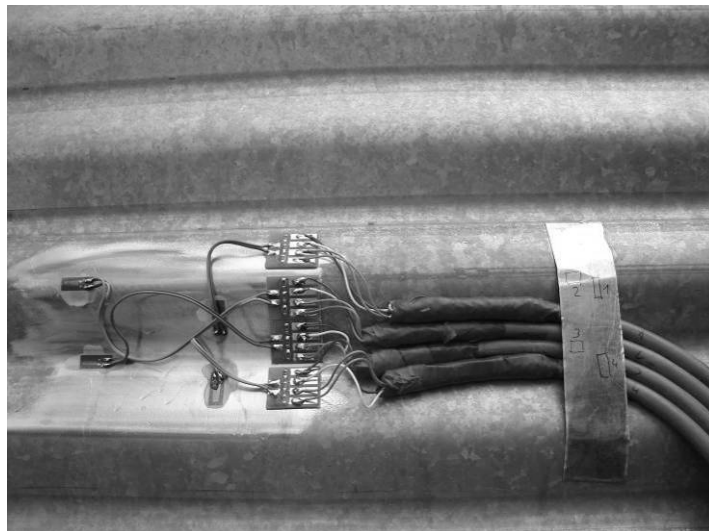
Monitoring sila bol plánovaný na jeden rok, ale prebieha do dnešných dní, a preto môžeme povedať, že izolačné opatrenia sú dostatočné a dokážu ochrániť aj tenzometer určený prevažne do laboratórnych podmienok.

Následne bol realizovaný v dňoch 29. 6. – 8. 7. 2011 monitoring zmeny napätia na stene sila z vlnitého plechu pri napĺňaní repkou.



*Obr. 14 Silo z vlnitého plechu na repku*

V tomto prípade sa nejednalo o dlhodobý experiment a preto nebolo potrebné riešiť ukončenie meracích káblov. Kompenzačné tenzometre taktiež neboli inštalované.



*Obr. 15 Umiestnenie tenzometrov na plášti sila*

Na silo boli inštalované tri meracie miesta a v každom z nich boli umiestnené štyri fóliové tenzometre. Tieto boli umiestňované tak, aby bolo možné monitorovať napätie na jednej vlne plechu. Tenzometre boli chránené len

proti vlhkosti, aby sa nepoškodili počas piatich dní, kedy sa silo naplňalo repkou. Nakoľko je aparátúra stále funkčná je predpoklad, že sa použije aj pri meraní zmien napätosti v období keď sa bude silo vyprázdňovať.

### **3. Záver**

Výsledky experimentov realizovaných katedrou kovových a drevených konštrukcií slúžia na overenia výpočtových modelov. Preto je najlepšie ak je experiment na vzorke v mierke 1:1, čo sa v týchto prípadoch podarilo naplniť. Veľkým pozitívom je, že sa nám darilo uchovať meráciu aparátúru funkčnú aj pri nepriaznivých podmienkach a s relatívne dlhou životnosťou. Na základe týchto výsledkov mohli byť realizované ďalšie experimenty zaoberajúce sa vhodnosťou istých typov meracích tenzometrov pre určité podmienky.

### **Kontakt**

Ing. Tomáš Klas, PhD., e-mail: tomas.klas@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

Prof. Ing. Ján Brodnianky, PhD., e-mail: jan.brodniansky@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

## VLIV NÍZKÉ POČÁTEČNÍ TEPLoty BETONU NA VÝSLEDNÝ MODUL PRUŽNOSTI

## INFLUENCE OF LOW INITIAL TEMPERATURE OF CONCRETE ON FINAL VALUES OF MODULUS OF ELASTICITY

**Dalibor Kocáb, Petr Cikrle,  
Barbara Kucharczyková, Ondřej Pospíchal**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně,

***Anotace:***

*Cílem této práce bylo porovnání výsledných hodnot modulu pružnosti betonu zjištěných na třech sadách zkušebních těles. Každá sada měla jiné počáteční podmínky zrání. Lišila se délka uložení zkušebních těles při teplotě +10 °C. První sada zkušebních těles zrála v těchto podmínkách 7 dní, druhá sada 1 den a třetí sada byla přímo po betonáži uložena do normálních laboratorních podmínek.*

*K experimentu byl použit obyčejný beton C30/37. Výsledky jsou přehledně zpracovány v grafické a tabelární podobě.*

***Annotation:***

*The aim of this work was to compare the final values of concrete modulus of elasticity. The values were determined on three sets of specimens. The initial curing conditions were different for each set of specimens. Two sets of specimens were stored at temperature +10 °C. The first set matured in these conditions 7 days, the second one only 1 day. The third set of specimens was stored in the standard laboratory conditions for the whole time of ageing.*

*Normal-weight concrete C30/37 was used for the experiment. The results of the experiment are summarized in graphical and tabular form.*

***Klíčová slova:*** Beton, modul pružnosti, počáteční teplota

***Keywords:*** Concrete, modulus of elasticity, starting temperature

## 1. Úvod

Modul pružnosti betonu je velmi důležitá materiálová charakteristika pro všechny konstrukce citlivé na deformace. Ve stavebnictví se jedná především o prvky i celé konstrukce z předpjatého betonu (předem i dodatečně) [1], [2].

Na výslednou hodnotu deformace má největší vliv hodnota modulu pružnosti v raném stádiu zrání betonu. Pokud v době předpínání (což může být např. u prefabrikovaných nosníků již po 24 hodinách zrání betonu) nemá beton požadovaný modul pružnosti, může dojít ke zdatelně větším deformacím, než s jakými projektant počítal. To může znamenat větší ztráty předpětí, větší nadvýšení nosníků a následné problémy při zabudování do konstrukce.

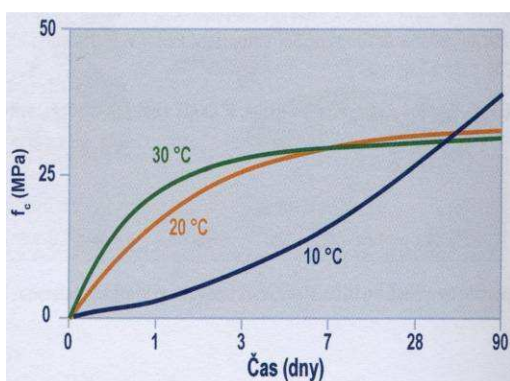
Získání požadovaných vlastností betonu je podmíněné jeho vhodným ošetřováním. To je úzce spojeno mimo jiné s kontrolou teploty během zrání betonu, neboť právě teplota okolního prostředí (obzvlášť v počátečních stádiích) hraje velmi důležitou roli ve vývoji betonu a má rozhodující vliv na chování betonu (či konstrukce) při jeho následném používání [3], [4], [6]. Vliv teploty ošetřování na vývoj pevnosti betonu v tlaku je graficky zobrazen na *Obr. 1*.

Normy [7] a [12] přesně definují teplotu (20 °C), při které se ověřují vlastnosti betonu. Tato termální podmínka patří mezi ustálená, obecně známá pravidla, která mají zabránit spekulacím a nedorozuměním při ověřování kvality betonu [3]. V praxi je však beton míchán, ukládán a ošetřován při různých teplotách. Betonáž při nízkých teplotách má svá specifika a je nutné dodržovat určitá opatření. Teplota čerstvého betonu v době dodání nesmí být menší než +5°C [7]. Při teplotách nižších než +5°C se výrazným způsobem zpomaluje hydratace a pokud teplota klesne pod bod mrazu, hydratace se dokonce zcela zastaví. Velkým problémem je pak mrznoucí voda, která zvětšuje svůj objem o přibližně 9 %, v důsledku čehož mohou v betonu s nedostatečnou pevností vznikat trhliny. Tím může dojít k nevratnému zhoršení mechanických vlastností betonu [3], [4], [5]. Při nízkých teplotách musí být tedy beton ošetřován (zahříváním, opatřením tepelné izolace) tak, aby teplota jeho povrchu neklesla pod 0 °C, a to do doby, než jeho pevnost v tlaku nedosáhne hodnoty alespoň 5 MPa [7], [8]. V případě, že se konstrukce přestane předčasně zahřívát, či se dříve odbední, může dojít k jejímu poškození v důsledku nedostatečné pevnosti betonu [6].

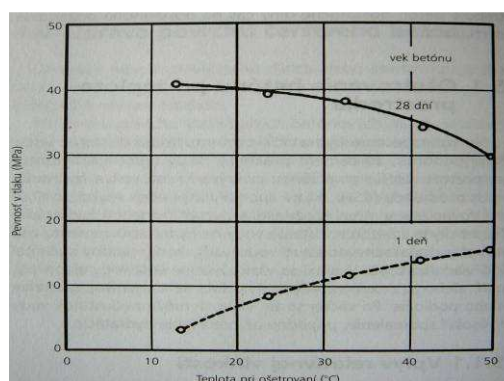
Vlastnosti betonu se všeobecně zlepšují s délkou vhodného způsobu ošetřování. Zatímco jednodenní pevnost betonu narůstá se zvyšující se teplotou, na *Obr. 2* je patrné, že 28denní pevnost vykazuje se zvyšující se teplotou opačnou tendenci [6]. Je to dáno obecnými chemickými pravidly, kdy platí, že čím nižší je teplota, tím menší je rychlost reakce. Z toho vyplývá, že hydratační proces je při nízkých teplotách pomalejší, a proto je i pevnost betonu v tlaku nízká. Avšak v pozdějším období platí, že čím nižší je teplota okolí, tím vyšší je



pevnost betonu. V tomto panuje mezi odborníky všeobecná shoda, ovšem vysvětlení této skutečnosti není jednoduché a názory se zde již rozcházejí, např. [3] vs. [6].



Obr. 1.: Vliv teploty ošetřování na vývoj pevnosti betonu v tlaku (teoreticky platí také pro statický modul pružnosti) [3].



Obr. 2.: Závislost pevnosti betonu v tlaku na teplotě ošetřování (teoreticky platí také pro statický modul pružnosti) [6].

## 2. Všeobecné údaje

Pro naplánovaný experiment bylo vybetonováno celkem 9 normových hranolů jmenovitých rozměrů 100×100×400 mm, které byly rozděleny do třech sad po třech zkušebních tělesech.

Ke zhotovení zkušebních vzorků byl použit konstrukční beton pevnostní třídy C 30/37. Složení čerstvé směsi je vypsáno v *Tabulce 1*. Při výrobě byla zjištěna objemová hmotnost čerstvého betonu 2280 kg·m<sup>-3</sup>. Betonová směs byla navržena na konzistenci S2, skutečná hodnota sednutí kužele (SK = 80 mm, viz *Obr. 3.*) této konzistenci odpovídala.

Tabulka 1.: Složení čerstvého betonu na 1 m<sup>3</sup>.

CEM I 42,5 R	Kamenivo			Voda	Vodní součinitel
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm		
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[-]
430	708	354	708	193,5	0,45

První sada zkušebních hranolů byla ihned po betonáži uložena do automatické zmrazovací skříně KD 20, která je zobrazena na *Obr. 4*. Zde tělesa

zrála při nastavené teplotě  $+10\text{ °C}$  (uložení těles viz *Obr. 5.*). Po 24 hod. byly zkušební vzorky odformovány a vráceny zpět do chladného prostředí se stálou teplotou  $+10\text{ °C}$ , kde zrály dalších 6 dní (*Obr. 6.*). Celkově tedy byly hranoly první sady uloženy v mrazícím zařízení 7 dní a až poté přemístěny do standardních laboratorních podmínek s teplotou  $+20 \pm 2\text{ °C}$  a s vlhkostí převyšující 95 %, kde zůstaly do odzkoušení.



*Obr. 3.: Zjišťování sednutí kužele použitého betonu.*

Druhá sada zkušebních těles byla stejně jako první sada po betonáži uložena do laboratorního zmrazovacího zařízení (*Obr. 5.*), tedy do prostředí s teplotou  $+10\text{ °C}$ . Po 24 hod. byly hranoly odformovány, nebyly však již vráceny do zmrazovací skříně, ale byly na zbývajících 27 dní uloženy do prostředí s teplotou  $+20 \pm 2\text{ °C}$  a s vlhkostí převyšující 95 %.



*Obr. 4.: Automatická zmrazovací skřín KD 20.*



*Obr. 5.: Uložení 1. a 2. sady zkušebních těles do chladných podmínek ihned po betonáži (teplota prostředí  $+10\text{ °C}$ ).*

Třetí sada hranolů byla referenční, po celou dobu zrála při laboratorní teplotě. Po vybetonování byla uložena do standardních laboratorních podmínek a přikryta PE fólií. Po 24 hod byla odformována a uložena do normových podmínek s teplotou  $+20 \pm 2$  °C a s vlhkostí převyšující 95 %.



*Obr. 6.: Po odformování byla do chladných podmínek vrácena pouze zkušební tělesa první sady.*

### 3. Metodika zkoušek

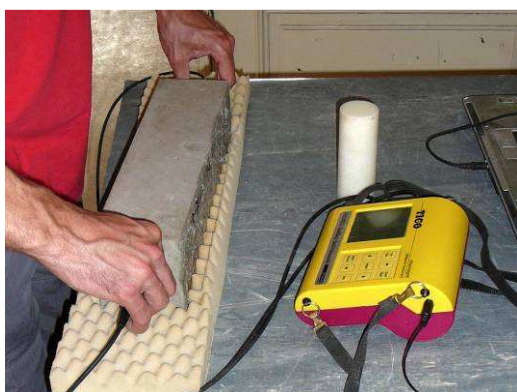
Na všech 9 zkušebních hranolech, které jsou zachyceny na *Obr. 7.*, byl po 28 dnech zrání betonu určen nejdříve dynamický modul pružnosti, a to pomocí obou normovaných metod.



*Obr. 7.: Všechna hranolová tělesa před odzkoušením; vlevo jsou 3 referenční hranoly třetí sady, uprostřed 3 hranoly druhé sady (uloženy v chladných podmínkách 1 den), vpravo tělesa uložená při +10 °C 7 dní (první sady).*

Jako první byla použita ultrazvuková impulsová metoda. Jejím principem je zjišťování doby průchodu ultrazvukového vlnění zkušebním tělesem. K tomuto účelu byl použit laboratorní přístroj TICO švýcarské firmy Proceq se sondami o frekvenci 150 kHz. Z doby průchodu UZ signálu se vypočte rychlost šíření ultrazvukového vlnění a následně se určí dynamický modul pružnosti (značený  $E_{bu}$ ). Druhá metoda, která byla při experimentu využita, je metoda rezonanční impulsová. Pomocí jednoduché impulsní aparatury (Fourierův analyzátor, impulsní kladívko a snímač zrychlení) se zjišťovaly vlastní frekvence kmitání tělesa. Z naměřených hodnot podélných frekvencí se vypočítal dynamický modul pružnosti značený  $E_{brL}$  a z příčných frekvencí modul pružnosti značený  $E_{brf}$ .

Měření pomocí ultrazvukové impulsní metody probíhalo dle [9] a je zachyceno na *Obr. 8.*, při měření pomocí rezonanční metody se postupovalo dle [10] a je zachyceno na *Obr. 9.* Problematika určování dynamických i statických modulů pružností je popsána např. v [13], o rezonanční metodě se podrobně rozepisují autoři v [14].



*Obr. 8.: Měření modulu pružnosti ultrazvukovou metodou.*



*Obr. 9.: Měření modulu pružnosti rezonanční metodou.*

Po nedestruktivním stanovení dynamických modulů pružnosti byl pomocí zkušebního lisu FORM+TEST ALPHA 3-3000 na všech zkušebních hranolech určen statický modul pružnosti betonu v tlaku/tahu, značený  $E_c$  (zkouška je zobrazena na *Obr. 10.*). Princip této zkoušky spočívá v cyklickém zatěžování zkušebního tělesa mezi dvěma hladinami napětí a současném odečtu deformací. Dolní mez se vždy rovná hodnotě napětí 0,5 MPa, horní mez zatěžovacího cyklu je rovna 1/3 předpokládané pevnosti v tlaku zkoušeného tělesa.

V případě tohoto experimentu byla horní mez pro referenční třetí sadu odvozena ze souběžných zkoušek krychelné pevnosti betonu v tlaku. Protože pro první a druhou sadu těles nebyla k dispozici stejně ošetřovaná krychelná tělesa (a tudíž ani odpovídající pevnost v tlaku), horní mez byla vypočtena poměrově

dle výsledků provedených dynamických zkoušek. Zkouška statického modulu pružnosti betonu v tlaku probíhala dle [11].



Obr. 10.: Měření statického modulu pružnosti v lisu FORM+TEST.



Obr. 11.: Stanovení pevnosti betonu v tlaku – hranol po zkoušce.

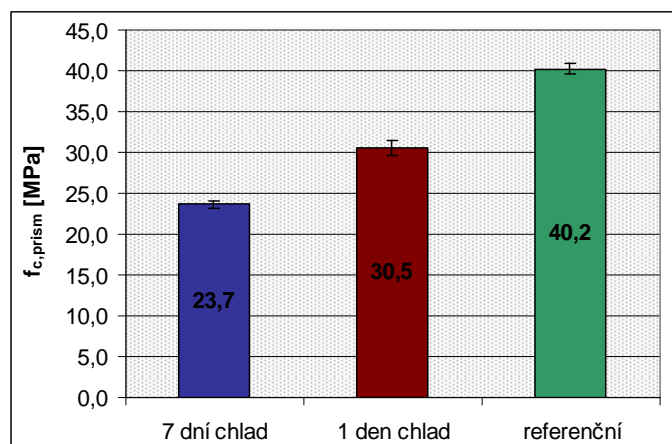
#### 4. Dosažené výsledky

Všechny zjišťované veličiny určené na všech zkušebních tělesech je možné najít v *Tabulce 2.*

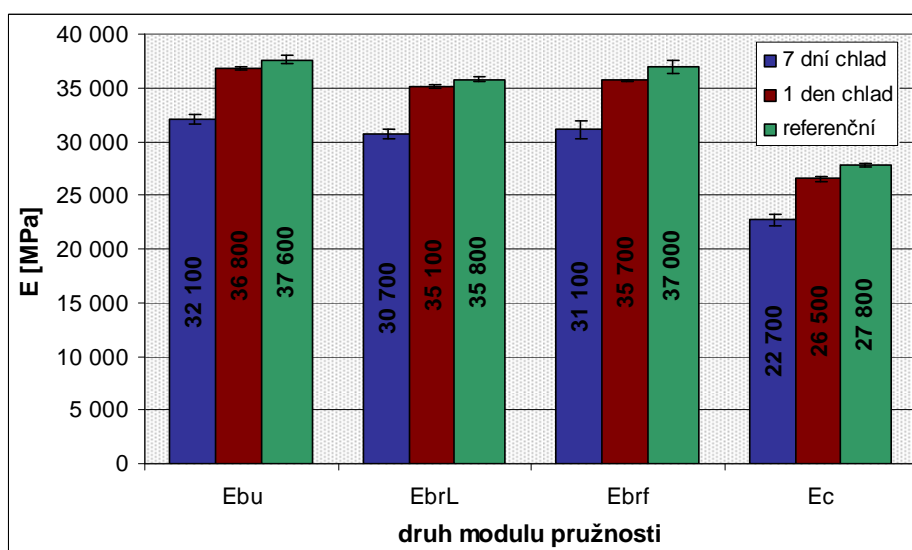
*Tabulka 2.: Výsledné hodnoty modulů pružnosti a pevnosti v tlaku zjištěné na všech zkušebních hranolech.*

sada	vzorek	$E_{bu}$ [MPa]	$E_{brL}$ [MPa]	$E_{brf}$ [MPa]	$E_c$ [MPa]	$f_{c,prism}$ [MPa]
1. sada – 7 dní chlad	T 1	32 400	31 200	31 700	23 300	23,8
	T 4	32 300	30 800	31 400	22 600	24,0
	T 5	31 500	30 200	30 100	22 300	23,2
2. sada – 1 dní chlad	T 2	36 700	35 000	35 800	26 500	30,1
	T 3	36 700	35 200	35 700	26 700	29,9
	T 6	37 000	35 200	35 600	26 200	31,6
3. sada – referenční	T 7	37 500	35 800	36 700	28 000	40,5
	T 8	37 300	35 600	36 600	27 700	39,5
	T 9	38 000	36 100	37 700	27 800	40,7

Souhrnné porovnání dosažených výsledků jednotlivých sad zkušebních hranolů je zobrazeno v grafech na *Obr. 12.* a *Obr. 13.*



*Obr. 12.: Průměrné hodnoty hranolové pevnosti v tlaku včetně směrodatných odchylek všech tří sad betonů po 28 dnech zrání.*



*Obr. 13.: Průměrné hodnoty dynamických a statických modulů pružnosti včetně směrodatných odchylek všech tří sad betonů po 28 dnech zrání.*

Z výše prezentovaných výsledků je možné učinit závěr, že teplota okolního prostředí zejména v počátečních stádiích zrání betonu má na výsledný modul pružnosti vliv. Ve všech třech případech dynamického modulu pružnosti,

stejně jako u modulu pružnosti statického, dosáhla nejlepších výsledků třetí sada referenčních hranolů. Druhá sada těles, která zrála v chladných podmínkách prvních 24 hodin, vykazovala u hodnot modulu pružnosti nepatrný pokles oproti referenční sadě. Výraznější pokles výsledných hodnot modulů pružnosti byl zjištěn u první sady, kdy zkušební tělesa zrála při chladné okolní teplotě prvních 7 dní. Zde poklesla hodnota statického modulu pružnosti až na hodnotu 81,7 % referenčního betonu.

Při pohledu na výsledky hranolových pevností, kdy pokles výsledných hodnot první sady oproti sadě referenční nabývá až 50 %, je třeba vzít v úvahu další aspekt provedeného experimentu. Popisovaný experiment je začátkem dlouhodobějšího výzkumu, který nadále pokračuje. Provedené zkoušky byly první, a tedy zkušební fází, ve které se jednalo především o ověření metodiky. Při ukládání forem do zmrazovací skříně nebyl beton z důvodu navození extrémních podmínek (které panují při betonážích in situ) přikryt PE fólií. To se následně ukázalo jako ne zcela ideální, protože v betonu proběhlo výrazné smršťování (vliv ventilátoru). Míra poklesu výsledných hodnot je touto okolností pravděpodobně ovlivněna, ovšem zjištěný trend poklesu nikoliv.

## 5. Závěr

Tendence poklesu výsledných hodnot modulů pružnosti vlivem počáteční nízké teploty je jasně patrná a výsledky následně prováděných experimentů to potvrzují. Povedlo se prokázat, že teplota okolního prostředí má významný vliv na výsledný modul pružnosti betonu. S podrobnějšími výsledky rozsáhlejších zkoušek hodlají autoři seznámit veřejnost v nejbližší době.

Z výše popsanych podmínek experimentu, které zřejmě ovlivnily pevnost v tlaku, se podařily vyvodit cenné závěry pro následující zkoušky.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu specifického vysokoškolského výzkumu FAST-J-11-26 s názvem „Vliv počátečních podmínek na modul pružnosti betonu“ a projektu GAČR 103/09/0065 s názvem „Omezení vzniku a rozvoje trhlin v betonových mostech“.

## Literatura

- [1] AĪTCIN, P.-C.: Vysokohodnotný beton. Český překlad Bílek, V., Vydání 1., Praha: ČKAIT, 2005, ISBN 80-86769-39-9.

- 
- [2] NAVRÁTIL, J.: Předpjaté betonové konstrukce. Vydání 2., Brno: CERM, 2008, ISBN 978-80-7204-561-7.
- [3] COLLEPARDI, M.: Moderní beton. Český překlad Bílek, V., Vydání 1., Praha: ČKAIT, 2009, 344 s. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [4] PYTLÍK, P.: Technologie betonu. Vydání 2., Brno: VUT v Brně – VUTIUM, 2000, ISBN 80-214-1647-5.
- [5] KLEČKA, T. a kol.: Příručka technologa, BETON - suroviny – výroba - vlastnosti. Vydání 2. Praha: Artis, 2005, 208 s.
- [6] BAJZA, A.; ROUSEKOVÁ, I.: Technológia betónu. Vydání 1., Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o., 2009, 190 s. ISBN 80-8076-032-2.
- [7] ČSN EN 206-1: Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČNI, 2001.
- [8] ČSN EN 13760. Provádění betonových konstrukcí. ČNI, 2010.
- [9] ČSN 73 1371: Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu. ÚNM, 1981.
- [10] ČSN 73 1372: Rezonančná metóda skúšania betónu. ÚNM, 1981.
- [11] ČSN ISO 6784: Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. FÚNM, 1993.
- [12] ČSN EN 197-1: Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. ČNI, 2001.
- [13] CIKRLE, P.; HUŇKA, P.: Porovnání metodik zkoušení modulu pružnosti betonu. In Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2006. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2006, ISBN 80-903502-4-0.
- [14] CIKRLE, P.; POSPÍCHAL, O.: Nový způsob stanovení mrazuvzdornosti betonu s využitím metod pro sledování poruch struktury. Beton TKS 3/2011, Praha: Beton TKS, s.r.o., 2011. ISSN 12133116.

## Kontakt

Ing. Dalibor Kocáb, tel: +420 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petr Cikrle, Ph.D., tel: +420 541 147 814, e-mail: cikrle.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Barbara Kucharczyková, Ph.D., tel: +420 541 147 527, e-mail: kucharczykova.b@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ondřej Pospíchal, tel: +420 541 147 811, e-mail: pospichal.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.



**DIAGNOSTIKA A POSOUZENÍ CIHELNÉ KLENBY  
POD ZÁMECKÝM PARKEM  
V MORAVSKÉM KRUMLOVĚ**

**DIAGNOSTICS AND STATE ESTIMATION OF  
MASONRY ARCH UNDER CASTLE PARK  
IN MORAVSKÝ KRUMLOV**

**Dalibor Kocáb, Ladislav Klusáček, Michal Požár,  
Ondřej Pospíchal**

Ústav stavebního zkušebnictví a Ústav betonových a  
zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, Brno

***Anotace:***

*Příspěvek pojednává o diagnostice a následném statickém posouzení historického klenbového tunelu pod zámeckým parkem v Moravském Krumlově. Byla provedena prohlídka konstrukce a pomocí upřesněných nedestruktivních zkoušek byla určena pevnost v tlaku zdiva. Následná statická analýza potvrdila, že i více než 200 let stará, správně navržená cihelná klenba vyhoví na požadované zatížení. Klenbu je ovšem nutné sanovat a obnovit hydroizolační vrstvu.*

***Annotation:***

*The article deals with the diagnostics and subsequent static state estimation of a historic arch tunnel under the castle park in Moravský Krumlov. The construction inspection was performed and compressive strength of masonry was determined using the corrected non-destructive tests. A subsequent static analysis confirmed the fact that more than 200 years old and well-designed masonry arch satisfy the required loading conditions. However, the rehabilitation of the arch and rebuilding of hydro insulation are necessary.*

***Klíčová slova:*** Klenba, cihelné zdivo, diagnostika, posouzení stavu konstrukce

***Keywords:*** Arch, brickwork masonry, diagnostics, state estimation

## 1. Úvod

Tento článek je věnován posouzení stavu historického klenbového přemostění místní komunikace – tunelu pod zámeckým parkem v Moravském Krumlově. Byla provedena vizuální prohlídka konstrukce, její diagnostika a následně na základě zjištěných parametrů statická analýza klenby [9].

Na místě současného tunelu býval ještě v polovině 18. století hradní příkop, který odděloval tehdejší hrad od ostatních hospodářských stavení. Při terénních úpravách koncem 18. století byl na přání hraběnky Marie Eleonory příkop zrušen a na jeho místě postaven klasicistní tunel, zaklenutý půlkruhovou valenou klenbou, s klesající úrovní dna (viz *Obr. 1.*). Návrh na stavbu tunelu pochází již z roku 1782 [7].



*Obr. 1.: Pohled na severní portál tunelu pod zámeckým parkem*

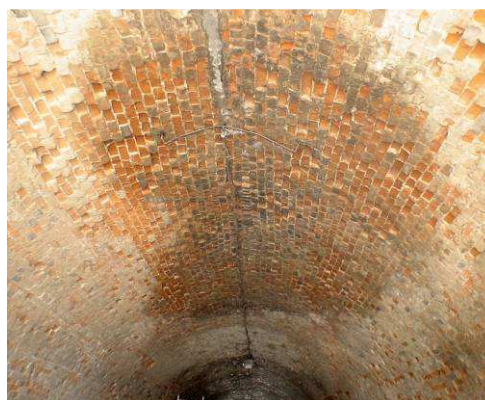
## 2. Prohlídka konstrukce

Při provádění prohlídky konstrukce byly zaměřeny rozměry jednotlivých částí klenby. Celková délka klenbového tunelu činí přibližně 82 m, světlé rozpětí je 5,6 m. Klenba je valená, půlkruhová se světlym poloměrem 2,8 m. Tloušťka klenby byla ověřena zkušebním sondážním vrtem a činí 0,45 m. Vrchol klenby je vodorovný, niveleta vozovky severním směrem klesá. Svislá vzdálenost vrcholu klenby od vozovky je u jižního portálu přibližně 3,3 m, zatímco u severního portálu (*Obr. 1.*) 8,1 m (pata klenby je v tomto místě cca 5,1 m nad úrovní vozovky). Vrstva zeminy nad vrcholem klenby dosahuje mocnosti 0,75 m.

V místech, kde se vyskytují výrazně porušené a polámané cihly, je klenba značně oslabená, což je dobře vidět na *Obr. 2*. Byla také zjištěna místa zatékání, která jsou zejména ve vrcholu klenby poměrně rozsáhlá (*Obr. 3*).



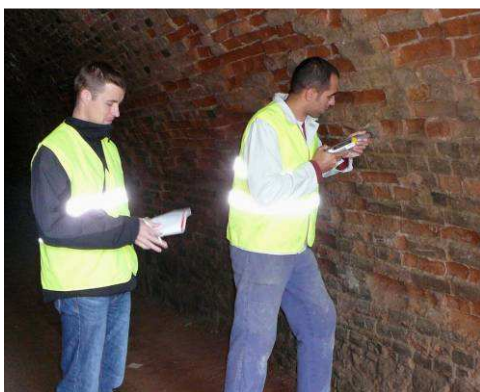
*Obr. 2.: Pohled na levou část klenby směrem od jižního portálu tunelu*



*Obr. 3.: Pohled na vrchol klenby v místě masivnějšího zatékání*

### 3. Provedené zkoušky

Pevnost v tlaku cihel byla určena především nedestruktivně, tvrdoměrnou metodou s využitím Schmidtova sklerometru typu LB. Tímto způsobem bylo odzkoušeno 17 cihel ve třech příčných řezech klenby (*Obr. 4.*, *Obr. 5.*).



*Obr. 4.: Zkoušení cihel pomocí tvrdoměru Schmidt LB*



*Obr. 5.: Detail zkoušky Schmidtem LB na vybrané cihle*

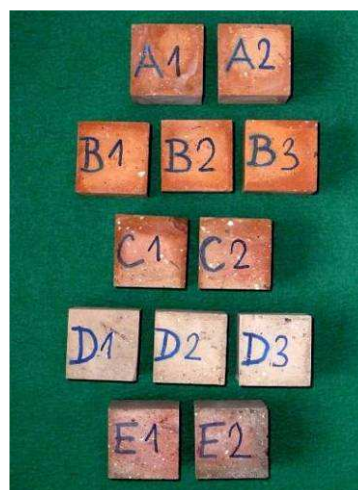
K upřesnění obecného kalibračního vztahu pro určení pevnosti v tlaku z měření Schmidtem LB, který byl vytvořen na ÚSZK FAST VUT v Brně, bylo

vybráno z celé klenby dalších 5 kusů cihel (označeny A až E). Ty byly odzkoušeny přímo v klenbě nedestruktivně a následně byly jejich části u vnitřního líce klenby vyjmuty z konstrukce a zkoušeny tlakovým namáháním destruktivně. Všechny cihly, na kterých probíhalo měření, byly vazáky a před samotným tvrdoměrným zkoušením byl jejich povrch důkladně obroušen. Ve výpočtu byl zohledněn směr zkoušení Schmidtem LB.

Z jednotlivých odebraných částí cihel byla kotoučovým řezáním připravena 2 – 3 zkušební tělesa. Na nich byly určeny rozměry, hmotnost a síla potřebná k rozdrčení v tlaku. Vzorky byly zkoušeny ve stavu přirozeně vlhkém. Z naměřených údajů byla vypočtena objemová hmotnost a pevnost v tlaku. Průběh zkoušení je zachycen na *Obr. 6.* až *Obr. 9.*



*Obr. 6.: Část cihly B, která byla po odzkoušení tvrdoměrem odebrána z klenby*



*Obr. 7.: Soubor zkušebních těles k určení pevnosti v tlaku*



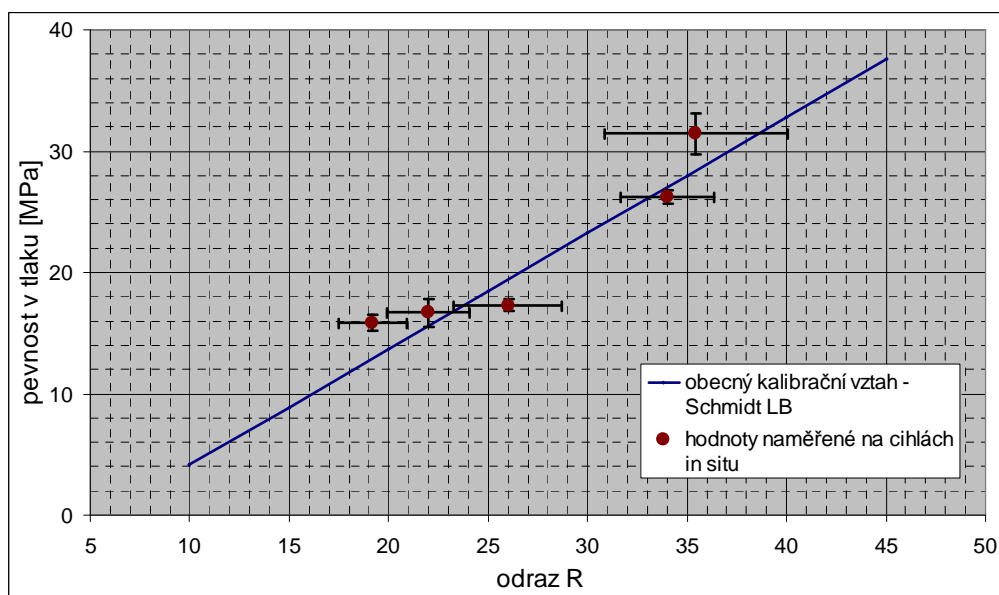
*Obr. 8.: Vzorek před zkouškou pevnosti v tlaku*



*Obr. 9.: Vzorek po zkoušce pevnosti v tlaku*

Cihly vykazovaly odlišné výsledné hodnoty pevnosti v tlaku. Odebrané části se celkově prezentovaly různou kvalitou, nejen co se týče pevnosti. Jak je patrné z *Obr. 7.*, na kterém je dobře viditelná barevná různorodost odebraných cihel, jednalo se pravděpodobně o cihly různého původu a s lišícími se vstupními složkami. Jistá odlišnost byla pozorována i při řezání zkušebních vzorků.

K vyhodnocení zkoušek pevnosti cihel v tlaku tvrdoměrem Schmidt LB je nutné použít obecný kalibrační vztah mezi tvrdostí a pevností v tlaku, který se však může lokality od lokality lišit a je nutné jej upřesnit. Po vynesení naměřených hodnot odrazu  $R$  a pevností v tlaku zjištěných na cihlách A až E do grafu obecného kalibračního vztahu je možné konstatovat, že kalibrační vztah je dostatečně přesný a pro výpočet se dále upřesňovat nemusí. Pokud navíc ponecháme kalibrační vztah v základní formě, bude se výsledná hodnota pevnosti cihel v tlaku pohybovat pravděpodobně mírně na straně bezpečné, což je patrné z grafu na *Obr. 10.*



*Obr. 10.: Porovnání naměřených hodnot odrazu  $R$  a příslušné pevnosti v tlaku  $f_{b,e}$  [MPa] na cihlách A až E s obecným kalibračním vztahem pro Schmidt LB*

Ke stanovení pevnosti v tlaku malty ve spárách byla použita ruční Kučerova vrtačka (*Obr. 11.*) s využitím převodního kalibračního vztahu, který byl vytvořen výrobcem vrtačky. Pevnost malty byla zjišťována na 10 zkušebních místech ve stejných příčných řezech jako pevnost cihel v tlaku.

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku na celou cihlu plnou byla z destruktivních zkoušek dle [3] stanovena na 20,7 MPa. Tyto laboratorní zkoušky však sloužily pouze k ověření platnosti zvoleného obecného

kalibračního vztahu pro nedestruktivní měření tvrdoměrem Schmidt LB. Výsledná hodnota pevnosti cihel v tlaku byla tedy vypočtena pomocí naměřených hodnot tvrdoměrem a byla vyčíslena na 18,2 MPa.

Průměrná pevnost pojiva určená pomocí semidestruktivní metody Kučerovou vrtačkou byla stanovena na 1,0 MPa.



*Obr. 11.: Zkoušení pevnosti malty v tlaku Kučerovou vrtačkou*

#### **4. Statická analýza a posouzení**

Statický výpočet zatížitelnosti tunelu byl zaměřen na ověření, zda tunel může i nadále sloužit svému účelu – bezpečně převádět park přes místní komunikaci. Jeho součástí bylo stanovení hmotnosti vozidel, které se mohou do data opravy pohybovat po parkových cestách, případně na volném terénu parku.

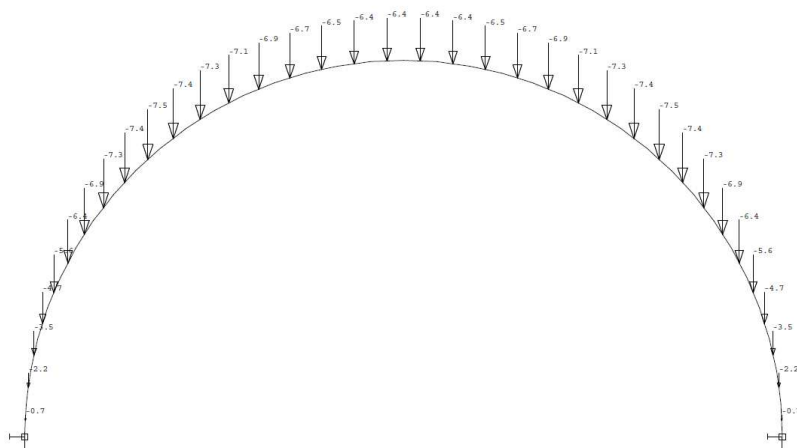
Na základě výsledků diagnostického průzkumu byla určena dle [3] návrhová pevnost zdiva v tlaku  $f_d = 1,56$  MPa, pro  $\gamma_m = 2,2$ . Charakteristická pevnost zdiva v tlaku kolmo na ložnou spáru byla vypočtena  $f_k = 3,43$  MPa, pro  $K = 0,55$ .

Klenba byla modelována prutovou konstrukcí vetknutou do opěr. Opěry jsou dostatečně tuhé a opřené do skalního podloží, mohly proto být nahrazeny tuhou vazbou a nemusely být součástí modelu konstrukce. Zatížení, vnitřní síly a únosnost klenby byly vztaženy k jednotkovému průřezu klenby o šířce 1 m. Výpočetní model zahrnoval i sníženou, diagnostikou stanovenou menší výšku průřezu zdiva klenby 450 mm.

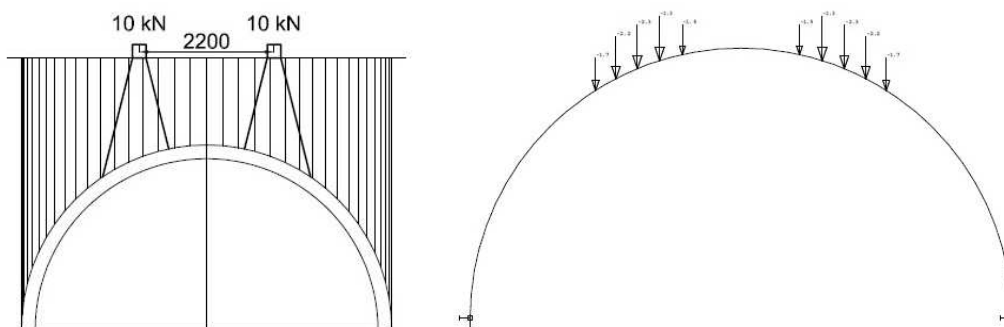
Byly zvoleny dva výpočetní modely. První model (Model 1) zobrazuje výchozí stav konstrukce, tedy vetknutí pat klenby do základů (resp. zeminy).

Z výpočtu bylo zřejmé, že dojde ke vzniku plastického kloubu ve vrcholu klenby. Tato skutečnost byla následně zahrnuta do druhého výpočetního modelu (Model 2), kde byl vložený kloub do vrcholu klenby.

Stálé zatížení bylo složeno z vlastní tíhy nosné konstrukce klenby (zdiva) a z tíhy zeminy nad konstrukcí. Objemová tíha cihelného zdiva byla uvažována  $18 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ , objemová tíha zeminy  $20 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ . Jako proměnné zatížení bylo uvažováno obslužné vozidlo parku s maximální hmotností 2 tuny (20 kN), 10 kN jedna náprava vozidla. Roznos zatížení v příčném směru je v poměru 1:4 (šířka:výška). Bylo zvoleno 7 zatěžovacích stavů – vlastní tíha nosné konstrukce klenby (ZS1), tíha zeminy nad konstrukcí klenby (ZS2) a 5 umístění obslužného vozu nad klenbou (proměnné zatížení, ZS3 až ZS7). Schéma ostatního stálého zatížení (ZS2) je na *Obr. 12.* a roznos zatížení od vozidla umístěného symetricky nad osou klenby (ZS7) je na *Obr. 13.*



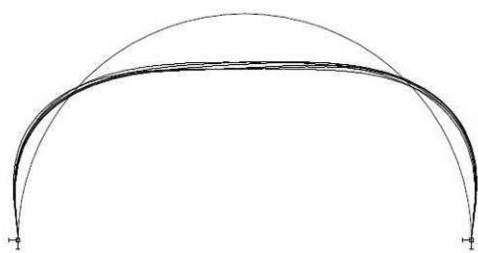
*Obr. 12.: Zatěžovací stav 2 – síly od zatížení zeminou*



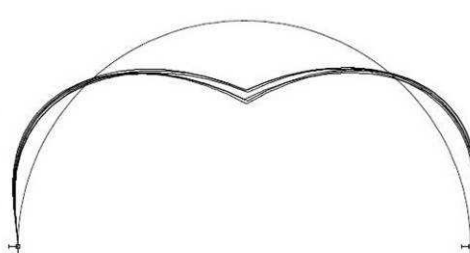
*Obr. 13.: Zatěžovací stav 7 – vlevo umístění náprav, vpravo síly v prutech*

Ve výpočtu byly uvažovány kombinace podle [1]. Vnitřní síly byly počítány programem založeným na metodě konečných prvků (lineárním výpočtem) podle daných kombinací.

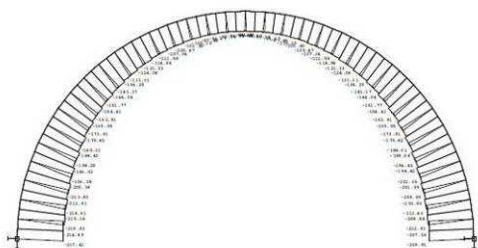
V konstrukci dochází dle výpočtu pomocí Modelu 1 k porušení klenby ve vrcholu. V Modelu 2 teoreticky dochází k porušení u paty klenby, ale namodelované vetknutí neodpovídalo zcela přesně skutečnosti, přičemž silám pomáhá zemina, která nebyla modelována (pouze jako zatížení). Vybrané výstupy z obou modelů jsou zobrazeny na *Obr. 14.* až *Obr. 19.*



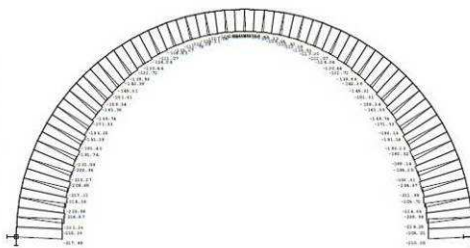
*Obr. 14.: Deformace od zatížení na Modelu 1 (zvětšené měřítko deformací)*



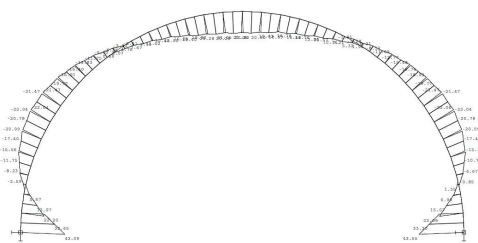
*Obr. 15.: Deformace od zatížení na Modelu 2 (zvětšené měřítko deformací)*



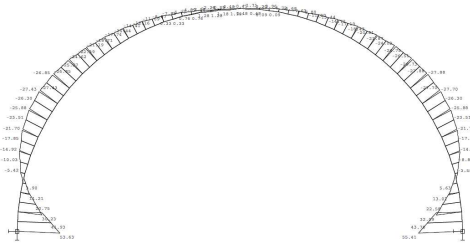
*Obr. 16.: Vnitřní síly – normálové (N) – na prutech, Model 1*



*Obr. 17.: Vnitřní síly – normálové (N) – na prutech, Model 2*



*Obr. 18.: Vnitřní síly – ohybový moment (M) – na prutech, Model 1*



*Obr. 19.: Vnitřní síly – ohybový moment (M) – na prutech, Model 2*



Klenba byla posouzena na obálku nejnepříznivějších kombinací v každém uzlu modelu. Lze konstatovat, že konstrukce posouzená pomocí druhého výpočtového modelu statickému posudku vyhovuje, což znamená, že není nutné hledat další možnosti přerozdělení vnitřních sil.

## 5. Závěr

Konstrukce tunelu zatím po statické stránce vyhovuje a její zřícení nehrozí. Provoz vozidel v parku nad tunelem je třeba omezit hmotností 2 t.

Ponechání tunelu bez jakýchkoli zásahů povede k dalšímu mrazovému rozpadu zdiva a potom nelze vyloučit uzavření i po několika málo letech v závislosti na jeho dalším průběhu a na klimatických podmínkách.

Pevnost cihel i malty byla na klenbě určována pouze na suchých místech. Pevnost v tlaku cihel a především pevnost malty je však negativně ovlivněna vlhkostí. Lze tedy předpokládat, že v místech, kde do zdiva klenby soustavně zatéká, by cihly vykazovaly nižší hodnoty pevnosti v tlaku a pevnost malty by byla téměř nulová. Konstrukci klenby je tedy nutné sanovat, tzn. vysušit vlhké zdivo, obnovit hydroizolaci nad klenbou a popřípadě vyměnit značně porušené a polámané cihly.

Statická analýza potvrdila, že pokud je klenba správně navržena a zhotovena, vyhoví na požadované zatížení i po více než 200 letech.

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení výzkumného záměru MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.

## Literatura

- [1] ČSN EN 1990 ed. 2: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, 2011.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, ČNI, 2001.
- [3] ČSN EN 1996-1-1: Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce, ČNI, 2007.
- [4] LIPANSKÁ, E.: Historické klenby. Vydání. 1., Praha: EL CONSULT, 1998, 71 s., ISBN 80-902076-1-8.

- [5] ERBEN, A.: Klenby. Vydání. 1., Praha: Státní nakladatelství učebnic, 1950, 35 s., 92 793/50-II/3.
- [6] MENCL, V.: České středověké klenby. Vydání. 1., Praha: ORBIS, 1974, 142 s.
- [7] BRŮCKOVÁ, M. a kol.: Moravský Krumlov ve svých osudech. Vydání 1., Brno: Muzejní a vlastivědná společnost v Brně, 2009, ISBN 978-80-86249-56-8.
- [8] BAŽANT, Z.; KLUSÁČEK, L.: Statika při rekonstrukci objektů. Vydání 5., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 122 s., ISBN 978-80-7204-692-8.
- [9] KLUSÁČEK, L.; POŽÁR, M.: Průvodní zpráva ke statickému výpočtu: cihelná klenba – tunel pod zámeckým parkem v Moravském Krumlově. 2011
- [10] KLUSÁČEK, L.; POŽÁR, M.; KOCÁB, D.: Závěrečná technická zpráva: cihelná klenba – tunel pod zámeckým parkem v Moravském Krumlově. 2011

## **Kontakt**

Ing. Dalibor Kocáb, tel: +420 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., tel: +420 541 147 854, e-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Michal Požár, tel: +420 541 147 877, e-mail: pozar.m@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ondřej Pospíchal, tel: +420 541 147 811, e-mail: pospichal.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

**VLIV TEPLoty NA TRANSPORT VLHKOSTI  
V PÓROBETONU**

**EFFECT OF TEMPERATURE ON LIQUID WATER  
TRANSPORT  
IN AUTOCLAVED AERATED CONCRETE**

**Tomáš Korecký, Kamil Ďurana, Miroslava Lapková,  
Jan Toman, Robert Černý**

ČVUT, Stavební fakulta,  
katedra Materiálového inženýrství a chemie

***Anotace:***

*Šíření vlhkosti v porézních materiálech je ovlivněno několika vlivy. Kromě hlavního, kterým je gradient vlhkosti, jsou zde i jiné tzv. sekundární vlivy, jako např. vliv teploty, koncentrace rozpuštěných solí, gradient teploty a gravitace, které je brát v úvahu. V tomto článku je popsán vliv teploty na transport kapalné vlhkosti v pórobetonu v teplotním intervalu do 85°C.*

***Annotation:***

*There are several phenomena affecting water transport in porous materials. Besides the primary one which is the moisture gradient, secondary effects such as temperature, salt concentration, temperature gradient or gravity force are to be taken into account. In this paper, effect of temperature on liquid water transport in autoclaved aerated concrete is studied in the temperature range up to 85 °C.*

***Klíčová slova:*** vlhkostní vodivost, vlhkost, teplota, pórobeton

***Keywords:*** moisture diffusivity, moisture, temperature, autoclaved aerated concrete

## 1. Úvod

Cílem této práce je určit dva vlivy transportu vlhkosti v porézních stavebních materiálech. Jedná se o vliv gradientu vlhkosti (tzv. primární) a vlivu teploty (který patří k tzv. sekundárním efektům). Vliv gravitace, elektrického a magnetického pole či koncentraci rozpuštěných látek ve vodě nebudeme dále uvažovat. Protože množství vody obsažené v materiálu významně ovlivňuje fyzikální vlastnosti [1], je nutné znát tyto vlastnosti v závislosti na vnějších podmínkách, v kterých je materiál umístěn. Tedy v závislosti na vlhkosti a teplotě.

Součinitel vlhkostní vodivosti [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] jsme zvolili jako charakteristiku, která popisuje transport vlhkosti (jak kapalně tak plynně, protože v teplotním intervalu 25 až 85 °C můžeme vliv vodní páry opomenout) v porézním materiálu a to v závislosti na vlhkosti i teplotě. Na základě molekulární fyziky a termodynamiky, lze předpokládat, že hodnota zvolené charakteristiky bude vzrůstat s rostoucím obsahem vody i s rostoucí teplotou.

V experimentální části jsme použili jednoduchou metodu. Podlouhlé vzorky byly umístěny v daných teplotních a vlhkostních podmínkách. Jeden konec vzorku byl v kontaktu s vodou a druhý volný. Poté byl měřen obsah vlhkosti v různých vzdálenostech v daných časových intervalech. Naměřená data byla poté zpracována pomocí matematických modelů, takže byla zjištěna závislost vlhkostní vodivosti na vlhkosti pro různé teploty.

Jako další metody lze zmínit např. chemické (K. Fišerova metoda, metoda karbid vápníku), elektromagnetické (spektrometrické metody, nukleární magnetická rezonance, metoda gama záření [2]), jiné elektrické (odporová metoda), nebo tradiční fyzikální metody (pyknometrická, hydrometrická atd.). Nadále zůstává možnost využití těchto metod, aby se prokázala přesnost našeho měření. Chybová analýza je i nadále cílem současného studia.

## 2. Experiment

### 2.1. Popis vzorků

Pro experiment byly vybrány 2 druhy pórobetonu P 1.8 300 a P 4 500 (s rozdílnými pevnostmi v tlaku i objemovými hmotnostmi). Základní vlastnosti materiálů je zobrazeny v následující Tabulce 1 (jak jsou udávány výrobcem Xella [3], faktor difúzního odporu je uveden jak pro mokrý tak i pro suchý stav) a v Tabulce 2 (uvedené hodnoty byly naměřeny M. Jermanem viz. [4]):

*Tabulka 1: Materiálové vlastnosti udávané výrobcem:*

<b>Materiál</b>	<b>Tepelná vodivost [W/m.K]</b>	<b>Měrná tepelná kapacita [J/kg.K]</b>	<b>Faktor difúzního odporu [-]</b>
P 1.8 300	0.08	1000	5/10
P 4 500	0.12	1000	5/10

*Tabulka 2: Další měřené materiálové vlastnosti:*

<b>Materiál</b>	<b>Hustota matrice [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Celková otevřená pórovitost [% - V<sub>o1</sub>]</b>	<b>Objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P 1.8 300	2 451	87.4	304
P 4 500	2 527	80.2	500

Z pórobetonových bloků byly nařezány vzorky o rozměru 40 x 20 x 300 mm. Aby byly zaručeny konstantní počáteční podmínky byly vzorky vždy sušeny v peci při teplotě 105 °C až do rovnovážné hmotnosti. Pro zaručení jednorozměrného transportu vlhkosti byly všechny vzorky izolovány fólií na celém povrchu, kromě obou čel vzorku.

## **2.2. Metodika měření**

Experimentální zařízení, zobrazené na Obr. 1, se skládá z nádrže spojené s komůrkami, které byly vyplněny houbičkami na nádobí. Ty zajišťovali soustavné vlhčení jedné strany vzorku. Tento stav zaručuje téměř ideální Dirichetovu podmínku, tj. odpovídající stálé vlhkostní saturaci. Druhá strana vzorku byla otevřená tak, aby zde byla okrajová podmínka nulové vlhkosti. Pro vyloučení ostatních sekundárních vlivů byly vzorky během měření ve vodorovné poloze (aby byl vyloučen vliv gravitace), byla použita destilovaná voda (vyloučení vlivu koncentrace rozpuštěných příměsí). Termostatická klima komora byla natavena tak aby udržovala konstantní vnější podmínky měření, tedy relativní vlhkost na 50% a teploty 25 °C, 45 °C, 65 °C a 85 °C.



Obr. 1.: Uložení zkoušených vzorků v aparátu v klimatické komoře

Vlhkost v jednotlivých částech vzorku byla měřena nepřímou nedestruktivní kapacitním vlhkoměrem s elektrodami ve tvaru paralelních rovinných desek. Tímto způsobem byl zjištěn obsah vlhkosti pro každý 1 centimetr vzorku, kromě prvního a posledního, v různých časových intervalech. Hmotnostní vlhkost u jednotlivých částí vzorku byla určena gravimetrickou metodou (tedy vážením vlhkých kousků po měření a opětovné vážení v ustáleném stavu). Hmotnostní vlhkost se určuje z následujícího vztahu:

$$u = \frac{m_w - m_s}{m_s} \quad (1)$$

kde  $m_w$  je hmotnost vlhkého materiálu  
 $m_s$  je hmotnost suchého materiálu.

Tímto způsobem lze nalézt kalibrační křivku, která vyjadřuje závislost mezi hodnotami získanými z kapacitního vlhkoměru a hmotnostní vlhkostí z posledního měření. Tento vztah však lze aplikovat na všechna měření (viz. kapitola 3).

Tento postup samozřejmě vnáší některé nepřesnosti do celé metody. Zaprvé chyba použitého vlhkoměru. Chybu měření založeného na měření procházejícího proudu jsme stanovili 0,8 – 3,4 [-]. Konkrétní hodnota záleží na vlhkosti kalibrační křivky (viz. kapitola 3). Zadruhé anomálie na povrchu vzorku, které způsobuje následné zkreslení naměřené hodnoty. Nakonec je třeba se vyhnout chybám nahodilým a lidskému faktoru.

### 2.3. Určení součinitele vlhkostní vodivosti

Na základě měření obsahu vlhkosti ve vzorku v různých pozicích vzorku i časových intervalech, jsme získali křivky rozložení vlhkosti v podélném směru. Jako vstupní parametry pro výpočet součinitele vlhkostní vodivosti tedy byl soubor dat:

$$u_i = f(x, t) \quad (2)$$

kde  $u$  je obsah hmotnostní vlhkosti [kg/kg]  
 $x$  je vzdálenost od vlhčeného čela vzorku [m]  
 $t$  je čas měřený od kontaktu s vodou [s]  
 $i$  je index označující jednotlivá měření.

Závislost mezi vlhkostní vodivostí a hmotnostní vlhkostí byla získána pomocí specializovaného programu KADET [5]. Tento program používá metodu lineární filtrace k vyhlazení křivky vlhkostního profilu, z té získává hodnoty vlhkostní vodivosti a poskytuje rekurzivní ověření výsledků (výpočtem šíření vlhkosti metodou konečných prvků pomocí softwaru TRFEL [6]). Porovnáním vstupního vlhkostního profilu a dat vypočtených softwarem TRFEL lze snadno ověřit správnost výpočtu.

Tímto způsobem jsme určili vlhkostní vodivost v závislosti na vlhkosti pro námi stanovené teploty. Tím máme součinitel vlhkosti určený pro 4 teploty (tj. 25 ° C, 45 ° C, 65 ° C a 85 ° C) a jednotlivé materiály. Vzhledem k popsané metodě nebylo možno teplotní závislost vyjádřit analyticky. Přestože pro daný teplotní interval je možné určit funkci popisující závislost součinitele vlhkostní vodivosti na vlhkosti i teplotě. Předpokládáme, že další měření a zjemnění teplotních intervalů nám tuto možnost v budoucnu poskytnou.

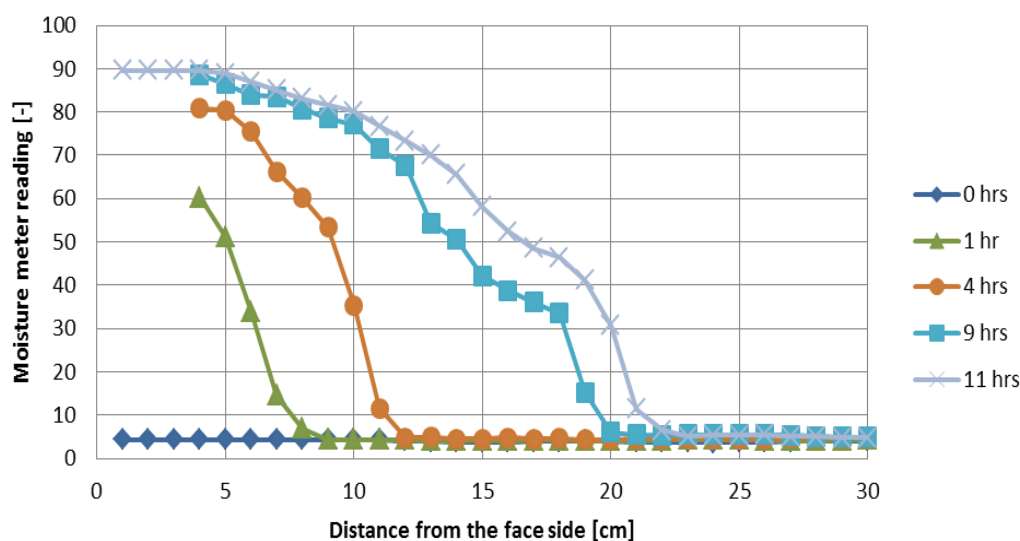
Navíc některé výsledky byly na závěr vyloučeny, protože vykazovaly hrubé odchylky předpokládanému výsledku (tj. pozice vůči ostatním křivkám, a

to buď zjištěných měření, nebo srovnáním i s dřívějšími studiemi [7]) a to i po opakování kritických měření. Tyto chyby připisujeme nehomogenitě daného materiálu, protože experiment probíhal a na komerčně vyráběných materiálech a nemůžeme zajistit naprostou jednotnost materiálů.

### 3. Výsledky

Naměřená data, kalibrační křivka i rekurzivní ověření jsou uvedeny pouze pro jeden materiál, pouze pro ilustraci použité metody a postupu. Pouze funkce vlhkostní vodivosti v závislosti na objemové hmotnosti (hmotnostní vlhkost byla převedena na objemovou vlhkost pomocí nám známé hodnoty objemové hmotnosti) je zde uvedena pro oba použité pórobetony P 1.8 300 a P 4 500.

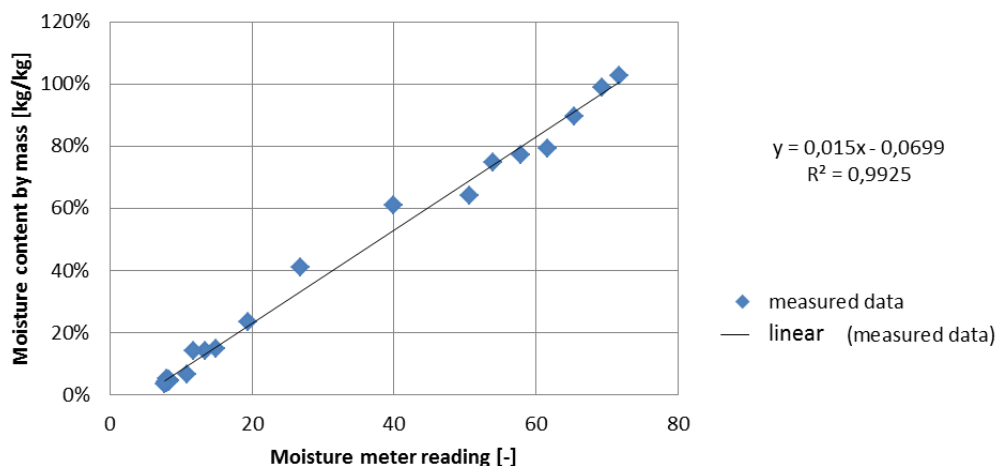
Obr. 2 ukazuje vlhkostní profily zjištěné pomocí kapacitního vlhkoměru v průběhu měření. Hodnoty na začátku a na konci vzorku nebylo možno zjistit z důvodu přílišné velikosti sondy a uspořádání schématu měření.



Obr. 2.: Data měřená kapacitním vlhkoměrem, P 1.8 300, T = 45 °C

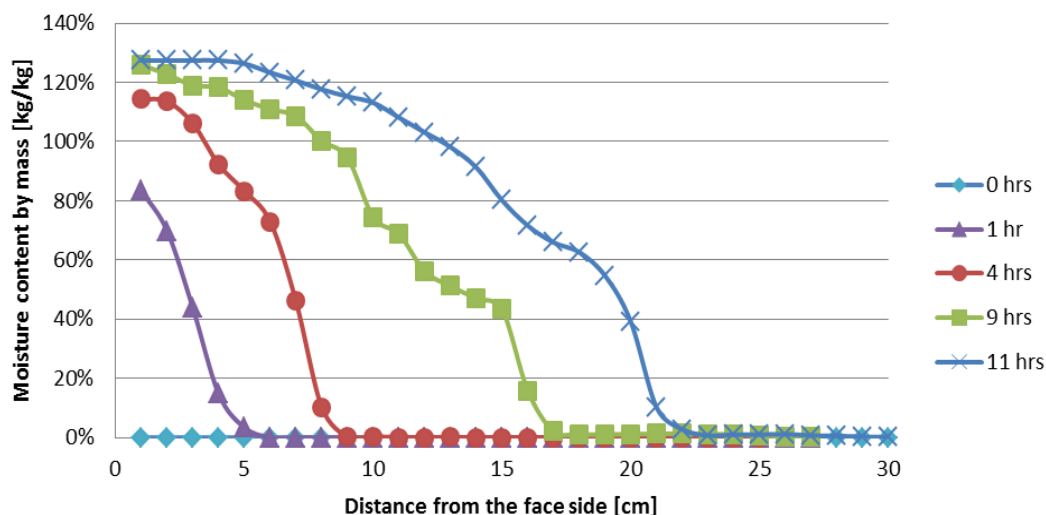
Použitím posledního měření kapacitního vlhkoměru (zde např. po 11hod navlhání) a hmotnostní vlhkostí určenou gravimetrickou metodou jsme určili kalibrační křivku pro přepočítání měřených hodnot na hodnoty vlhkostní hmotnosti. Tato křivka byla určena pro každý vzorek zvlášť. Na Obr. 3 je příklad takové kalibrační křivky zobrazen i s rovnici lineární křivky a spolehlivostí použité metody:





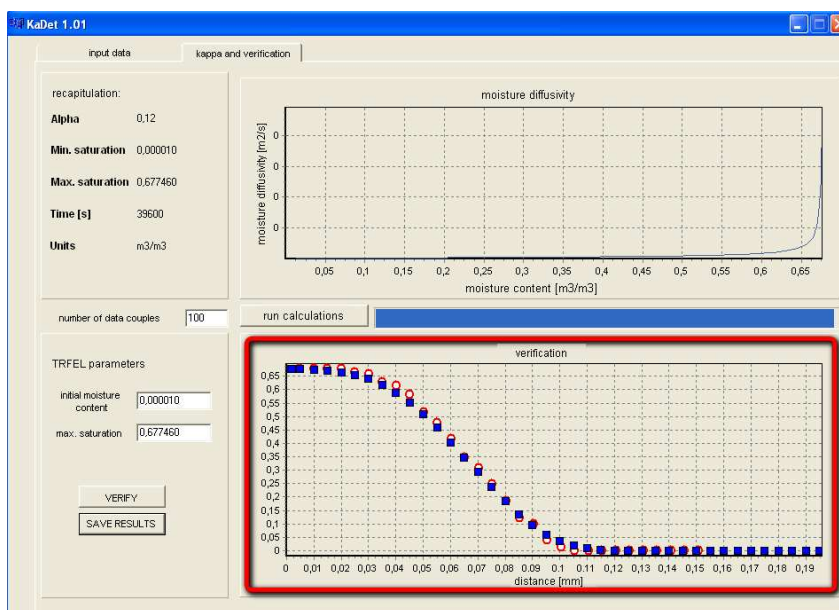
Obr. 3.: Příklad kalibrační křivky, P 1.8 300

Znalost kalibrační křivky a měřených dat nám umožňuje zobrazit jednorozměrné šíření vlhkosti v čase, jak je zobrazeno na Obr. 4:



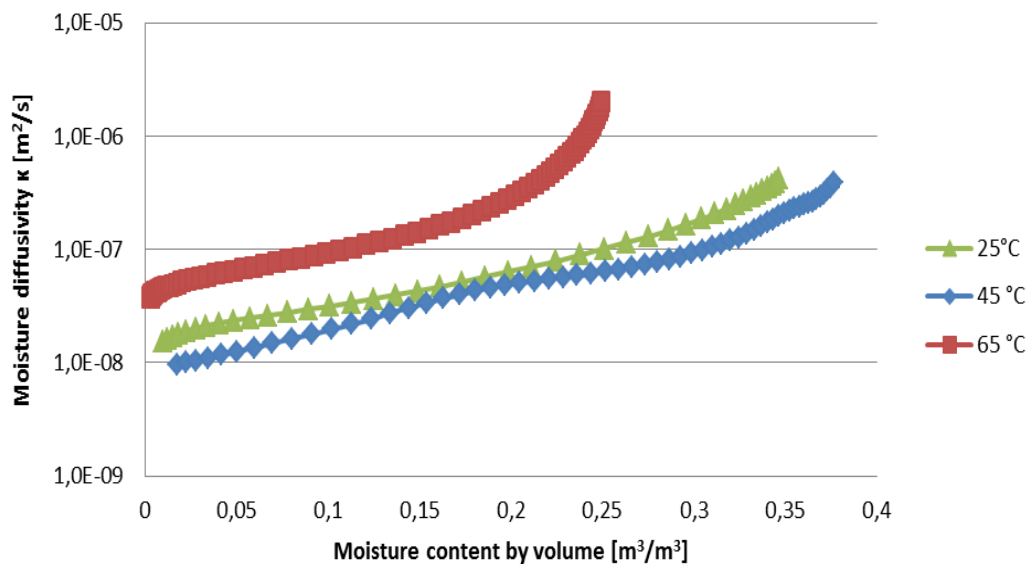
Obr. 4.: Šíření vlhkosti ve vzorku, P 1.8 300,  $T = 45\text{ °C}$   
(každá křivka reprezentuje jiný čas měření)

Jak je vidět na Obr. 5 křivky nejsou ani plynulé, což je způsobeno nepřesností kapacitního vlhkoměru. Proto je třeba křivky vyhladit. Následně se vypočetli funkce vlhkovodivosti. Všechny výpočty jsme poté ještě ověřili s experimentálními daty. Způsob ověření je zobrazen na Obr. 5, což je výstupní okno z programu KADET [5], kde je barevně zvýrazněno ověření výpočtu:

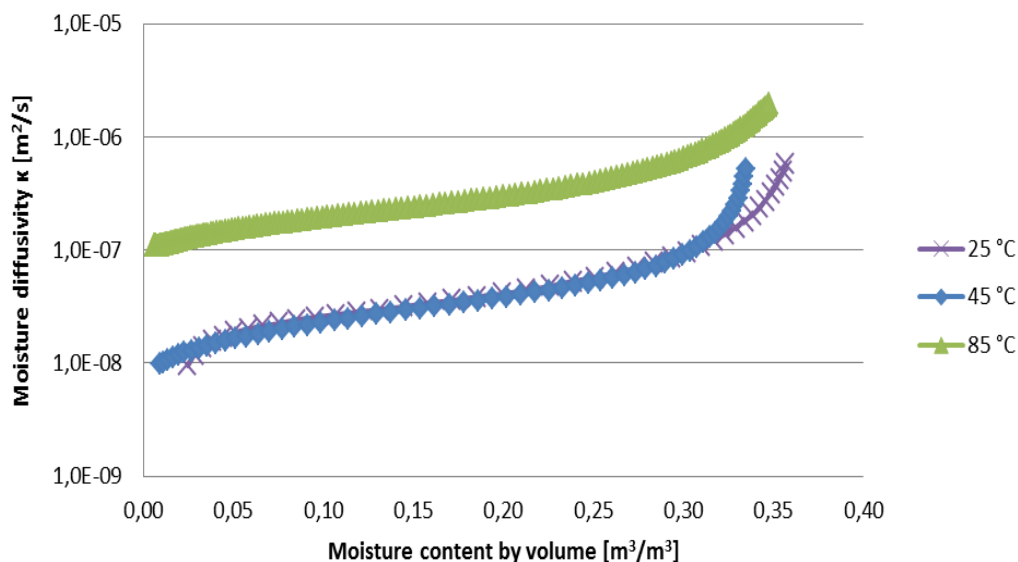


Obr. 5.: Rekurzivní ověření měřených dat a dat získaných pomocí součinitele vlhkostní vodivosti, P 4 500, T = 45 °C

Na Obr. 5 a Obr. 6 jsou zobrazeny výsledky experimentu – závislost vlhkostní vodivosti  $\kappa$  [m<sup>2</sup>/s] na vlhkosti pro různé teploty.



Obr. 6.: Závislost vlhkostní vodivosti  $\kappa$  v závislosti na vlhkosti pro různé teploty P 1.8 300



Obr. 7.: Závislost vlhkostní vodivosti  $\kappa$  v závislosti na vlhkosti pro různé teploty P 1.8 300

#### 4. Závěr

Vlhkostní vodivost  $\kappa$  [m<sup>2</sup>/s] u pórobetonů P 1.8 300 a P 4 500 v závislosti na vlhkosti bylo určeno pro několik teplot v intervalu do 85 °C. Nepřímou nedestruktivní metodou bylo zjištěno šíření vlhkosti v průběhu času, díky čemuž jsme byli schopni vypočítat požadovaný koeficient pomocí inverzní analýzy.

Ze získaných grafů vyplývá, že výrazný nárůst v hodnotách součinitele vlhkostní vodivosti nastává u teplot vyšších než 45 °C. Naopak hodnoty pro teploty 25 °C a 45 °C byly téměř shodné, takže lze tvrdit, že pro hodnoty do 45 °C lze použít křivku měřenou v laboratorním prostředí.

Ze získaných výsledků můžeme pro námi měřené teploty určit hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti v téměř celém rozsahu nasycení vodou (od úplného vysušení až po plně saturovaný stav). Pouze pro hodnoty limitně se blížící krajním stavů tento postup selhává z důvodu nepřesnosti numerických metod, kterým se nemůžeme vyhnout.

Závěr páce plně potvrzuje naší počáteční domněnku o vzrůstajícím vlivu jak vlhkosti, tak teploty. Avšak pro analytické vyjádření vztahu vlhkostní vodivosti na vlhkosti i teplotě je třeba provést další měření i v jiných teplotách.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu Studentské Grantové Soutěže, pod číslem SGS11/100/OHK1/2T/11.

## Literatura

- [1] TOMAN J. Vliv teploty a vlhkosti na fyzikální parametry stavebních materiálů – doktorská disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 1992, pp. 2-12, 21-23
- [2] PEL L. – KETELAARS A. A. J. – ADAN O. C. G. – VAN WELL A. A. Determination of moisture diffusivity in porous media using scanning neutron radiography. In International Journal of Heat and Mass Transfer. Volume 36, Issue 5, 1993, Pages 1261-1267
- [3] Xella – technické parametry produktů. URL: <http://www.xella.cz/downloads/czk/product/ytong-lambda.pdf> [vis. 2011-06-23]
- [4] JERMAN M. – KOČÍ V. – VÝBORNÝ J. – ČERNÝ R. Thermal and hygric properties of autoclaved aerated concrete. In Thermophysics 2010, Brno: University of Technology, 2010, p. 102-108. ISBN 978-80-214-4166-8.
- [5] KADET – Authorized software, Department of Material engineering and chemistry, Faculty of Civil engineering, CTU in Prague. Available on <http://tpm.fsv.cvut.cz/vz/software17.php> [vis. 2011-06-23]
- [6] KRUIS J. – KOUDELKA T. – KREJČÍ T. Efficient computer implementation of coupled hydrothermo-mechanical analysis. In Mathematics and Computer Simulation, 2008
- [7] JERMAN M. - KEPPERT M. - VÝBORNÝ J. - ČERNÝ R. Transport vlhkosti a tepla a určení vlastností dvou komerčních pórobetonů In: Cement Wapno Beton. 2011, vol. 16/78, no. 1, p. 18-29. ISSN 1425-8129.

## Kontakt

Prof. Mgr. Jan Toman, DrSc., tel.: 420 22435 4694, e-mail: [toman@fsv.cvut.cz](mailto:toman@fsv.cvut.cz), ČVUT, FSv. Katedra Materiálového inženýrství a chemie, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Ing. Tomáš Korecký, tel.: 420 22435 5436, e-mail: [tomas.korecky@fsv.cvut.cz](mailto:tomas.korecky@fsv.cvut.cz), ČVUT, FSv. Katedra Materiálového inženýrství a chemie, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

## CEMENTOVÉ KOMPOZITY S OBSAHOM PLASTOVEJ DRVINY

## CEMENT COMPOSITES WITH CRUSHED PLASTIC AGGREGATE

**Ol'ga Koronthályová, Martin Križma, Ľubomír Bágel'**

Ústav stavebníctva a architektúry SAV

***Anotácia:***

*V príspevku sú prezentované základné mechanické vlastnosti a parametre prenosu tepla a vlhkosti pre cementové kompozity, v ktorých bolo štandardné riečne kamenivo čiastočne nahradené plastovou drvinou. V niektorých testovaných kompozitoch bola použitá povrchová úprava plastovej drviny, zabezpečujúca lepší kontakt medzi plastovou drvinou a cementovou pastou. Ukázalo sa, že použitá povrchová úprava má pozitívny vplyv na mechanické vlastnosti aj odolnosť voči penetrácii plyných agresívnych médií.*

***Annotation:***

*Basic mechanical properties and heat and moisture transfer parameters of cement composites, in which the standard river aggregate has been partly substituted by crushed plastic aggregate, are presented. With the aim to improve the contact between the plastic aggregate and the cement paste, the treatment of plastic aggregate surface has been applied for some composites. The applied surface treatment has got positive effect on mechanical properties as well as the resistance to a penetration of aggressive gaseous media.*

***Kľúčové slová:*** *Plastová drvina, cementový kompozit, mechanické vlastnosti, parametre prenosu tepla a vlhkosti*

***Keywords:*** *Crushed plastic, cement composite, mechanical properties, parameters of heat and moisture transfer*

## 1. Introduction

The rational disposal of waste electrical and electronic equipment (WEEE) becomes concern of the whole society. A large portion of WEEE comes from physically worn, inadequate components of the computer and information technique, which prevailing part is made from plastics. One of possible ways of the plastic material reuse is partial replacement of river aggregate in cement composites by the plastic crushed material – plastic aggregate (PA).

In the recent years, complex research on the cement composites containing PA (CPA) has been carried out at Institute of Construction and Architecture SAS. The investigation has been focused on the mechanical properties as well as the heat, liquid water and water vapour transport parameters of CPA. The latter two parameters can also characterize the material resistance to penetration of liquid/gaseous aggressive media.

The important part of the research has dealt with the methods of improvement of the bond between PA and water-based cement paste. Generally a good bond between aggregate and water-based cement paste depends on the wettability of the aggregate by water. PA presents a flat shape with a smooth surface. Since water has a high surface tension (0.0728 N/m) it does not spontaneously spread over solids which surface free energy is smaller. The surface tension of most often occurring plastics in WEEE ranges between 0.029 – 0.035 N/m. An appropriate surface treatment can increase surface energy and improve the wettability and adhesive properties of polymer materials. During recent years, numerous surface treatment techniques towards improving the bond strength between PA and the cement matrix have been developed. The most versatile and effective surface treatment methods can be divided into three basic groups: treatment with chemicals, physical techniques and covering the plastic surface by coating. It can be concluded from our previous studies [1, 2] that the PA pre-treated with cement paste can more densely integrate with the cement stone in the PA composite.

In the paper the determined heat and moisture transport parameters as well as some of mechanical parameters of the CPA are presented. The obtained parameters are compared with the ones of the cement composites with standard aggregate and the effect of the PA surface treatment with cement paste is discussed.

## 2. Experimental part

Table 1 gives the list and characterization of the tested composites. Amount of the applied PA is expressed by the volumetric portion of the PA to the total amount of aggregate (PA/A).

*Table 1.: Designation, description, composition, average bulk density (BD), water/cement ratio (w/c) and volumetric PA/A ratio of tested composites*

Designation of composite	Description	Composition	Average BD [kg/m <sup>3</sup> ]	w/c	PA/A
CL	liapor	sand, liapor, cement, plasticiser, water	1167	0.33	0.0
CAL	liapor + RA	sand, liapor, river aggregate, cement, plasticiser, water	1851	0.33	0.0
RC	RA	sand, river aggregate, cement, plasticiser, water	2430	0.33	0.0
A	untreated PA	plastic aggregate, cement, water	1111	0.62	1.0
B	untreated PA	plastic aggregate, cement, water	1109	0.62	1.0
C	untreated PA, filling concrete	plastic aggregate, river aggregate, cement, water	1510	0.62	0.60
D	untreated PA, filling concrete	plastic aggregate, river aggregate, cement, plasticiser, water	1631	0.55	0.60
F1	untreated PA, structural concrete	sand, plastic aggregate, river aggregate, cement, plasticiser, water	1933	0.33	0.37
F2	treated PA, structural concrete	sand, plastic aggregate, river aggregate, cement, plasticiser, water	1949	0.33	0.37
P1	untreated PA, filling concrete	sand, plastic aggregate, cement, plasticiser, water	1428	0.29	0.77
P2	treated PA, filling concrete	sand, plastic aggregate, cement, plasticiser, water	1480	0.29	0.77
G11	untreated PA, ready-mix, structural concrete	sand, plastic aggregate, river aggregate, cement, plasticiser water	2152	0.36	0.19

The effect of the PA surface treatment has been tested on composites F1, F2, P1 and P2. The composite F1 is identical to the F2 as well as P1 is to P2, the only difference is that cement paste pre-treatment has been applied for the PA used in composites F2 and P2.

Composites CL, CAL and RC are reference ones; in these composites no PA is applied. In composite CL the light aggregate keramzit (trade name LIAPOR) has been used instead the standard river aggregate (RA), composite CAL contains the light as well as river aggregate.

After manufacturing the specimens were moist-cured for 14 days in the laboratory room at temperature of  $20\pm 2^\circ\text{C}$ . Then the specimens were conditioned in the laboratory room with temperature of  $20\pm 2^\circ\text{C}$  and relative humidity of  $52\pm 2\%$  for 14 days in order to dry out.

The mechanical tests were done for 28 days old samples. The values of cube strength were established in soft loading regime in accordance with Standard STN EN12390-3 on specimens with dimensions 150x150x150 mm. The values of static modulus of elasticity in compression and flexural tensile strength were determined in quasi stiff regime on prism specimens with dimensions of 100x100x400 mm (STN ISO 6784 or STN EN 12390-5).

The thermal conductivity was measured by guarded hot plate method (STN EN 12664) on the samples with dimensions of 0.5x0.5x0.08 m. After reaching the steady state, the thermal conductivity  $\lambda$  is computed from the equation (1):

$$\lambda = \frac{\phi \cdot d}{A \cdot (T_1 - T_2)} \quad (1)$$

where  $\phi$  is the steady state heat flow,  $d$  is the specimen thickness,  $A$  is the meter plate apparatus area,  $T_1$  a  $T_2$  are the temperatures on the hot and cold plate of the apparatus.

Prior the measurement the specimens had been conditioned in the laboratory room with temperature of  $22.5\pm 0.5^\circ\text{C}$  and relative humidity of  $53\pm 1\%$  for ca 6 weeks in order to get steady bulk density, corresponding to these conditions.

A parameter characterising the water vapour transport is water vapour resistance factor. Generally, it depends on the material open porosity and pore system tortuosity. Therefore it can characterize a material ability to resist to penetration of gaseous aggressive media. The vapour resistance factor was determined by steady-state dry cup method (STN EN ISO 12572), at temperature of  $22.5^\circ\text{C}$  and relative humidity on the lower and the upper side of the specimen of 1 and 53 % respectively. The tests were done on circular specimens with the diameter of ca 0.19 m and the thickness of ca 0.03 m. Before the measurement, the specimens were dried in a drying oven at  $40^\circ\text{C}$ .

The durability of the material is often highly related to its capacity to resist the water absorption, particularly in the presence of dissolved aggressive



ions. A material ability to transport liquid water through the pore system capillaries can be characterised by water absorption coefficient A. The water absorption coefficient is determined as a slope of the curve of the cumulative moisture content increase and the square root of the time during the water imbibition test. The test consists of placing a material with its sides sealed in contact with a free water surface. Water enters the bottom surface of the specimen, and the mass increase of the specimen is measured. In the range of linear increase of moisture content with the square root of time the water absorption coefficient A is calculated according to the relation (2) [3].

$$A = \frac{\Delta m}{S \cdot \sqrt{t}} \quad (2)$$

where  $\Delta m$  is the cumulated mass increase, S is the area of the contact specimen/water, t is the time.

The measurement was done on the prism specimens with the 0.1x0.1 m base and the 0.05 m height. Prior to the measurement the specimens were dried in a drying oven at 40 °C.

The actual bulk density was determined from the mass and dimensions of the specimens before every measurement.

### 3. Results and discussion

In Tab. 2 the average values of three basic mechanical properties and heat and moisture transport parameters are presented.

The obtained mechanical parameters of CPA are at least comparable with the mechanical properties of aerated concrete. From values in Table 2 it is obvious, that the influence of the PA surface treatment on the mechanical parameters of the mixture F is insignificant. It can be explained by the presence of higher size fractions of river aggregate that practically degrades an influence of the PA treatment. The positive effect of the PA treatment is fully expressed at the composite of type P, where is valid for all mechanical properties. The composite G11 can be applied as ready – mix concrete. The more detailed analysis of the G11 mechanical properties can be found in [4].

Average thermal conductivity of PA corresponds to the thermal conductivity of the prevailing part of PA – polyethylene that is ca 0.3 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> [5]. Therefore in case of CPA with relatively high portion of PA and consequently low bulk density, the values of thermal conductivity are approximately equal to the ones of cement composites with light aggregate (Tabs. 1, 2). For all tested composites, independently of the applied aggregate, the same correlation between the thermal conductivity and bulk density has been noticed (Fig. 1). The PA surface treatment has no noticeable effect on thermal conductivity.

Table 2.: Average values of cube strength ( $f_{cc}$ ), Young's modulus of elasticity ( $E_c$ ), flexural strength ( $f_{ct,f}$ ), thermal conductivity( $\lambda$ ), water vapour diffusion resistance factor ( $\mu$ ) and water vapour absorption coefficient ( $A$ )

Designation of composite	$f_{cc}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$f_{ct,f}$ (MPa)	$\lambda$ ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )	$\mu$ (-)	$A$ ( $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-0.5}$ )
CL	9.08	9.58	1.83	0.55	144	0.01
CAL	29.48	26.97	3.88	1.25	275	0.0073
RC	48.67	41.07	6.43	-	-	-
A	5.32	2.23	1.23	0.26	31	0.014
B	6.53	2.85	1.13	0.32	47	0.039
C	10.31	6.07	2.51	0.5	34	0.033
D	15.44	9.88	1.72	0.85	107	0.014
F1	26.96	18.05	4.37	1.2	247	0.0067
F2	30.16	17.12	4.36	1.18	362	0.0073
P1	19.80	6.37	1.98	0.63	117	0.008
P2	23.67	7.81	2.29	-	219	0.0072
G11	31.87	28.56	4.69	1.47	190	0.0073

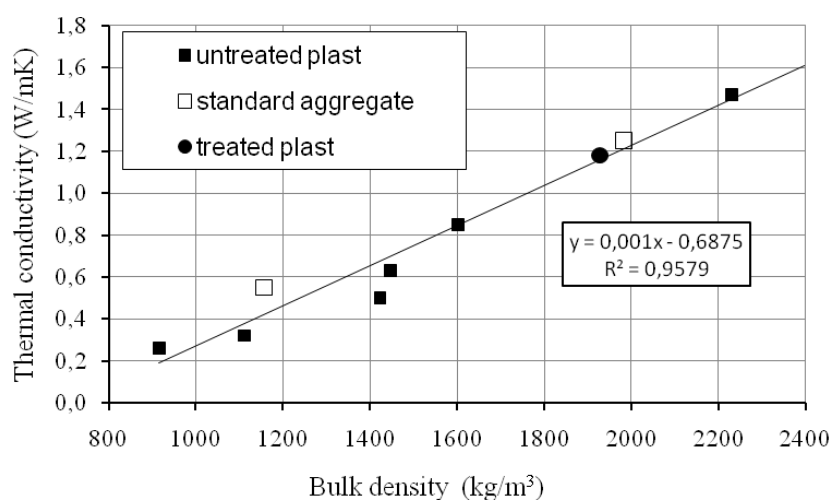
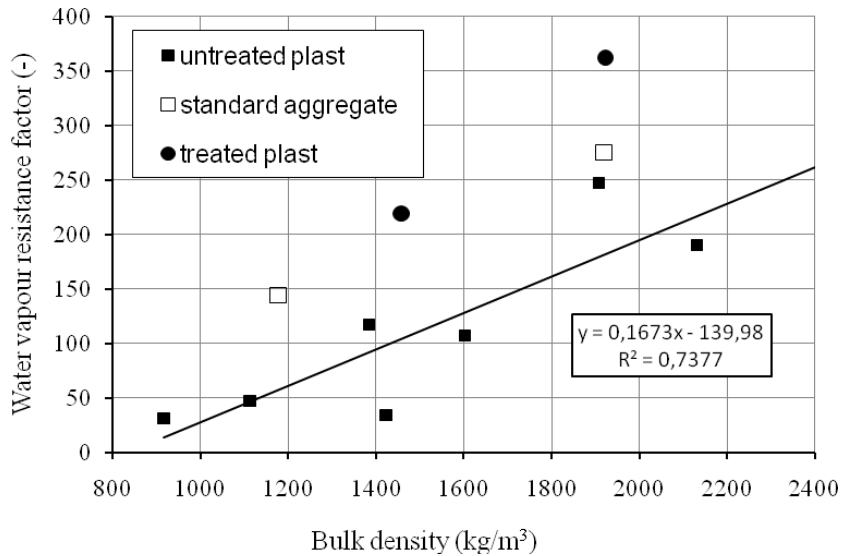
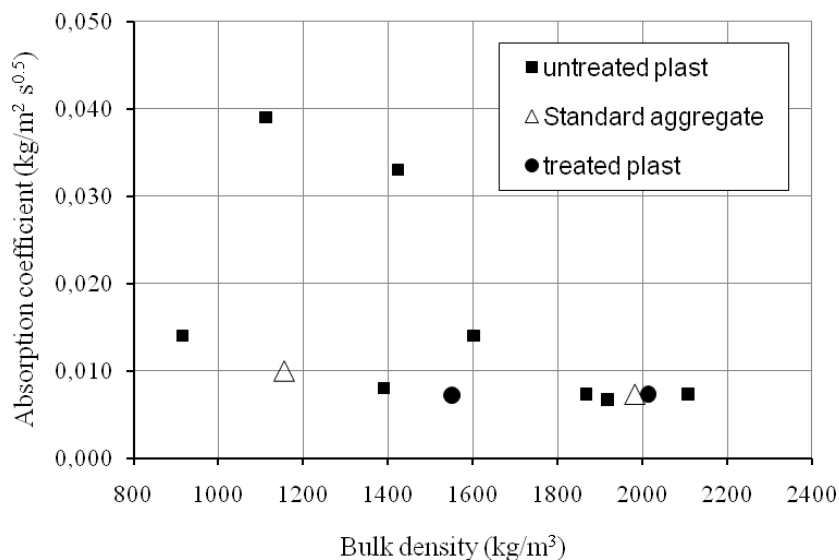


Fig. 1 Thermal conductivity vs. bulk density of tested cement composites



*Fig. 2 Water vapour resistance factor vs. bulk density of tested cement composites*

For all CPA with low w/c ratio ( $w/c < 0.5$ ) and applied plasticiser the obtained values of water vapour resistance factor (Tabs. 1, 2) correspond to the ones of high-performance concretes. In spite of these high values, the PA treatment has caused a further increase of the water vapour resistance factor value. In case of the F2 composite the vapour resistance factor has increased by



*Fig. 3 Absorption coefficient vs. bulk density of tested cement composites*

47 % in comparison to the F1, in case of the P2 it has increased by 87 % in comparison to the P1 (Tab. 2, Fig. 2). This effect indicates an improvement of the contact between the PA and cement paste. The high values of water vapour resistance factor are important from aspect of the composite resistance to the penetration of the gaseous aggressive media.

For all CPA with low w/c ratio ( $w/c < 0.5$ ) and applied plasticiser the determined values of water absorption coefficient are extremely low (Tabs. 1, 2), [6] and correspond to the ones, obtained for composites with standard aggregate (Tab. 2, Fig. 3). Therefore a further lowering of these values (by the PA treatment) can be hardly expected.

#### **4. Conclusions**

From the obtained results it follows that the plastics from WEEE can be used for partial substitution of the natural aggregate in cement composites.

The determined mechanical properties of CPA are at least comparable with the mechanical properties of aerated concrete. The treatment of the PA surface by cement paste has a relevant influence on mechanical properties of composites in cases, when the crushed plastic is a dominant aggregate.

For all CPA with low w/c ratio and applied plasticiser the obtained values of water vapour resistance factor correspond to the ones of high-performance concrete. The PA treatment has positive effect on the water vapour resistance factor value.

The obtained high values of water vapour resistance factor and low values of water absorption factor guarantee sufficient resistance to penetration of aggressive liquid and gaseous media.

The suggested and tested CPA compositions enable an application of CPA as thermo-insulation material or construct material for undemanding structures. CPA is also applicable in practice as a ready – mix concrete. A further modification of CPA mixture composition is possible according to project architect's demands.

#### **Aknowledgement**

This work was supported by the Scientific Grant Agency VEGA of the Ministry of Education and Slovak Academy of Sciences under the contracts No. 2/0159/10 and No. 2/0088/09.

## References

- [1] Bágel' L., Matiašovský P.: Use of crushed plastics from WEEE as lightweight concrete aggregate, In: 12<sup>th</sup> Int. Conference Engineering of environment protection (Technika Ochrany Prostredia - TOP), Častá – Papiernička, june 28 – 30, 2006, s.19-25 (ISBN 80-227-2436-X)
- [2] Bágel' L., Matiašovský P.: Surface pretreatment - a way to effective utilization of waste plastics as concrete aggregate. Review and first experiences, In: CESB10: Central Europe Towards Sustainable Building From Theory to Practice, Praha 30.6. – 2.7.2010, s 355-358 (ISBN 978-80-247-3634-1)
- [3] Bombereg M., Pazera M., Plagge R.: Analysis of Selected Water Absorption Coefficient Measurements. Journal of Thermal Envelope & Building Science, Vol. 28, No. 3, 2005, pp. 227-243.
- [4] Križma, M., Jerga, J.: Mechanical Properties of the Cement Composites with the Content of the Plastic Aggregates. In: Workshop - The use of crushed plastics from the electric and electronic waste for an aggregate in concrete – project SK 0081, Bratislava, Hotel Matyšák, 29. 4. 2011, Slovakia, (CD).
- [5] Bágel' L., Križma M., Matiašovský P.: Analysis of feasibility of the plastic crushed material application at the production of manufacturing. Report, ICA SAS, Bratislava 2004.
- [6] Hall C., Yau M. H. R.: Water Movement in Porous Building Materials – IX. The Water Absorption and Sorptivity of Concretes. Building and Environment, Vol. 22, No. 1, 1987, pp. 77-82.

## Kontakt

Mgr. Oľga Koronthályová, CSc., tel: +421 259309245, e-mail: olga.koronthalyova@savba.sk, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava

Ing. Martin Križma, PhD., tel.: +421 2 59309228, e-mail: martin.krizma@savba.sk, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava.

RNDr. Ľubomír Bágel', tel.: +421 259309256, e-mail: lubomir.bagel@savba.sk, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## POROVNÁNÍ METOD ZKOUŠENÍ TLOUŠŤKY NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ

## COMPARISON OF METHODS FOR TESTING THE THICKNESS COATINGS SYSTEMS

**Michaela Kostecká, Lucie Matoušová, Jiří Kolísko**

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Článek pojednává o metodách zkoušení tloušťky nátěrových systémů na betonovém podkladu. Porovnává dvě metody hodnocení: měření pomocí optického tloušťkoměru s břitem a mikroskopické měření.*

***Annotation:***

*The article discusses the methods of testing the thickness of coating systems applied on concrete surface. Compares two methods of assessment: measurement with optical coating thickness gauge, and with microscopic measurements.*

***Klíčová slova:*** nátěr, optický tloušťkoměr s břitem, mikroskop Lext OLS3000

***Keywords:*** coating system, optical coating thickness gauge, microscope Lext OLS3000

## 1. Úvod

Nátěry patří mezi nezbytnou součást technické praxe. Mají funkci ochrannou tj. zvyšují odolnost materiálů proti působení externích vlivů (vlhkost, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, agresivní média atd.) a zároveň funkci estetickou. Používáme je pro dřevěné povrchy (dveře, ploty, nábytek, okna, podlahy, obložení, hračky,...), kovové povrchy (střechy, okapy, vrata, ploty, radiátory, nábytek, kovové konstrukce,...), interiérové stěny a fasády či beton a minerální podklady (bazén, podlahy, značení, chemicky odolné nátěry,...) a protipožární nátěry.

Ve všech výše uvedených aplikacích rozhoduje o funkčnosti nátěrů mnoho faktorů např. materiálová báze. Nicméně velmi významným parametrem pro funkci nátěru je konečná tloušťka filmu. Stanovení tloušťky nátěrů na nekovových podkladech není zcela jednoduchou disciplínou a obvykle znamená lokální poškození vrstvy vrypem. V článku je prezentováno srovnávací měření tlouštěk nátěrů in situ optickým tloušťkoměrem s břitem a měření v laboratoři optickým mikroskopem.

## 2. Metody zkoušení

Měření tloušťky nátěrů bylo provedeno dvěma způsoby a to jak pro nátěry in situ tak při měření v laboratorních podmínkách.

### 2.1. Měření optický tloušťkoměrem s břitem

Měření bylo realizováno pomocí tloušťkoměru Superpig s měřícím rozsahem 2 – 2000  $\mu\text{m}$ . Jedná se o přesný přístroj pro inspekci a měření tloušťky jedno a vícevrstvého nátěru na téměř všech druzích podkladů. Je také určen k pozorování a měření defektů substrátů a povlaků. Přístroj má 4 různé tloušťky nožů a má vestavěny mikroskop (zvětšení 50x) osvětlený jasným bílým světlem, které zajišťuje zřetelné vidění. Tloušťkoměr je malý, přenosný a lze s ním měřit v rozích.

Princip měření spočívá v tom, že se vyznačí černým fixem čára a přes tuto čáru se provede řez kalibrovaným nožem zvoleného úhlu bříty a to skrz povlak až do podkladu. K řezu se přiloží mikroskop a následně se odečte hodnota na stupnici mikroskopu. Tato hodnota se v závislosti na typu nože převede definovaným vztahem na tloušťku nátěru.

### 2.2. Měření mikroskopem

Pro měření tloušťky byl použit konfokální laserový rastrovací mikroskop Lext OLS3000, s rozsahem zvětšení 120x až 14 400x. Uspořádání mikroskopu



umožňuje měřit s rozlišením 0,12  $\mu\text{m}$ . Velkou výhodou mikroskopu je přesné měření v reálném čase a to vždy v 3D zobrazení.

Ve stavebnictví se používá na měření skutečných vzdáleností, objemů, ploch a průmětů, měření drsnosti povrchů, měření profilů, analýzu částic, kontrolu materiálů, povlaků a mnoho dalších funkcí přímo v 3D zobrazení. Schopnosti takového systému lze také velmi dobře využít při analýze vad a poruch.

### 3. Zkušební vzorky

Pro měření v laboratorních podmínkách byly použity betonové dlaždice o rozměrech 300 x 300 x 50 mm. Zkoušené nátěry byly na tyto desky nanášeny ručně štětcem a to vždy podle pokynů technických listů zkoušených nátěrů. Ve všech případech byly nátěry nanášeny ve dvou vrstvách. Po vyzrání nátěrů byly na deskách provedeny odtrhy. Terče po odtrhové zkoušce byly použity jako vzorky pro mikroskopické šetření. Pro porovnání bylo měření tloušťky nátěrů provedené také optickým tloušťkoměrem s břítem.

Stejně nátěry byly také aplikovány na betonovou stěnu tunelového ostění mimo laboratoř v in situ. Při aplikaci se postupovalo stejným způsobem jako při výrobě vzorků v laboratoři. Na těchto referenčních plochách byla po vyzrání nátěrů změřená tloušťka pomocí optického tloušťkoměru s břítem. Následně byly provedeny odtrhy a tyto byly mikroskopicky měřeny v laboratoři.

V následující tabulce 1 jsou uvedeny charakteristiky použitých nátěrů.

*Tabulka 1.: Charakteristika nátěrů*

Nátěr	Charakteristika nátěru
Epoxid 1	dvousložková vodouředitelná epoxidová vrchní barva
Epoxid 2	2-komponentový epoxidový nátěr na bázi vodní disperze
Akrylát 1	nátěrová hmota na bázi akrylových pryskyřic ve vodní bázi
Akrylát 2	1-komponentový akrylátový nátěr

### 4. Výsledky měření

Na vzorcích dlaždic určených pro měření v laboratoři byly provedeny 3 odtrhy pro měření tloušťky na mikroskopu. Zároveň byla na stejných dlaždicích vyznačena 3 místa pro měření destruktivním tloušťkoměrem. Měření v in situ bylo realizováno stejným způsobem jako měření v laboratoři.

Výsledky z měření tloušťky nátěrů v laboratoři jsou uvedeny v tabulce 2 a výsledky z měření tloušťky v in situ jsou uvedeny v tabulce 3.

Na obrázku 1 je patrné označení černých čar pro měření tloušťky optickým tloušťkoměrem s břitem a 3 místa odtrhu pro měření na mikroskopu. Snímek je pořízeny z měření v in situ.

Příklad měření tloušťky nátěru mikroskopicky je znázorněn na obrázku 2.

Tabulka 2.: Výsledky tloušťky nátěrů měřených v laboratorních podmínkách

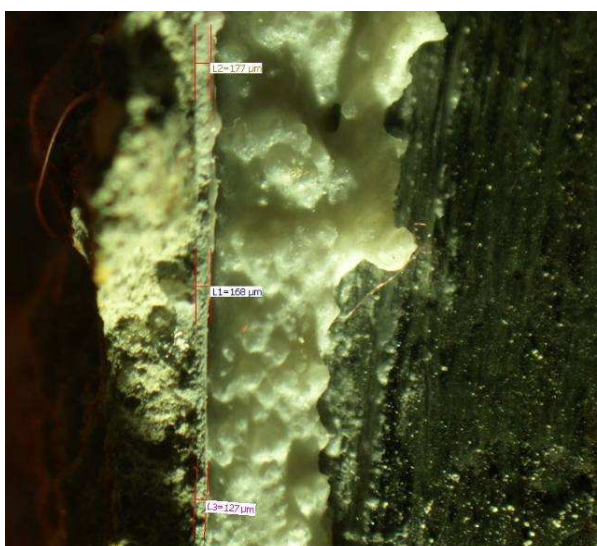
Nátěr	Řezný nůž			Mikroskop Lext OLS3000		
tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ]						
Epoxid 1	160	190	150	141	180	163
	<b>Průměr: 167</b>			<b>Průměr: 161</b>		
Epoxid 2	140	190	160	168	127	157
	<b>Průměr: 163</b>			<b>Průměr: 151</b>		
Akrylát 1	170	210	200	160	219	171
	<b>Průměr: 193</b>			<b>Průměr: 183</b>		
Akrylát 2	180	200	200	176	193	186
	<b>Průměr: 193</b>			<b>Průměr: 185</b>		

Tabulka 3.: Výsledky tloušťky nátěrů měřených v in situ

Nátěr	Řezný nůž			Mikroskop Lext OLS3000		
tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ]						
Epoxid 1	150	200	190	158	176	152
	<b>Průměr: 180</b>			<b>Průměr: 162</b>		
Epoxid 2	190	140	170	181	112	146
	<b>Průměr: 167</b>			<b>Průměr: 146</b>		
Akrylát 1	160	170	210	163	213	159
	<b>Průměr: 180</b>			<b>Průměr: 178</b>		
Akrylát 2	210	190	170	169	184	179
	<b>Průměr: 190</b>			<b>Průměr: 177</b>		



*Obr. 1.: Ilustrativní snímek z průběhu zkoušky v in situ*



*Obr. 2.: Ilustrativní snímek z měření tloušťky vzorku na optickém mikroskopu*

## **5. Závěr**

V článku bylo prezentováno měření tloušťky nátěru v laboratorních podmínkách a v in situ. K měření a porovnání byl použit optický tloušťkoměr s břitem Superpig a mikroskop Lext OLS3000.

Nátěry byly aplikovány na betonové dlaždice v laboratoři a betonový povrch tunelového ostění. S ohledem na relativně malý soubor měření je nutno srovnání metod chápat jako informativní.

Z hodnot uvedených v tabulce 1 vyplývá, že stanovení průměrné tloušťky v laboratorních podmínkách pomocí optického tloušťkoměru s břítem a mikroskopu je srovnatelné. Měření tloušťkoměrem poskytuje vyšší hodnoty o cca 5%.

Z hodnot uvedených v tabulce 2 můžeme konstatovat větší rozdíly u měření v in situ než u měření tloušťky v laboratoři. Měření tloušťky v in situ pomocí optického tloušťkoměru s břítem je o cca 8% větší než při měření pomocí mikroskopu. Důvodem vyššího rozdílu mohou být kromě složitějších měřičských podmínek i odlišná místa měření a také nerovnost betonové stěny.

Lze konstatovat, že měření tloušťek mikroskopem a optickým tloušťkoměrem je v průměru velmi blízké a srovnatelné. Každá z obou zkoušených metod má své jisté výhody. Měření mikroskopem umožňuje velmi přesná jednotlivá měření a současně i možnost hodnotit stav filmu (homogenita). Je však neoperativní a problematická z hlediska dodání vzorků. Naopak výhodou optického tloušťkoměru jsou kapesní rozměry a rychlost získání výsledků přímo na místě měření. Porovnávací měření ukazují, že tato metoda poskytuje vzhledem ke své jednoduchosti velmi dobré výsledky.

## Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu č. SGS10/227/OHK1/2T/31.

## Literatura

- [1] ČSN EN ISO: Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru, říjen 2007.
- [2] Technické listy použitých nátěrů.
- [3] Manuál k destruktivnímu tloušťkoměru Superpig.
- [4] <http://www.colorlak.cz>

## Kontakt

Ing. Michaela Kostecká, tel: 00420 224 353 522, e-mail: michaela.kostecka@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. Lucie Matoušová, tel: 00420 224 353 518, e-mail: lucie.matousova@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., tel: 00420 224 353 545, e-mail: jiri.kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

## DLHODOBÝ TENZOMETRICKÝ MONITORING OCEĽOVEJ KONŠTRUKCIE SILA

## LONG TERM STRAIN-GAGE MONITORING OF THE STEEL SILO CONSTRUCTION

**Lukáš Kowalski**

Katedra kovových a drevených konštrukcií,  
Stavebná fakulta,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

***Anotace:***

*Predmetom článku je dlhodobý monitoring ocelového sila na slinok. Počas prevádzky na ňom boli zaznamenané viaceré nedostatky, ktoré boli odstránené rozsiahlou rekonštrukciou. Dôraz je kladený na dlhodobé tenzometrické meranie predmetnej konštrukcie.*

***Annotation:***

*Subject of the article is long term monitoring of steel silo construction. During usage of the silo numerous failures were noticed, later extensive reconstruction was undertaken. Article is focused on long term strain-gage monitoring of the silo after reconstruction.*

***Klíčová slova:*** silo, slinok, tenzometer, experiment, monitoring

***Keywords:*** silo, clinker, strain gage, experiment, monitoring

## 1. Příprava experimentu

V roku 2009 bolo v spolupráci s firmou Holcim a.s. rozhodnuté realizovať dlhodobý tenzometrický monitoring rekonštruovaného sila PC1 na slinok. Cieľom dlhodobého experimentu je sledovať odozvu zmeny napätia v stene plášťa sila na zmenené prevádzkové pomery ako je zmena naplnenosti, zmena teploty steny sila, oslnenie. Hodnoty napätí získaných z monitoringu slúžia ako podklad pre porovnanie s výsledkami matematického FEM modelovania ako aj s výsledkami prepočtov podľa postupov zo súborov noriem STN a EC.

Na obvodový plášť bolo naplánované nainštalovať tenzometrickú aparatúru v počte 16ks, alternatíva A. Pôdorysne sú tenzometre rozmiestnené po obvode 1/8 kružnice do 3 zoskupení, „rezov“ – A, B, C, po výške do 5 výškových úrovní: 1.000m od úrovne  $\pm 0.000\text{m}$ , 5.525m od úrovne  $\pm 0.000\text{m}$ , 6.775m od úrovne  $\pm 0.000\text{m}$ , 8.025m od úrovne  $\pm 0.000\text{m}$ , 10.525m od úrovne  $\pm 0.000\text{m}$ , obr. 1. Rozmiestnenie tenzometrov zohľadňuje 2 osovú symetriu meraného sila PC1 na minimalizáciu potrebného počtu tenzometrov na vystihnutie skutočnej napätosti sila. Pre kontrolu správnosti výsledkov sú tenzometre na rovnakých pozíciách spárované za cieľom porovnanie výsledkov.

V rámci experimentu sa používajú lepené fóliové tenzometre výrobcu HBM. Boli inštalované jednosmerné tenzometre HBM LY11-6/120 (zn. výrobcu, typ tenzometra, veľkosť -tenzometra/odpor) a krížové tenzometre HBM XY11-6/120. Jednosmerné tenzometre LY11 sú lepené na stenu sila v oblasti výstuh, kde je merané pomerné predĺženie v axiálnom smere (vertikálnom) a na L výstuhu, kde sú nainštalované v horizontálnom smere s cieľom merať osovú napätia na výstuhe. Krížové tenzometre XY11 boli nalepené do poľa, na stenu medzi výstuhy s cieľom merať meridiánové a tangenciálne napätia na konštrukcii sila. V reze A sa nachádza 6ks tenzometrov (2 krížové, 4 jednosmerné, 8 kanálov), v reze B 5ks (3 krížové, 2 jednosmerné, 8 kanálov) a v reze C 5ks tenzometrov (3 krížové, 2 jednosmerné, 8 kanálov). Sledovanie naplnenosti sila je zabezpečené pomocou 2 radarových snímačov (Siemens Sitrans LR400), ktoré merajú výšku hladiny slinku kolmo na horizontálnu rovinu.

Meranie teploty steny sila je zabezpečené pomocou infračerveného bezkontaktného teplomeru CEM DT-812. Na konštrukciu boli vyznačené body odčítania teploty (smer západ – východ) X, A1, A2, A3, A4, B1, B2, C1, C2, C3, C4, Y vid. obr. 3. Meracie body teploty sila, ako aj rezy A, B, C sú umiestnené na južnej strane. Slnko sa pohybuje po horizonte v smere rezov C – B – A. Meracie body X, Y neboli v časoch odčítania nikdy oslnené a ich teplota bola uvažovaná pre celú neoslnenú časť sila.

Teplota vzduchu je odčítaná z teplomeru v areáli závodu firmy Holcim.

Prípravné práce na experimente začali v októbri 2009. Príprava spočívala v nákupe potrebného materiálu a príprave čiastkových produktov ako lepenie kompenzačných tenzometrov, príprava skriň s koncovkami, strihanie káblov. Realizácia experimentu *in situ* bola začatá 1.12.2009. Ako prvý krok (1.12.2009, 2.12.2009) boli na vertikálne výstuhy konštrukcie prichytené 3 skrine s koncovkami, cez ktoré je pripájané odčítacie zariadenie (Vishay P3). Pred aplikáciou – prilepením tenzometrov bol povrch konštrukcie zbavený náteru (drôtenou kefou), očistený a odmastený. Na odmastenie bol použitý prípravok HBM RMS 1 na báze acetónu. Prichytenie tenzometrov na konštrukciu bolo realizované pomocou dvojzložkového lepidla HBM X60 (methyl methacrylat s anorganickým plnivom) tuhnúceho a tvrdnúceho za studena. Prvá fáza lepenia tenzometrov pokusne začala dňa 2.12.2009 a bola ukončená o deň neskôr 3.12.2009 z dôvodu nevyhovujúcich podmienok na lepenie tenzometrov – nízkej teploty ( $<5^{\circ}\text{C}$ ), vysokej vlhkosti a nevyhovujúceho tvrdnutia lepidla X60. Medzi ďalšie náročné úlohy patrilo spájkovanie kontaktov kabeláže, taktiež zapríčinené nízkou teplotou podkladovej ocelevej konštrukcie, nakoľko nebolo možné dostatočne prehriať tavidlo, a tak vznikali "studené spoje", ktoré vnašali do merania nepresnosti. Ako výsledok pokusnej inštalácie fóliových tenzometrov pri nízkych teplotách bola konštatovaná nevhodnosť práce pri teplotách nižších ako  $10^{\circ}\text{C}$ .



*Obr. 1 Pohľad na nainštalovanú tenzometrickú aparatúru*

Bolo rozhodnuté pokračovať pri zlepšených poveternostných podmienkach, ktoré nastali až 19.4.2010 ( $15^{\circ}\text{C}$ , polooblačno). Fáza inštalácie pokračovala do 10.5.2010 kedy boli nalepené posledné tenzometre na konštrukciu sila PC1. Všetky tenzometre boli zapájané do konfigurácie „polomost“ s kompenzačným

tenzometrom. Z dôvodu dĺžky trvania experimentu (dlhodobý experiment, dĺžka trvania >1rok) bola nutná dôkladná izolácia tenzometrov voči poveternostným vplyvom, najmä voči vlhkosti. Použitá bola kombinácia nevodivého izolačného laku HBM PU120, tekutej elektrickej izolačnej pásky, trvalo plastického izolačného tmelu HBM ABM75 a hliníkovej lepiacej pásky. Vhodnosť daného riešenia je potvrdená funkčnosťou tenzometrickej aparatury aj rok po skončení montáže. V období medzi 2.12.2009 a 10.5.2010 boli vykonávané kontrolné merania tenzometrickej aparatury. Po skončení montáže dňa 10.5.2010 bola stanovená referenčná nulová hodnota napätia a naplnenosti sila. Meranie teploty steny sila bolo realizované od dňa 1.10.2010 kedy bol k dispozícii spoľahlivý merací prostriedok CEM DT-812.

## 2. Priebeh experimentu

Už v priebehu montáže boli nalepené tenzometre kontrolne odčítané. Na základe týchto meraní boli uskutočnené opravy tenzometrov, ktoré boli inštalované v nepriaznivých poveternostných podmienkach. Výstupy z tenzometrického merania - hodnoty pomerných predĺžení sú zoradené v tabuľke, v denníku merania. V denníku merania sú uvedené nasledovné údaje: číslo merania, dátum merania, čas merania, hodnota pomerného pretvorenia / zmena pomerného pretvorenia oproti „nulovému“ stavu, zmena napätosti konštrukcie, naplnenosť sila / zmena naplnenosti oproti „nulovému“ stavu, teplota ovzdušia, počasie, poznámka. Do „poznámok“ boli uvádzané podstatné informácie o stave prác na experimente ako aj informácie o vyprázdňovaní / plnení sila. Ako samostatný list denníka merania je pridaný záznam priebehu teplôt steny sila. Meranie teploty steny sila bolo zaradené najmä z dôvodu kvantifikácie vplyvov nerovnomerného ohriatia steny sila od oslnenia.

Jednosmerné tenzometre HBM LY11-6/120 sú umiestnené v blízkosti vertikálnych výstuh kde merajú pomerné pretvorenia v meridiálnom smere, respektíve na horizontálnej L výstuhe, kde snímajú pomerné pretvorenia v axiálnom smere. Potom pre normálové napätia platí Hookov zákon

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

Hodnoty pomerných pretvorení namerané krížovými tenzometrami HBM XY11-6/120 sú upravené pre rovinný stav napätosti na rozšírený Hookov zákon s vplyvom priečného pretvorenia

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x - \nu\varepsilon_y) \quad (2)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y - \nu\varepsilon_x) \quad (3)$$

Vplyv oslnenia bol zohľadnený vzťahom

$$\sigma_t = E\alpha\Delta t \quad (4)$$

Referenčná bola uvažovaná priemerná teplota pri montáži aparatury  $t_{\text{ref}} = 15^\circ\text{C}$ .

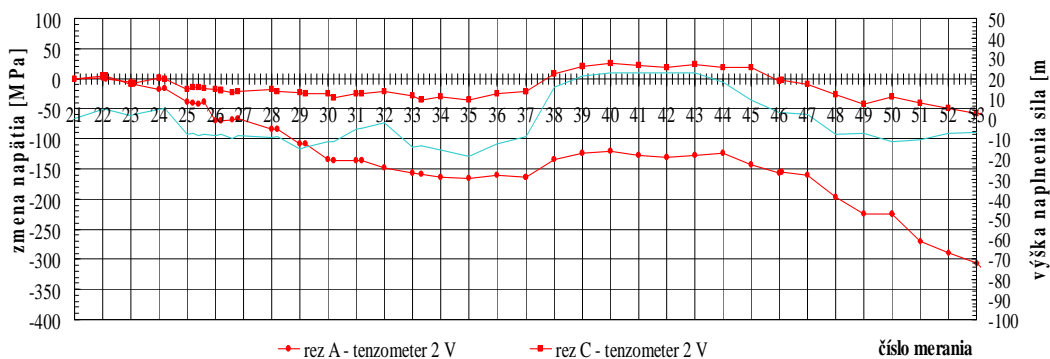


### 3. Výsledky experimentu

Na grafoch nižšie sú uvedené hodnoty napätí nameraných tenzometrickou aparátúrou v rozmedzí jedného roka – v rozmedzí dátumov od 10.5.2010 (meranie číslo 21) do 20.5.2011 (meranie číslo 53). Okrem pomerných pretvorení (napätí) bolo sledované počasie – odhad oblačnosti (vplyv na oslnenie sila) a teplota vzduchu. Teploty steny sila boli merané od čísla merania 30 (1.10.2010)

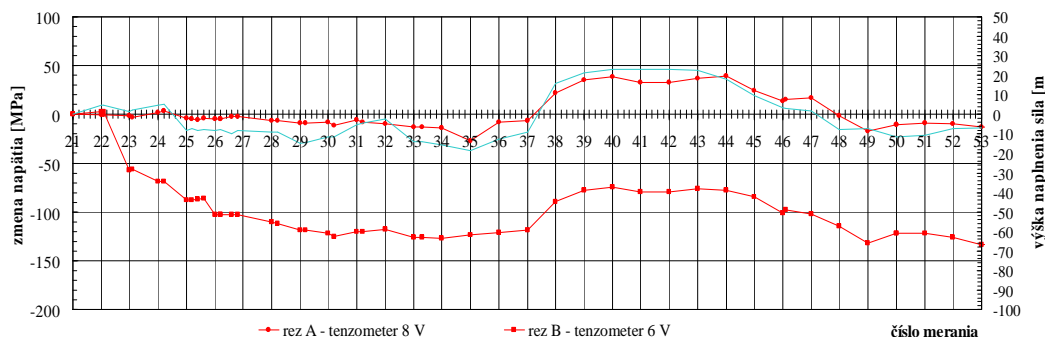
Výsledky sú uvedené v grafickej podobe na grafoch zvlášť pre krížové a jednosmerné tenzometre. Vždy je zobrazený jeden graf pre danú výškovú úroveň (+1.000m, +5.525m, 6.675m, 8.025m, 10.525m) od hodnoty  $\pm 0.000\text{m}$ . Na hlavnej osi sú vynesené hodnoty zmeny napätia na konštrukcii červenou (vertikálny kanál) a čiernou (horizontálny kanál) farbou, na vedľajšej osi je zobrazená priemerná hodnota zmeny naplnenia sila slinkom (priemerná hodnota zo snímačov 1,2) tyrkysovou farbou. Z nameraných hodnôt je zrejماً dobrá zhoda nameraných meridiánových napätí s priebehom naplnenosti sila.

Na grafe číslo 11 je uvedený priebeh teploty na stene sila PC1 v závislosti na oslnení. Počas jasného počasia bola zaznamenaná značná nerovnomernosť priebehu teploty na sila. Tieto merania sú v grafe 11 zvýraznené hrubou červenou farbou, ide najmä o merania číslo 32, 41, 45, 46, 49, 51. Najväčší rozdiel teplôt v predpoludňajšom čase medzi meracími bodmi X a C bol zaznamenaný pri meraniach 32 ( $5^{\circ}\text{C} - 18,7^{\circ}\text{C}$ ), 45 ( $-2,5^{\circ}\text{C} - 14^{\circ}\text{C}$ ). Pri meraniach číslo 44 a 47 boli namerané na meracích bodoch A, B, C približne rovnaké teploty, na bodoch X, Y boli teploty výrazne nižšie. Meracie body boli zvolené tak, že body X, Y boli vždy v čase odčítania zatienené a slnečný jas dopadal na silo v mieste bodov A, B, C. Táto skutočnosť vysvetľuje nameraný nárast teploty na meracích bodoch A, B, C počas slnečných dní na sila PC1. Teplota steny sila na bodoch X a Y bola približne rovnaká ako teplota vzduchu v areáli firmy Holcim, Rohožník a bola uvažovaná pre celú neoslnenú časť sila. Počas oblačného, zamračeného počasia bol rozdiel teplôt medzi meracími bodmi zanedbateľný.

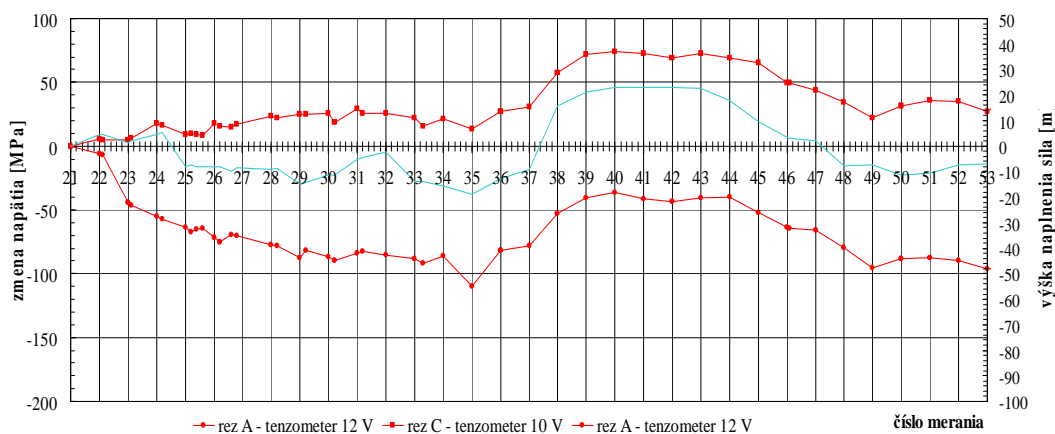


Graf 2 Jednosmerné tenzometre vo vertikálnom smere na úrovni +10.525m

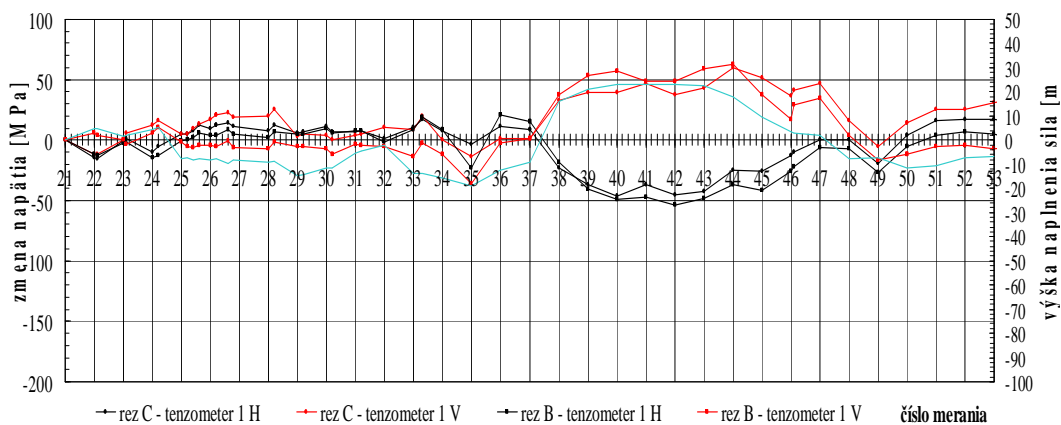
4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně



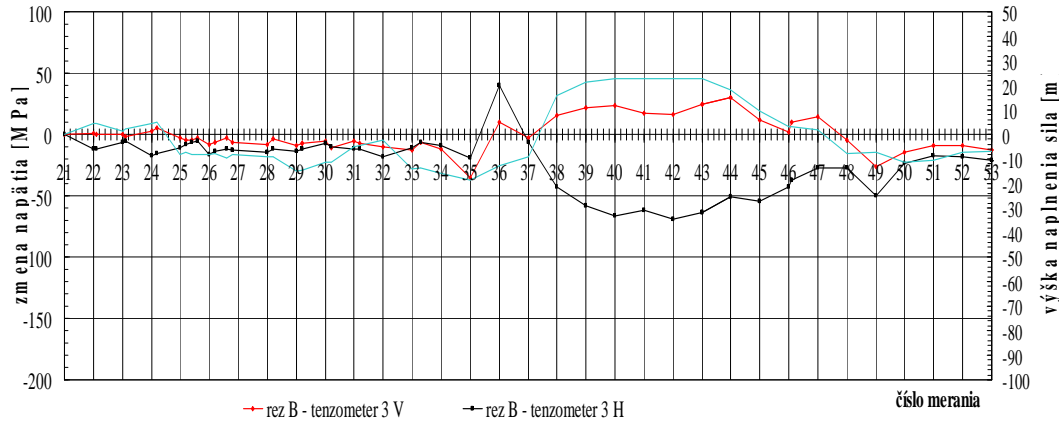
Graf 3 Jednosměrné tenzometry ve vertikálním směru na úrovni +5.525m



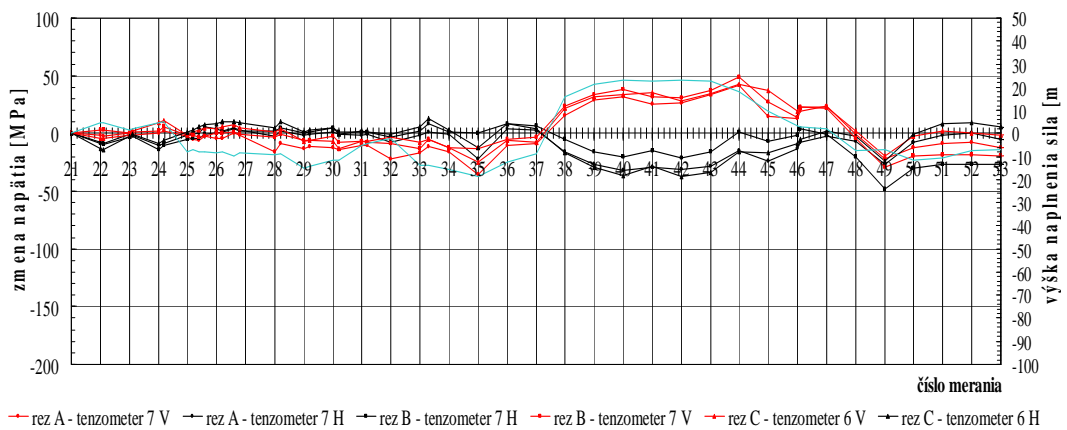
Graf 4 Jednosměrné tenzometry ve vertikálním směru na úrovni +1.000m



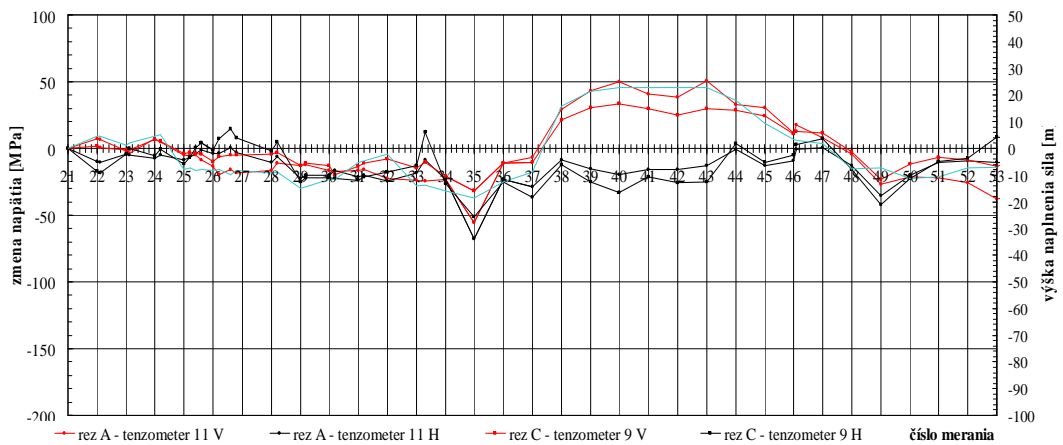
Graf 5 Křížové tenzometry na úrovni +10.525m



Graf 6 Krížový tenzometer na úrovni +8.025m

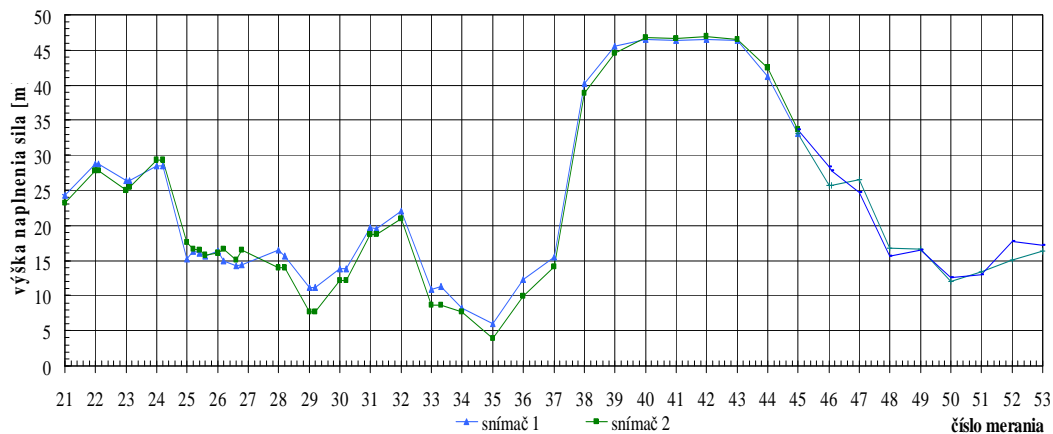


Graf 7 Krížové tenzometre na úrovni +5.525m

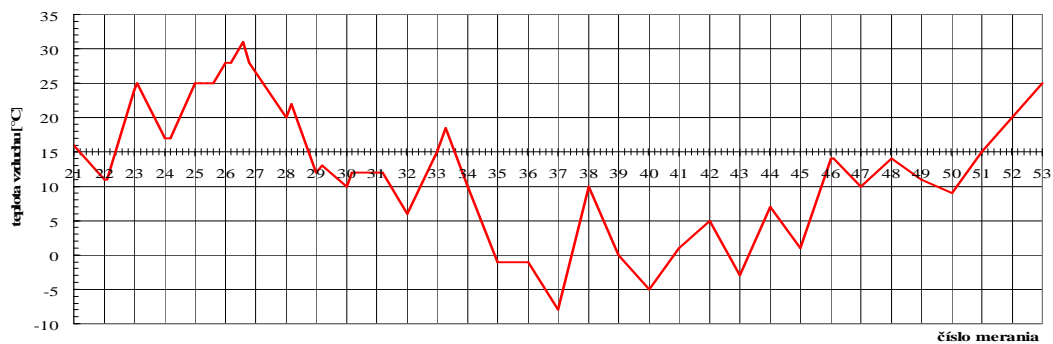


Graf 8 Krížové tenzometre na úrovni +1.000m

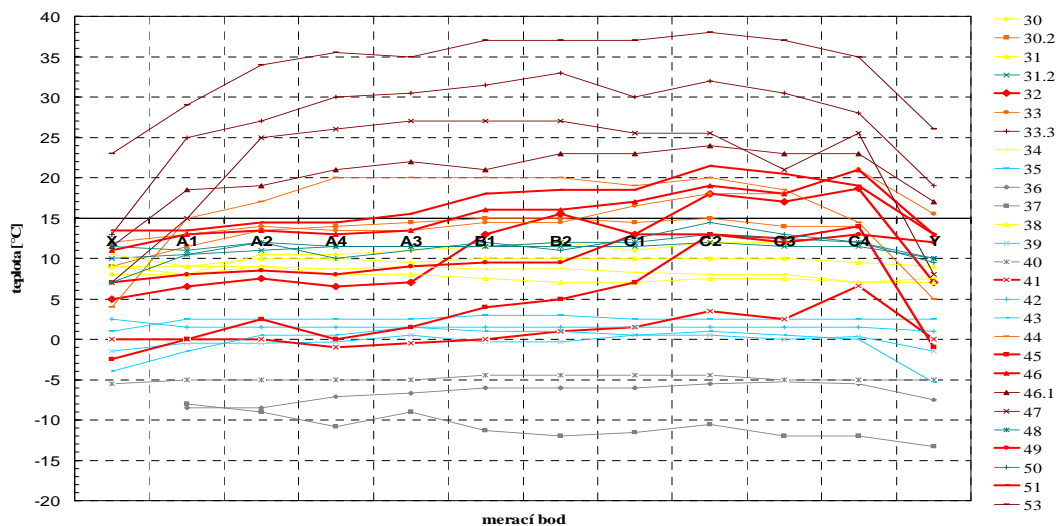
4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně



Graf 9 Výška naplnění síla PCI

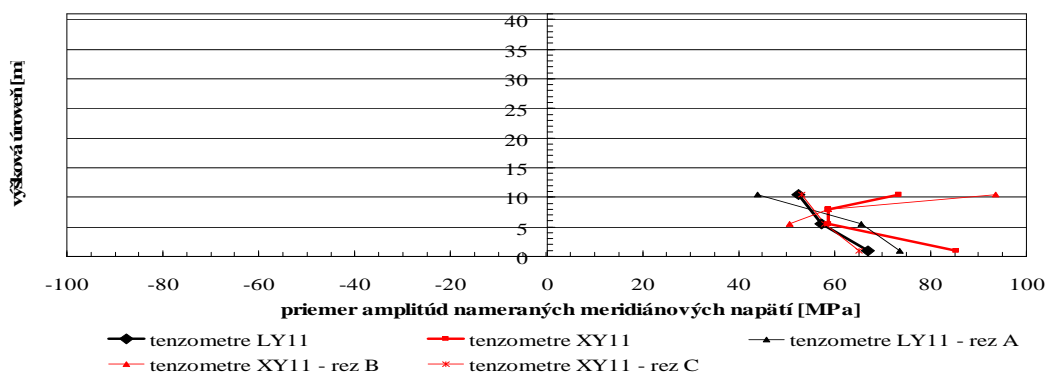


Graf 10 Priebeh teploty vzduchu, Holcim, Rohožník, SR

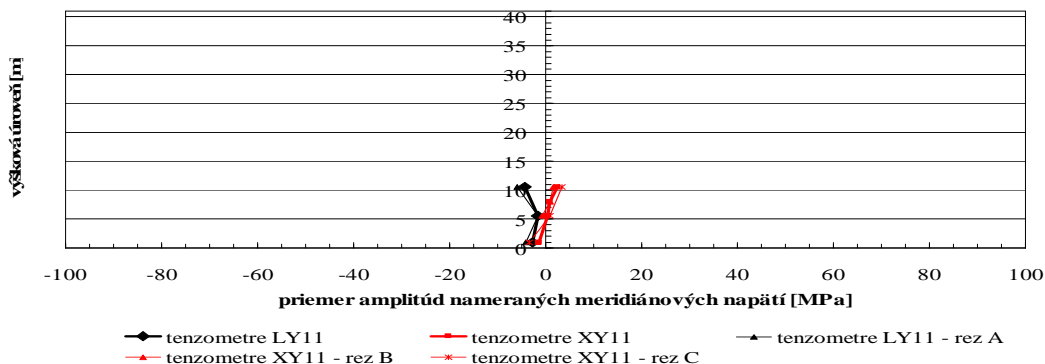


Graf 11 Priebeh teploty steny síla PCI

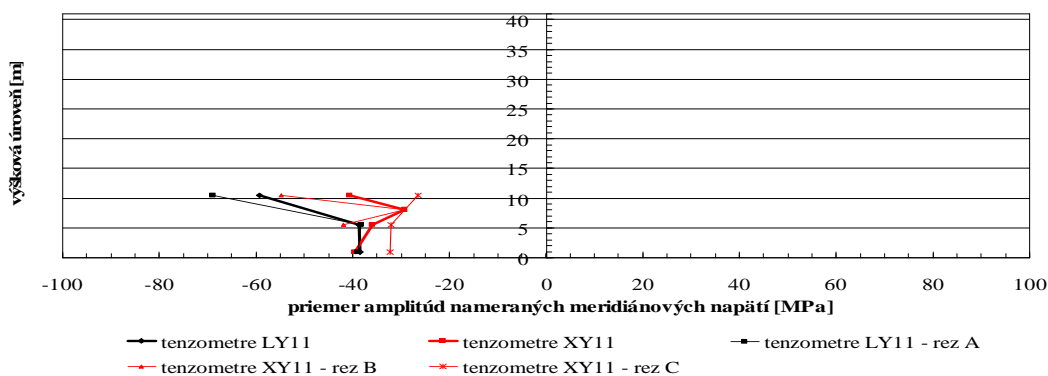
Na grafoch 12, 13, 14 sú zobrazené závislosti priemerov amplitúd zmeny meridiánových napätí nameraných tenzometrickou aparatórou pre 3 stavy užívania sila – nárast naplnenosti (plnenie sila pred odstávkou pece na slinok), konštantná úroveň naplnenosti, vyprázdňovanie sila. Na grafoch sú krivky prináležiace krížovým tenzometrom zobrazené červenou farbou, jednosmerným tenzometrom čiernou farbou. Priemery hodnôt z tenzometrov sú zvýraznené hrubou čiarou danej farby. Graf 12 zobrazuje zmenu meridiánového napätia pri prechode sila z vyprázdneného stavu (meranie číslo 35, 3.12.2010) do stavu plného naplnenia (meranie číslo 40, 28.1.2011). Počas tohto obdobia narástla výška naplnenia sila v priemere z 4.995m na 46.590m, t.z. nárast o 41.595m. Nárast naplnenia viedol k nárastu priemernej hodnoty amplitúdy meridiánového napätia v rozmedzí od 52.450 MPa do 85.300 MPa v závislosti na type a polohe tenzometra. Maximálna amplitúda meridiánového napätia dosiahla hodnotu 105.400MPa. Graf 13 zobrazuje zmenu meridiánového napätia na silu pri minimálnej zmene naplnenosti sila. Toto obdobie prebiehalo v čase pravidelnej odstávky rotačnej pece na slinok (meranie číslo 40, 28.1.2011 až meranie číslo 43, 25.2.2011) Dá sa konštatovať, že zmena naplnenosti sila o 0.110m je nepresnosťou meracích zariadení, resp. sadnutím slinku keďže v tom čase silo nebolo vyprázdňované. Počas tohto obdobia neboli zaznamenané žiadne významné zmeny meridiánových napätí namerané tenzometrami. Priemer amplitúd meridiánových napätí sa pohyboval v rozmedzí od -4.250 MPa do +2.600 MPa v závislosti na na type a polohe tenzometra. Maximálna hodnota amplitúdy dosiahla hodnotu -6.000 MPa. Graf 14 zobrazuje zmenu meridiánového napätia pri prechode sila z plne naplneného stavu (meranie číslo 43, 25.2.2011) na vyprázdnený stav (meranie číslo 48, 1.4.2011). Počas tohto obdobia poklesla výška naplnenia sila v priemere z 46.480m na 16.140m, t.z. pokles o 30.340m. Pokles naplnenia viedol k poklesu priemernej hodnoty amplitúdy meridiánového napätia v rozmedzí od -29.290 MPa do -59.300 MPa v závislosti na type a polohe tenzometra. Maximálna amplitúda meridiánového napätia dosiahla hodnotu -69.000 MPa.



Graf 12 Amplitúdy meridiánových napätí pri náraste naplnenosti sila



Graf 13 Amplitúdy meridiánových napätí pri stálej naplnenosti sila



Graf 14 Amplitúdy meridiánových napätí pri poklese naplnenosti sila

#### 4. Záver

Z výsledkov dlhodobého monitoringu sa dá konštatovať dobrá korelácia nameraných hodnôt meridiánových napätí s hodnotami výšok naplnenia sila. Hodnoty tangenciálnych napätí je naproti tomu náročné interpretovať, je zrejmy vplyv naplnenia sila ako aj vplyv rovnomernej a nerovnomernej zmeny teploty steny sila. Zo zhody priebehov nameraných tangenciálnych napätí na jednotlivých tenzometroch je zrejma funkčnosť tenzometrickej aparatury. Práve skúmanie funkčnosti tenzometrickej aparatury bolo vedľajším cieľom dlhodobého experimentu. Výsledky preukázali vhodnosť použitia fóliových tenzometrov na dlhodobé exteriérové sledovanie oceľových konštrukcií, za predpokladu montáže pri vhodných poveternostných podmienkach.

#### Kontakt

Ing. Lukáš Kowalski, e-mail: lukas.kowalski@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

## PEVNOST V TAHU OHYBEM BETONU S VLOŽENÝM EXTRUDOVANÝM MATERIÁLEM

### BENDING STRENGTH OF CONCRETE WITH EMBEDDED EXTRUDED MATERIAL

**Barbara Kucharczyková, Dalibor Kocáb,  
Ondřej Pospíchal**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně

***Anotace:***

*Tato práce pojednává o porovnání hodnot pevnosti v tahu ohybem betonových hranolů bez a s vloženým extrudovaným profilem.*

*K experimentu byl použit obyčejný beton C 30/37 a trubky z extrudovaného vláknocementu uzavřeného tenkostěnného průřezu. Trubky byly v hranolech situovány do oblasti tažených vláken.*

*Způsob zatěžování může simulovat např. chování extrudovaných chrániček (např. elektrických kabelů) v betonových prvcích. Porovnávány jsou výsledky pevnosti v tahu ohybem po 28 dnech zrání zkušebních těles.*

***Annotation:***

*This work deals with the comparison of the values of bending strength of concrete prisms with and without embedded extruded profile.*

*Normal-weight concrete C 30/37 and tubes of extruded fibre cement with thin-walled closed cross-section were used for the experiment. The tubes were embedded into the prisms in the tension area.*

*The chosen way of loading in this experiment can simulate e.g. the behavior of extruded protected ducts (electrical cables etc.) in the concrete elements. The results of bending strength values obtained after 28 days of specimen's ageing were compared.*

***Klíčová slova:*** *Extrudovaný vláknocement, beton, pevnost v tahu ohybem*

***Keywords:*** *Extruded fibre-cement composite, concrete, bending strength*

## 1. Úvod

Tento příspěvek se zabývá problematikou extrudovaných výrobků z vláknocementu s uzavřeným tenkostěnným průřezem a také možností jejich využití v praxi. Extruze je specifickou technologií výroby těles protlačováním cementového těsta s vlákny (s různou materiálovou bází) šnekovým lisem přes ústí daného tvaru [6]. Tímto způsobem je možné vyrobit extrudovaná tělesa různých příčných průřezů – masivní, uzavřené, kruhové, čtvercové, apod. – viz např. [6], [8], [9].

Jedním z možných způsobů využití extrudovaných kompozitů ve stavební praxi je dle jejich výrobce i autorů příspěvku použití trubek jako chrániček např. elektrických kabelů, a to ať už v betonových, zejména prefabrikovaných, dílcích, či pravděpodobněji v moderních ekologických rodinných domech.

Experiment popisovaný v tomto příspěvku se věnuje nejen spolupůsobení vložených kompozitních trubek s betonem, ale především jejich vlivu na výsledky ohybových zkoušek.

## 2. Všeobecné údaje

Pro provádění zkoušky byly k dispozici dva druhy extrudovaných trubek délky přibližně 0,5 m vyrobených a dodaných společností VUSTAH Brno, které se lišily tvarem příčného průřezu. První typ trubky měl uzavřený tenkostěnný příčný průřez čtvercového tvaru, u druhého typu se jednalo o tenkostěnný průřez kruhového tvaru. Nominální vnější rozměr obou trubek byl 40 mm s tloušťkou stěny 5,5 mm. Více o materiálu např. v [7], [10].

Pro výrobu zkušebních těles byl použit obyčejný 3-frační beton C 30/37 konzistence S2 (zjištěné sednutí kužele 80 mm, viz *Obr. 1.*). Hodnota objemové hmotnosti čerstvého betonu byla  $2280 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## 3. Výroba zkušebních těles

Pro zkoušky byly vyrobeny tři sady zkušebních vzorků po třech kusech, dle postupu uvedeného v [1]. První sadu tvořily normové hranoly z prostého betonu o rozměrech  $100\times 100\times 400 \text{ mm}$ , označené „REF“. Druhá sada obsahovala hranolová tělesa, do nichž byla zabetonována čtvercová trubka (označení těles „ČTV“). Hranoly třetí sady obsahovaly taktéž extrudovanou trubku, tentokrát s kruhovým profilem (označení „KR“). Všechny vláknocementové trubky byly v betonových hranolech uloženy v oblasti tažených vláken.

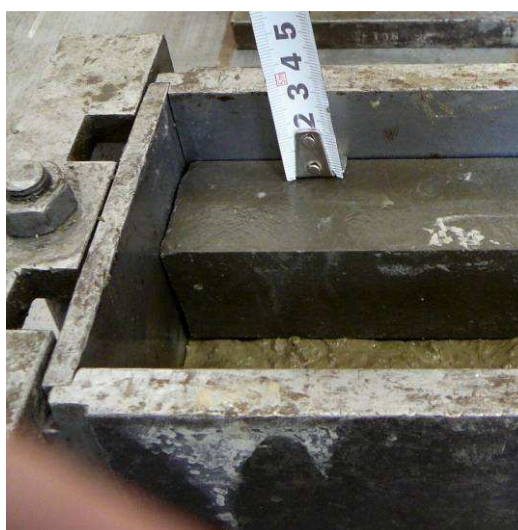


Za účelem vložení trubek do standardních trámčových forem, byla jejich délka před betonáží upravena na rozměr 400 mm. Aby cementový tmel nezatékal dovnitř trubek, byly tyto opatřeny z obou stran polystyrénovou ucpávkou.

Při výrobě hranolů obsahujících extrudované profily byly formy naplněny betonem přibližně do 1/3 výšky a po zhutnění této vrstvy byla k jedné straně formy umístěna navlhčená trubka tak, aby ležela v polovině výšky hranolu, jak je vidět na *Obr. 2.* a *Obr. 3.* Následně byl zbývající objem formy doplněn (viz *Obr. 4.*) a beton opět zhutněn. Vyrobená tělesa byla přikryta PE fólií, po 24 hod. odformována a uložena do prostředí s teplotou  $t = 20 \pm 2$  °C a vlhkostí  $w \geq 95$  %.



*Obr. 1.: Zjišťování sednutí kužele betonu.*



*Obr. 2.: Vkládání čtvercové trubky do poloviny výšky formy.*



*Obr. 3.: Vložení čtvercové trubky do formy na zhutněnou vrstvu betonu.*



*Obr. 4.: Doplnění formy betonem.*

#### 4. Provádění zkoušek

Zkoušky pevnosti v tahu ohybem byly prováděny po 28 dnech zrání betonu dle [3]. U všech těles, která je možné vidět na *Obr. 5.*, byla určena hmotnost a rozměry a z těchto údajů byla u sady hranolů z prostého betonu určena objemová hmotnost [5], jejíž hodnota činila  $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Jako první byly odzkoušeny zkušební vzorky první sady, tedy referenční hranoly, viz *Obr. 6.*



*Obr. 5.:* Zkušební tělesa: vlevo sada s vloženou kruhovou trubkou, uprostřed sada se čtvercovou trubkou, vpravo referenční hranoly.



*Obr. 6.:* Zkouška pevnosti v tahu ohybem referenčního hranolu.

Po zjištění maximální síly nutné k porušení referenčních hranolů byly odzkoušeny zbývající sady zkušebních těles (*Obr. 7.*, *Obr. 9.*). Před vložením hranolů do lisu byla zaměřena poloha vložených trubek. Odchytky od ideálního centrického uložení, které byly způsobeny „vyplaváním“ trubky ve formě při

hutnění betonu, nenabývaly výrazných hodnot a významně neovlivnily výsledky zkoušek (Obr. 8.).



Obr. 7.: Zkouška hranolu s vloženou kruhovou trubicí.



Obr. 8.: Umístění čtvercové trubky v hranolu – snaha o uložení na střed zkoušeného tělesa byla téměř úspěšná, odchylky způsobené „vyplaváním“ trubky při vibraci neměly na výsledky zkoušek vliv.

Kromě zjištění maximální síly se autoři článku podrobně zabývali také způsobem porušení zkoušených těles. Ačkoliv byly trubky z důvodu zlepšení soudržnosti před vložením do betonu navlhčeny, cementový tmel jemnou maticí extrudovaného materiálu nepronikl a beton s trubicí nespolečnil, což je dobře vidět na Obr. 10.



Obr. 9.: Hranol s vloženou čtvercovou trubicí po zkoušce pevnosti v tahu ohybem - extrudovaná trubka s betonem nespolečnil.



Obr. 10.: Detail trhliny – jasně patrné posunutí trubky v betonu.

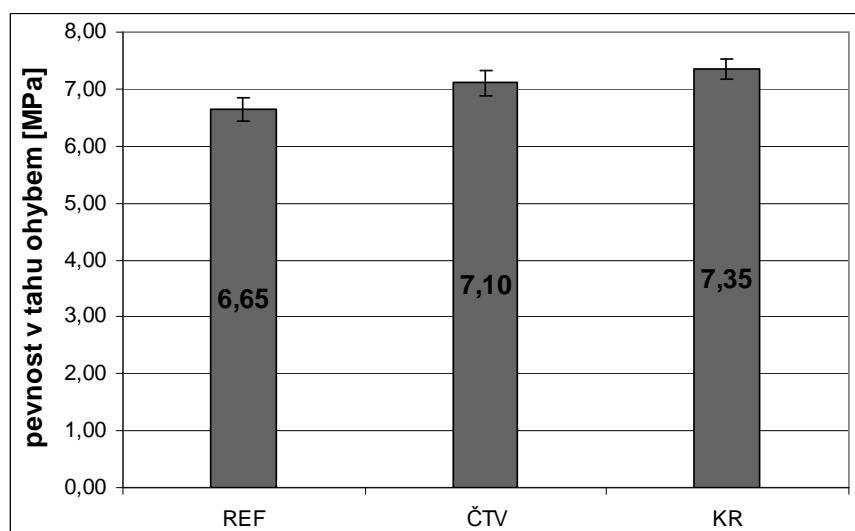
Z rozlomených částí referenčních hranolů bylo následně řezáním připraveno 6 ks krychlí o hraně 100 mm, které sloužily k doplňkovým zkouškám. Polovina těchto zkušebních těles byla odzkoušena prostým tlakem, zbylé krychle byly odzkoušeny příčným tahem.

## 5. Dosažené výsledky

Z laboratorně zjištěných hodnot byla vypočtena pevnost v tahu ohybem hranolů referenčních bez vložených trubek i hranolů s vloženými extrudovanými profily. Výsledky jsou zpracovány v *Tabulce 1.* a v grafu na *Obr. 11.*

*Tabulka 4.: Výsledné pevnosti v tahu ohybem všech zkoušených těles.*

Označení	max. F [kN]	$f_{cf,m}$ [MPa]	průměr [MPa]	sm.odch. [MPa]
REF 1	15,10	6,74	<b>6,65</b>	<b>0,20</b>
REF 2	14,80	6,78		
REF 3	14,23	6,41		
ČTV 1	16,10	7,14	<b>7,10</b>	<b>0,25</b>
ČTV 2	15,58	6,89		
ČTV 3	16,56	7,34		
KR 1	15,84	7,19	<b>7,35</b>	<b>0,20</b>
KR 2	16,26	7,27		
KR 3	16,95	7,54		



*Obr. 11.: Výsledné průměrné hodnoty pevnosti v tahu ohybem včetně směrodatných odchylek.*

Výsledky pevnosti betonu v tlaku a pevnosti v příčném tahu, které byly zjištěny na krychlích získaných z úlomků hranolů, jsou vypsány v *Tabulce 2*.

*Tabulka 5.: Pevnost v tlaku a pevnost v příčném tahu použitého betonu*

Pevnost v tlaku	a [mm]	b [mm]	max. F [kN]	$f_c$ [MPa]	průměr [MPa]	sm.odch. [MPa]
REF 1A	99,7	100,8	501,8	49,9	<b>50,5</b>	<b>0,40</b>
REF 2A	97,6	101,2	499,5	50,6		
REF 3A	98,5	100,8	502,4	50,6		
Pevnost v příč. tahu	L [mm]	d [mm]	max. F [kN]	$f_{ct}$ [MPa]	průměr [MPa]	sm.odch. [MPa]
REF 1B	101,7	100,3	48,7	3,04	<b>3,45</b>	<b>0,45</b>
REF 2B	98,4	100,2	52,7	3,40		
REF 3B	101,3	100,2	62,8	3,94		

## 6. Diskuze výsledků

Na základě vyhodnocení vypočtených hodnot pevnosti v tahu ohybem je možné konstatovat, že trubky vložené do hranolů měly na výslednou pevnost kladný vliv. Je však nutné podotknout, že zvýšení pevnosti nebylo nijak výrazné. Z průběhu zkoušek a především z lomů zkušebních těles (viz *Obr. 10.*, *Obr. 12.*) vyplývá, že vložený extrudovaný prvek s betonem nespolutváří. Matrice použitého extrudovaného kompozitu je natolik jemná a hutná, že její pórová struktura znemožňuje průnik cementového tmele betonu, čímž nemůže dojít k vzájemnému propojení obou maticí.



*Obr. 12.: Způsob porušení hranolových těles s vloženou kompozitní trubicí prokázal nesoudržnost obou materiálů*

Vzhledem k vysokým hodnotám pevnosti použitého extrudovaného materiálu v tlaku (téměř 80 MPa, viz [7]) a zejména v tahu ohybem (více než 40 MPa!, viz [9]) je možné trubky v podstatě považovat za výztuž, ovšem bez soudržnosti.

## 7. Závěr

Provedené zkoušky ukázaly, že použití extrudovaných trubek jako chrániček zabudovaných v průřezu betonového prvku je možné. Vzhledem k vysoké ohybové pevnosti extrudovaného vláknocementu lze jeho umístěním do oblasti tažených vláken zvýšit celkovou pevnost v tahu ohybem betonového dílce (použitím kruhových profilů až o 10,5 %).

Vysoká hutnost matrice extrudovaného vláknocementu ovšem negativně ovlivňuje jeho soudržnost s betonem, tudíž není vhodné umísťovat trubky blízko povrchu betonového dílce – v delším časovém úseku totiž může docházet k odprýskávání povrchové vrstvy.

O využití trubek z extrudovaného vláknocementu, lze vzhledem k jejich žáruvzdornosti, do budoucna uvažovat ve spojení s ekologickými stavbami z převážně organických materiálů. Tuto problematiku je však nutné dále důkladněji prozkoumat.

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. 1M06005 – projektu CIVAK.

## Literatura

- [1] ČSN EN 12390-2: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti. ČNI, 2009.
- [2] ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. ČNI, 2009.
- [3] ČSN EN 12390-5: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. ČNI, 2009.
- [4] ČSN EN 12390-6: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles. ČNI, 2010.
- [5] ČSN EN 12390-7: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. ČNI, 2009.

- 
- [6] TIHLAŘÍK, P.; ZAVŘELOVÁ, R.; BÖHM, J.; HLEDÍKOVÁ, J.: Možnost kontinuálního vytváření vláknocementu extruzí. In sborník 14. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč, VUSTAH, a.s. 2010. p. 237-240. ISBN 978-80-87397-02-2,
- [7] POSPÍCHAL, O.; KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.: Stanovení pevnostních charakteristik extrudovaného materiálu. In sborník anotací 13. odborné konference JUNIORSTAV. Brno, VUT v Brně. 2011. p. 194. ISBN 978-80-214-4232-0.
- [8] TIHLAŘÍK, P.; KNĚZEK, J.; HOLEŠINOVSKÝ, R.; BÖHM, J.; TRČKA, P.; HLEDÍKOVÁ, J.: Užité hodnota extrudovaných vláknocementových výrobků – vlastnosti a aplikace. In sborník 15. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč, VUSTAH, a.s.. 2011. p. 225-228. ISBN 978-80-87397-06-0.
- [9] POSPÍCHAL, O.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; KOCÁB, D.: Efekt nerovnosti průřezu vzorků na výsledky ohybových zkoušek. In sborník 15. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč, VUSTAH, a.s. 2011. p. 221-224. ISBN 978-80-87397-06-0.
- [10] KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; POSPÍCHAL, O.: Stanovení stejnorodosti kompozitních materiálů pomocí elektroakustických metod. In sborník příspěvků Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2010. Brno, VUT v Brně. 2010. p. 101-109. ISBN 978-80-214-4144-6.

## Kontakt

Ing. Barbara Kucharczyková, Ph.D., tel: 541 147 527, e-mail: kucharczykova.b@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Dalibor Kocáb, tel: 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ondřej Pospíchal, tel: 541 147 811, e-mail: pospichal.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



## OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VLÁKNOCEMENTOVÝCH DESEK METODOU TPT A GWT

### INVESTIGATION OF THE FIBRECEMENT SLABS PROPERTIES BY THE TPT AND GWT METHOD

**Barbara Kucharczyková, Dalibor Kocáb, Ondřej  
Pospíchal**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně

***Anotace:***

*Cílem provedených měření bylo ověření transportních vlastností cementových desek tloušťky 10 mm s různým typem vyztužení. Celkově se jedná o 7 typů vyztužení – dvě desky byly vyztuženy pouze pomocí rozptýlených nekovových vláken, zbylých pět desek bylo vyztuženo pomocí rozptýlené výztuže kombinované s plošnou nekovovou výztuží. Pro zkoušky byly použity dvě nedestruktivní metody – metoda stanovení součinitele vzduchové propustnosti přístrojem TPT (Torrent Permeability Tester) a metoda stanovení propustnosti pro vodu přístrojem GWT (Germann Water Tester).*

***Annotation:***

*The aim of performed measurements was to investigate transport properties of the 10 mm thick cement composite slabs with various type of reinforcement. In this case 7 types of reinforcement were used – two slabs were reinforced only with dispersed non-metallic fibres, the remaining 5 slabs were reinforced with the combination of the non-metallic fibres and surface reinforcement. Two non-destructive methods were used for the experiments – the method for determination of the air permeability coefficient using TPT (Torrent Permeability Tester) equipment and the method for determination of water permeability using GWT (Germann Water Tester) equipment.*

***Klíčová slova:*** Propustnost, vzduch, voda, Torrent, GWT

***Keywords:*** Permeability, air, water, Torrent, GWT

## 1. Úvod

Určování fyzikálně mechanických a zejména trvanlivostních vlastností tenkých desek s jemnozrnnou cementovou maticí vyztuženou rozptýlenou či plošnou nekovovou výztuží je poměrně komplikovaná problematika. Výsledky získané měřeními na zkušebních tělesech vykazují značný rozptyl, jehož příčinou jsou nehomogenity způsobené jednak nevhodným návrhem složení samotné cementové matrice, nerovnoměrným rozptýlením vláken či špatnou fixací polohy výztužné sítě. Tým autorů předchozími experimenty poukázal také na možnost separace průřezu cementové matrice vloženou výztužnou sítí, což podstatně ovlivnilo transportní vlastnosti výsledného prvku [1].

## 2. Popis experimentu

Cílem experimentů bylo ověření vhodnosti vybraných zkušebních metod pro stanovení propustnosti cementových desek pro vodu a vzduch. Zkušební metody byly zvoleny tak, aby je bylo možno v případě potřeby aplikovat jak v laboratoři tak i přímo ve výrobně prefabrikátů či na prvcích zabudovaných ve stavbě. Pro měření byly zvoleny dva přístroje. Jednak přístroj pro stanovení součinitele vzduchové propustnosti – Torrent Permeability Tester (TPT) s pracovním tlakem 1000 mbar a dále přístroj pro stanovení pohltivosti vody – Germann Water Tester (GWT) – s pracovním tlakem 200 mbar. Oba přístroje se na pracovišti autorů dlouhodobě používají pro stanovení transportních vlastností betonových těles, dílců a konstrukcí. Bližší informace o použitých přístrojích lze nalézt např. v [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Pro zkoušky byly použity desky o tloušťce 10 mm. Informace o složení cementové matrice a způsobu vyztužení desek jsou uvedeny v *Tabulce 1* a *Tabulce 2*. Podrobné informace o výrobě a ošetřování zkušebních desek jsou uvedeny v [9] a [10].

*Tabulka 1.: Složení cementové matrice [9]*

Složky	Objemové zastoupení složek
Portlandský cement	55%
Jemnozrnný písek	42%
Jemnozrnné plnivo	3%
Plastifikační přísada	1,5%
Odpěňovací přísada	0,15%

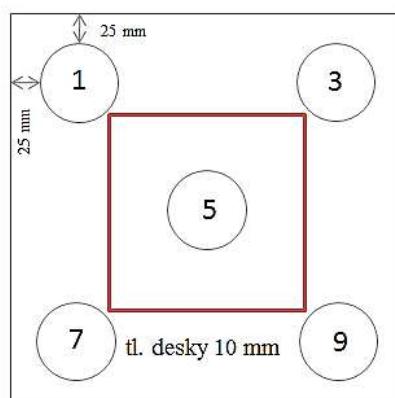
Pozn.: Všechny složky byly dávkovány hmotnostně. Dávkování PVA vlákna a vody bylo upraveno vzhledem k dosažení srovnatelné konzistence. Plošná výztuž byla vždy situována nejbližší lícové (hladké) strany zkušební desky.

Tabulka 2.: Specifikace zkušebních desek [9]

Datum výroby	Označení	Disperzní výztuž	Plošná výztuž	Vodní souč. (v/c)	Rozlítí (cm)
01. 07. 2010	V1	ARG vlákno 12		0,34	25,0
24. 06. 2010	V2	PVA vlákno 8 mm		0,34	21,0
02. 07. 2010	SKCO-2	ARG vlákno 12	ARG síť 10x10	0,30	22,0
25. 06. 2010	SKCO-6	PVA vlákno 8 mm	ARG rohož	0,34	22,0
30. 06. 2010	SKCO-10	PVA vlákno 8 mm	uhlíková tkanina	0,33	19,0
28. 06. 2010	SKCO-12	ARG vlákno 12	PVA síť 15x15	0,30	22,5
29. 06. 2010	SKCO-14	PVA vlákno 8 mm	PVA síť 15x15	0,34	22,5

**Pozn.:** Všechny zkušební desky bez výztuže i s výztuží nebyly uloženy v „ideálních“ vlhkostních podmínkách, ale byly po odformování ponechány ve výrobní hale, aby zrály ve stejných podmínkách jako skutečné výrobky.

Experimenty svým charakterem navazují na zkoušky provedené v předchozích etapách řešení projektu CIVAK. Výsledky těchto zkoušek byly publikovány na konferenci „Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky“ v Telči v roce 2011 [9].



Obr. 1.: Výběr zkušebního místa – 1, 3, 5, 7 a 9 označují místa měření přístrojem TPT v předchozí etapě měření; červeně je vyznačen výřez desky použitý pro další zkoušky

Zkušební tělesa byla pro experimenty připravena vyřezáním středové části cementových desek (viz Obr. 1.). Tímto způsobem vznikly zkušební vzorky o rozměru 250 × 250 mm. Na každém zkušebním tělese byl nejdříve stanoven odhad vlhkosti příložným kapacitním vlhkoměrem KAKASO, následně byl stanoven součinitel vzduchové propustnosti přístrojem TPT (viz Obr. 2.) a nakonec byla provedena zkouška pohltivosti přístrojem GWT (viz Obr. 3.). Doba

měření přístrojem TPT je limitována buď časem (720 sekund), anebo se měření automaticky ukončí, jakmile dojde k vyrovnání tlaků mezi vnější a vnitřní měřicí buňkou, respektive jakmile dojde k vyrovnání tlaku v měřicí buňce s atmosférickým tlakem (blíže viz [2]). U přístroje GWT neexistují přesné pokyny pro určení doby měření, v literatuře lze nalézt měření v intervalu od 6 minut až po 1 hodinu. Pro účely experimentu bylo měření ukončeno po 30 minutách.



Obr. 2.: Měření přístrojem Torrent



Obr. 3.: Měření přístrojem GWT

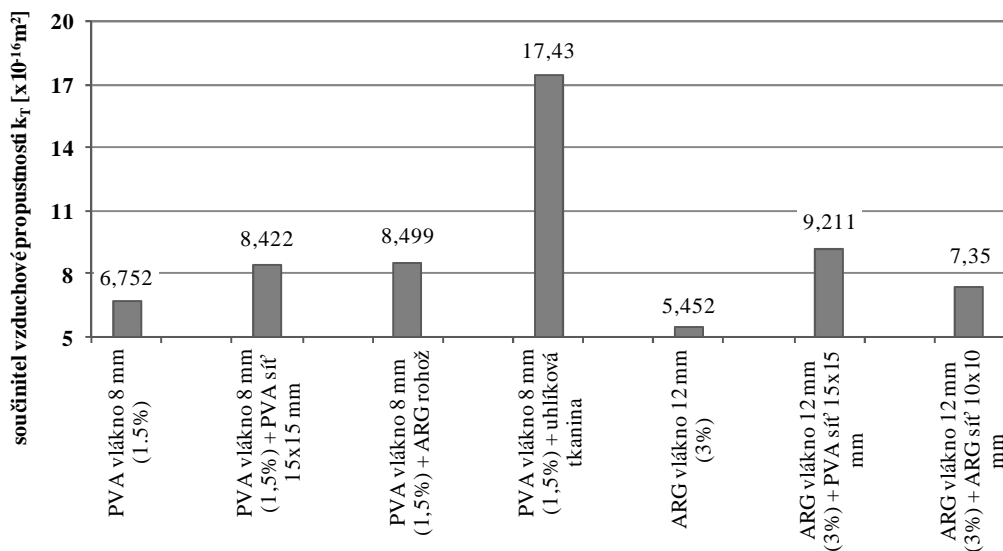
Vzhledem k protikladným výsledkům zkoušky pohltivosti a vzduchové propustnosti byla provedena kontrolní zkouška vodotěsnosti ve vodotlačné stolici při pracovním tlaku 1000 a 5000 mbar. Doba měření byla totožná jako v případě měření přístrojem GWT, tzn. měření bylo ukončeno po 30 minutách.

### 3. Dosažené výsledky

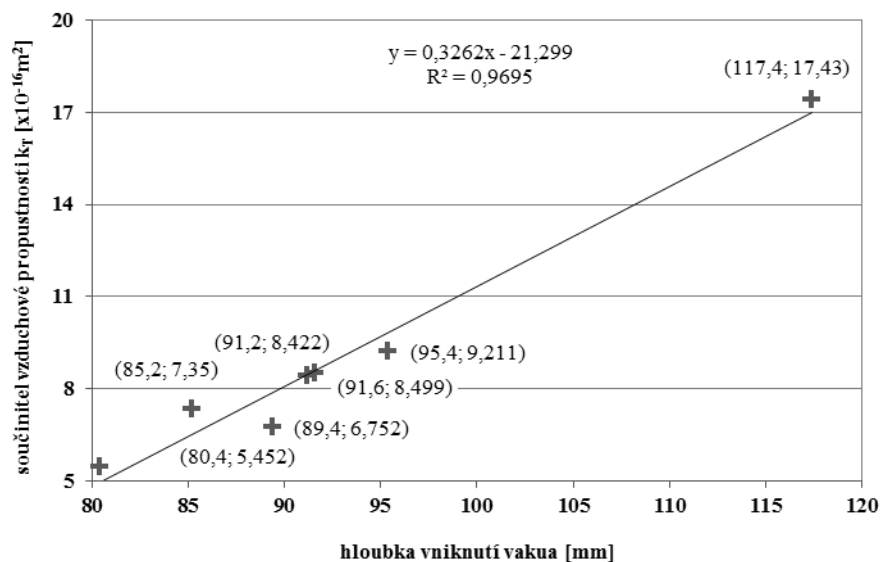
Výsledky provedených zkoušek byly pro přehlednost zpracovány graficky. Vzhledem k tomu, že transport vzduchu a vody cementovou maticí je významně ovlivněn aktuální vlhkostí prvku (zejména jeho povrchu), je nutno říci, že vlhkost všech desek se v okamžiku zkoušení pohybovala v rozmezí 0,1 ~ 0,2 hmotnostních procent. Tohoto stavu bylo dosaženo dlouhodobým volným vysycháním desek v laboratorních podmínkách. V praxi se s tímto vlhkostním stavem zpravidla nesetkáváme a proto je nutné pro praktické aplikace přepočítávat výsledky laboratorních zkoušek dle aktuální vlhkosti prvků zabudovaných v konstrukci. Pro přepočet součinitele vzduchové propustnosti lze s výhodou použít metodiku vytvořenou na ÚSZK FAST VUT v Brně [11] která byla vytvořena na základě výsledků měření publikovaných v [6].

Výsledky měření jsou uvedeny na následujících grafech – na Obr. 4. jsou znázorněny hodnoty součinitele vzduchové propustnosti, na Obr. 5. je pak

uvedena závislost mezi součinitelem vzduchové propustnosti  $k_T$  [ $\times 10^{-16}$  m<sup>2</sup>] a tzv. hloubkou vniknutí vakua  $L$  [mm] stanovenou během měření přístrojem TPT.



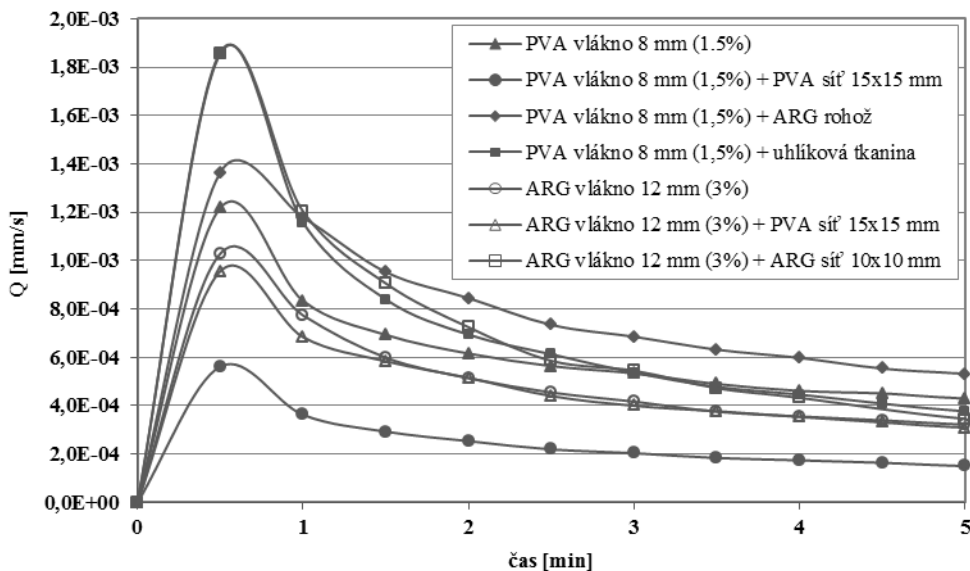
Obr. 4.: Hodnoty součinitele vzduchové propustnosti stanovené přístrojem TPT



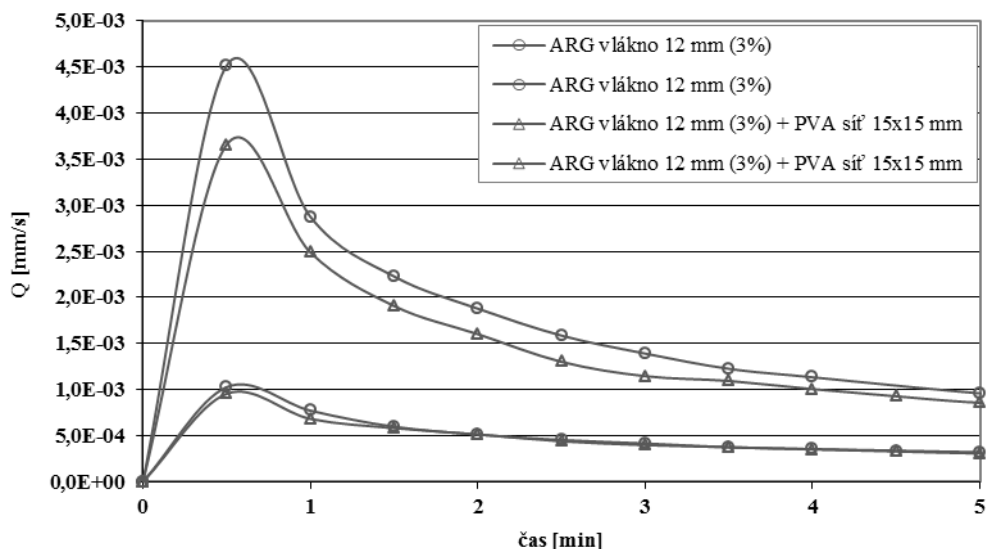
Obr. 5.: Vztah mezi součinitelem vzduchové propustnosti a hloubkou vniknutí vakua

Obr. 6. zobrazuje výsledky pohltivosti  $Q$  [mm/s] jednotlivých desek stanovené přístrojem GWT. Měření bylo ukončeno po 30 minutách. Pro lepší

názornost je na grafu zobrazen výsek provedeného měření v rozmezí prvních 5 minut, kdy lze zaznamenat největší rozdíly v počáteční hodnotě pohltivosti jednotlivých desek.



Obr. 6.: Hodnoty pohltivosti stanovené přístrojem GWT

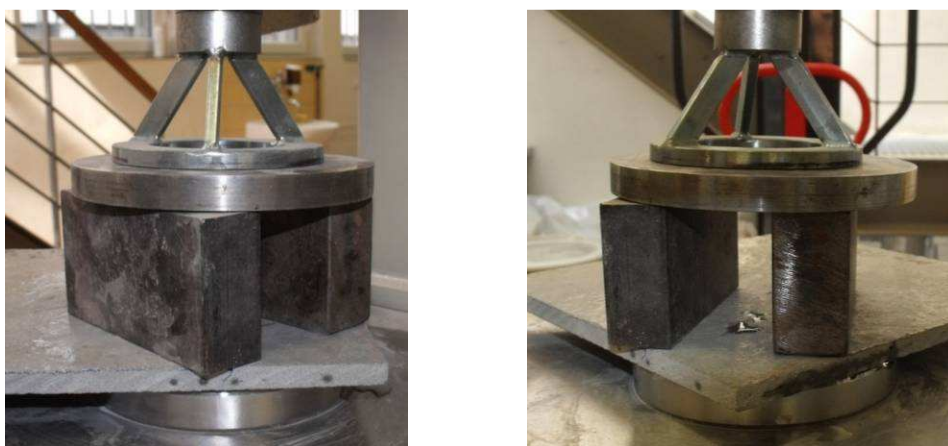


Obr. 7.: Vliv umístění sítě na hodnotu pohltivosti stanovenou přístrojem GWT

Na Obr. 7. jsou pak znázorněny možné rozdíly v hodnotě pohltivosti stanovené na dvou různých místech jedné zkušební desky. Tyto rozdíly jsou zřejmě způsobeny nerovnoměrnou polohou plošné nekovové výztuže – v místě,

kde byla výztuž příliš blízko měřeného povrchu, byla zaznamenána přibližně čtyřnásobná hodnota pohltivosti.

Fotografie na *Obr. 8.* zobrazují výsledek kontrolní zkoušky průsaku vody cementovou deskou osazenou ve vodotlačné stolici. Zkouška byla koncipována jako dvoutlaká. Před měřením byla stanovena výchozí hmotnost desky. V první fázi testu byl tlak nastaven na hodnotu 1000 mbar po dobu 30 minut. V průběhu měření nebyl zaznamenán žádný průsak vody. Po 30 minutách byla deska vyjmuta ze zařízení, povrchově osušena a zvážena. Po určení hmotnosti byla stejná deska osazena zpět do zkušebního zařízení a podrobena stejné zkoušce při tlaku 5000 mbar. Na *Obr. 8.* lze vidět průsak vody, který nastal téměř okamžitě po spuštění druhé fáze testu.



*Obr. 8.: Průsak vody při zkoušce ve vodotlačné stolici (pracovní tlak 5000 mbar)*

#### 4. Shrnutí výsledků a závěry

Jak je vidět z *Obr. 4.*, všechny zkoušené desky, až na jednu výjimku, vykázaly obdobné hodnoty součinitele vzduchové propustnosti a spadají dle [2] do kvalitativní kategorie 4 (špatná). Výjimkou je deska vyztužená PVA vlákem a uhlíkovou tkaninou, která vykazuje přibližně dvojnásobnou hodnotu vzduchové propustnosti a spadá tak do kategorie 5 (velmi špatná). Pokud by se naměřené hodnoty součinitele vzduchové propustnosti přepočítaly na 3% vlhkost (v praxi považováno za běžný vlhkostní stav betonu), pak by zkoušené desky spadaly do kategorie 3 (dobrá), respektive 4 (špatná). *Obr. 5.* znázorňuje silnou závislost mezi hodnotou  $k_T$  a  $L$ . Literatura [2] uvádí, že  $L$  je hloubka vniknutí vakua měřená ve svislém směru v místě pod vnitřní měřicí buňkou. Z výsledků na *Obr. 5.* je ale zřejmé, že se nejedná o svislou vzdálenost, neboť naměřená

hodnota hloubky vniknutí vakua ( $L \approx 80$  mm) převyšuje tloušťku měřeného prvku ( $t = 10$  mm) a to ve všech případech.

Způsob určení kvalitativní kategorie zkoušeného prvku na základě hodnoty pohltivosti stanovené přístrojem GWT není přesně definován. Literatura [3] uvádí, že jako trvanlivé lze považovat prvky, které splňují podmínku  $Q < 0,66 \cdot 10^{-3}$  mm/s, přičemž neuvádí přesnou hodnotu pracovního tlaku přístroje. Publikace [12] naopak uvádí 5 kvalitativních tříd založených na hodnotě pohltivosti  $Q$  získané měřením přístrojem GWT při standardizovaném tlaku 400 mbar. Pro pracovní tlak 200 mbar není dosud známo žádné zařazení. Nicméně, výsledky provedených měření mohou sloužit pro případné porovnávání pohltivosti zkoušeného materiálu vzájemně mezi sebou.

Jak ale naznačuje *Obr. 7.*, měření na deskách vyztužených plošnou nekovovou výztuží může být značně ovlivněno polohou sítě v oblasti měřícího místa. V případech, kdy byla výztuž umístěna uprostřed průřezu nebo blíže ke spodnímu okraji desky (z pohledu umístění přístroje), vykazovaly všechny měřené desky obdobnou hodnotu pohltivosti. Lze se tedy domnívat, že pracovní tlak 200 mbar je příliš nízký na to, aby bylo možno vtlačit vodu do hutné cementové matrice.

Tato domněnka byla ověřena zkouškou ve vodotlačné stolici, která se běžně využívá pro stanovení hloubky průsaku betonu tlakovou vodou. Nejdříve byla zkušební deska podrobena zkoušce při tlaku 1000 mbar po dobu 30 minut. Během tohoto měření nebyl pozorován žádný průsak vody, přičemž množství pohlcené vody bylo stanoveno z rozdílu hmotností desky stanovených před a po zkoušce – přírůstek hmotnosti byl 5,9 g (0,45 % hmotnosti), což lze považovat za zanedbatelné množství. Poté bylo stejné zkušební těleso znovu osazeno do vodotlačné stolice. Tentokrát byl pracovní tlak nastaven na hodnotu 5000 mbar. Po spuštění zkoušky byl téměř okamžitě zaznamenán průsak vody bočními stranami desky, v místě výztužné sítě se objevovaly kapky vytékající vody. Zanedlouho se také objevil průsak horní plochou zkušební tělesa (viz *Obr. 8.*).

Z provedených měření tedy vyplývá, že přístroj GWT s pracovním tlakem 200 mbar není příliš vhodný pro objektivní posouzení vodní propustnosti zkoušených desek.

## 5. Závěr

Stanovení transportních vlastností cementových kompozitů je vyžadováno především z hlediska posouzení trvanlivosti betonových konstrukcí a prvků. V současných standardech platných v ČR lze nalézt dvě metody využívané pro definování trvanlivosti betonu – metodu pro stanovení hloubky průsaku tlakovou vodou a metodu stanovení odolnosti cementového betonu proti působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek. Často se také setkáváme se



zkouškou mrazuvzdornosti, nasákavosti, či zkouškou posuzující rozložení vzduchových pórů v betonu. Výše uvedené zkušební metody lze však s těžší aplikovat přímo v terénu na hotových prvcích, a proto se trvanlivost konstrukcí odhaduje na základě výsledků zkoušek provedených v laboratoři na zkušebních tělesech. Nalezení nedestruktivní metody, pomocí níž bychom byli schopni odhadnout kvalitativní stav povrchu betonu přímo na staveništi, by významně přispělo k objektivnímu hodnocení trvanlivosti betonových konstrukcí. Lze říci, že určování vzduchové propustnosti přístrojem TPT je jedním z možných řešení. V současné době tým autorů provedl experimenty, jejichž výsledky by mohly vést k vytvoření vztahu mezi hodnotou průsaku tlakovou vodou (stanovenou dle platných standardů) a hloubkou vniknutí vakua stanovenou přístrojem TPT.

## Poděkování

Tento příspěvek je výsledkem řešení dílčího úkolu projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. 1M06005 – projektu CIVAK.

## Literatura

- [1] POSPÍCHAL, O.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; MISÁK, P.: Stanovení vztlínivosti anorganických kompozitů. In Sborník XIV. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč. 2010. p. 291-294. ISBN 978-80-87397-02-2.
- [2] Technický a zkušební ústav stavební Praha: Přístroj na měření permeability TORRENT – návod k používání.
- [3] ŚLIWIŃSKI J., TRACZ T.: Materiały Konferencji Dni betonu - tradycja i nowoczesność. Szczyrk, Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, Polski Cement. 2002. p. 327-341.
- [4] TORRENT, R. J.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site. *Materials and Structures*, 25(6): p. 358–365.
- [5] SN 505 262/1: Construction en béton – Spécifications complémentaires.
- [6] MISÁK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; VYMAZAL, T.; DANĚK, P.; SCHMID, P.: Determination of the quality of the surface layer of concrete using the TPT method and specification of the impact of humidity on the value of the air permeability coefficient. *Ceramics-Silikáty*, 3(54). 2010. p. 290 - 294. ISSN 0862-5468.
- [7] RILEM Technical Committee 189-NEC: Non-Destructive Evaluation of the Penetrability Thickness of the Concrete Cover. State-of-the-Art Report: Non-Destructive Evaluation of the Concrete Cover, May 2007.

- [8] [www.germann.org](http://www.germann.org)
- [9] KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; POSPÍCHAL, O.: Nedestruktivní sledování vlivu způsobu vyztužení na výsledné parametry vláknocementových desek. In Sborník XV. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč, VUSTAH, a.s. 2011. p. 237 - 240. ISBN 978-80-87397-06-0.
- [10] Ústav stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně. Výroční zpráva CIVAK 2010, VO13. Brno. 2011.
- [11] MISÁK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; VYMAZAL, T.: SOP 02/ 09; Standardní operační postup pro přepočítání hodnoty součinitele vzduchové propustnosti vzhledem k aktuální vlhkosti. VUT FAST v Brně, ÚSZK. (certifikovaná metodika)
- [12] GOMES, A. M.; COSTA, J. O.; ALBERTINI, H.; AGUIAR, J. E.: Permeability of Concrete: A Study Intended for the "in situ" Valuation Using Portable Instruments and Traditional Techniques. In International symposium (NDT-CE 2003).  
<http://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v017/v017.htm>

## Kontakt

Ing. Barbara Kucharczyková, Ph.D., tel: 00420 541 147 527, e-mail: [kucharczykova.b@fce.vutbr.cz](mailto:kucharczykova.b@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Dalibor Kocáb, tel: 00420 541 147 811, e-mail: [kocab.d@fce.vutbr.cz](mailto:kocab.d@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ondřej Pospíchal, tel: 00420 541 147 811, e-mail: [pospichal.o@fce.vutbr.cz](mailto:pospichal.o@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## ZKOUŠKY TAHEM POLYMEROVÝCH VLÁKEN-PRACOVNÍ DIAGRAMY

## THE TENSILE TEST OF POLYMER FIBRES-DIAGRAM WORKS

**Jiří Lukš**

VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

***Anotace:***

*Na diagramech, provedených pro různá polymerová vlákna, bude poukázáno na délková poměrná přetvoření při nárůstu tahové síly. Záznamy těchto zkoušek – pracovní diagramy - nejen charakterizují zkoušená vlákna, ale též ukazují na vhodnost jednotlivých typů vláken pro jejich použití při výrobě vláknobetonu.*

***Annotation:***

*The charts, performed for various polymer fibers, will be made to the longitudinal strain, the increase in tensile strength. Records of these tests - working diagrams - not only characterize the tested fiber, but also demonstrate the suitability of different types of fibers for use in the manufacture of fibre concrete.*

***Klíčová slova:*** polymerová vlákna, nárůst napětí, pracovní diagramy, vláknobeton

***Keywords:*** polymer fibers, increase in tension, fibre concrete

## 1. Úvod

Polymerová vlákna jsou vyráběné z polymerních materiálů v širokém sortimentu použitých typů polymerů, rozměrů vláken průřezů a délek, tvarů a povrchových úprav.

Z hlediska technologie výroby jsou polymerová vlákna vyráběná jednovláknitá tzv. monofilamentická a nebo rozvlákněná-fibrilovaná.

Pro výrobu vláken jsou používány syntetické materiály typu polypropylen, polyetylen, polyester případně další typy poleolefinů.

Základní informace o polymerových vláknech a jejich použití do betonu jsou zpracovány v ČSN EN 14889-2, Vlákna do betonu-Část 2: Polymerová vlákna-Definice, specifikace a shoda.

## 2. Vlákna použitá pro zkoušky pevnosti v tahu

Pro zkoušky pevnosti v tahu v laboratoři stavebních hmot na VŠB-TUO byla použita nízkomodulová vlákna u kterých byly zjištěny hmotnosti a vypočteny nebo změřeny průměry:

### **Forta Ferro označená FF s délkou 55 mm.**

Vlákna jsou dodávaná sdružená ve svazcích s 20 ks fibrilovaných vláken. Objemová hmotnost FF vláken činí  $920 \text{ kg/m}^3$

Průměr vlákna  $0,05 \text{ mm}^2$

Vážením byla zjištěna průměrná hmotnost jednoho vlákna  $0,0095 \text{ g}$

### **Bene Steel označená BS s délkou 110 mm, tř. I**

Vlákna byla dodána na přání ve svazku o 20 vláknech. s průměrem vlákna  $0,095 \text{ mm}^2$  Objemová hmotnost  $920 \text{ kg/m}^3$  Vážením zjištěna průměrná hmotnost vlákna  $0,0157 \text{ g}$

### **Bene Steel označená BS 55 s délkou vlákna 55 mm, tř. I**

Vlákna jsou dodávaná ve svazcích o 20 fibrilovaných vláknech.

Objemová hmotností  $900 \text{ kg/m}^3$ ,

Průměr vlákna  $0,09 \text{ mm}^2$  Zjištěna hmotnost vlákna  $0,0076 \text{ g}$

**STRUX** označená **D** s délkou **40 mm, tř. I**

Vlákna tvoří plochý tvar o šířce 1,8 mm a šířce 0,05 mm, průměr vlákna 0,09 mm<sup>2</sup>.

Objemová hmotnost 900 kg/m<sup>3</sup>

Vážením zjištěná hmotnost jednoho vlákna činí 0,0043 g

**PET** připravená z **odpadových PET lahví s délkou 70 mm, tř. I**

Vlákno je jenovláknité s rozměry 0,25 x 0,36-0,45 mm-tj 0,13 mm<sup>2</sup>

Objemová hmotnost činí 1300 kg/m<sup>3</sup>

Vážení byla zjištěna průměrná hmotnost vlákna 0,022 g

### **3. Příprava zkoušky a výsledky měření**

Měření pevnosti vláken v tahu bylo prováděno na trhače FP 10/1 připojené na počítač se sledováním a snímáním síly a deformace. Získané grafy vyjadřují tahovou pevnost síly F a deformace v mm tzv. grafy odolnosti. Napětí je vyjádřeno v tabulce v závislosti na průměru vlákna.

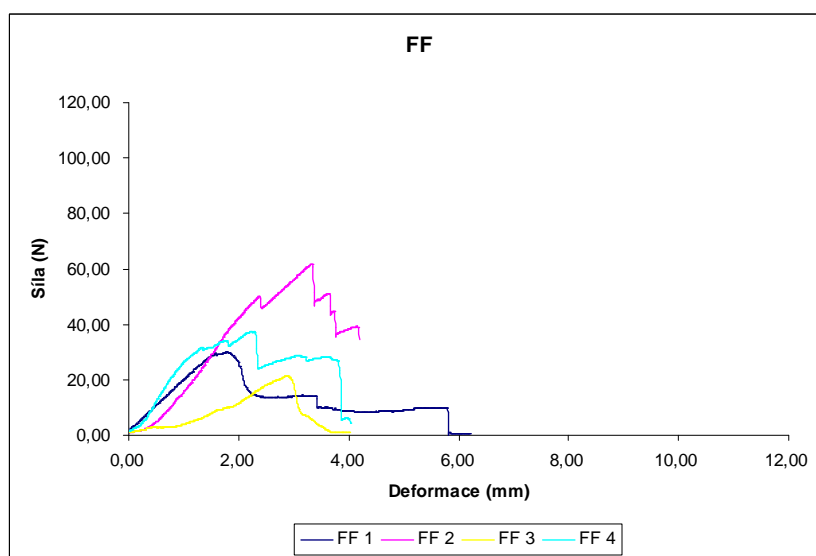
Vlákna byla vetknuta mezi sklíčidla vzdálená 24,2 mm. Rychlost posunu příčnicku byla stanovena mezi 4-140 mm/min. Počítačem doladěná rychlost dosahovala 20 mm/min.

Pevnost v tahu byla zkoušena vždy na 10 vláknech. V následující tabulce jsou uvedené výsledky vláken, které bylo možné deklarovat grafickým průběhem tahové zkoušky.

### **4. Tahové pevnosti syntetických vláken**

Vláknó č.1	síla v N	napětí v MPa	deformace v mm ve vrcholu křivky	protažení v mm
FF č.1	29,60		1,90	5,80
č.2	61,91		3,55	4,96
č.3	21,14		3,02	3,89
č.4	28,30		2,20	4,02
průměr	35,23	704,0	2,66	4,6

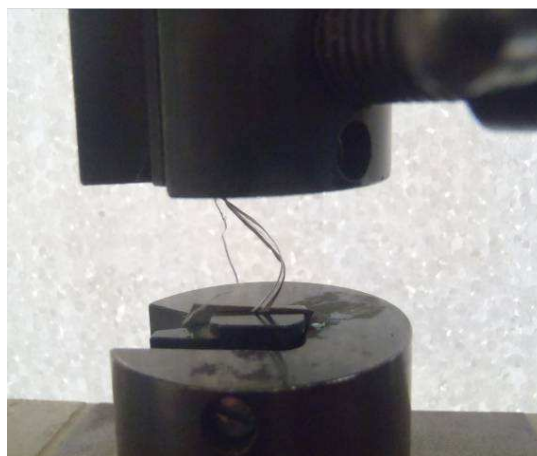
Graf.1



Tvar křivky stoupá pod úhlem  $45^\circ$  a po dosažení vrcholu prudce klesá bez protažení. U vlákna FF dochází při jeho porušení k dalšímu rozvrstvení na dílčí vlákna - viz. obr. 2. Napětí v tahu dosahuje v průměru 700 MPa.



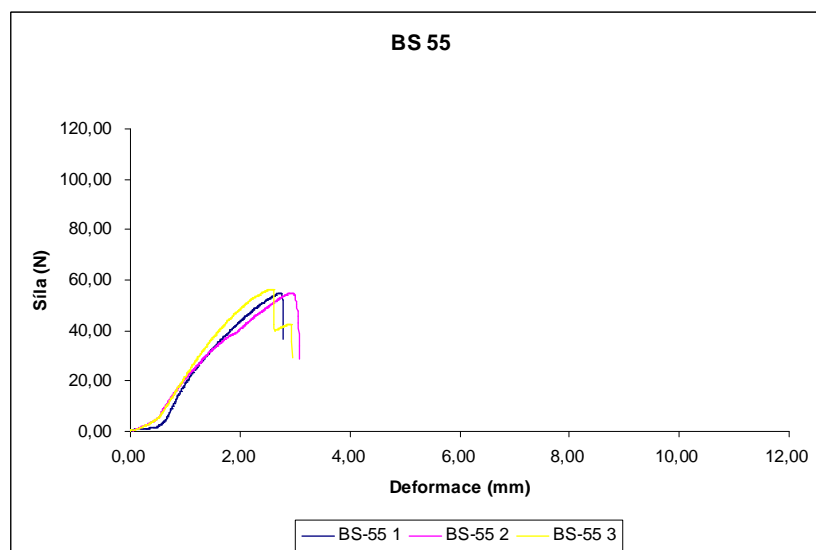
Obr.1 Vlákno Forta Ferro



Obr.2 Vlákno FF po porušení

Vlákno č.2	síla v N	napětí v MPa	deformace v m
BS 55 č.1	54,77		2,74
č.2	54,80		2,94
č.3	56,52		2,50
průměr	55,36	599,0	2,72

Graf.č.2



Vlákno BS o délce 55 mm vykazuje stoupání v úhlu 45-49° a po dosažení maximální síly dojde k porušení vlákna jeho rozvlákněním. Napětí v tahu dosahuje 600 MPa.



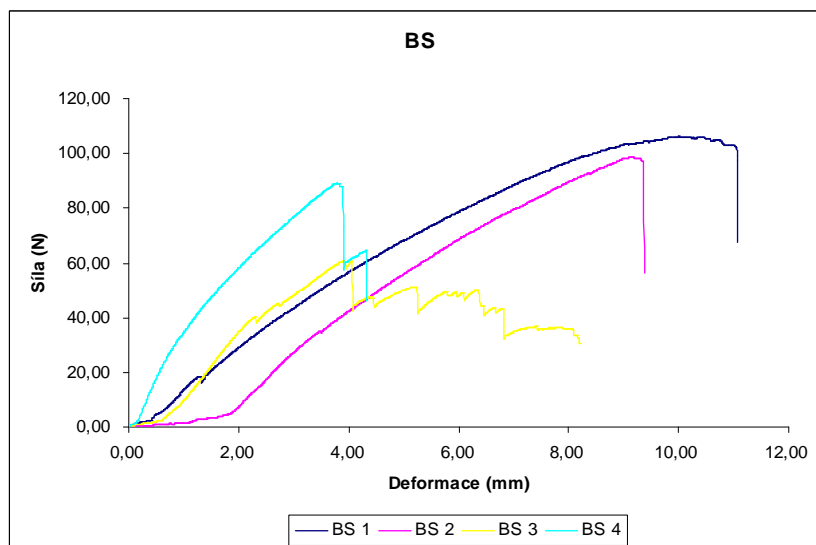
Obr.3 Vlákno Bene Steel



Obr.4 Vlákno BS po porušení tahem

Vlákno č.3	síla v N	napětí v MPa	deformace v mm
BS 110 č.1	106,00		11,20
č.2	99,00		9,38
č.3	60,58		8,20
č.4	84,52		4,32
průměr	87,00	870,00	8,27

Graf.3



Vlákna BS s délkou 110 mm dosahují vysokých tahových pevností 80-100 N a napětí v tahu dosahuje v průměru 870 MPa. Křivka má náběh 35-45° se značným protažením až 10 mm. Po dosažení maximální síly dojde k porušení vlákna a k jeho rozvláknění.



Obr.5 Vlákno Bene Steel 110

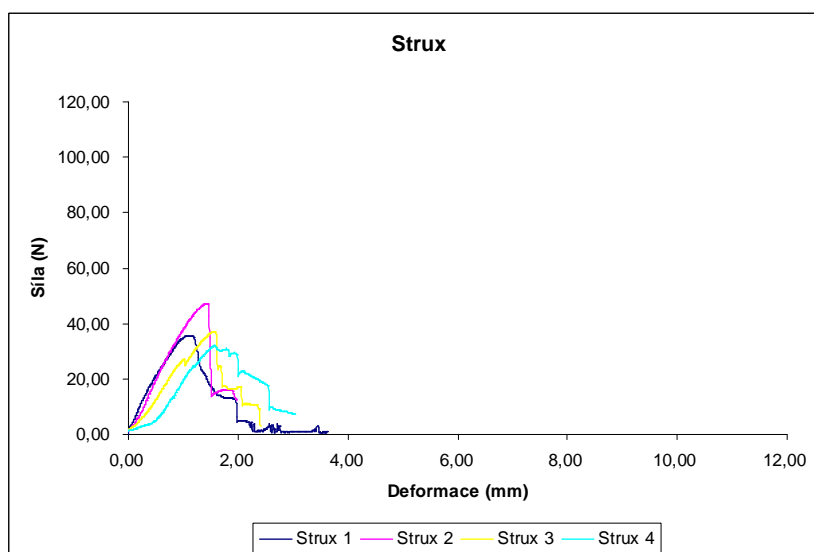


Obr.6 Porušení vlákna BS 110 tahem



Vlákno č.4	síla v N	napětí v Mpa	deformace v mm
SRUX č.1	35,38		1,75
č.2	47,35		1,63
č.3	36,98		1,85
č.4	31,99		1,98
průměr	37,92	263,0	1,80

Graf.č.4



Vlákna STRUX jsou vyráběné jednovláknitá plochá s délkou 40 mm. Tvar křivky odpovídá strmému stoupání v úhlu  $50^\circ$  a po dosažení maximální síly dosáhne napětí ve vlákne 40 MPa a následně dojde k jejich rozvršení a ztrátě pevnosti.



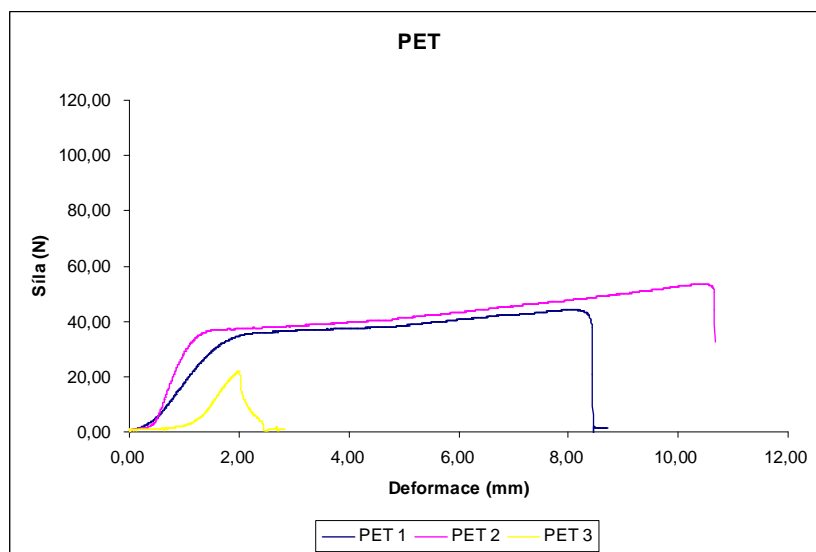
Obr.7 Vlákno STRUX



Obr.8 Vlákno D po porušení tahem

Vlákno č.5	síla v N	napětí v MPa	deformace v mm	protažení v mm
PET č.1	44,13		2,15	8,32
č.2	53,63		1,35	10,42
průměr	48,88	375,0	1,75	9,37

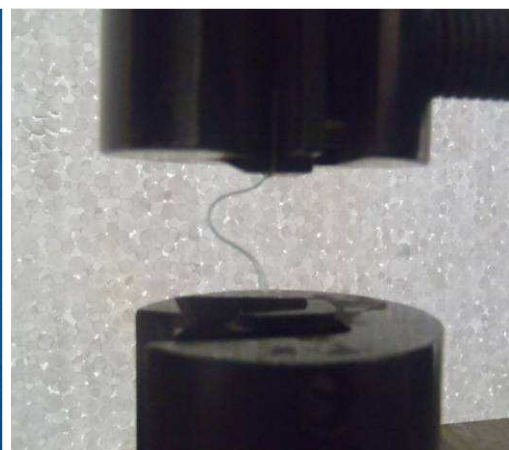
Graf č. 5



Vlákna PET vyráběná z použitých PET lahví pomocí řezacího zařízení dosahují shodné parametry o průměru 0,13 mm. Tahové pevnosti charakterizuje grafický průběh s náběhem křivky pod úhlem 45-50° do hodnoty tahové síly 40 N, s deformací do 2 mm a následným protažením vlákna až do 10 mm při malém nárůstu síly.



Obr.č.9 Vlákna PET



Obr.10 Vlákno PET porušené tahem

## 5. Komentář k výsledkům

Pevnost vláken v tahu je vyjádřena silou a deformací, kterou vlákna jsou schopna přenést před porušením. Deformace se projeví tvarem křivky, jejím sklonem a případně následným protažením vlákna. Napětí v tahu je vypočteno ze získaných hodnot dosažené síly a měřením a výpočtem stanoveného průměru vláken.

Na grafech odolnosti zkoušených vláken jsou znázorněny tvary tahových křivek, které charakterizují jednotlivá vlákna. Použitá vlákna Forta Ferro, Bene Steel a STRUX se vyznačují strmým náběhem tahové křivky a po dosažení maximální tahové síly dochází k jejich porušení. U vláken PET dojde po dosažení 40 N k deformaci do 2 mm a k následnému protažení až na 10 mm.

Znalost deformačních charakteristik polymerových vláken je nutná pro ovlivnění přetvárných vlastností vláknobetonů.

## Literatura

- [1] Vodička J., Výborný J., Hanzlová H.: Vliv různých typů syntetických vláken na duktilitu vláknobetonu vyrobeného s využitím betonového recyklátu. Sborník RECYCLING 2011, Brno 2011, str. 38-43, IBSN 978-80-214-4253-5.
- [2] Lukš J., Vodička J., Krátký.: Mechanické vlastnosti vláken z odpadových PET lahví zakotvených v cementové matrici. Sborník 14. Mezinárodní konference- Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky, str.111-116, IBSN 978-8087397-02-2.
- [3] Thanasak Wongtanakitchareon, Antonie E. Naaman. Early age bond strength development of fibers in FRC composites. Sborník 6th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concrete-BEFIB 2004, Varenna, Italy

## Kontakt

Ing. Jiří Lukš, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, FAST, katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, L. Poděštné 1875, Ostrava – Poruba, e-mail: jiri.luks@vsb.cz

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## MERANIE NAPÄTÍ NA OCEĽOVÝCH KONŠTRUKCIÁCH RÔZNYMI TYPMI SNÍMAČOV.

## STRESS LEVEL MEASUREMENTS ON THE STEEL STRUCTURES WITH DIFFERENT TYPES OF STRAIN GAGES

**Martin Magura, Tomáš Klas**

STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra kovových a  
drevených konštrukcií

***Anotace:***

*V stavebnej praxi veľmi často vzniká potreba sledovania napätosti konštrukcie pri rôznych rekonštrukciách alebo sanáciach. Ďalej sa meranie napätí využíva pri analýze a hľadaní prídavných zaťažovacích účinkov na ktoré konštrukcie neboli dimenzované. Obzvlášť náročná je táto úloha v teréne, kde je meracia sústava vystavovaná extrémnym podmienkam, ktoré sú oproti laboratórnym diametrálne odlišné. Pre dosiahnutie relevantných výsledkov je nutná správna voľba meracích snímačov, ale aj kvalitné prevedenie aplikácie.*

***Annotation:***

*In structural engineering, it is very often need to monitor the tension in the structures by various reconstructios. Measurement of strain is used by the analysis of additional load effects on structures that were not designed. Particularly challenging is the task in the field, where the measuring system is exposed to extreme conditions that are vastly different compared to the laboratory. To achieve relevant results should be the right choice of sensors, but also quality design applications.*

***Klíčová slova:*** experimentálne overovanie, tenzometer, tenzometrické meranie

***Keywords:*** experimentl verification, strain-gage, strain-gage measurement

## 1. Úvod do problematiky merania napätosti ocel'ových konštrukcií

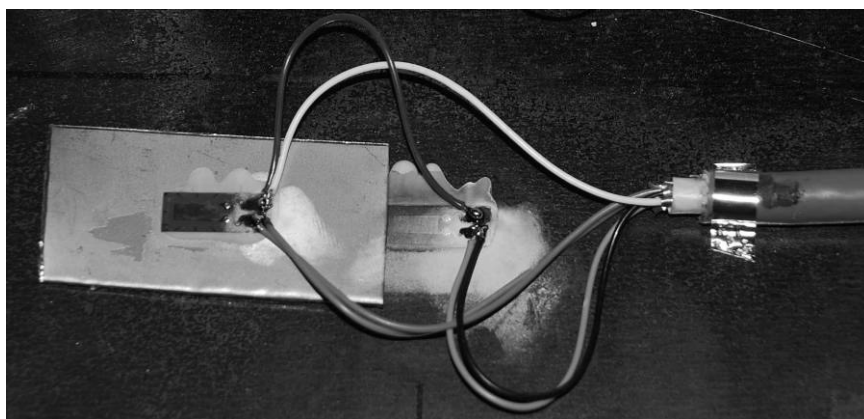
Katedra kovových a drevených konštrukcií vykonáva mnohé experimentálne práce vo svojich laboratóriách či v teréne. Jednou z oblastí ktorej sa venuje je diagnostika a merania na tranzitnom plynovode. V drvivej väčšine sa na všetky merania využívali fóliové odporové tenzometre lepené na konštrukciu spolu s kompenzačnými tenzometrami. V laboratórnych krátkodobých meraniach tieto snímače vykazovali dobré a použiteľné výsledky. Pri dlhodobějších meraniach, alebo pri meraniach v terénnych podmienkach bola neistota meraní vyššia, preto vyvstala potreba nájsť vhodný snímač, ktorý by odolával extrémnym podmienkam ako je meranie napätostí potrubí priamo v teréne pod zemou. Overovaná je splahlivosť troch typov snímačov – fóliové odporové (HBM), magneto-elastické (Slovenská akadémia vied) a strunové snímače (Geokon).

## 2. Experimentálne overenie funkčnosti snímačov

### 2.1. Snímače

Inštalované boli tri typy snímačov:

- fóliové odporové 1-LY61-6/120 od firmy HBM (obr.1) lepené na konštrukciu pomocou epoxidového lepidla. Snímače sú aplikované spolu s kompenzačnými, ktoré eliminujú prídavné napätia od vplyvu teploty. Zapojenie je riešené do polomostu.

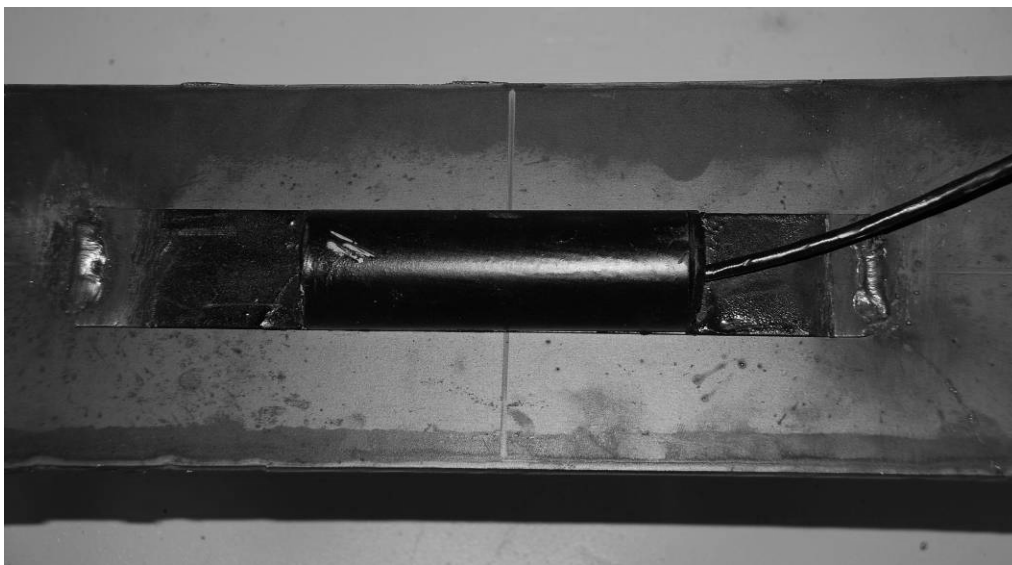


Obr. 1.: Fóliový snímač s kompenzačným

- Magneto-elastický typ snímača (obr.2), ktorý bol vyvinutý na SAV v Bratislave.

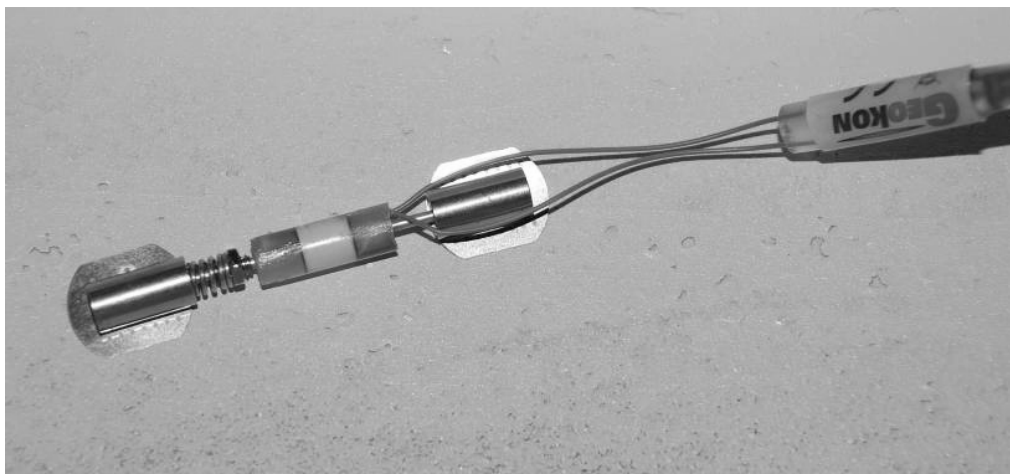
Hlavnou výhodou snímača pomerných pretvorení podľa vynálezu je jeho vysoká linearita, teplotná nezávislosť a odolnosť proti vlhkému prostrediu. Jeho výstupný signál je o niekoľko rádov vyšší ako výstupný signál odporových tenzometrov. Vďaka tomu sa znižuje náročnosť na zosilňovanie a úpravu výstupného signálu na ďalšie spracovanie a vyhodnocovanie, čo sa najviac oceňuje pri inštalácii a meraniach v náročných podmienkach a ťažko prístupných priestoroch.

Konštrukčné riešenie snímača podľa vynálezu má mať vysokú odolnosť proti vplyvom prostredia. Vytváraním viacsnímačových meracích uzlov meranie umožňuje monitorovať správanie sa prakticky ľubovoľného počtu sledovaných miest.



*Obr. 2.: Magneto-elastický snímač*

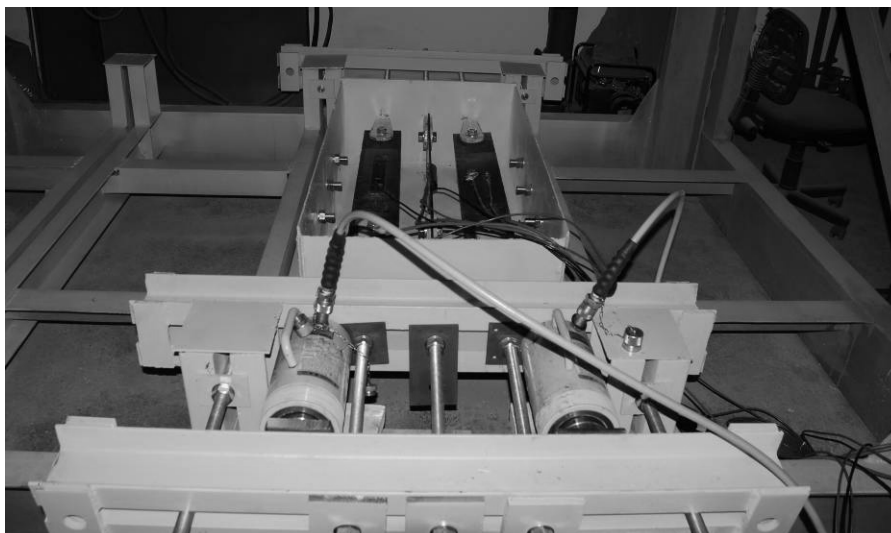
- Strunové (frekvenčné) snímače série 4100 od firmy Geokon (Obr.3). Snímač pracuje na základe zmeny frekvencie vibrácie snímacieho drátiku. Frekvencia sa mení na základy napnutia drátiku medzi podperami snímača, ktoré sú bodovo privarené priamo na konštrukciu. V snímači je priamo zabudovaný teplomer meranej konštrukcie (jej blízkeho okolia).



*Obr. 3.: Strunový snímač*

## **2.2. Laboratorne skúšky snímačov**

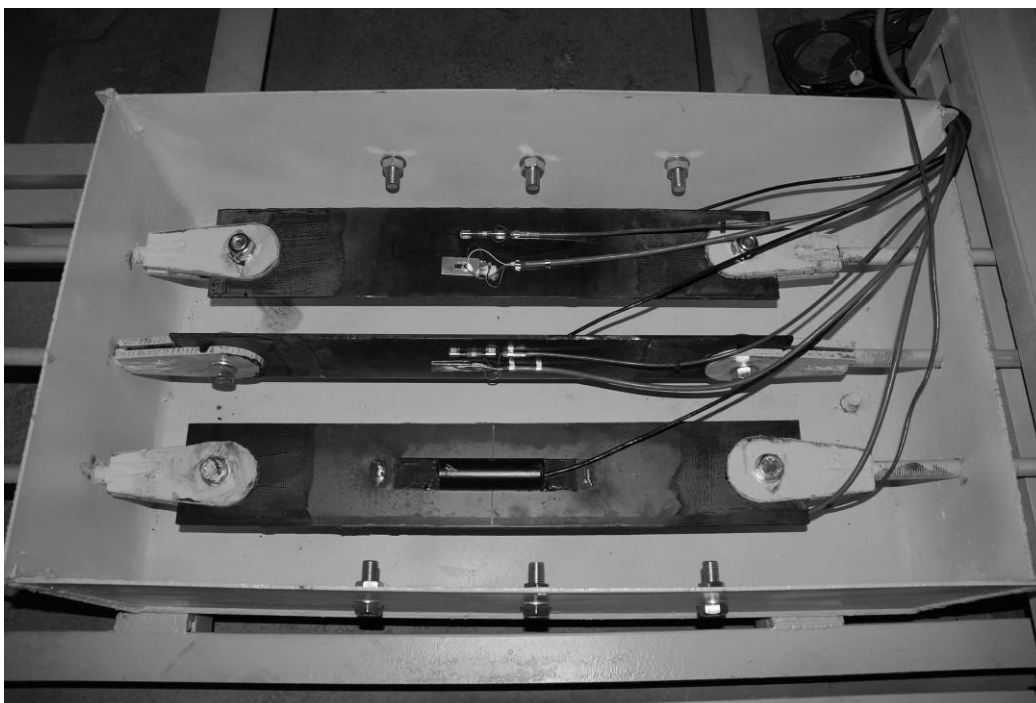
Úlohou laboratorneho experimentu je overiť zhodnosť nameraných hodnôt z troch typov snímačov pri troch smeroch pôsobenia zemného tlaku na snímače v zemine rôznych vlhkostných pomerov za predpokladu rovnakého napätia v meranej konštrukcii. Na meranie bola zostrojená zaťažovacia stolica (obr. 4).



*Obr. 4.: Zaťažovacia stolica*



Súčasťou zaťažovacieho zariadenia je aj vodotesná vanička (obr.5), ktorá bude zasypaná zeminou a budú v nej menené vlhkosťné pomery prostredia. Tri vzorky z oceľového plechu hr. 6mm sú čapovo (kĺbovo) pripojené na ťahadlá z vysokopevnostných závitových tyčí M24, ktoré sú zachytené do priečnikov – pevného a posuvného. Polohu posuvného priečnika je možné meniť pomocou dvojice hydraulických lisov a elektricky riadeného čerpadla tak, že vo všetkých vzorkách sa mení napätie rovnomerne. Posuvný priečnik je možné zastabilizovať v určitej polohe a tak vytvoriť konštantné predpätie vzoriek. Vzorky sú pootočené do rôznych polôh, aby po zasypaní zeminou bol simulovaný zemný tlak na snímače z rôznych smerov.



*Obr. 5.: Vanička so vzorkami*

Meranie bolo spustené v mesiaci júl 2011 a predpokladaný termín ukončenia je september 2012, kedy budú aj výsledky vyhodnocované. Úlohou experimentu je overiť zhodnosť nameraných hodnôt z troch typov snímačov pri troch smeroch pôsobenia zemného tlaku na snímače v zemine rôznych vlhkosťných pomerov za predpokladu rovnakého napätia v meranej konštrukcii.

### 2.3. Terénne skúšky snímačov

V lokalite Posádka, okres Hlohovec, boli na I., II, a III., línii prepravného plynovodu inštalované 3 druhy snímačov v deviatich sondách. V každej sonde sa nachádzajú merané miesta na dvanástej hodine (horná hrana potrubia) a na deviatej hodine ( bočná hrana potrubia) (obr.5). Koncom októbra 2010 bolo spolu inštalovaných 18 snímačov z každého druhu. Kabeláž snímačov je vyvedená do odčítavacích stĺpikov (obr. 6,7). Po inštalácii boli snímače dôkladne zaizolované proti pôsobeniu zemnej vlhkosti špeciálnou dvojjazdkovou hydroizoláciou Protegol.

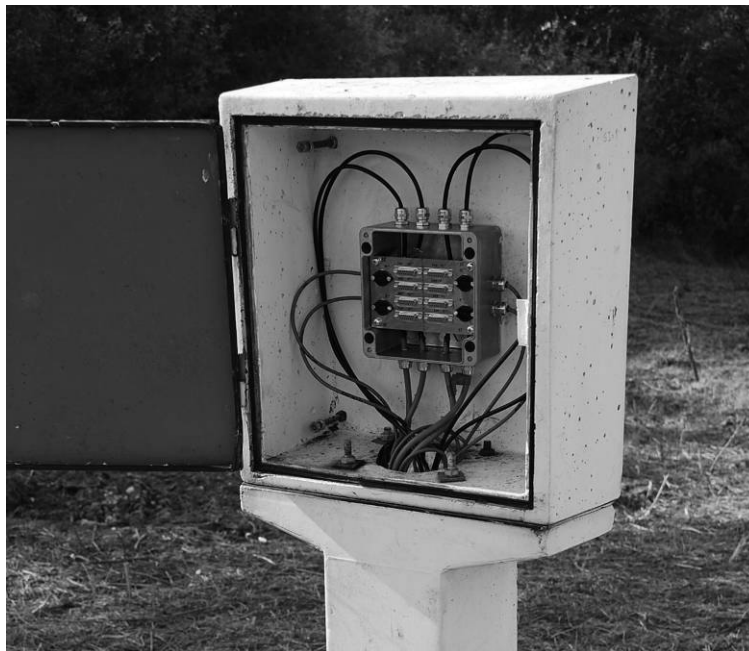
Odčítavanie meraných hodnôt v prvých šiestich mesiacoch prebiehalo s frekvenciou jeden krát týždenne. V súčasnej dobe sa odčítava priemerne s frekvenciou 2 krát mesačne. (obr. 9 až 12).



*Obr. 6.: Rozmiestnenie snímačov v sonde*

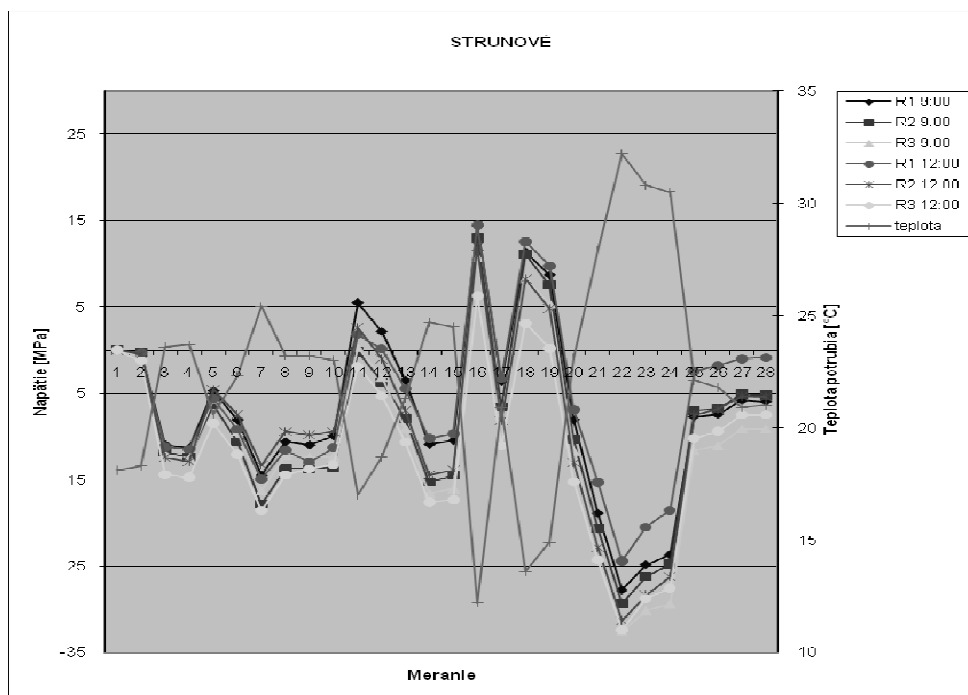


*Obr. 7.: Snímače s vyvedenou kabelážou do meracieho stĺpika*

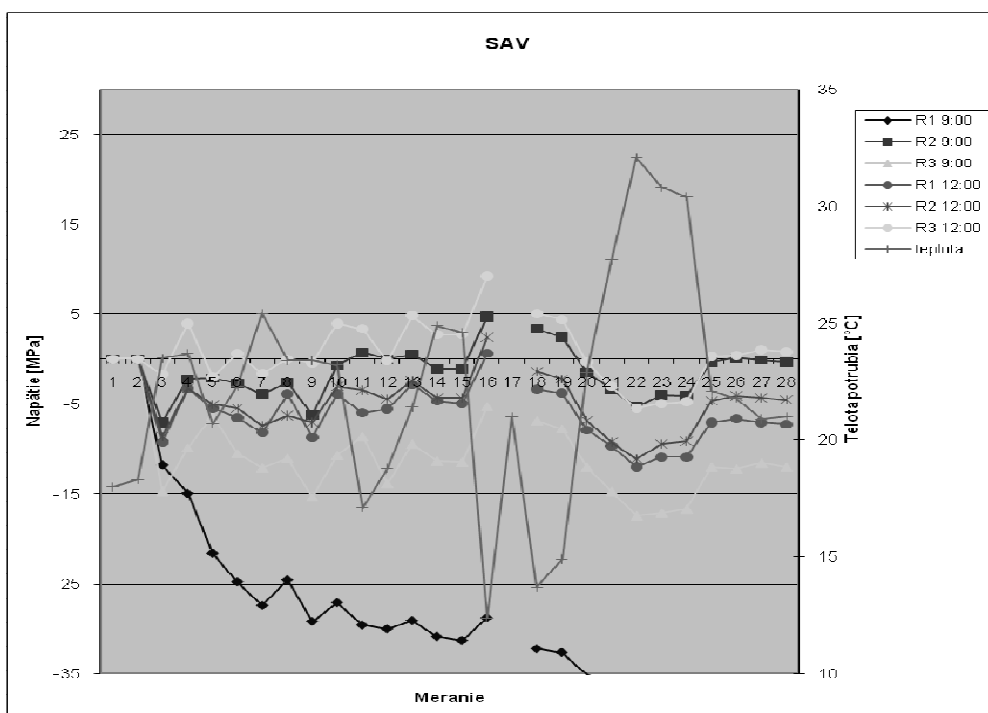


*Obr. 8.: Odčítavací stĺpik*

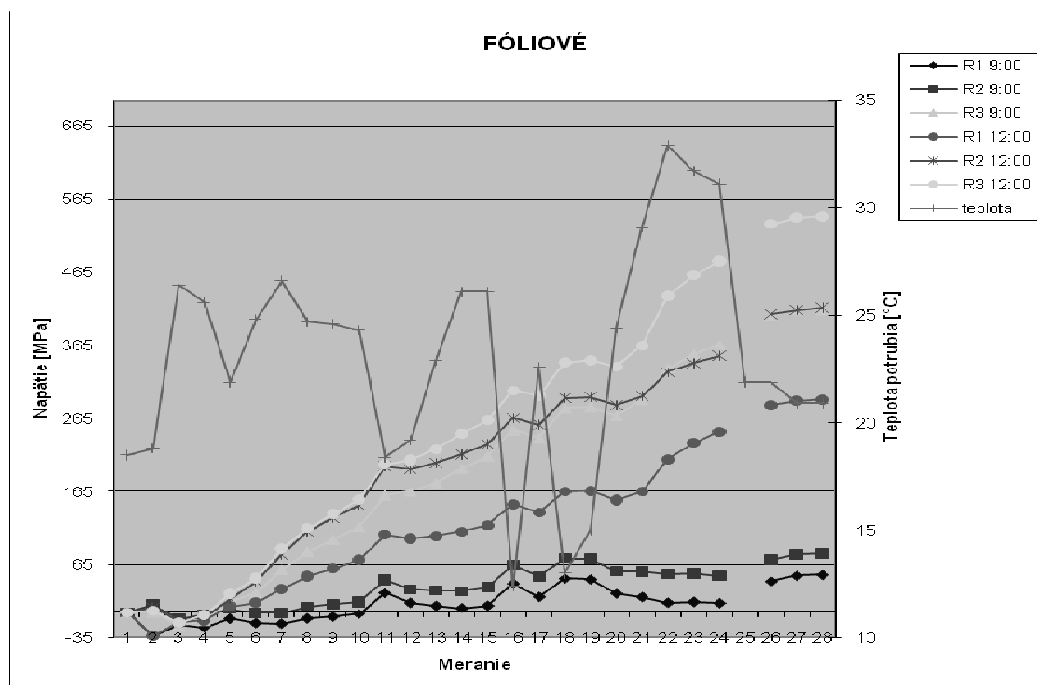
Pred samotným vyhodnotením meraní budú magnetoelastické snímače oklibrované. Ďalej budú odpočítané prídavky napätí od teploty pri hodnotách nameraných strunovými a magnetoelastickými snímačmi. Plánované ukončenie experimentu bude v septembri 2012.



Obr. 9.: Namerané hodnoty strunovými snímači



Obr. 10.: Hodnoty namerané magnetoelastickými snímači



Obr. 11.: Hodnoty namerané fóliovými snímačmi

### 3. Záver

Terénne a laboratórne skúšky troch druhov snímačov majú za úlohu určiť, ktorý z nich je najvhodnejší na dlhodobé merania pod zemou. Každý z testovaných snímačov má svoje výhody, či nevýhody. Pri fóliových je veľkou výhodou jednoduchá aplikácia viac-menej bez použitia špeciálnych nástrojov. Pri dlhodobých meraniach sa začína objavovať neistota merania, ktorá je spôsobená vnikajúcou vlhkosťou do kabeláže.

Magnetoelastické snímače majú pomerne jednoduchú montáž bez použitia špeciálnych prístrojov, sú mechanicky odolné. Na interpretáciu výsledkov je nutná kalibrácia každej série snímačov.

Montáž strunových snímačov je obtiažnejšia a je k nej potreba pomerne drahé technické vybavenie. Výhodou sú relatívne stabilné výsledky, mechanická odolnosť voči zemnému tlaku a vlhkosti.

Voľba správneho spôsobu merania a meracej aparatury vyžaduje mnohé skúsenosti a teoretické vedomosti, ktoré sa najlepšie získavajú experimentami.

## **Kontakt**

Ing. Martin Magura, Ph.D., tel: 00421 592 74378, e-mail: martin.magura@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

Ing. Tomáš Klas, Ph.D., tel: 00421 592 74378, e-mail: martin.magura@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

**EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ DYNAMICKÝCH  
CHARAKTERISTIK MOSTU PRO POSOUZENÍ  
ÚČINKŮ ODSTŘELŮ V BLÍZKÉM LOMU**

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DYNAMIC  
CHARACTERISTICS OF BRIDGE  
FOR ASSESSMENT OF BLAST EFFECTS  
IN NEIGHBOURING QUARRY**

**Daniel Makovička, Jaromír Král, Ivo Šimůnek**

České vysoké učení technické v Praze, Kloknerův ústav

***Anotace:***

*Cílem příspěvku je porovnání výsledků měření charakteristik kmitání části mostní konstrukce při intenzitně nízkém buzení, při buzení raketovými motory a při buzení odstřelem horniny v lomu ve vzdálenosti 750 m od mostu. Ekvivalentní statický výpočet je použit pro zjednodušený výpočet vnitřních sil od účinků technické seizmicity, vybuzené odstřely.*

***Annotation:***

*The goal of paper is comparison of measurement results of vibration characteristics of bridge structure part under low intensity excitation, rocket engine excitation and rock blast in neighbouring quarry in the vicinity of 750 m. Equivalent static analysis is used for approximate calculation of internal forces excited by technical seismicity due to the blasting.*

***Klíčová slova:*** *Most, dynamické charakteristiky, technická seizmicita, odstřel, ekvivalentní statický výpočet*

***Keywords:*** *Bridge, Dynamic characteristics, Technical seismicity, Blast, Equivalent static analysis*

## 1. Úvod

Řešení odezvy konstrukce na účinky technické seizmicity bylo provedeno pro dokončovaný segmentový trémový most o deseti polích s rozpětím polí 36 m, 8×48 m a 36 m nad obcí Prackovice nad Labem (dále jen most), jehož výstavbu zajišťovala firma SMP CZ a.s., Praha a projektantem byl Pragoprojekt a.s., Praha. Konstrukce mostovky je komůrková. Na tomto úseku dálnice D8 se staví dvojice mostů a v době měření byl před dokončením levý most. Most je v oblouku, ve vodorovné rovině je střední poloměr budoucí dvojice mostů 1 km. Výška pilířů se po délce mostu mění. Nejdelší pilíře mostu 4L a 5L jsou přibližně 20,2 m vysoké. Na mostě v době měření dynamických charakteristik nebylo položeno vozovkové souvrství a na konzolách mostu zčásti namontovány římsy. Fotografie z doby měření je na obr. 1



*Obr. 1.: Pohled na rozestavěný most.*

Pro posouzení dynamické odezvy mostní konstrukce na účinky odstřelů v lomu bylo předpokládáno použití metody ekvivalentního statického výpočtu [1], [2], tak aby alespoň zjednodušeně bylo možné stanovit vnitřní síly v mostní konstrukci od technické seizmicity, vyvolané odstřely horniny v lomu a ty pak



posoudit v kombinaci [3], [4] spolu s dalším zatíženími, které na most působí. Pro tento účel bylo nejprve nutné stanovit vlastní frekvence a tvary kmitání rozestavěné mostní konstrukce, protože dynamický výpočet mostu nebyl k dispozici. Pro stanovení těchto dynamických charakteristik byly použity experimentální postupy a to ve třech možných variantách: při nízkém buzení, při impulzním buzení raketovými motory a konečně při měření účinků zkušebního odstřelu v lomu.

## 2. Modální charakteristiky mostu

### 2.1. Informativní zkouška při nízkém buzení

Cílem informativní zkoušky byl první odhad nejnižších vlastních frekvencí mostu a odpovídajících tvarů kmitání. Měření odezvy na seismický neklid a účinky větru bylo provedeno v poli mostu s nejvyššími pilíři. Dvojice snímačů zrychlení orientovaných ve směru vertikálním a horizontálním příčným byly umístovány nad styk stěn komory mostovky a mostní desky. Záznamy byly vyhodnoceny metodou operativní modální analýzy OMA (Operational Modal Analysis). Pro ověření výsledků byl použit kontrolní postup, založený na měření autospektru kmitání ve vybraných řezech pole a nad pilíři.

Informativní zkouška umožnila zjistit nejnižší vlastní frekvence mostu a přinesla základní informace o odpovídajících tvarech kmitání (vertikální, horizontální, torzní).

### 2.2. Měření impulzní metodou

Ke kontrolovanému rozkmitání mostu byly použity impulzní raketové motory (IRM). Instalaci a odpálení raketových motorů zajistila firma Explosia a.s. Pardubice. Pro tři po sobě následující zkoušky byly použity motory s tahem 18 kN v těchto konfiguracích:

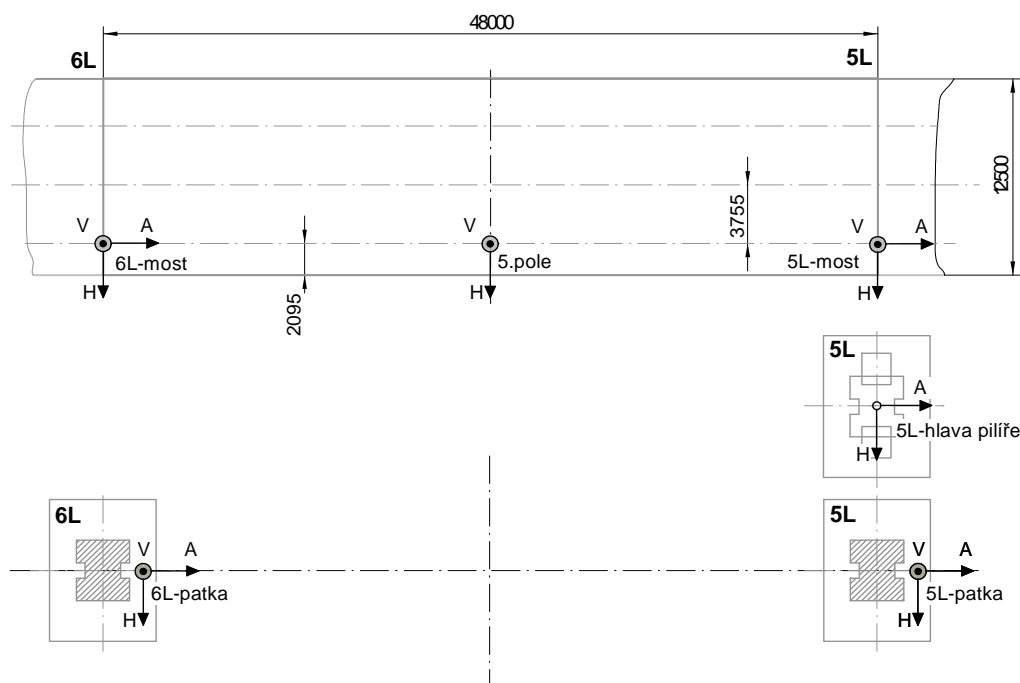
- jeden motor orientovaný vodorovně na mostovce nad pilířem 5L;
- tři motory současně orientované vodorovně nad pilíři 4L, 5L a 6L;
- jeden motor svisle ve středu 5. pole nad stěnou komory.

Odezva mostu po odpálení raketových motorů byla sledována dvěma skupinami snímačů zrychlení. Místa měření na mostovce ve vybraném poli byla zvolena ve čtvrtinách a polovině rozpětí a nad pilíři. Kromě těchto stanovišť bylo měřeno také na základové patce a na hlavě vybraných pilířů.

Při této zkoušce byly ověřeny výsledky informativní zkoušky při větších amplitudách kmitání. Dále byly zjištěny maximální hodnoty odezvy (zrychlení) pro výše uvedené konfigurace zatížení při nejnižších vlastních frekvencích ve svislém a obou vodorovných směrech. Pro nejnižší vlastní frekvence byly stanoveny velikosti logaritmického dekrementu útlumu.

### 2.3. Měření odezvy mostu při odstřelu v lomu

Obdobně jako v předchozích případech bylo provedeno měření odezvy mostu ve zrychleních kmitání [2] a variantně byly použity také snímače rychlosti kmitání, aby bylo možné navýšit počet měřených stanovišť. Měření účinků odstřelů bylo provedeno na dvou nejvyšších pilířích (5L a 6L) a v poli mostovky mezi nimi. Nad pilíře byla umístěna trojice snímačů zrychlení, orientovaných vertikálně (V), horizontálně příčně (H) a axiálně (A) k ose mostovky. V polích mostovky a na základových patkách byly použity dvojice snímačů ve směrech V a H. Místa měření jsou zakreslena na obr. 2.



Obr. 2.: Místa měření při odstřelu v lomu

Měření účinků odstřelů na mostní konstrukci doplňovala nezávislá měření specializovaných firem, monitorujících účinky odstřelů na vzdálené patky pilířů a terén v okolí mostní konstrukce.

### 2.4. Porovnání nejnižších naměřených frekvencí a tvarů kmitání

Z následující tabulky je patrné porovnání naměřených vlastních frekvencí jednotlivými snímači ve směrech V, H a A třemi různými postupy.

Tři nejnižší vlastní frekvence přibližně (podle modální analýzy) na 1,26 Hz, 1,66 Hz a 2,09 Hz odpovídají tvarům kmitání ve vodorovném směru.

První tvar představuje kmitání mostního nosníku jako celku na pružných pilířích přibližně ve vodorovném příčném směru (H) a druhý tvar stejné kmitání ve směru podélné osy mostu (A). Třetí tvar představuje ohybové kmitání mostního nosníku ve vodorovné rovině. Ve všech třech případech se současně s ohybem objevuje krouživé kmitání mostního nosníku.

Tabulka 1.: Dominantní naměřené vlastní frekvence [Hz]

Modální analýza	Raketové motory (vodorovně)				Odstřel v lomu		
	jeden motor		trojice motorů				
	V	H	V	H	V	H	A
1,26	1,25	1,25		1,25	1,25	1,22	1,25
1,66		1,63			1,63	1,63	
2,09		2,06			2,06	2,06	2,06
		2,50				2,53	2,56
2,85	2,88		2,88	2,88			
2,93	3,06		3,06		3,09		
	3,28	3,25		3,25	3,22	3,25	3,31
3,43			3,40		3,50		
3,80	3,65		3,75		3,75		
4,06		4,06		4,13		4,09	
4,21	4,19		4,19		4,13		4,13
			4,50		4,41		
4,59					4,63		
5,01		5,06	5,00				

Tvar na frekvenci 2,85 Hz je nejnižší ohybový tvar kmitání pole ve svislé rovině (V). Vyskytuje se i na frekvencích 2,93 Hz, 3,28 Hz, 3,43 Hz a 3,80 Hz v kombinaci s krouživým kmitáním nebo ohybovým kmitáním ve vodorovné rovině (H).

Tvar na frekvenci 4,06 Hz představuje ohybové kmitání mostního nosníku ve vodorovném směru (H).

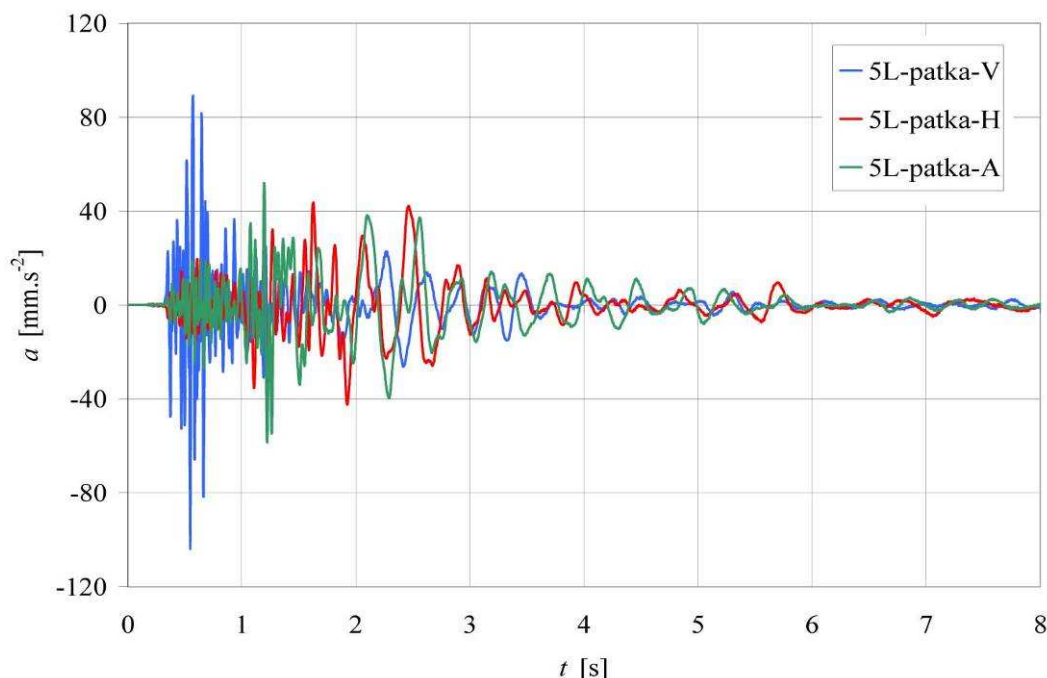
Vyšší tvary kmitání, počínaje frekvencí 4,21 Hz, jsou relativně velmi složité kombinace vyšších ohybových a krouživých tvarů.

### 3. Zatížení mostu technickou seizmicitou

Při zatížení mostní konstrukce technickou seizmicitou, působenou odstřely v kamenolomu, jsou z hlediska posouzení této konstrukce rozhodující dynamické vlastnosti mostní konstrukce. Jedná se především o rozdělení základních vlastních frekvencí na frekvenční ose a jim odpovídající vlastní tvar kmitání mostní konstrukce. Toto frekvenční naladění mostu je závislé na tuhosti

mostní konstrukce a jeho hmotnosti. Dalším významným parametrem je útlum kmitání mostu na jednotlivých vlastních frekvencích. Z hlediska zatížení mostu technickou seismicitou od odstřelu v kamenolomu jsou významné zejména základní ohybové a kroučící tvary kmitání konstrukce mostního komůrkového průřezu a jeho pilířů a to především ve vertikální příčné rovině, kolmo na podélnou osu mostu.

Další rozhodující charakteristikou je úroveň a frekvenční složení kmitání mostu při odstřelu v lomu. V jednotlivých místech na mostě byla měřena zrychlení nebo rychlosti kmitání. Druhá veličina byla dopočtena numerickou derivací nebo integrací. Špičkové naměřené a z nich dopočtené veličiny kmitání ve zrychleních jsou pro jednotlivé části mostu uvedeny v tabulce 2. Extrémy, uvedené v tabulce tak nutně nemusí příslušet stejnému časovému okamžiku a stejné frekvenci kmitání. Na počátku zatížení mostní konstrukce odstřelem z lomu se na záznamech z měření na mostě vyskytují prakticky všechny vybuzené frekvenční složky a odezva dosahuje maximální hodnoty krátce po odstřelu. V žádném případě nejde v okolí maxima odezvy o tlumené harmonické kmitání na jedné vlastní frekvenci – viz časové průběhy na obr. 3. Dominují složky s nejmenší frekvencí a tlumením. V daném případě je to ve všech měřených místech vlastní frekvence 1,22 Hz (tabulka 1), která odpovídá ohybovému kroučivému kmitání mostu v horizontální rovině v příčném směru H.



Obr. 3.: Časový průběh kmitání na patce pilíře 5L

Tabulka 2.: Naměřená špičková zrychlení [ $\text{mm/s}^2$ ] ve směrech kmitání

Stanoviště / Směr	V	H	A
	max / min	max / min	max / min
Patka pilíře 5L	89 / -104	44 / -42	52 / -59
Patka pilíře 6L	62 / -68	52 / -43	46 / -61
Hlava pilíře 5L	-	133 / -92,6	22,2 / -25,1
Mostovka nad pilířem 5L	143 / -185	120 / -134	47 / -52
Mostovka nad pilířem 6L	58 / -64	80 / -104	42 / -38
Mostovka v poli 5L - 6L	24,5 / -26,8	130 / -112	-

#### 4. Ekvivalentní statický výpočet

Ekvivalentní statický výpočet je zjednodušený postup pro stanovení přibližné dynamické odezvy konstrukce jejím náhradním (ekvivalentním) statickým výpočtem, který předpokládá, že známe buzení mostu (ve zrychleních kmitání) na určité dominantní frekvenci buzení a dále, že známe spektrum vlastních frekvencí a tvarů kmitání mostu, včetně jejich tlumení. Ekvivalentní statický výpočet zjednodušuje spojitou soustavu konstrukce - základ - geologické prostředí na soustavu s konečným počtem stupňů volnosti. Dynamické charakteristiky odezvy (vnitřní síly a průhyby) pak stanovuje statickým výpočtem soustavy na statická zatížení, přenásobená dynamickým součinitelem. Tato metodika je použitelná podle nové normy ČSN EN 1998 [6], [7], ale byla možná i podle dřívější seismické normy ČSN 73 0036.

Příslušný  $i$ -tý dynamický součinitel  $n_{\text{dyn},i}$  pro  $i$ -tou frekvenci se stanoví z blízkosti dominantní frekvence buzení  $f_n$  na úrovni základové patky pilíře a příslušné vlastní frekvence  $f_{(i)}$  a jí odpovídajícího vlastního tvaru kmitání, zpravidla základního, charakteristického pro uvažovaný typ přetváření konstrukce (v ohybu a v kroucení). Indexy  $i$  a  $n$  pak odpovídají příslušnému směru kmitání a tvaru kmitání. Při označení naladění

$$b = f_n / f_{(i)} \quad (1)$$

je dynamický součinitel pro  $i$ -tou vlastní frekvenci a poměrný útlum  $D$  roven

$$n_{\text{dyn},i} = \frac{1}{\sqrt{(1-b^2)^2 + 4b^2D^2}} \quad (2)$$

Dominantní tvary kmitání mostu od odstřelu v lomu jsou:

- ohyb pilířů spolu s mostovkou v příčném směru ( $f_{(i)} = 1,22$  Hz);
- kroucení mostovky okolo podélné osy ( $f_{(i)} = 1,22$  Hz a 1,63 Hz);
- ohyb jednotlivých polí mostovky vertikálně ( $f_{(i)} = 2,85$  až 3,28 Hz).

Dynamický součinitel  $n_{\text{dyn},i}$  je tedy funkcí příslušné budicí frekvence a vlastní frekvence a také tlumení konstrukce. Norma ČSN 73 0040 [8] zavádí tuto veličinu formou seizmického součinitele (čl. 4.8.5) nebo přímo dynamického součinitele. Dominantní frekvence kmitání patky pilířů jsou přibližně v okolí 1,2 až 1,63 Hz. Použijme tedy odhadem frekvenci vynuceného kmitání  $f_i = 1,4$  Hz; pro dominantní vlastní frekvenci 1,22 Hz a útlum  $D = 1\%$  je dynamický součinitel podle vzorce (2) roven  $n_{\text{dyn},1,22 \text{ až } 1,63 \text{ Hz}} = 3,1$ . Podle [8] se pro vlastní frekvence okolo 1 Hz seizmický součinitel pohybuje v okolí 4. Je tedy zřejmé, že tento odhad je s ohledem na rozptyl naměřených hodnot vcelku velmi dobrý.

Pro vyšší vlastní frekvence vertikálního kmitání 2,85 Hz až 3,28 Hz je seizmický součinitel podle [8] přibližně v rozmezí 6 až 11. Přidržme se tedy pro dynamický součinitel střední hodnoty  $n_{\text{dyn},2,85 \text{ až } 3,28 \text{ Hz}} = 8,5$ .

Součinitel tvaru kmitů  $\eta_k$  stanovíme podle výsledků měření odezvy mostu při zatížení raketovými motory a sice z dominantních vlastních frekvencí a tvarů kmitání mostu. Tento součinitel je v kmitnách konstrukce roven:

$$\eta_k = 1.$$

V ostatních místech konstrukce je tento součinitel  $\eta_k < 1$ .

Ve shodě s ČSN EN 1998 [6] lze pro stanovení součinitele  $\eta_k$  uvažovat, že základní ohybový tvar kmitání pilířů lze přibližně vyjádřit jako lineárně rostoucí po výšce (ve skutečnosti je to parabolický průběh). Protože i základová patka kmitá je odhadnut tento součinitel tvaru kmitu na úrovni těžiště patky hodnotou 0,3. Pro pole mostovky lze přibližně nahradit tvar deformace mostovky ve vertikálním směru při tomto ohybovém tvaru statickou průhybovou čarou od spojitého rovnoměrného zatížení nebo zjednodušeně částí sinusoidy, při čemž maximální průhyb ve středu pole (v kmitně) je roven 1.

Ekvivalentní zatížení  $F_{ekv}$  je pak rovné součinu

$$F_{ekv} = a \cdot n_{\text{dyn},i} \cdot \vartheta \cdot m \quad (3)$$

kde  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] je zrychlení v příslušném směru,

$\vartheta \approx 1$  je vliv útlumu mostu (převzat z ČSN EN 1998 [6]),

$m$  je hmotnost příslušného prvku mostní konstrukce.

Jednotlivé průběhy vnitřních sil mohou v důsledku toho, že se jedná o kmitání nabývat střídavě + nebo - hodnotu. Protože se obvykle uvažují pouze základní případy kmitání konstrukce (základní tvary), mohou vyšší vlastní tvary způsobit, že maxima hodnot vnitřních sil a průhybů nejsou vždy jen v polovině rozpětí, nebo na koncích pilířů, ale mohou být i ve čtvrtině rozpětí (pro 2. vlastní ohybový tvar mostovky) nebo v  $n$ -tině rozpětí pro další vyšší vlastní tvary. Tyto vyšší vlastní tvary mají však nižší úroveň kmitání ve svých kmitnách (maxima výkmitů). Vyšší vlastní tvary těchto způsobů namáhání konstrukce (posuv, ohyb, kroucení) s ohledem na jejich menší podíl na výsledné odezvě jsou do výsledné odezvy vynuceného kmitání zpravidla zahrnuty zjednodušeně součinitelem 1,2. Tímto součinitelem je třeba přenásobit vypočtené hodnoty ekvivalentních zatěžovacích stavů.

Odezvu konstrukce  $S$  ve vnitřních silách a průhybech lze pro uvažovaný počet  $i$  ekvivalentních zatěžovacích stavů, odpovídajících dominantním tvarům kmitání, sčítat podle normy jako kvadráty pod odmocninou

$$S_{\text{celk}} = \sqrt{\sum_i S_i^2} \quad (4)$$

Výslednou odezvu  $S_{\text{celk}}$  z kombinace ekvivalentních zatěžovacích stavů od technické seizmicity je nutné pro posouzení dimenzování mostní konstrukce kombinace uvažovat v kombinaci s ostatními návrhovými zatíženími s příslušnými součiniteli kombinace podle návrhových Eurokódů [4], [5].

## 5. Závěr

Pro posuzování účinků technické seizmicity je v současnosti platná národní norma ČSN 73 0040 [8]. Pro účinky trhacích prací (tedy včetně odstřelů v lomech) lze účinky odstřelů posoudit podle rychlostního kritéria v této normě, která stupeň poškození konstrukce posuzuje informativně podle maximální rychlosti kmitání a její dominantní frekvenci.

Vhodnější postup je posuzování stavu konstrukce podle velikosti vnitřních sil, respektive podle kombinace vnitřních sil ze všech možných zatěžovacích stavů. V tomto smyslu ekvivalentní statický výpočet je vhodným nástrojem pro stanovení úrovně ekvivalentní statické odezvy na dynamické zatížení technickou seizmicitou.

Pro provedení výpočtu je nutné znát dynamické charakteristiky mostní konstrukce. Jedná se především o vlastní frekvence a tvary kmitání a dále vstupní veličiny, charakterizující intenzitu dynamického buzení. V našem případě byly experimentálně stanoveny vlastní frekvence a tvary kmitání třemi způsoby a jejich vzájemné porovnání přináší cenný odhad možné nepřesnosti jednotlivých použitých experimentálních postupů. Dalším vhodným parametrem intenzity buzení je zrychlení kmitání, které je úměrné silovému působení seizmického zatížení; i tato charakteristika byla stanovena měřením při provedení odstřelu v blízkém lomu. Výhodou je, že naměřené hodnoty lépe respektují místní podmínky než jejich třeba normový odhad.

Ekvivalentní statický výpočet na základě naměřených charakteristik posuzované konstrukce je svým způsobem zjednodušený dynamický výpočet. Pro most o více polích, jakým analyzovaná mostní konstrukce je, může ekvivalentní statický výpočet být mnohdy i přesnější než třeba 3-D, nebo 2-D dynamický výpočet celé konstrukce v závislosti na typu a velikosti konečných prvků, zavedení buzení konstrukce technickou seizmicitou, včetně nezbytných zjednodušení tohoto zatížení i konstrukce samé.

## Poděkování

Práce na této problematice vznikla za podpory firmy SMP CZ a.s. Praha a byla umožněna získáním řady poznatků při řešení grantového projektu GAČR: P105/11/1580 „Přechodová odezva konstrukcí při krátkodobém dynamickém nebo rázovém zatížení od seismických účinků a výbuchů“. Autoři si dovoluují touto cestou vyslovit sponzorské firmě i grantové agentuře za její podporu svůj dík.

## Literatura

- [1] MAKOVIČKA, D.: Odezva mostní konstrukce na seismické zatížení. Inženýrská mechanika, 3, 1996, No. 2, p. 63 - 70.
- [2] MAKOVIČKA, D., MAKOVIČKA, D.: Odezva konstrukcí na účinky technické seismicity), In: Betonové konstrukce v extrémních podmínkách, Praha, 2004, Česká betonářská společnost, p. 139 - 147, ISBN: 80-903501-0-0.
- [3] MAKOVIČKA, D., MAKOVIČKA, D.: Zásady hodnocení bezpečnosti a spolehlivosti konstrukce, In: Hodnocení bezpečnosti a spolehlivosti konstrukcí, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, 25.6.2008, Praha, kap.1, p. 1 - 20, ISBN: 978-80-01-04089-8
- [4] ČSN EN 1990 (73 0002) Eurokód – Zásady navrhování konstrukcí.
- [5] ČSN EN 1992 (73 1201) Eurokód 2 – Navrhování betonových konstrukcí.
- [6] ČSN EN 1998-1 (ČSN 73 0036): Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seismická zatížení a pravidla pro pozemní stavby.
- [7] ČSN EN 1998-2: 2005 (ČSN 73 0036): Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 2: Mosty.
- [8] ČSN 73 0040: Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva.

## Kontakt

Doc. Ing. Daniel Makovička, DrSc., tel: 00420 224 353 856, e-mail: daniel.makovicka@klok.cvut.cz, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6.

Ing. Jaromír Král, CSc., tel: 00420 224 353 544, e-mail: jaromir.kral@klok.cvut.cz, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6.

Ing. Ivo Šimůnek, CSc., tel: 00420 224 353 574, e-mail: ivo.simunek@klok.cvut.cz, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6.



**STUDIUM VLIVU PŘÍMĚSÍ DRUHÉHO DRUHU  
NA PARAMETRY CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ  
V RÁMCI PRAKTICKÉ VÝUKY NA ÚTHD,  
FAKULTY STAVEBNÍ VUT V BRNĚ**

**EFFECT STUDY OF TYPE II ADDITION  
ON CEMENT COMPOSITES PARAMETERS  
WITHIN THE PRACTICAL TEACHING AT THD,  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Tomáš Melichar, Jiří Bydžovský**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, ÚTHD,

***Anotace:***

*Článek pojednává o zařazení poměrně aktuálního tematického celku do praktické výuky předmětu "BJ56 – Vybrané statě z technologie stavebních hmot", který je vyučován na Ústavu technologie stavebních hmot a dílců (dále jen ÚTHD), Fakulty stavební v Brně v několika akreditovaných studijních programech.*

***Annotation:***

*The article discusses the inclusion of relatively current thematic unit in the practical teaching of the subject "BJ56 - Selected Topics in building materials technology", which is taught at the Institute of Technology building materials and components (hereinafter THD), Faculty of Civil Engineering in Brno in several accredited degree programs.*

***Klíčová slova:*** *praktická výuka, fakulta stavební, stavební materiály, cementové kompozity*

***Keywords:*** *practical teaching, faculty of civil engineering, building materials, cement composites*

## 1. Úvod

Předmět „BJ56“ je v současnosti na FAST ÚTHD vyučován třetím rokem a je zaměřen na vybrané tematické okruhy z oboru stavebních materiálů jako i technologií v návaznosti na aktuální trendy a vývoj situace jak v ČR tak i zahraničí, což je jedním ze základních předpokladů pro kvalitní výuku budoucích stavebních bakalářů a inženýrů a tedy i jejich uplatnění v praxi. Pozornost je zaměřena mimo jiné na odpadové hospodářství, druhotné suroviny, vedlejší energetické produkty atd.

Jedním z aktuálních témat, s kterým by měli být studenti materiálového inženýrství seznámeni jak na teoretické tak praktické úrovni je také problematika cementových kompozitů s matricí modifikovanou vhodnými typy příměsí. Snad nejnámějšími a nejvíce používanými v tomto ohledu jsou vysokoteplotní popílky a vysokopecní strusky. V poslední době dochází také k okrajovému využívání také popílku z fluidního spalování, který však pro zatím nalézá uplatnění spíše pro zásypy, stabilizace případně při výrobě pórobetonu.

## 2. Příměsí II druhu

Využívání příměsí II druhu (konkrétně vedlejších energetických produktů) v cementových kompozitech je poměrně známé a rozšířené cca 50 let. Výhody použití těchto příměsí spočívají především v jejich ceně ve srovnání s cementem (vyjma mikrosiliky a jiných specializovaných typů) a spotřebě vedlejších energetických produktů, které by v případě jejich nezužitkování zatěžovaly životní prostředí. Využití popílku do betonu definuje a specifikuje ČSN EN 450-1+A1. Dle této normy je příměs II druhu definována jako jemně zrnitý anorganický pucolánový nebo latentně hydraulický materiál, který se může přidávat do betonu za účelem zlepšení jeho určitých vlastností nebo docílení speciálních vlastností. Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty je pak definována v ČSN EN 15167-1. Termín „příměs II druhu“ je v tomto normativním dokumentu specifikován obdobně jako normy týkající se vysokoteplotního popílku. Aplikace fluidního popílku z hlediska stavebních účelů pak specifikuje ČSN P 72 2080, přičemž ustanovení týkající se fluidního popele a popílku pro výrobu maltovin předepisuje ČSN P 72 2081-13.

### 3. Aktuálnost řešené problematiky v návaznosti na výuku

Při dotazování studentů 4. ročníku v rámci výuky předmětu „BJ56“ bylo zjištěno, že tito jsou s problematikou příměsí II druhu používaných v cementových kompozitech seznámeni již z předchozích let studia, ovšem z důvodu rozšíření a zopakování v souvislosti se zpracováním jejich bakalářské práce, je tomuto tématu věnována potřebná pozornost, tak aby v BP byly experimenty metodicky správně provedeny a také následně vyhodnoceny. Jmenovitě jsou na ÚTHD prováděny experimenty se směsnými cementy, dále pak v s ohledem na trvanlivost cementových kompozitů obsahujících příměsí II druhu atd. Konkrétní zkoušky (v souladu s normami uvedenými v *kap. 4.*), které byly navrženy pro inovované cvičení předmětu BJ56, však v jiných předmětech zavedeny nejsou. S ohledem na časovou náročnost a prostoru ve cvičení byla pozornost soustředěna na provedení základních fyzikálně mechanických zkoušek cementových kompozitů s parciálně substituovanou pojivovou složkou. Tyto prováděné experimenty sloužily především k tomu, aby si studenti osvojili některé základní principy týkající se těchto materiálů, porovnali jejich přípravu a následné parametry s běžně využívanými stavebními hmotami.

### 4. Metodika řešení

Ve cvičení zaměřeném na řešenou problematiku bylo nejprve nutné studenty seznámit s postupy a metodami praktických zkoušek. Byly zopakovány základní pojmy (popílek, struska, příměs II druhu, cementová matrice atd.) a dále také uvedeny aktuální informace týkající se produkce a využívání včetně lokalit zdrojů testovaných příměsí. Z důvodu získání náhledu na danou problematiku bylo využito zkoušky indexu účinnosti, který sice neudává přímou informaci o chování dané příměsi, avšak je částečně možné usuzovat na ovlivnění jednak zpracovatelnosti jako i finálních parametrů cementových kompozitů, což bylo pro dané účely praktického cvičení postačující.

S ohledem na platné normativní dokumenty spjaté s řešenou tematikou byly tedy navrženy receptury, kde byla parciálně nahrazena část cementového pojiva vysokoteplotním a fluidním popílkem, dále pak jemně mletou vysokopecní struskou z aktuálně činných a produktivních lokalit těchto vedlejších produktů.

Pro přípravu a následné zkoušení byly studenti seznámeni zejména s obsahem normativních dokumentů:

- ČSN EN 450-1+A1,
- ČSN EN 15167-1,
- ČSN P 72 2080,
- ČSN P 72 2081-13.

## 5. Vyhodnocení výstupů a jejich diskuze

Z hlediska analyzování vlivu zkoumaných příměsí byla testována zkušební tělesa normalizovaných rozměrů dle ČSN EN 196-1 a výše uvedených technických norem, na nichž byla provedena stanovení objemové hmotnosti a pevnostních charakteristik. Již při samotné přípravě však studenti zaregistrovali diference v chování konkrétních směsí s daným typem příměsí z pohledu zpracovatelnosti a plnění do forem, kdy bylo patrné např., že přítomnost fluidního popílku vyžaduje mnohem vyšší procento vody potřebné k dosažení požadované konzistence. Vlastnosti vyrobených malt byly testovány dle normativních dokumentů i v dlouhodobějším časovém horizontu, přičemž bylo nutné provést korekci s ohledem na časový harmonogram výuky, což v důsledku znamenalo zkrácení doby potřebné pro zrání zkušebních těles z 90 dní na 65 dní. Zkoušení těles po 28 dnech zrání bylo dodrženo.

Obdobně jako již při přípravě malt modifikovaného složení a zhotovení zkušebních těles upozorovali studenti ve cvičení, že mezi jednotlivými recepturami dochází k rozdílnostem a to jak z hlediska dosažených hodnot, tak rozptýlům zkoumaných charakteristik a rovněž i jejich časovém vývoji, kdy byly patrné např. nižší diference při porovnání s referenčními recepturami (zhotovených ze směsi obsahující pouze cement) v delším časovém období zrání zkušebních těles, což poukazuje na dlouhodobější vývoj kompaktní struktury matrice a v důsledku mimo jiné nárůst pevností kompozitů obsahujících pojiva na bázi směsi cementu a příměsí II druhu (pouze však zkoumaných typů).

Všechny poznatky studentů, kteří byli rozděleni do několika skupin, byly zpracovány formou protokolů, které byly konzultovány s vyučujícími a proběhla diskuze případných nejasností a dotazů v dané problematice, tak aby studenti získali povědomí o základních principech v řešené tematické oblasti stavebních materiálů.

## 6. Závěr

Lze konstatovat, že proběhla integrace problematiky cementových kompozitů na bázi pojiva modifikovaného příměsemi II druhu do praktické části výuky předmětu „BJ56“ a to úspěšně v návaznosti na současný trend stavebních materiálů, neboť bylo využito aktuálních informací, normativních dokumentů a vedlejších energetických produktů z elektrárenského a ocelářského průmyslu. Navržená a řešená tematická oblast, zejména pak vyhodnocení výsledků a získané vědomosti bezesporu představují přínos pro studenty 4. ročníku bakalářského studia v rámci předmětu „BJ56“, který je vyučován na VUT FAST v Brně na ÚTHD, pro jejich další uplatnění jako budoucích odborníků v oboru stavebních materiálů ať už vědecky či spíše prakticky zaměřených.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory Fondu rozvoje vysokých škol v rámci řešení projektu FRVŠ 2727/2011 „Inovace výuky studijního předmětu BJ56 – Vybrané statě z technologie stavebních hmot“, tematický okruh F1.

## Literatura

- [1] ČSN EN 450-1+A1 Popílek do betonu – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody
- [2] ČSN EN 15167-1 Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody
- [3] ČSN P 72 2080 Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení
- [4] ČSN P 72 2081-13 Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely – Část 13: Fluidní popel a fluidní popílek pro výrobu maltovin
- [5] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti

## Kontakt

Ing. Tomáš Melichar, tel: 00420 541 147 463, e-mail: melichar.t@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc., tel: 00420 541 147 505, e-mail: bydžovsky.j@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## KE ZMĚNÁM V PROVEDENÝCH REVIZÍCH ČESKÝCH NOREM PLATNÝCH V OBORU NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ BETONU

### CHANGES IN REVISIONS OF CZECH STANDARDS IN THE FIELD OF NON DESTRUCTIVE TESTING

**Hana Nohelová**

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p. , pobočka Brno

***Anotace:***

*V současné době v oboru nedestruktivní zkoušení betonu platí jednak převzaté evropské normy a také stávající skupina českých norem platných pro nedestruktivní zkoušení betonu a betonových konstrukcí. Na základě rozborového normalizačního úkolu byl stanoven požadavek dát do souladu tyto české a evropské normové předpisy a odstranit případné rozpory mezi jejich ustanoveními při dodržení požadavku nadřazenosti evropských norem nad normami českými. Dle plánu technické normalizace byly v 1. pololetí t. r. dokončeny revize prvních tří norem – ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373, na jejichž změny oproti těmto původním chceme pracovníky ve zkušebnictví upozornit.*

***Annotation:***

*Currently in the field of nondestructive testing of concrete there are both European standards and also a group of Czech standards valid for nondestructive testing of concrete and concrete structures. As a result of an assignment to analyse the situation of standardisation in the Czech Republic, a requirement arose to reconcile the Czech and European Normative regulations and eliminate any inconsistencies between the provisions complying with the requirement of the superiority of the European standards over Czech standards. According to the plan of technical standardisation in the 1st half of this year, a complete revision of the first three standards was finished - CSN 73 1370, CSN 73 1371, CSN 73 137 and the changes in this revision is what we would like to draw the attention of professionals working in the field of testing to.*

***Klíčová slova:*** *Schmidtovy tvrdoměry, špičákův tvrdoměr, ultrazvuková impulzová metoda, tvrdoměrné zkoušení, dynamický modul pružnosti, součinitel upřesnění alfa*

***Keywords:*** *Schmidt hardness, špičákův tester, Ultrasonic Pulse Method, Hardness testing, dynamic modulus of elasticity, coefficient alpha specification*

## **1. Normové předpisy platné v oboru nedestruktivní zkoušení**

### **1.1. Obecně**

S přebíráním evropských norem pro stavebnictví bylo nutno podrobit analýze dosud platné české normy z pohledu jejich současné a budoucí potřeby a především z hlediska odstranění rozporu s dosud vydanými a převzatými EN obdobné tematiky. Toto bylo nutno provést i pro normové předpisy dosud platné v oboru NZ betonu a betonových konstrukcí. Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., pobočka Brno byl pověřen Českým normalizačním institutem v Praze zpracováním Rozborového normalizačního úkolu RU/0853/08, jehož náplní byla analýza vybraných českých norem z oblasti NZ z hlediska aktualizace jejich současného stav, včetně návrhů na ponechání, ponechání s provedením změn či revizi nebo návrhů na jejich zrušení. Výsledkem tohoto RÚ byly závěry a doporučení, které budou, resp. jsou již realizovány v návrzích tří původních ČSN pro obor NZ, tj. v ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373. Ostatní návrhy revizí by měly následovat, aby byla jasná návaznost a použitelnost evropských a českých norem a odstraněny rozpory v českých normách.

Úkol byl vyvolán převzetím EN 13791 (a návazných zkušebních EN oboru nedestruktivní zkušebnictví) a následným požadavkem stanovení dopadu na původní dosud platné ČSN pro zkoušení a hodnocení kvality betonu při využití nedestruktivních metod zkoušení.

### **1.2. Současný stav normových předpisů v oboru NZ**

V systému normalizace ČSN oboru NZ jsou platné a používané jednak ČSN, jednak ČSN EN. Pro přehled uvádíme ČSN a ČSN EN, které byly podrobeny analýze v rámci RÚ.

#### **1.2.1 Skupina ČSN, která je až dosud platná pro NZ zkoušení :**

ČSN 73 1370:1981 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení (Včetně Změny a/1989 a Změny Z2 / 2003).

ČSN 73 1371: 1981 Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu (Včetně Změny Z1/r. 2003)

ČSN 73 1372: 1981 Rezonančná metóda skúšania betónu (včetně Změny Z1/2003)

ČSN 73 1373: 1981 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu (včetně Změny Z1/2003)

ČSN 73 1375: 1971 Radiometrické zkoušení objemové hmotnosti a vlhkosti (včetně Změny Z1/2003)



---

ČSN 73 1376: 1975 Radiografie betonových konstrukcí a dílců (včetně Změny Z1/2003)

ČSN 73 2011: 1986 Nedeštruktivní zkoušení betonových konstrukcí (včetně Změny Z1/2003)

ČSN 73 6170: 1985 Měření dynamických charakteristik vozovek metodou fázových rychlostí

Poznámka: Do této skupiny byla zařazena původně i ČSN 73 1374 Kombinovaná metoda zkoušení betonu, která byla zrušena k 1.12.2003 pro malou použitelnost (v systému EN kombinovaná metoda je normovaná).

### **1.2.2 Skupina EN pro obor NZ, převzatá do systému českých norem**

ČSN EN 12504-1:2002 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku

ČSN EN 12504-2:2002 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedeštruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem

ČSN EN 12504-3:2005 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 3: Stanovení síly na vytržení

ČSN EN 12504-4: 2005 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulzu

ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných dílcích

Poznámka: K těmto uvedeným EN je nutno přiřadit ČSN EN, na které se normy pro NZ odvolávají při zkoušení vzorků pro upřesnění pevnosti a pro vytváření kalibračních vztahů. Jsou to tyto normy:

ČSN EN 12390-1:2001 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy

ČSN EN 12390-2: 2001 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Zhotovení a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti

ČSN EN 12390-3: 2002 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: pevnost v tlaku zkušebních těles

Všechny tyto uvedené normy musí navazovat na základní normu pro beton, tj. ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

### **1.2.3 Odstranění rozporů v normách pro NZ**

Jak je v předchozích kapitolách 1.2.1 a 1.2.2 uvedeno, existuje skupina českých norem pro NZ, která je velmi používaná a ověřená dlouhodobou praxí, dále se přebírají normy EN pro obor NZ, které mají převážně obecnější charakter,

jsou povšechnější a zkušební normy EN dávají návod ke zkoušení jen některých vlastností nebo jiných vlastností, než je možno zkoušet podle ČSN. Nezasvěceným lidem by se mohlo jevit dle názvu norem, že se jedná o totožné normy, a tedy, že by se české normy pro NZ měly zrušit bez náhrady. Byl dán dokonce návrh (na požadavek jednoho pracovníka) na zrušení norem ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373, ČSN 73 1322, ČSN 73 2011, který vyšel ve Věstníku ÚNMZ č. 8 a č. 12 v r. 2010 (a to v době, kdy již se zpracovávaly revize tří norem – ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373 na základě závěrů řešení RÚ). K tomuto zrušení prozatím nedošlo, poněvadž k návrhu na zrušení českých norem se zamítavě postavila řada organizací a odborníků, dobře obeznámených s normami českými i EN pro NZ. Bylo doporučeno odborníky oboru NZ a členy TNK, ponechat české normy s tím, že se odstraní nesoulad mezi ustanoveními českých a evropských norem s tím, že se dle předpisů upřednostní ustanovení EN (odkazy v revidovaných normách). Ustanovení, která nejsou v rozporu s EN a dávají možnosti zkoušení jiných vlastností a jinými metodami, než udávají EN, ponechat, neboť to není v rozporu s ustanoveními převzatých EN (je dovoleno používat i jiné metody NZ než jsou v EN).

V první etapě řešení byly provedeny revize ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373, tj. těch norem, které se nejvíce používají pro zkoušení betonu a betonových konstrukcí, poněvadž zkoušené vlastnosti jsou potřebné pro hodnocení betonu a betonových konstrukcí. Všechny návrhy revidovaných norem byly podrobeny diskusím odborníků k tomuto tématu a návazným oponentním řízením. Výsledky těchto projednání a došlé připomínky odborníků a odborných organizací byly řádně projednány a zapracovány do uvedených návrhů.

V další etapě by měly být také provedeny revize ČSN 73 1372 a ČSN 73 2011 a po jejich dokončení by se mělo zvážit, zda bude nutné provést dodatek resp. Národní přílohu k k ČSN EN 13791.

## **2. Změny v provedených revizích ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373**

Vzhledem k tomu, že uvedené ČSN pro NZ jsou velmi používané pro hodnocení betonu, chceme upozornit pracovníky tohoto oboru na změny, provedené v těchto revidovaných normách. Revize byly provedeny v souladu s výsledky řešení RÚ tak, aby byly odstraněny případné rozpory mezi ČSN a EN.

### **2.1. ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu – Společná ustanovení.**

ČSN 73 1370 řeší společná ustanovení pro celou skupinu dosud platných ČSN oboru nedestruktivního zkoušení betonu, jak je uvedeno v kap. 1. 2. 1,

proto bylo nutno ji zachovat (odkazují se na ni všechny zkušební ČSN tohoto oboru). Norma obecně řeší především vytváření kalibračních vztahů pro stanovení vlastností betonu, především pevnosti, na základě měření ukazatelů nedestruktivního a destruktivního zkoušení.

Poznámka: Převzatá současně platná ČSN 13791 umožňuje- tak jak je v řadě jejích článků přímo uvedeno- použití i jiných metod pro hodnocení vlastností, než jsou v této normě stanoveny, proto ČSN 73 1370 není s normou ČSN EN 13791 v rozporu. Normy ČSN oboru NZ umožňují stanovení i jiných technických parametrů, potřebných pro hodnocení betonu, které nelze podle vydaných a převzatých EN určit (nemají předpis pro jejich stanovení).

V revidované ČSN 73 1370 byly provedeny následující změny oproti dosud používané a platné ČSN 73 1370:1981 + Z a:1989 + Z2:2003:

- provedeny úpravy a zohlednění textu - zapracování do textu původní normy- s návazností na platné vydané ČSN EN pro zkoušení betonu (tj. mj. ČSN EN 12504-1,, ČSN 12504-2, ČSN 12504-3, ČSN EN 12504-4, ČSN EN 13791, ČSN 12390-1, ČSN 12390-2, ČSN EN 1290-3, ČSN EN 206-1 a další),
- provedeny odkazy na ČSN EN, kde to bylo potřebné,
- doplněny uvedené druhy zkušebních metod o zkoušky přídržnosti a zkoušky stanovení síly na vytržení,
- uvedena jako základní velikost zkušebního tělesa krychle o hraně 150 mm ve smyslu požadavku ČSN EN 12390-3 (v tomto smyslu provedeny úpravy v příloze A této normy).

## 2.2. ČSN 73 1371 Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu

ČSN 73 1371 umožňuje stanovení a určení i těch technických parametrů, které nejsou řešeny v jiných ČSN (např. v ČSN pro zkoušení kameniva) a nejsou řešeny ani v ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu.

Poznámka: Podle ČSN EN 12504-4 lze stanovit pouze rychlost ultrazvukového impulsu, ale další vlastnosti nelze – jiné vlastnosti jako jsou to např. modul pružnosti, pevnost betonu, homogenita, objemová hmotnost, aj. lze stanovit dle ČSN 73 1371, proto nelze ČSN 73 1371 zcela nahradit ČSN EN 12504-4. I když ČSN EN 13791 je např. návod na stanovení pevnosti z měření rychlosti UZ, nelze tento návod pro běžné betony použít, neboť uvedená počáteční hodnota rychlosti UZ na předepsaném grafu vyhodnocení je příliš vysoká a neodpovídá běžně vyráběným a zkoušeným betonům.

Účelem prováděné revize bylo odstranění nesouladu mezi ČSN 73 1371 a ČSN EN 12504-4. Při provádění revize ČSN 73 1371 bylo postupováno tak, že ustanovení ČSN EN 12504 byla vzata jako nadřazena ustanovení české normy -

provedeny odkazy na tuto ČSN EN. V revidované ČSN byla ponechána ta ustanovení, která nejsou uvedena v ČSN 12504-4, (mj. stanovení modulu pružnosti, stanovení různých druhů pevnosti, stanovení narušení a degradace betonu, aj. ). Současně byla některá ustanovení o možnosti zkoušení dalších vlastností, vyžadujících speciální přístroje (a speciálně vyškolené pracovníky) z normy vypuštěna z důvodu nedostatku speciálních přístrojů (s obrazovkou) a následného malého používání těchto metod (jedná se především o stanovení rychlosti příčných vln a následně z jejich stanovení určení dynamického modulu pružnosti ve smyku a Poissonova koeficientu).

Při shrnutí předchozího jsou v revidované ČSN 73 1371 následující změny ve vztahu k původní ČSN 73 1371:1981 + Z1:2001:

- provedeno sjednocení textu ČSN 73 1371 s vydanými ČSN EN pro nedestruktivní zkoušení betonu (ČSN EN 12504-1, ČSN EN 12504-2, ČSN EN 12504-3, ČSN EN 12504-4, ČSN EN 13791) a dalšími platnými normami pro beton,
- Ustanovení, která byla shodná v ČSN 73 1371 a ČSN EN 12504-4, byla z ČSN 73 1371 vypuštěna a nahrazena odkazy na ČSN 12504-4,
- Z ČSN 73 1371 byla vypuštěna ustanovení týkající se hutnosti betonu, stanovení doby šíření příčných vln, dynamického modulu pružnosti ve smyku, dynamického Poissonova koeficientu (včetně přílohy),
- Tabulky součinitelů rozměrnosti prostředí a typy regresních rovnic pro stanovení pevnosti v tlaku byly nahrazeny odkazy na ČSN 01 0252.

### 2.3. ČSN 73 1373 Tvrdoměrné zkoušení betonu

ČSN 73 1373 byla až dosud určující normou pro zkoušení a hodnocení pevnosti betonu. Není v rozporu s ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem (jak je zřejmé již z názvu, tato norma je určena pro hodnocení tvrdosti betonu, což je vlastnost odlišná od pevnosti betonu).

ČSN EN 13791 dává možnost vyhodnotit pevnost betonu z naměřené tvrdosti, metodika zkoušení a vyhodnocení v ní uvedená je dosti problematická s ohledem na požadovaný velký počet nutných odebraných vzorků z konstrukce pro upřesnění. Tato norma svými ustanoveními dovoluje také použití jiných metod zkoušení a vyhodnocení pevnosti, především ověřených národních dokumentů, ustanovení ČSN 73 1373 není proto v rozporu ani s touto s ČSN EN.

ČSN 73 1373 je především určena pro stanovení pevnosti betonu a to jak na vzorcích, tak na konstrukci. Vzhledem k ustanovením o způsobu upřesnění nedestruktivních zkoušek lze pevnost betonu stanovit při použití menšího počtu zkušebních těles odebraných z konstrukce než jak je uvedeno v ČSN EN 13791

(v této normě požadovaný uvedený počet zkušebních těles odebraných z konstrukce není pro běžné zkoušení na stavbě reálný z důvodů technických i finančních).

ČSN 73 1373 byla zpracována r. 1981, proto nezahrnuje všechny metody a přístroje v současné době používané pro tvrdoměrné zkoušení. Proto při revizi byly do normy zahrnuty přístroje a metody, odpovídající současnému stavu, metody a přístroje, které se málo nebo vůbec nepoužívají, byly z normy vypuštěny. Schmidtovy tvrdoměry, které se nejvíce používají při tvrdoměrném zkoušení, byly aktualizovány a pro výpočet doplněny matematickým vyjádřením k využití počítačové techniky.

Články shodné s ustanovením v ČSN EN 12504-2 byly nahrazeny odkazy na tuto normu.

Při shrnutí předchozího jsou v revidované ČSN 731373 ve vztahu k původní ČSN 73 1373:1981+ Z1:2003 provedeny následující změny:

- sjednocen text normy a provedena úprava normy s ohledem na vydání ČSN EN pro nedestruktivní zkoušení betonu a dalších zkušebních norem pro beton,
- ustanovení, která byla v rozporu nebo byla shodná s ustanoveními uvedenými v převzaté ČSN EN 12504-2, byly nahrazeny odkazy na tuto normu, popř. převzaty do revidované ČSN 73 1373, pokud to vyžadovala jasnost obsahu článku,
- v hlavní části normy jsou uvedeny jen metody Schmidtových tvrdoměrů N a L, poněvadž se jedná o základní a nejvíce rozšířené metody tvrdoměrného zkoušení. Do informativních příloh byla dána metoda Schmidtova tvrdoměru M a metoda špičkového tvrdoměru (je malý počet přístrojů, které jsou ve zkušebním oboru k dispozici),
- metoda Waitzmannova tvrdoměru a metoda kuličkového tvrdoměru byla z normy vypuštěna (nízká použitelnost z důvodu velké pracnosti měření a vyhodnocení zkoušky a také z důvodu nedostatku těchto přístrojů na trhu),
- pro vyhodnocení pevnosti byl obecný kalibrační vztah normě uvedený pro nejčastěji používaný Schmidtův tvrdoměr N doplněn matematickým vyjádřením (pro využití počítačové techniky).

### 3. Závěr

Provedené revize ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373 byly předány ÚNMZ a v nejbližší době budou k dispozici veřejnosti. Na tyto normy v návaznosti by měly být zpracovány revize zbývajících norem ČSN skupiny pro NZ, v první fázi ČSN 73 1372 Rezonanční metoda zkoušení betonu (tématika

této normy zatím není v žádné EN) a norma ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí, v další fázi také ČSN 73 1375 a ČSN 73 1376, ČSN 73 6170.

Poznámka: Část obsahu ČSN 73 2011 - zkoušení betonu v konstrukci je zpracovaná v citované ČSN EN 13791, avšak zcela jiným způsobem než uvádí ČSN 73 2011. ČSN 73 2011 nelze zrušit bez náhrady, poněvadž obsahuje zkoušení a hodnocení dalších vlastností konstrukcí, které pro hodnocení jsou důležité a nejsou součástí žádné ČSN EN (mj. stanovení modulu pružnosti konstrukce, stanovení polohy-průměru- množství výztuže magnetickým indikátorem, stanovení vad a poruch) - toto není v rozporu s přebíranými ČSN EN (ČSN EN 13791 výslovně umožňuje použití národních předpisů).

Po dokončení revizí celé skupiny uvedených ČSN pro NZ bude předmětem diskuse další osud těchto českých norem. Tak, jak již bylo často požadováno, dojde pravděpodobně k vytvoření jedné společné normy popř. národní přílohy k některým ČSN EN.

## Literatura

- [1] Závěrečná zpráva o řešení normalizačního rozborového úkolu RÚ/0853/08 – etapa 4: Rozborový úkol českých norem v oblasti nedestruktivního zkoušení betonu - řešitel TZUS s. p. Praha, pobočka Brno, Ing. Anna Nohelová, 12. 2008.
- [2] Závěrečná zpráva k řešení normalizačních úkolů revize ČSN 73 1370 (č. ú. 73/0219/09), ČSN 73 1371 (č. ú. 3/0218/09), ČSN 73 1373 (č. ú. 73/0220/09) – řešitel TZÚS s. p. Praha, pobočka Brno, Ing. Anna Nohelová, 6. 2011.
- [3] ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373, ČSN 73 1372, ČSN 73 1375, ČSN 73 1376, ČSN 73 2011, ČSN 73 6170.
- [4] ČSN EN 12504-1, ČSN EN 12504-2, ČSN 12504-3, ČSN 12504-4, ČSN EN 206-1, ČSN EN 12390-1, ČSN EN 12390-2, ČSN 12390-3, ČSN EN 13791.

## Kontakt

Ing. Hana Nohelová, tel. 543 420 832, email: nohelovah@ tzus. cz, Technický a zkušební ústav stavební Praha s. p., pobočka Brno, Hněvkovského 77, 617 00 Brno - Komárov

## ÚNAVOVÁ ÚNOSNOST CEMENTOBETONOVÝCH VOZOVEK

## ON FATIGUE RESISTANCE OF PAVEMENT CONCRETE SLABS

**Petr Pánek**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

***Anotace:***

*Článek shrnuje výsledky testování sedmi cementobetonových desek uložených na vrstvě z nestmeleného materiálu a zatěžovaných ve zkušební boxu. Výzkumný projekt byl zaměřen na ověření předpokladu, že únavová odolnost cementobetonových desek je mnohem větší než ta, která je stanovena ze zkoušek na betonových trámečcích. Získané výsledky potvrzují zvýšenou únavovou odolnost cementobetonových desek proti únavě. To má významný vliv pro návrh cementobetonové vozovky.*

***Annotation:***

*The paper summarizes results of pilot testing of seven concrete slabs resting on granular base in testing box. The experimental project was intended to verify recent findings that fatigue resistance of concrete slabs is much higher than that predicted using concrete flexural characteristics derived from concrete beam testing. Results obtained confirm enhanced fatigue resistance of concrete slabs with (possible) far reaching consequences for concrete pavement design.*

***Klíčová slova:*** experiment, CB deska, vozovka, únava

***Keywords:*** experiment, CC slab, pavement, fatigue

## 1. Úvod

V tomto článku je věnována pozornost únavovým trhlinkám v cementobetonových deskách vozovek, které představují klíčový „selhávací mechanismus“ z komplexního procesu exploatace vozovky (vozovky jsou vystaveny rozkmitům napětí, vlivem proměnných teplotních a vlhkostních gradientů a proměnnému dopravnímu zatížení). Za účelem vývoje návrhové metody pro prosté CB desky spojené ve svých spárách trny, sestavili Darter a Barenberg (1977) výsledky únavových testů prováděných na trámečcích do rovnice

$$\log N_{lim} = 17.61 \times \left( 1 - \frac{\sigma}{f_{fl,beam}} \right), \quad (1)$$

kde  $N_{lim}$  je počet opakování zatížení do porušení,  $\sigma$  je maximální hodnota ohybového napětí,  $f_{b,beam}$  je hodnota pevnosti v tahu za ohybu stanovená na nosníkových vzorcích. Tato únavová rovnice předpovídá dovolený počet zatěžovacích cyklů s padesátiprocentní pravděpodobností. Roeslerovy (2005) únavové testy prováděné na deskách, potvrdily předchozí předpoklady, že CB deska vykazuje větší únavovou odolnost, než je ta předpovídaná únavovými křivkami získanými z trámečků. Hlavním důvodem tohoto rozporu bylo nesprávné uvažování statické pevnosti desky získané pomocí ohybové pevnosti na trámečcích. Z výsledků testů vyplynulo, že ohybová pevnost desky byla přibližně 2.8krát vyšší než ta stanová na trámečcích. Proto byla rovnice únavy přepsána do následujícího tvaru:

$$\log N_{lim} = 17.61 \times \left( 1 - \frac{\sigma}{\kappa f_{fl,beam}} \right), \quad (2)$$

$\kappa$  je faktor “zvětšení únavového odporu desky” a je roven 2.8. Cílem našeho současného výzkumu bylo připravit a provést experiment, který by ověřil informace o zvýšené únavové odolnosti CB desek.

## 2. Zkoušení CB desek

K ověření efektu zvýšené únavové odolnosti cementobetonových desek, je v rámci tohoto výzkumu testováno celkem osm desek. Rozměry desek byly 1.1m x 1.4m, sedm desek (zde uvedených) bylo tl. 10cm a osmá deska (která bude testována) je tl. 8cm. Desky byly vybetonovány v dřevěných formách a po



řádném vytvrdnutí byly následně uloženy na vrstvu štěrkopísku ve zkušebním dřevoocelovém boxu (modul přetvárnosti štěrkopísku  $E_{\text{def},2} \approx 60$  MPa). Desky byly osazeny tenzometry a snímači posunů.

Zatížení bylo přenášeno na desku pomocí hydraulického lisu s dosedací kruhovou plochou o průměru 10cm. Pro prvních pět desek byla zvolena středová pozice zatížení na příčné hraně desky (obr. 1), zatím co pro desky č.6 a č.7 byla pozice zatížení zvolena ve středu podélné hrany. Z technických důvodů musela být zavedena zrychlená frekvence zatěžování, která se pohybovala mezi 4.5 Hz až 7.2 Hz.



Obr. 1.: Zatěžování CB desky ve zkušebním boxu.

Výsledkem složení cementového betonu: cement  $390 \text{ kg/m}^3$ , voda  $190 \text{ kg/m}^3$ , kamenivo  $1785 \text{ kg/m}^3$  (drobné kamenivo 0-4:  $830 \text{ kg/m}^3$ , hrubé kamenivo 8-16:  $955 \text{ kg/m}^3$ ), byly následující mechanické vlastnosti (ohybová pevnost byla stanovena jako  $0.10 - 0.15 f_c$ ):

pevnost v tlaku:  $f_c \approx 60 \text{ MPa}$ ,  
objemová hmotnost:  $\rho_c \approx 2350 \text{ kg/m}^3$ ,  
ohybová pevnost:  $f_{f_t, \text{beam}} \approx 6 \text{ MPa}$ .

Proces přípravy i zhodnocení testů CB desek byl podporován výpočty MKP analýzy (CB deska na elastickém poloprostoru). Deska byla analyzována (v rozsahu možností Kirchhoffovi teorie) pomocí MKP s užitím trojúhelníkového dělení desky. Kontakt desky s podložím je uskutečněn pomocí kontaktních tlaků, které jsou lineárně proměnné uvnitř hranic trojúhelníkových elementů. Využitím normativních hodnot vlastností cementového betonu dle

technických podmínek TP 170, byla pomocí MKP vypočtena maximální velikost zatížení  $Q_{max} = 8.5$  kN ( $Q_{min} = 0.5$  kN) jako hodnota, při které je předpokládáno únavové porušení desky po počtu opakování zatížení  $N_{lim} \approx 10^5$ . Tato hodnota byla tedy vybrána jako počáteční pro zatěžování první desky.

### 3. Výsledky zkoušek

Výsledky testování prvních pěti desek jsou uvedeny v Tab. 1. Uvedeno je maximální zatížení  $Q_{max}$  ( $Q_{min} \approx 0.5$  kN), zatížením vyvolaná napětí  $\sigma^*$ , frekvence zatěžovacích cyklů,  $N^*$  počet opakování zatížení a  $\kappa^*$  faktor „zvětšení únavového odporu desky“ určený z rovnice (2) za použití substituce  $N_{lim} = N^*$ ,  $\sigma = \sigma^*$ . Hodnota  $\kappa^* = 2.66$  pro pátou desku je již velmi blízko hodnotě  $\kappa = 2.8$ , kterou stanovil Roesler (2005). Navíc je nutno poznamenat, že zatěžování desky skončilo při  $1 \times 10^6$  zatěžovacích cyklů, bez únavového porušení desky.

Tabulka 1.: Výsledky únavového experimentu desky 1 až 5

Slab No.	Maximální zatížení $Q_{max}$ [kN]	napětí $\sigma^*$ [MPa] FEM	frekvence [Hz]	$N^*$	$\kappa^*$
1	8.5	2.65	4.5	$1 \times 10^6$	-
2 – 4	17.0	5.28	7.2	$1 \times 10^6$	1.33
5	34.0	10.55	7.0	$1 \times 10^6$	2.66

Vyšší zatížení bylo aplikováno na desku č. 6. Krátce po začátku zatěžování (ještě ve fázi zvyšování zatížení) deska praskla. Proto byla deska č. 7 zatěžována plynuleji, resp. byla postupně zvyšována hodnota  $Q_{max}$ . Výsledky zatěžování jsou v Tab. 2.

Tabulka 2.: Výsledky únavového experimentu desky 6 až 7

$i$	deska 6		deska 7	
	$\sigma^*_i$ [MPa]	$N^*_i$	$\sigma^*_i$ [MPa]	$N^*_i$
1	6.28	110	2.22	$2.5 \times 10^5$
2	7.50	55 <sup>+</sup>	4.40	$2.5 \times 10^5$
3			6.46	$2.5 \times 10^5$
4			8.50	$8.5 \times 10^5$
	$\hat{\kappa} = 1.387$		$\hat{\kappa} = 2.136$	

Faktor „zvětšení únavového odporu desky“  $\hat{\kappa}$  je určen z nelineární rovnice vyjadřující Minerovu hypotézu o postupném hromadění poškození během zatěžování.

$$\sum_{i=1}^k \frac{N_i^*}{N_{lim,i}} = 1, \quad \log N_{lim,i} = 17.61 \times \left( 1 - \frac{\sigma_i^*}{\hat{\kappa} f_{fl,beam}} \right) \quad (3)$$

Výsledky Tab. 2 ukazují a to i v případě desky č. 6, že únavová odolnost desek je mnohem vyšší než předpovídaly klasické únavové křivky (1). Výsledky ukázané v Tab. 1 a 2 plně podporují Roeslerova zjištění (2005) o zvýšené ohybové pevnosti desek.

#### 4. Důsledky pro návrh

Únavové vlastnosti hrají důležitou roli v postupech navrhování vozovek. Zjištěná vyšší odolnost může tedy přinést úspory při navrhování tloušťky desek. Nicméně vložení těchto výstupů přímo do návrhové metody by vyžadovalo ještě další podrobnější testování s důrazem na přesnou simulaci kontaktu deska/podložní systém a dále na testování dalších poloh zatížení. Při navrhování CB vozovky musí být brán ohled na oslabená místa vzniklá při smršťování, nebo vlivem horších vlastností betonové směsi, atd. Uvažováno by mělo být také možné počáteční poškození povrchu desky, které ovlivňuje výslednou únavovou únosnost.

Pro názornost je zde ukázána možnost začlenění zvětšené únavové odolnosti CB desek do návrhu vozovky. Např. katalogová vozovka D0-T-1-S z předpisu TP170 byla znovu „pře počítána“ s využitím několika hodnot faktoru zvětšené únavové odolnosti  $\kappa$  ( $\kappa = 1.1$  a  $\kappa = 1.25$ ). Vypočtené tl. desek dle klasické návrhové metody TP 170 jsou ukázány v Tab. 3, uvažovaná skladba konstrukce vozovky je:

CB I	27 cm	CB deska,
KSC I	15 cm	kamenivo zpevněné cementem,
ŠD	15 cm	šterkodrt',
PII		podloží s modulem přetvárnosti 60 MPa.

Tabulka 3.: Tloušťka  $h_{CB}$  CB desky v závislosti na hodnotě faktoru  $\kappa$

	faktor zvětšení únavového odporu desky		
	1.0 (TP170)	1.1	1.25
$h_{CB}$	27 cm	25 cm	23 cm

## 5. Závěr

Tento pilotní experimentální výzkum potvrdil Roeslerovy předpoklady o zvýšené únavové odolnosti CB desek. Další výzkum v tomto směru je však nezbytný z důvodu ověření aplikovatelnosti zvýšené únavové odolnosti CB desek, tak aby bylo možno zefektivnit návrhovou metodu pro CB vozovky.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory grantové agentury GAČR (projekt č. 103/09/1746).

## Literatura

- [1] Darter, M. I., Barenberg, E. J. (1977), "Design of Zero-Maintenance Plain Jointed Concrete Pavement", Report No. FHWA-RD-77-111, Vol. 1; Federal Highway Administration.
- [2] Roesler, J.R., Hiller, J.E., Littleton, P.C. (2005), "Large-Scale Airfield Concrete Slab Fatigue Tests", Int. J. Concrete Pavements, 1, pp. 66-87.
- [3] TP170 (2004), "Návrhování vozovek pozemních komunikací" [Technické podmínky], MDČR

## Kontakt

Ing. Petr Pánek, Ph.D., tel: +420224354418, e-mail: petr.panek@fsv.cvut.cz, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 00 Praha 6.

## ZKOUŠENÍ VÝSEKU KOVOVÉ KONSTRUKCE SE ZAMĚŘENÍM NA CHOVÁNÍ KLOUBOVÉHO STYČNÍKU

### TESTING OF PORTION OF METAL STRUCTURE CONSIDERING BEHAVIOUR OF PINNED JOINT

**Milan Pilgr**

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav KDK

***Anotace:***

*Příspěvek pojednává o některých problémech skutečného působení styčnicků s krátkou čelní deskou v ocelových konstrukčních systémech. Tradiční model zkoumaného typu styčnicku představuje nominální kloub. Takový model považuje autor za ne zcela dostatečně výstižný, a proto zde sleduje nutnost obecnějšího pojetí idealizace skutečného působení tohoto typu styčnicku.*

***Annotation:***

*The paper deals with some problems of an actual behaviour of header plate connections in steel building frames. A traditional model of the joint under examination represents a nominally pinned joint. Such a model is regarded by the author as not quite accurate. That is why he examines the necessity of a general conception of idealization of strain mechanism of this joint type.*

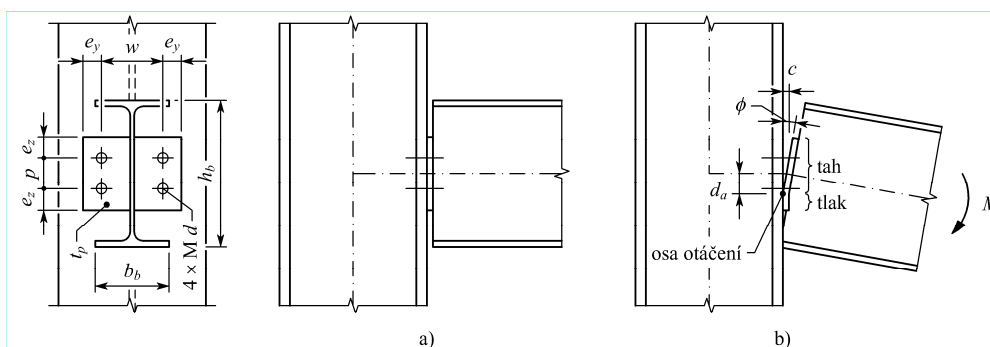
***Klíčová slova:*** ocelová konstrukce, skutečné působení, styčník, kloub, krátká čelní deska

***Keywords:*** steel structure, actual behaviour, joint, pinned joint, header plate connection

## 1. Úvod

Na Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí Fakulty stavební VUT v Brně je v období posledních několika let řešena mj. problematika skutečného působení styčnicků s krátkou čelní deskou v ocelových konstrukcích. Výzkum v rámci této problematiky sleduje především zdokonalení popisu chování styčnicků s krátkou čelní deskou v procesu zatěžování konstrukčního systému, představující zavedení takových charakteristik a parametrů, jež jsou s přijatelnou mírou pracnosti aplikovatelné při praktickém navrhování nosných ocelových konstrukcí.

Zobecněný popis působení uvedeného typu styčnicku využívá jednak charakteristiku užívanou v teorii polotuhých spojů – závislost  $M-\phi$ , kde  $M$  značí ohybový moment a  $\phi$  natočení přípoje. Následně se zavádí další složka přetvoření, tzv. rozevření přípoje  $c$ , a analogicky se uplatňuje závislost  $M-c$ . Rozevření  $c$  je délková veličina popisující oddálení čelní desky od pásnice sloupu, měřené v úrovni osy připojovaného nosníku (spojnice těžišť průřezů), ke kterému dochází při deformaci čelní desky doprovázené páčením šroubů. Rozevření  $c$  je podmíněno natočením přípoje  $\phi$  a je úměrné svislé vzdálenosti osy otáčení přípoje od osy připojovaného nosníku  $d_a$ , viz obr. 1b. Blíže o tomto problému bylo pojednáno např. v [1], [2] a [3].



Obr. 1.: Označení geometrických veličin styčnicku a mechanismus přetváření přípoje

## 2. Zatěžovací zkoušky

Jako prvotní zdroj dat pro určení sledovaných závislostí  $M-\phi$  a  $M-c$  byly zvoleny zatěžovací zkoušky. Experimenty byly prováděny na zkušebních tělesech reprezentujících výsek reálného pravoúhlého rovinného rámu; jako předmětný typ styčnicku byl zvolen jednostranný přípoj IPE profilu ke sloupu HE 240 B. Rozměry zkušebních těles, jakož i celkové uspořádání experimentů vycházely z možností využití laboratoře, jakož i použitého laboratorního zařízení. Uspořádání a základní geometrické charakteristiky testovaných styčnicků jsou znázorněny na obr. 1a, přičemž číselné hodnoty příslušných geometrických veličin jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1.: Číselné hodnoty geometrických veličin styčnicku v mm

	$d$	$w$	$e_y$	$p$	$e_z$	$t_p$	$h_b$	$t_{wb}$	$d_p$
S01	16	100	30	50	35	8	240	6,2	60
S02	16	100	30	50	35	10	240	6,2	60
S03	16	100	30	50	35	12	240	6,2	60
S04	20	100	40	70	40	8	240	6,2	75
S05	20	100	40	70	40	10	240	6,2	75
S06	20	100	40	70	40	12	240	6,2	75
S07	24	100	50	80	50	8	240	6,2	90
S08	24	100	50	80	50	10	240	6,2	90
S09	24	100	50	80	50	12	240	6,2	90
S10	16	100	30	50	35	8	270	6,6	60
S11	16	100	30	50	35	10	270	6,6	60
S12	16	100	30	50	35	12	270	6,6	60
S13	20	100	40	70	40	8	270	6,6	75
S14	20	100	40	70	40	10	270	6,6	75
S15	20	100	40	70	40	12	270	6,6	75
S16	24	100	50	80	50	8	270	6,6	90
S17	24	100	50	80	50	10	270	6,6	90
S18	24	100	50	80	50	12	270	6,6	90
S19	16	100	30	50	35	8	300	7,1	60
S20	16	100	30	50	35	10	300	7,1	60
S21	16	100	30	50	35	12	300	7,1	60
S22	20	100	40	70	40	8	300	7,1	75
S23	20	100	40	70	40	10	300	7,1	75
S24	20	100	40	70	40	12	300	7,1	75
S25	24	100	50	80	50	8	300	7,1	90
S26	24	100	50	80	50	10	300	7,1	90
S27	24	100	50	80	50	12	300	7,1	90

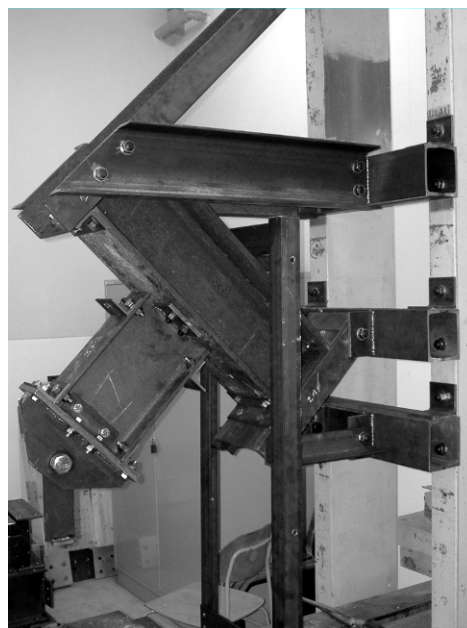
Zkušební tělesa byla při zatěžování upnuta k laboratorní testovací stoličce, a to prostřednictvím speciálně navržených a vyrobených přípravků, zajišťujících jejich dostatečné podepření v průběhu celého testu. Celkové uspořádání experimentů je patrné z obr. 2 a 3. Zkušební tělesa byla zatěžována silou hydraulického

válce  $F$  působící na volném konci nosníku proměnné velikosti. Tato síla byla vnášena prostřednictvím speciálně navrženého a vyrobeného přípravku, který uvedené zatížení rozděloval rovnoměrně po celém průřezu nosníku. Působíště svislé síly  $F$ , představující příčné nebo i osově zatížení nosníku, bylo vzdáleno 600 mm od osy sloupu. Každá zatěžovací zkouška zahrnovala stupňovitý nárůst vnášené síly hydraulického válce, a to až do předpokládaného maxima. Zatěžovacími zkouškami byl zkoumán mechanismus přetváření v oboru omezeném definovanou mezní hodnotou přetvoření.

Pro účely experimentálního výzkumu byly provedeny návrh a výroba sad zkušebních těles, a to v souladu s platnými technickými normami pro navrhování a provádění ocelových konstrukcí. Navržená, vyrobená a odzkoušená tělesa byla různé konfigurace, v jejímž rámci byly proměnné a) tloušťka čelní desky, b) průměr šroubu a s ním souvisící rozteče podmiňující šířku a výšku čelní desky a c) tloušťka stojiny připojovaného nosníku podmíněná jeho výškou. Při experimentech byla osazenými průhyboměry snímána a zaznamenávána příslušná data. Následnou činností bylo zpracování dat získaných jednak ze snímače tlaku na hydraulickém válci, jednak z průhyboměrů na zkušebních tělesech. Veškeré experimenty byly prováděny ve specializované laboratoři Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí FAST VUT v Brně.



*Obr. 2.: Uspořádání zkoušky pro příčné zatížení nosníku*



*Obr. 3.: Uspořádání zkoušky pro příčné a osově zatížení nosníku*



### 3. Výsledky a diskuze

Bezprostředním a přímým výsledkem zatěžovacích zkoušek jsou poznatky o mechanismu přetváření styčnicku v procesu zatěžování v laboratorních podmínkách, viz obr. 1b. Mechanismus přetváření se popisuje závislostmi  $M-\phi$  a  $M-c$ ; k ucelenější představě o mechanismu přetváření zavedeme dále závislost působícího momentu a vzdálenosti osy otáčení od osy nosníku definované vztahem

$$d_a = c/\phi. \quad (1)$$

Zpracováním a vyhodnocením naměřených dat byly stanoveny skutečné průběhy závislostí  $M-\phi$ ,  $M-c$  a  $M-d_a$ , jež byly následně aproximovány vhodně zvolenými matematickými funkcemi (v pružném oboru lineárními funkcemi, v nepružném oboru mocninnými tříparametrickými funkcemi).

K analýze konstrukčního systému, zahrnující zobecněný popis chování styčnicků, lze zavést dvě styčnickové charakteristiky – ohybovou tuhost  $S$  a translační charakteristiku  $T$  – definované vztahy

$$S = M/\phi, \quad T = M/c. \quad (2)$$

Hodnoty charakteristik  $S$ ,  $T$  a  $d_a$  odvozené pro obor lineární pružnosti jsou uvedeny v tab. 2. Ilustrativní grafy matematicky vyjádřených závislostí  $M-\phi$  a  $M-c$  jsou pro zvolený styčnick S02 uvedeny na obr. 4 a 5.

Nyní vyjádříme vzdálenost osy otáčení přípoje od dolní hrany čelní desky vztahem

$$\Delta d_a = d_p - d_a, \quad (3)$$

kde  $d_p$  je vzdálenost dolní hrany čelní desky od těžiště průřezu nosníku.

Z rozboru experimentálně získaných dat vyplývá, že pro translační charakteristiku platí závislost

$$T = \frac{S}{d_p - \Delta d_a} = \frac{S}{d_p - q e_z}, \quad (4)$$

kde jsme zavedli poměrnou vzdálenost osy otáčení přípoje od hrany čelní desky definovanou vztahem

$$q = \Delta d_a / e_z. \quad (5)$$

Hodnoty parametru  $q$  jsou rovněž uvedeny v tab. 2.

Dalším záměrem prováděného výzkumu byl sběr dat pro studii vlivu geometrických parametrů přípoje – tloušťky čelní desky  $t_p$ , tloušťky stojiny připojovaného nosníku  $t_{wb}$  a velikosti čelní desky podmíněné průměrem šroubů  $d$  – na velikosti zavedených styčnickových veličin. Tak např. pro sadu zkušebních těles S13, S14 a S15, u které je proměnným parametrem tloušťka čelní desky  $t_p$ , platí, v rámci uspořádání experimentálně ověřovaných styčnicků, regresní lineární závislosti (stanovené metodou nejmenších čtverců)

$$S = 411,3 t_p - 1639, \quad q = 0,0644 7 t_p + 0,3089. \quad (6)$$

Tabulka 2.: Styčnickové charakteristiky

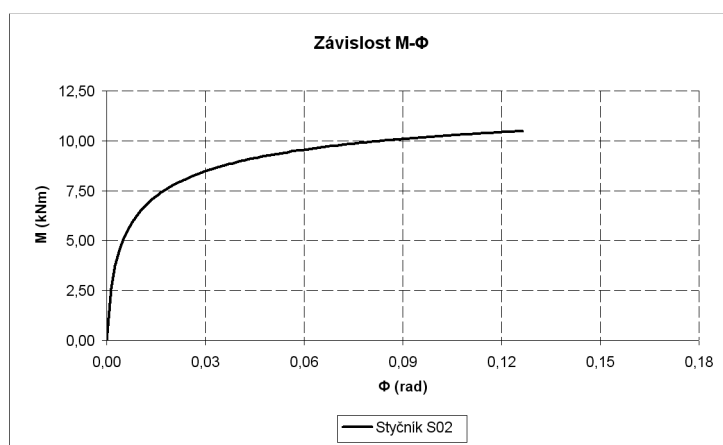
Zkušební tělesa	$S$ (kNm)	$T$ (kNm/mm)	$d_a$ (mm)	$\Delta d_a$ (mm)	$q$ (-)
S01	830,1	23,61	36,17	23,83	0,6809
S02	1351	46,72	28,91	31,09	0,8882
S03	1712	57,03	30,47	29,53	0,8437
S04	1630	40,03	40,75	34,25	0,8562
S05	2470	67,59	36,57	38,43	0,9607
S06	3221	90,81	35,47	39,53	0,9882
S07	2491	50,55	49,52	40,48	0,8096
S08	3701	88,36	41,99	48,01	0,9603
S09	4918	112,5	44,48	45,52	0,9104
S10	897,6	28,97	31,18	28,82	0,8234
S11	1359	46,41	29,34	30,66	0,8760
S12	1755	68,06	25,79	34,21	0,9773
S13	1644	38,28	43,18	31,82	0,7956
S14	2490	72,14	34,53	40,47	1,012
S15	3289	100,5	32,86	42,14	1,053
S16	2515	50,75	49,81	40,19	0,8037
S17	3651	95,05	39,38	50,62	1,012
S18	4976	137,8	35,79	54,21	1,084
S19	922,2	69,50	26,76	33,24	0,9496
S20	1367	43,83	31,66	28,34	0,8098
S21	1816	68,18	26,68	33,32	0,9521
S22	1668	35,86	46,91	28,09	0,7023
S23	2510	64,37	39,12	35,88	0,8970
S24	3231	90,77	35,59	39,41	0,9854
S25	2571	52,10	49,60	40,40	0,8081
S26	3804	90,91	44,14	45,86	0,9172
S27	4898	118,1	41,60	48,40	0,9680

Např. pro sadu zkušebních těles S05, S14 a S23, u které je proměnným parametrem tloušťka stojiny připojovaného nosníku  $t_{wb}$ , platí závislosti

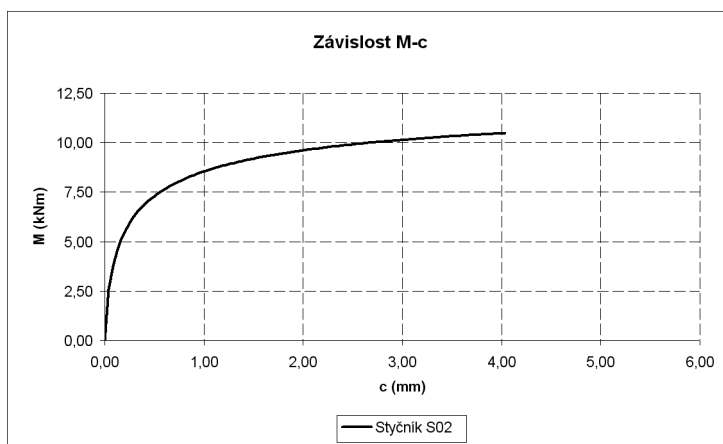
$$S = 43,98 t_{wb} + 2198, \quad q = -0,07721 t_{wb} + 1,4687. \quad (7)$$

A např. pro sadu zkušebních těles S11, S14 a S17, u které je proměnným parametrem velikost čelní desky, platí závislosti

$$S = 286,5 d - 3231, \quad q = 0,01705 d + 0,6258. \quad (8)$$



Obr. 4.: Závislost M- $\phi$



Obr. 5.: Závislost M-c

#### 4. Závěr

V předloženém příspěvku jsou stručně uvedeny některé výsledky experimentálního zkoumání skutečného působení styčnicků s krátkou čelní deskou, prováděném na ÚKDK FAST VUT v Brně. Vedle experimentů byly v rámci představeného výzkumu jako další zdroje dat pro určení sledovaných zákonitostí zvoleny také analytické metody – metoda konečných prvků a metoda komponent. S ohledem na tématické zaměření konference nebyly výsledky analytických metod do tohoto příspěvku začleněny.

## Poděkování

Příspěvek byl vypracován v rámci řešení úloh začleněných do grantového projektu GAČR č. 103/09/P417, do výzkumného záměru MŠMT č. MSM 0021630519 a do projektu specifického vysokoškolského výzkumu č. FAST-S-11-32/1252.

## Literatura

- [1] PILGR, M.: Experimental verification of actual behaviour of header plate connections. In Proceedings of the 11th Nordic Steel Construction Conference held in Malmö. Stockholm, SBI. 2009. p. 548–551. ISBN 91-7127-058-2.
- [2] PILGR, M.; KARMAZÍNOVÁ, M.: Some problems of actual behaviour of header plate connections in steel structures. In Proceedings of the 10th International Scientific Conference VSU' 2010. Sofia, VSU. 2010. vol. I, p. II-229–II-234. ISSN 1314-071X.
- [3] PILGR, M.; KARMAZÍNOVÁ, M.: Analysis and idealization of actual behaviour of header plate connections. In Proceedings of the 12th International Conference on Metal Structures „Progress in Steel and Composite Structures“. Wrocław, DWE. 2011. 7 p. ISBN 978-83-7125-202-0.

## Kontakt

Ing. Milan Pilgr, Ph.D., tel: 00420 541 147 308, e-mail: pilgr.m@fce.vutbr.cz, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## PEVNOST V TLAKU A V TAHU EXTRUDOVANÝCH VLÁKNOCEMENTŮ

### COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF EXTRUDED FIBRE CEMENT COMPOSITES

**Ondřej Pospíchal, Dalibor Kocáb,  
Barbara Kucharczyková**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně

***Anotace:***

*Tento příspěvek se zabývá porovnáním hodnot pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu extrudovaných zkušebních vzorků různých příčných průřezů. Jednalo se o masivní čtvercový profil, tenkostěnný uzavřený kruhový profil a tenkostěnný uzavřený čtvercový profil. Zkoušky byly prováděny kolmo na směr extruze i ve směru extruze. Výsledkem jsou grafické a tabelární výstupy naměřených hodnot u jednotlivých typů průřezů.*

***Annotation:***

*This article deals with comparison of compressive strength and tensile strength values of extruded materials with various cross-sections – namely the solid square cross-section, thin-walled circular and thin-walled square cross-sections. Specimens were tested perpendicularly and along to the direction of extrusion. The outcome has a form of graphic and tabular outputs showing the observed values of each type of cross-section.*

***Klíčová slova:*** *Extrudovaný vláknocement, pevnost v tlaku, pevnost v tahu*

***Keywords:*** *Extruded fibre cement composite, compressive strength, tensile strength*

## 1. Úvod

Tento příspěvek se zabývá stanovením vybraných pevnostních charakteristik extrudovaného vláknocementu a navazuje na dříve publikované výsledky autorského kolektivu – např. v [1], [2], [3], [4].

Zkoumanými charakteristikami jsou zde tlakové a tahové pevnosti. Zatěžování v tlaku probíhalo vždy kolmo na směr extrudovaného zkušební tělesa a pevnost v tahu byla zjišťována podle typu příčného průřezu zkušební tělesa buď ve směru extruze, nebo kolmo na směr extruze zkušební tělesa.

K experimentu byla použita zkušební tělesa různých příčných průřezů, a to masivního čtvercového průřezu a dvou různých uzavřených tenkostěnných příčných průřezů – čtvercového a kruhového tvaru.

## 2. Všeobecné údaje

Zkušební tělesa byla připravena řezáním ze vzorků dodaných společností VUSTAH Brno a.s. Jednalo se o cementový extrudovaný materiál s vlákny Cem - FIL 70/30 – 12 mm. Sady zkušebních vzorků se vyznačovaly různým příčným průřezem, pro jednotlivé typy zkoušek byla vždy použita minimálně 3 zkušební tělesa.

Příčný profil zkušebních vzorků první sady byl tenkostěnný uzavřený průřez čtvercového tvaru (sada D) o nominálních vnějších rozměrech 40×40 mm, s tloušťkou stěny 5,5 mm. Připravena byla tělesa o poměru stran (příčný rozměr ku délce) 1:1, která byla zkoušena jak v tlaku, tak v tahu. Tělesa o poměru stran 1:2 byla použita pouze pro stanovení pevnosti v tlaku.

Druhá sada zkušebních vzorků zahrnovala zkušební tělesa o tenkostěnném uzavřeném průřezu kruhového tvaru (sada K), jehož nominální vnější průměr byl 40 mm a tloušťka stěny 5,5 mm. Poměr stran zkušebních těles byl taktéž 1:1 a 1:2, všechna zkušební tělesa byla zkoušena v tlaku (tzv. vrcholovém).

Třetí sada obsahovala zkušební tělesa masivního čtvercového profilu s největšími nominálními rozměry 40×40 mm a poměrem stran 1:1. Tato zkušební tělesa byla určena pro stanovení pevnosti v příčném tahu.

Jak již bylo publikováno dříve (např. v [2]), během procesu extrudování cementového kompozitu je poměrně obtížné zajistit přesnou geometrii vyráběných těles, a to především u vzorků s tenkostěnným uzavřeným průřezem. V případě čtvercového profilu jsou vzorky na dvou protějších stranách mírně vyduté a vzorky s kruhovým profilem se vyznačují spíše tvarem oválným (eliptickým). Tento fakt byl zohledněn při zatěžování zkušebních těles, při výpočtech byly příčné průřezy uvažovány jako geometricky pravidelné.

### 3. Provádění zkoušek

Jak již bylo zmíněno výše, vzhledem k nepravidelné geometrii těles s uzavřeným tenkostěnným příčným průřezem byla tato skutečnost zohledněna při způsobu zatěžování zkušebních těles v tlaku i v tahu.

Jedna polovina těles s uzavřeným tenkostěnným čtvercovým průřezem byla zatěžována kolmo na „rovné strany“ průřezu, druhá polovina těchto těles kolmo na strany vyduté. Způsob umístění v lise a následné porušení zkušebního tělesa v tlaku lze vidět na Obr. 1. a 2. Obr. 3. a 4. pak zobrazují zkušební vzorky při zkoušce v tahu. Při zatěžování zkušebních těles sady s uzavřeným tenkostěnným kruhovým průřezem (viz Obr. 5. a 6.) byla první část těles zatěžována kolmo na hlavní (delší) osu eliptického průřezu, druhá část kolmo na vedlejší (kratší) osu eliptického průřezu.



*Obr. 1.: Zatěžování zkušebního tělesa s uzavřeným tenkostěnným čtvercovým průřezem v tlaku.*



*Obr. 2.: Způsob porušení zkušebního tělesa s uzavřeným tenkostěnným čtvercovým průřezem v tlaku.*



*Obr. 3.: Zatěžování zkušebního tělesa s uzavřeným tenkostěnným čtvercovým průřezem v tahu.*



*Obr. 4.: Způsob porušení zkušebního tělesa s uzavřeným tenkostěnným čtvercovým průřezem v tahu.*



*Obr. 5.: Zatěžování zkušebního tělesa s uzavřeným tenkostěnným kruhovým průřezem v tlaku.*



*Obr. 6.: Způsob porušení zkušebního tělesa s uzavřeným tenkostěnným kruhovým průřezem v tlaku.*

Tvar příčných průřezů těles při výše popsáných způsobech zatěžování je schematicky zobrazen v tabulkách s výsledky.

Třetí sada zkušebních těles s masivním čtvercovým příčným průřezem byla zkoušena pouze v příčném tahu. Zkušební tělesa byla zatěžována ve dvou různých směrech zkoušení – ve směru extrudovaného materiálu (souběžně s vlákny kompozitu) a kolmo na směr extrudovaného materiálu. Zkouška v příčném tahu je zobrazena na Obr. 7. a 8.



*Obr. 7.: Zatěžování zkušebního tělesa masivního čtvercového průřezu v příčném tahu.*



*Obr. 8.: Způsob porušení zkušebního tělesa masivního čtvercového průřezu v příčném tahu.*

Jak je vidět z Obr. 3, 4, 7 a 8, byl tah vyvozen liniovým zatížením působícím ve svislé rovině uprostřed zkušebního vzorku. Pro tělesa s tenkostěnným uzavřeným průřezem se jedná o jakousi obdobu zkoušky v příčném tahu betonu dle [5].







#### 4. Dosažené výsledky





Na základě zjištěné maximální síly při daném způsobu zatěžování jednotlivých zkušebních těles a předem stanovených rozměrů byly vypočteny výsledné pevnosti v tlaku a v tahu.

Pevnost v tlaku i v tahu zkušebních vzorků první sady (uzavřený tenkostěnný čtvercový průřez) byla vyhodnocena dvojím způsobem. První způsob stanovení pevnosti v tlaku pro výpočet uvažuje půdorysnou plochu svislých stěn tenkostěnného průřezu zkušebního tělesa.

*Tabulka 1.: Výsledné pevnosti v tlaku stanovené na sadě zkušebních těles s tenkostěnným uzavřeným čtvercovým průřezem (pro výpočet uvažována půdorysná plocha svislých stěn průřezu).*

Sada	$f_{c,m}$ [MPa]	s [MPa]	poměr stran	poznámka	schéma
D	23,5	5,0	1:2	zatěžování kolmo na "rovné strany" průřezu	
	18,6	4,6	1:2	zatěžování kolmo na vyduté strany průřezu	
	38,9	6,7	1:1	zatěžování kolmo na "rovné strany" průřezu	
	16,6	2,6	1:1	zatěžování kolmo na vyduté strany průřezu	



*Tabulka 2.: Výsledné „efektivní“ pevnosti v tlaku stanovené na sadě zkušebních těles s tenkostěnným uzavřeným čtvercovým průřezem (pro výpočet uvažovány vnější rozměry zkušebního tělesa).*

Sada	$f_{c,m}$ [MPa]	s [MPa]	poměr stran	poznámka	schéma
D	6,3	1,3	1:2	zatěžování kolmo na "rovné strany" průřezu	
	5,1	1,2	1:2	zatěžování kolmo na vyduté strany průřezu	
	10,6	1,9	1:1	zatěžování kolmo na "rovné strany" průřezu	
	4,6	0,7	1:1	zatěžování kolmo na vyduté strany průřezu	



Druhý způsob stanovuje jakousi efektivní pevnost v tlaku, kdy je tato pevnost určena jako pevnost výrobku – tedy s uvažováním vnějších rozměrů výrobku / zkušebního tělesa. Výsledky provedených zkoušek jsou shrnuty v Tabulce 1 a Tabulce 2.

U tahové pevnosti se u výpočtu v prvním případě počítá s plochou příčného tenkostěnného průřezu, zatímco ve druhém případě je opět uvažována plocha příčného průřezu celého výrobku, jak je popsáno výše. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 3 a Tabulce 4.

Tabulka 3.: Výsledné pevnosti v tahu stanovené na sadě zkušebních těles s tenkostěnným uzavřeným čtvercovým průřezem (pro výpočet uvažována plocha příčného tenkostěnného průřezu).





Sada	$f_{ct,mod,m}$ [MPa]	s [MPa]	poměr stran	poznámka	schéma
D	4,50	0,79	1:1	zatěžování kolmo na "rovné strany" průřezu	
	2,75	0,45	1:1	zatěžování kolmo na vyduuté strany průřezu	

Tabulka 4.: Výsledné pevnosti v tahu stanovené na sadě zkušebních těles s tenkostěnným uzavřeným čtvercovým průřezem (pro výpočet uvažována plocha příčného průřezu celého výrobku).

Sada	$f_{ct,mod,m}$ [MPa]	s [MPa]	poměr stran	poznámka	schéma
D	2,15	0,40	1:1	zatěžování kolmo na "rovné strany" průřezu	
	1,30	0,22	1:1	zatěžování kolmo na vyduuté strany průřezu	




Odolnost v tlaku zkušebních vzorků druhé sady (uzavřený tenkostěnný kruhový průřez) byla vyhodnocena způsobem, jakým se stanovuje například únosnost šachtových skruží podle [6] – tedy stanovením únosnosti ve vrcholovém tlaku. Tato charakteristika se vyjadřuje v jednotkách kN/m, výsledné únosnosti pro oba způsoby umístění zkušebních těles do lisu jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5.: Výsledné únosnosti ve vrcholovém tlaku stanovené na sadě zkušebních těles s tenkostěnným uzavřeným kruhovým průřezem.

Sada	$F_{a,m}$ [kN/m]	s [kN/m]	poměr stran	poznámka	schéma
K	16,3	2,0	1:2	zatěžování kolmo na hlavní osu eliptického průřezu	
	11,9	0,9	1:2	zatěžování kolmo na vedlejší osu eliptického průřezu	
	17,7	2,2	1:1	zatěžování kolmo na hlavní osu eliptického průřezu	
	13,1	0,9	1:1	zatěžování kolmo na vedlejší osu eliptického průřezu	

Posledními charakteristikami uvedenými v tomto článku jsou pevnosti v příčném tahu pro zkušební tělesa třetí sady, tedy těles s masivním čtvercovým průřezem. Zvlášť byly vyhodnoceny dílčí pevnosti stanovené ve směru a kolmo na směr extruze. Obojí je uvedeno v Tabulce 6.

Tabulka 6.: Výsledné pevnosti v příčném tahu stanovené na sadě zkušebních těles s masivním čtvercovým průřezem.

Sada	$f_{ct,m}$ [MPa]	$s$ [MPa]	poměr stran	poznámka	schéma
P	6,25	0,53	1:1	zatěžování ve směru extruze (obousměrná šipka vedle na obrázku naznačuje směr extruze)	
	11,05	0,78	1:1	zatěžování kolmo na směr extruze (obousměrná šipka vedle na obrázku naznačuje směr extruze)	
	4,90	0,62	1:1	zatěžování ve směru extruze (obousměrná šipka vedle na obrázku naznačuje směr extruze)	

## 5. Závěr

Výsledné charakteristiky v tlaku a v tahu zkušebních těles s uzavřeným tenkostěnným průřezem jsou značně ovlivněny nerovnostmi průřezů, což je patrné z tabulek s výsledky.

Poměr příčného rozměru ku délce zkušebního tělesa by tak velký vliv mít neměl – toto se však nepotvrdilo u výsledných pevností v tlaku stanovených na tělesech s uzavřeným tenkostěnným čtvercovým průřezem. Zde při zatěžování kolmo na „rovné strany“ průřezu dosahovala výsledná pevnost při poměru stran zkušebního tělesa 1:2 hodnoty 23,5 MPa, zatímco při poměru stran 1:1 byla stanovena hodnota 38,9 MPa – tedy více než 60% nárůst. Tato skutečnost je pravděpodobně zapříčiněna tím, že vzorky před samotnou zkouškou nebyly zabrušovány a i přes zatěžování kolmo na „rovné strany“ zkušebních těles nejsou tyto strany ideálně rovné. Může se tedy vyskytnout lokální nerovnost či porucha, které výslednou pevnost sníží. Při větší zatěžované ploše zkušebního tělesa pravděpodobnost těchto výskytů vzrůstá.

Co se týče výsledných pevností v příčném tahu těles s masivním čtvercovým profilem, zde hraje výraznou roli způsob zkoušení, tedy to, zda je zatížení vyvozováno ve směru, nebo kolmo na směr extruze.

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. 1M06005 – projektu CIVAK.

## Literatura

- [1] POSPÍCHAL, O.; KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.: Stanovení pevnostních charakteristik extrudovaného materiálu. In sborník anotací 13. odborné konference JUNIORSTAV. Brno, VUT v Brně. 2011. p. 194. ISBN 978-80-214-4232-0.
- [2] POSPÍCHAL, O.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; KOCÁB, D.: Efekt nerovnosti průřezu vzorků na výsledky ohybových zkoušek. In sborník 15. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč, VUSTAH, a.s. 2011. p. 221-224. ISBN 978-80-87397-06-0.
- [3] KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; POSPÍCHAL, O.: Stanovení stejnorodosti kompozitních materiálů pomocí elektroakustických metod. In sborník příspěvků Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2010. Brno, VUT v Brně. 2010. p. 101-109. ISBN 978-80-214-4144-6.
- [4] KOCÁB, D.; ŽÍTT, P.: Modul pružnosti extrudovaného vláknocementu. In sborník anotací 13. odborné konference JUNIORSTAV. Brno, VUT v Brně. 2011. p. 189. ISBN 978-80-214-4232-0.
- [5] ČSN EN 12390-6: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles. ČNI, 2010.
- [6] ČSN EN 1917: Vstupní a revizní šachty z prostého betonu, drátkobetonu a železobetonu. ČNI, 2004.

## Kontakt

Ing. Ondřej Pospíchal, tel: 541 147 811, e-mail: [pospichal.o@fce.vutbr.cz](mailto:pospichal.o@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Dalibor Kocáb, tel: 541 147 811, e-mail: [kocab.d@fce.vutbr.cz](mailto:kocab.d@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Barbara Kucharczyková, Ph.D., tel: 541 147 527, e-mail: [kucharczykova.b@fce.vutbr.cz](mailto:kucharczykova.b@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## VÝVOJ MODULU PRUŽNOSTI ZMRAZOVANÉHO MOSTNÍHO BETONU

### MODULUS OF ELASTICITY DEVELOPMENT OF FROZEN BRIDGE CONCRETE

**Ondřej Pospíchal, Petr Cíkrle, Dalibor Kocáb**

Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně

***Anotace:***

*Příspěvek se zabývá vlivem cyklického zmrazování na vlastnosti tří druhů betonu. Sady hranolových zkušebních těles byly cyklicky zmrazovány a zkoušeny v pravidelných intervalech. Souběžně byla testována referenční zkušební tělesa, která byla uložena ve vodě. Hlavním cílem bylo určení a porovnání hodnot modulů pružnosti v průběhu zmrazování a po dosažení 150 zmrazovacích cyklů. Pro nedestruktivní testování byla použita ultrazvuková a rezonanční metoda.*

***Annotation:***

*This paper deals with the influence of periodic freezing on characteristics of three various kinds of concrete. Sets of prismatic specimens were cyclically frozen and tested at regular intervals. Comparative test specimens were tested at the same time and these prisms were placed in water. The main aim is the determination and comparison of elastic modulus values during and after 150 freeze-thaw cycles. Methods for non-destructive testing were ultrasonic impulse method and resonance method.*

***Klíčová slova:*** Beton, modul pružnosti, mrazuvzdornost

***Keywords:*** Concrete, modulus of elasticity, freeze-thaw resistance

## 1. Úvod

Tento příspěvek se zabývá vlivem střídavého zmrazování a rozmrazování na vybrané charakteristiky tří druhů betonu pevnostní třídy C 30/37. Experiment byl naplánován a proveden v rámci spolupráce s firmou OHL ŽS, a. s.

Hlavní charakteristikou, na základě které bylo usuzováno na míru porušení zkušebních těles vlivem zmrazování, je zde modul pružnosti. Statický modul pružnosti byl zjišťován při zatěžování v tlaku, dynamický modul pružnosti pak oběma normovými nedestruktivními metodami.

## 2. Všeobecné údaje

Pro účely experimentu byly použity tři druhy betonu, přičemž první dvě sady zkušebních vzorků byly odebrány in situ při výstavbě nových konstrukcí v Brně. První sada zkušebních těles byla vyrobena z provzdušněného betonu C 30/37 XF4 při betonáži mostního pilíře mimoúrovňové křižovatky na ulici Sportovní, což je zachyceno na Obr. 1. Materiál pro výrobu zkušebních těles byl v tomto případě odebrán ze dvou autodomíchávačů. Zkouškami na čerstvé směsi bylo zjištěno, že obsah vzduchu v betonu byl 6,2 %, konzistence betonu prvního domíchávače byla S2 (sednutí kužele 60 mm) a druhého domíchávače S3 (sednutí kužele 100 mm).



*Obr. 1.: Výroba zkušebních vzorků první sady při betonáži pilíře mostu na ulici Sportovní.*



*Obr. 2.: Výroba zkušebních vzorků druhé sady při betonáži portálu tunelu Dobrovského.*

Vzorky druhé sady byly vyrobeny při betonáži portálu tunelu Dobrovského, jejich výroba je zachycena na Obr.2. I zde se jednalo o provzdušněný beton stejné pevnostní třídy, který však navíc obsahoval jemná

polypropylenová vlákna zvyšující jeho požární odolnost. Materiál pro výrobu zkušebních těles byl odebrán ze tří domíchávačů a zkouškami na čerstvé směsi bylo zjištěno, že obsah vzduchu v betonu byl 4,5 %. Konzistence betonu prvního domíchávače byla S4 (sednutí kužele 200 mm), druhého domíchávače S5 (sednutí kužele 220 mm) a třetího domíchávače S4 (sednutí kužele 180 mm).

U obou výše uvedených betonů se vzhledem k jejich provzdušnění nepředpokládaly příliš velké poruchy ani po 150 cyklech zmrazování, proto byl pro porovnání vyroben v laboratoři Ústavu stavebního zkušebnictví neprovzdušněný beton, taktéž pevnostní třídy C 30/37. Ten byl namíchán ve třech záměsích a zkouškami na čerstvé směsi byla zjištěna konzistence všech tří záměsů S4 (sednutí kužele první a druhé záměsi 160 mm, třetí záměsi pak 170 mm).

### 3. Provádění zkoušek

Každá zkušební sada obsahovala třicet trámců o rozměrech 100 x 100 x 400 mm, které byly následně rozděleny do pěti skupin po šesti trámcích. Dvě šestice, které byly uloženy ve vodní lázni, byly použity jako srovnávací – první z nich byla odzkoušena před začátkem zmrazování a druhá po jeho ukončení. Tři zbývající šestice pak sloužily ke stanovení jednotlivých charakteristik během zmrazování a zkoušeny byly po 50, 100 a 150 zmrazovacích cyklech. Vedle hranolových těles byla vyrobena ještě tělesa krychelná, která sloužila ke stanovení kontrolních pevností v tlaku na začátku a po ukončení zmrazování. Ta zmrazována, stejně jako srovnávací hranoly, nebyla.

Nedestruktivně probíhalo sledování poruch vnitřní struktury čteněji – po každých 25 cyklech byly stanovovány dynamické moduly pružnosti pomocí ultrazvukové a rezonanční metody.

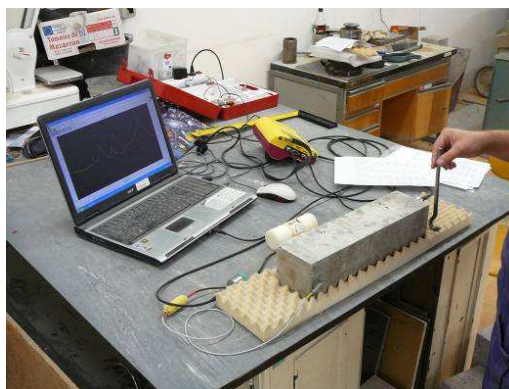
Střídavé zmrazování a rozmrazování probíhalo v automatické zmrazovací skříni KD 20 a bylo postupováno podle starší normy [1], kde vlastní zmrazovací cyklus sestává ze 4 hodin zmrazování (teplota v rozmezí -15 °C až -20 °C pro betony vystavené mrazu do -20 °C, pro betony vystavené mrazu pod -20 °C pak v rozmezí -18 °C až -23 °C) a 2 hodin rozmrazování ve vodě o teplotě +20 °C.

V daném stádiu zmrazování (po výše uvedených počtech cyklů) bylo vždy nejprve prováděno měření nedestruktivními metodami. Stanovení dynamických modulů pružnosti ultrazvukovou metodou (viz Obr. 3) probíhalo dle normy [2], metodou rezonanční z vlastních frekvencí příčného kmitání (viz Obr. 4) pak podle normy [3]. O této metodě je více pojednáno v publikaci [5]. Po nedestruktivním měření následovalo stanovení statického modulu pružnosti v tlaku (viz Obr. 5), kdy bylo postupováno dle [4]. Po této zkoušce byla na týchž hranolových tělesech zjišťována hranolová pevnost v tlaku (viz Obr. 6).

Vzhledem k rozsahu prováděných zkoušek nejsou v tomto článku uvedeny všechny zjišťované charakteristiky v rámci tohoto výzkumu. Některé výsledky byly již pro odbornou veřejnost prezentovány dříve (viz [5]), další publikace budou následovat.



*Obr. 3.: Měření dynamického modulu pružnosti ultrazukovou metodou.*



*Obr. 4.: Měření dynamického modulu pružnosti rezonanční metodou.*



*Obr. 5.: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku v lisu FORM+TEST.*



*Obr. 6.: Stanovení hranolové pevnosti v tlaku v lisu FORM+TEST.*

#### **4. Dosažené výsledky**

Níže v Tabulkách 1 až 4 jsou prezentovány průměrné hodnoty statických a dynamických modulů pružnosti a hranolové pevnosti v tlaku pro všechny tři sady zkušebních těles včetně výběrových směrodatných odchylek výsledných hodnot.



Tyto výsledky jsou uvedeny v čase před zahájením zmrazování (S 0), dále pak po 50, 100 a 150 cyklech na zmrazovaných zkušebních tělesech (M 50, M 100, M 150). Pro porovnání jsou uvedeny i výsledky po 150 cyklech na srovnávacích tělesech (S 150), která byla po celou dobu zmrazování uložena ve vodní lázni.

*Tabulka 1.: Výsledné průměrné hodnoty statických modulů pružnosti v tlaku pro všechny tři druhy porovnávaných betonů včetně výběrových směrodatných odchylek.*

Počet cyklů	Statický modul pružnosti $E_c$ (tlak) [GPa]					
	P - Sportovní		V - Dobrovského		N - laboratoř	
S 0	35,2	0,7	32,8	0,6	32,6	0,5
M 50	32,4	1,3	34,0	1,0	31,9	1,4
M 100	35,2	0,9	33,6	1,0	31,1	0,4
M 150	34,9	1,4	35,6	1,0	18,5	3,0
S 150	38,5	3,6	36,2	0,6	32,5	0,7

*Tabulka 2.: Výsledné průměrné hodnoty dynamických modulů pružnosti pro všechny tři druhy porovnávaných betonů (moduly pružnosti stanoveny ultrazvukovou metodou) včetně výběrových směrodatných odchylek.*

Počet cyklů	Dynamický modul pružnosti $E_{bu}$ (U) [GPa]					
	P - Sportovní		V - Dobrovského		N - laboratoř	
S 0	44,2	1,7	41,7	1,1	40,6	0,6
M 50	42,1	1,5	42,0	0,8	37,9	1,6
M 100	41,5	2,3	42,3	0,9	34,8	4,5
M 150	42,1	2,0	40,8	0,8	29,4	6,8
S 150	45,0	1,2	44,2	1,5	42,2	0,6

*Tabulka 3.: Výsledné průměrné hodnoty dynamických modulů pružnosti včetně výběrových směrodatných odchylek (moduly pružnosti stanoveny rezonanční metodou z měření vlastních frekvencí příčného kmitání).*

Počet cyklů	Dynamický modul pružnosti $E_{brf}$ (FF) [GPa]					
	P - Sportovní		V - Dobrovského		N - laboratoř	
S 0	45,5	1,8	43,0	1,6	41,3	1,0
M 50	42,1	2,1	42,2	1,2	37,4	3,3
M 100	42,8	2,1	42,4	1,5	35,2	6,5
M 150	42,4	2,6	42,0	1,8	27,3	8,6
S 150	45,8	1,6	44,9	2,2	43,1	1,2

Tabulka 4.: Výsledné průměrné hodnoty hranolové pevnosti v tlaku pro všechny tři druhy porovnávaných betonů včetně výběrových směrodatných odchylek.

Počet cyklů	Pevnost v tlaku (hranolová) $f_{c,prism}$ [MPa]					
	P - Sportovní		V - Dobrovského		N - laboratoř	
S 0	57,5	1,1	62,5	1,7	46,0	3,0
M 50	51,0	2,2	72,5	2,0	48,0	1,3
M 100	59,0	4,2	71,5	3,5	49,0	1,2
M 150	55,5	3,9	68,0	3,6	35,0	5,0
S 150	59,5	3,0	73,5	3,3	51,5	0,5

## 5. Závěr

Pokud porovnáme uvedené charakteristiky všech tří zkoušených druhů betonu, z uvedených výsledků je patrné to, co jsme předpokládali před zahájením zkoušek mrazuvzdornosti – oba druhy provzdušněného betonu nevykazovaly ani po 150 cyklech žádné známky porušení. Moduly pružnosti (statické i dynamické) obou těchto betonů jsou srovnatelné, z hlediska hranolové pevnosti v tlaku vyšel lépe vláknobeton odebraný při betonáži portálu tunelu Dobrovského.

U třetího druhu betonu, vyrobeného v laboratoři bez provzdušňujících přísad, se mnohem dříve projevil vliv střídavého zmrazování a rozmrazování na jeho charakteristiky. Tento beton byl mrazuvzdorný maximálně na 100 cyklů, což dokazují uvedené hodnoty a jejich zvyšující se rozptyl při narůstajícím počtu cyklů.

Velkou výhodou nedestruktivních měření je jejich opakovatelnost na týchž tělesech, aniž by došlo k jejich poškození a nevratnému odzkoušení. Lze sledovat vývoj daných charakteristik v čase a usuzovat na míru porušení jednotlivých zkušebních těles. Dynamické metody jsou tedy velmi významným a účinným nástrojem pro sledování vnitřních poruch betonu, a to jak při vyjádření absolutních hodnot modulů pružnosti, tak při relativním vyjádření těchto charakteristik.

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován za podpory projektu specifického vysokoškolského výzkumu FAST-J-11-39 s názvem „Experimentální ověřování poruch vnitřní struktury betonu cyklickým zmrazováním“ a projektu GAČR 103/09/0065 s názvem „Omezení vzniku a rozvoje trhlin v betonových mostech“.

---

Autoři také děkují za podporu firmě OHL ŽS, a.s. a Ing. Aleši Vrbickému za spolupráci při provádění a vyhodnocení experimentů.

## Literatura

- [1] ČSN 73 1322: Stanovení mrazuvzdornosti betonu. ÚNM, 1969.
- [2] ČSN 73 1371: Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu. ÚNM, 1981.
- [3] ČSN 73 1372: Rezonančná metóda skúšania betónu. ÚNM, 1981.
- [4] ČSN ISO 6784: Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. FÚNM, 1993.
- [5] CIKRLE, P.; POSPÍCHAL, O.: Nový způsob stanovení mrazuvzdornosti betonu s využitím metod pro sledování poruch struktury. Beton TKS 3/2011, Praha: Beton TKS, s.r.o., 2011. ISSN 12133116.
- [6] VRBICKÝ, A.: Sledování vývoje modulu pružnosti zmrazovaných betonů. Dipl. práce, Brno, VUT v Brně, Fakulta stavební, 2011.

## Kontakt

Ing. Ondřej Pospíchal, tel: 541 147 811, e-mail: [pospichal.o@fce.vutbr.cz](mailto:pospichal.o@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petr Cikrle, Ph.D., tel: 541 147 814, e-mail: [cikrle.p@fce.vutbr.cz](mailto:cikrle.p@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Dalibor Kocáb, tel: 541 147 811, e-mail: [kocab.d@fce.vutbr.cz](mailto:kocab.d@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ DŘEVĚNÝCH PRVKŮ IN-SITU

### IN SITU NON-DESTRUCTIVE EXAMINATION OF TIMBER ELEMENTS

**Jan Pošta, Jakub Dolejš, Lubomír Vítek**

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí,  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze  
Ústav stavebního zkušebnictví,  
Fakulta stavební, VUT v Brně

***Anotace:***

*Při stavebně technickém průzkumu historických dřevěných konstrukcí se používá řada metod a jejich kombinací. Vzhledem k historické hodnotě staveb se upřednostňují semi-destruktivní či nedestruktivní metody zkoumání dřevěných prvků. Mezi modernější metody patří rentgen či mikrovlnné vlnění. Pro zjištění fyzikálních a mechanických vlastností se v praxi nejvíce používají metody jako odporové zarážení trnu, odporové vrtání, radiální vývrty, ultrazvukové metody a jejich vzájemné kombinace. Předmětem autorova výzkumu je ověřit účinnost kombinace metody radiometrie a dalších metod při zjišťování mechanických vlastností dřevěného prvku.*

***Annotation:***

*Lot of methods and their combinations are used for engineering survey of historically significant buildings. Nondestructive and semi-destructive testing methods are preferred with respect to the historical value of timber elements. X-ray and microwaves methods belong to modern timber condition evaluation methods. The most commonly used methods in practice are resistance driving pin, resistance drilling, radial cores, ultrasound and their combinations. The subject of the author's research is to substitute some current methods by radiometric measure of mass density.*

***Klíčová slova:*** *nedestruktivní, hustota, dřevěné konstrukce, radiometrie, ultrazvuk*

***Keywords:*** *non-destructive, density, timber structures, radiometry, ultrasound*

## 1. Úvod

Předmětem autorova výzkumu je ověřit účinnost kombinace metody radiometrie a dalších metod při zjišťování mechanických vlastností dřevěného prvku. Pomocí radiometrie se v současné době zjišťuje např. objemová hmotnost čerstvého, zatvrdlého betonu, či asfaltových vrstev vozovky. Cílem práce je aplikovat tuto metodu na dřevěné prvky a nahradit tak stávající semi-destruktivní metody. Jedná se o metodu měření absorpce a rozptylu záření gama při jeho průchodu materiálem. Na základě takto zjištěné hustoty v kombinaci s měřením rychlosti průchodu ultrazvukové vlny lze vypočítat dynamický modul pružnosti, který podle [1] bývá vždy o 5-10 % vyšší než statický modul pružnosti. Z těchto hodnot lze obvykle s dostatečnou spolehlivostí dřevěný prvek zařadit do pevnostní třídy.

## 2. Metody hodnocení dřevěných prvků

### 2.1. Ultrazvuková metoda

Jednou z nejčastěji používaných metod při stavebně technickém průzkumu historických dřevěných konstrukcí je ultrazvuková metoda. Podstatou ultrazvukové metody je stanovení modulu pružnosti materiálu na základě změřené rychlosti ultrazvukové vlny šířící se prvkem. Rychlost šíření závisí na druhu dřeva, hustotě, tuhosti a vnějších podmínkách. Na rychlost šíření má také velký vliv stav prvku (biotické napadení, vady dřeva). Obecně negativní prvky jako trhliny, suky či hniloba rychlost snižují. Lze najít závislost mezi touto rychlostí a fyzikálními a mechanickými vlastnostmi zkoumaného prvku. Mezi ultrazvukové přístroje patří Sylvatest, Tico, nebo Arborsonic Decay Detector.

Pokud známe hustotu prvku  $\rho$ , dynamický modul pružnosti  $E$  získáme ze vztahu:

$$E_{\text{dyn}} = \rho * v_{\text{uz}}^2 \text{ [MPa]} \quad (1)$$

Závislost mezi dynamickým a statickým modulem pružnosti zjišťovali např. Booker a kol. (1997), Ross a kol. (1991), de Oliviera (2003), Bonamini a kol. (2001). Divos (2007) uvedl, že dynamický modul pružnosti bývá o 5-10% větší než statický modul pružnosti, což shrnuje dosavadní výsledky. Vzhledem k tomu, že při průzkumu často nelze měřit podél vláken, byla zkoumána závislost rychlosti vln na směru šíření v prvkem. V literatuře se uvádí poměr rychlosti v podélném, radiálním a tangenciálním směru 15 : 5 : 3. Kloiber M. a Kotlíková M. došli k poměru 14,7 : 5 : 3,95.

## 2.2. Radiometrie

Zjistit hustotu dřevěného prvku se autor snaží pomocí metody radiometrie. Přesněji metody absorpce a rozptylu záření gama v měřeném materiálu. Hodnocení konstrukcí pomocí rentgenu začalo již ve čtyřicátých letech (Hacar B., Waitzman K., 1944). Většímu rozšíření bránila cena a hmotnost a velikost samotných přístrojů, které nebylo možné převážet do historických objektů. Vytvořená fotografie odráží hustotu, tloušťku, absorpci energie a chemické vlastnosti materiálu. Radiografie se využívá při určování místa a rozsahu poškození ve dřevě. Hlavní nevýhodou tohoto postupu je převod optické hustoty na snímku na reálnou hustotu dřeva. Vedle radiografie přichází na řadu i přímé radiometrické měření hustoty, kde odpadá mezikrok s vyvoláním fotografického filmu (Loos 1961, Woods and Lawhon 1974, Cown a Ciement 1983, Laufenberg 1986 a další). Důvodem pro vývoj těchto metod je jejich nedestruktivnost oproti gravimetrické metodě. Radiometrie objemové hmotnosti je založena na principu průchodu a zeslabení záření gama a na principu rozptylu záření gama v měřeném materiálu. Pro zeslabení záření po průchodu materiálem platí Lambertova exponenciální rovnice:

$$N = N_0 * e^{-\mu \rho t} \quad (2)$$

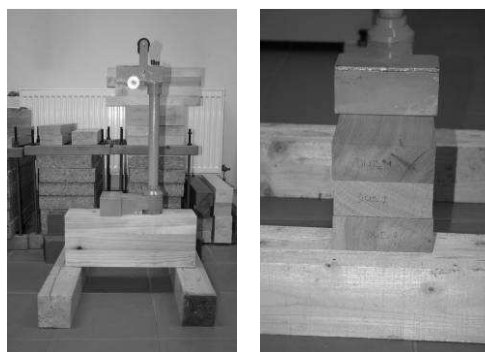
kde:  $N$  – četnost impulsů po průchodu materiálem,  
 $N_0$  – četnost impulsů nezeslabeného svazku záření,  
 $\mu$  – hmotnostní součinitel zeslabení,  
 $t$  – tloušťka materiálu,  
 $\rho$  – hustota.

Aby bylo možné určit hustotu na základě zeslabení gama záření je nutné znát hmotnostní součinitel zeslabení, který je závislý na intenzitě zdroje záření a na složení měřeného vzorku. Dřevo obsahuje z 99% uhlík, sodík, vodík a kyslík. Mezi druhy dřeva se jejich vzájemný poměr příliš neliší, tudíž rozdíl v hmotnostním součiniteli mezi různými druhy je zanedbatelný [2]. Otázkou je, jaký vliv má zvýšená vlhkost vzorku. Pokud se vhodně zvolí zdroj záření, je hodnota součinitele zeslabení dřeva a vody velmi podobná, nebo se liší jen např. do deseti procent. Pokud se tedy vlhkost zkoumaného vzorku nevymyká obvyklým hodnotám vlhkosti, může se vliv vlhkosti zanedbat.

## 3. Experimenty

Během posledního roku provedl autor několik sérií měření hustoty dřevěných prvků pomocí radiometrie v Ústavu stavebního zkušebnictví na

VUT v Brně. Pro měření byla vybrána metoda absorpce a rozptylu záření gama. Měření bylo prováděno radiometrickou sondou pro měření objemové hmotnosti v příložné geometrii, vyvinutou na VUT v Brně (obr. 1), jako zdroj záření byl použit izotop Cesium 137 o aktivitě 0,3 GBq. Radiometrická souprava povrchová se používá při měření v polokulové geometrii u materiálů, u kterých nelze nebo je nežádoucí porušit jejich povrch. Tloušťka měřené vrstvy je závislá na geometrickém uspořádání detekční jednotky, na objemové hmotnosti materiálu a energii a aktivitě zářiče. Dosahuje v průměru hodnoty 0,05 – 0,15 m [3]. Byla sledována četnost impulsů za 1 minutu. Následně byla zkoumána závislost četnosti impulsů na hustotě.



*Obr. 1.: Měření hustoty dřevěného prvku radiometrickou povrchovou soupravou*

Pro první měření byly připraveny dvě sady smrkového dřeva po deseti vzorcích. První sada byla z trámu bez vad, druhá sada byla z trámu s podélnou trhlinou. Byla zjištěna nepřímá úměra mezi četností impulsů a hustotou. Pro sadu vzorků bez vad vyšel koeficient korelace  $R = 0,816$ , ale pro sadu vzorků s podélnou trhlinou nebyla nalezena žádná závislost mezi četností impulsů a hustotou. Což bylo pravděpodobně způsobeno malým rozptylem hustoty smrkových vzorků. Abychom potvrdili, že je četnost impulsů závislá na hustotě, pro další měření byly připraveny vzorky s rozdílnými hustotami. Vzorky byly připraveny z 10 druhů dřeva (akát, borovice, buk pařený, dub, jasan, javor, jilm, lípa, modřín, smrk). Průřezy vzorků měly rozměry 45x120 mm. Vzorky borovice, buku, smrku a jilmu měly odlišné rozměry průřezu, což by negativně ovlivnilo výsledky, proto se s nimi dále nepracovalo. V první řadě byla zkoumána závislost četnosti impulsů na hustotě, dále byl zkoumán vliv odstínění, šířky či výšky zkoumaného vzorku.

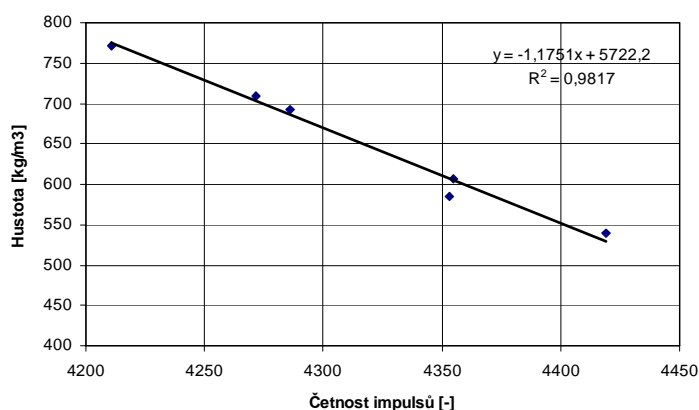
Abychom simulovali co nejlépe reálný trám, byly prvky kladeny na sebe tak, že konečná sestava měla průřez o rozměrech přibližně 180x120 mm. Vzhledem k rozměrům získaných vzorků bylo možné měřit šest druhů dřeva o rozptylu hustoty 539-771 kg/m<sup>3</sup>, viz tab.1. Každá sestava byla měřena desetkrát, pro výsledný graf byla použita průměrná hodnota četnosti impulsů z těchto měření. Závislost četnosti impulsů na hustotě byla vynesena do grafu (obr. 2). Opět zde vidíme nepřímou



úměru. Koeficient determinace  $R^2 = 0,982$  a koeficient korelace  $R = 0,991$  vyjadřují velmi vysokou závislost.

Tabulka 1.: Výsledky měření

No.	Druh dřeva	Výška sestavy vzorků [m]	Hustota zjištěná vážením [kg/m <sup>3</sup> ]	Četnost impulsů
1	akát	0,1755	771,1	4211
2	jasan	0,1760	709,1	4272
3	dub	0,1785	692,9	4286
4	javor	0,1795	606,3	4355
5	modřín	0,1795	584,4	4353
6	lípa	0,1770	538,7	4419



Obr. 2.: Závislost četnosti impulsů na hustotě

U dvou druhů dřeva (javor, dub) byla zkoumána závislost výšky zkoumaného prvku na četnosti impulsů. Prvek byl sestaven z několika trámek výšky 45 mm. Výška byla postupně snižována tak, že se vždy odebral spodní prvek a opakovalo se měření. Na javorových prvcích byl zkoumán vliv šířky na četnosti impulsů. Trámky byly kladeny na užší hranu vedle sebe a postupně ze stran po jednom odebírány. Měřený prvek tak měl šířku 45-180 mm.

Z měření plyne, že vliv rozměrů prvku je významný. Např. u javoru změna výšky prvku o 45 mm způsobí rozdíl 26 impulsů. Podle výše uvedených výsledků by to odpovídalo rozdílu hustot 29 kg/m<sup>3</sup>. Změna šířky prvku o 45 mm znamená rozdíl v četnosti 162 impulsů, což odpovídá změně hustoty 182 kg/m<sup>3</sup>. Na druhou stranu se zde objevuje vysoká závislost změny rozměrů na četnosti impulsů. U změny výšky je hodnota koeficientu korelace  $R = 0,986$  (javor) a  $R = 0,901$  (dub). Pro změnu šířky  $R = 0,992$  (javor).

#### **4. Závěr**

V první fázi experimentů se autor zaměřil na měření hustoty dřevěných prvků pomocí radiometrie. Výsledky těchto experimentů na vzorcích stejných rozměrů jsou velmi dobré, koeficient korelace  $R = 0,991$ . Pokud ovšem mají zkoumané vzorky stejné hustoty odlišné rozměry, změřené četnosti impulsů se liší. Na druhou stranu je zde velmi patrná závislost rozměrů na dosažených výsledcích, změřené hodnoty nejsou náhodné. V další fázi výzkumu bude potřeba přesněji definovat vliv rozměrů na změřené hodnoty.

#### **Poděkování**

Tento výzkum je podpořen výzkumnými granty GAČR 103-08-H066 a SGS11/027/OHK1/1T/11. Autor tuto podporu vysoce oceňuje.

#### **Literatura**

- [1] DIVOS, F.; DIVOS, P.; DIVOS, G.: Acoustic Techniques: From Seedling to Wood Structures. In Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Minnesota. 2007. p. 3-12. ISBN 978-1-892529-52-7.
- [2] LAUFENBERG, T.L.: Using gamma radiation to measure density gradients in reconstituted wood products. In Forest Products Journal, Vol. 36. 1986. p. 59-62
- [3] HOBST, L.: Zkušebnictví a technologie – Radiační defektoskopie. Brno, Ústav stavebního zkušebnictví VUT. 2001.

#### **Kontakt**

Ing. Jan Pošta, tel.: 004 2022435 3745, e-mail: jan.posta@fsv.cvut.cz, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Dr. Ing. Jakub Dolejš, tel.: 004 2022435 4769, e-mail: dolejs@fsv.cvut.cz, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Ing. Lubomír Vítek, Ph.D., tel.: 00420541147825, e-mail: vitek.l@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veverčí 95, 602 00 Brno.

## **DALŠÍ SMĚR V NAVRHOVÁNÍ MECHANICKÉHO UPEVNĚNÍ ETICS PLASTOVÝMI HMOŽDINKAMI**

### **NEW TRENDS IN DESIGN OF MECHANICAL ANCHORING ETICS WITH PLASTIC ANCHORS**

**Miroslav Procházka, Karel Kalivoda**

Technický a zkušební ústav stavební Praha s.p.  
pobočka Brno

***Anotace:***

*Naznačení dalšího směru v navrhování mechanického upevnění ETICS na základě nových zkoušek.*

***Annotation:***

*New trends in design of ETICS mechanical anchoring based on new experience*

***Klíčová slova:*** ETICS, hmoždinky

***Keywords:*** ETICS, plastic anchors

## **1. Mechanické upevňování ETICS**

V tomto roce vstoupila v platnost ČSN 73 2902 Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) – Navrhování a použití mechanického upevnění pro spojení s podkladem. Norma vznikala téměř 2 roky a v jejích ustanoveních se promítají dosavadní zkušenosti s mechanickým upevňováním ETICS na stavbách v ČR.

Dosud se v naprosté většině pro zateplování budov používají desky z pěnového polystyrénu (EPS) nebo z minerálních vláken (MW). Na trhu se však začínají objevovat i jiné tepelně izolační materiály, které mají například výrazně lepší tepelně izolační vlastnosti (např. fenolická pěna - PF), s nimiž ale dosud nejsou žádné zkušenosti ohledně jejich chování při mechanickém upevnění. Teprve po vydání normy se výrobci netradičních materiálů rozhodli provést nezbytné zkoušky chování takových materiálů při jejich spolupůsobení s plastovými hmoždinkami, které se pro upevnění ETICS používají.

## **2. Současný stav**

### **2.1. Tradiční materiály**

V posuzování mechanického upevnění ETICS převládla dlouhodobým vývojem zkouška odolnosti proti protažení hmoždinky, prováděná podle ETAG 004. Tato zkouška vychází z vlastností EPS jako tradičně nejčastěji používaného materiálu tepelné izolace a docela dobře se hodí i pro klasické desky z minerálních vláken o menších tloušťkách. Jenže zvyšující se požadavky na tepelně izolační vlastnosti vedou k výrazně větším tloušťkám izolace z původních materiálů, k vývoji nových typů desek (např. vícevrstvé desky z minerálních vláken) i k používání jiných izolačních materiálů (fenolická pěna, extrudovaný polystyrén). První provedené zkoušky na nových materiálech ukázaly, že používanou metodiku zkoušení, hodnocení a deklarace únosnosti mechanického upevnění bude nutné celkově přehodnotit.

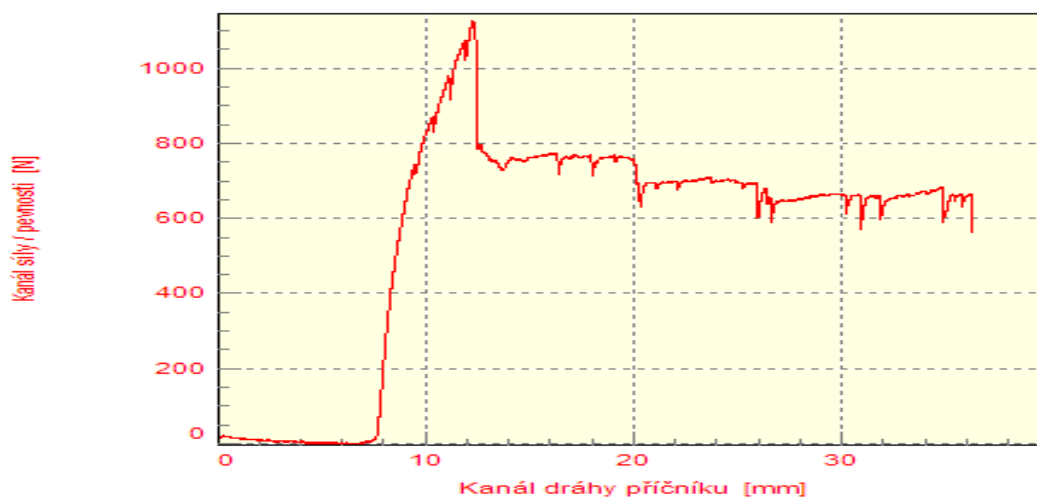
Výsledek zkoušky odolnosti proti protažení hmoždinky se dosud udává jako maximální hodnota síly při porušení zkušebního vzorku bez ohledu na deformaci, respektive průměr tří nebo pěti takovýchto hodnot. U obvyklých materiálů (EPS, MW) toto vyjádření vyhovuje i pro současné větší tloušťky. Zejména EPS se i při větších tloušťkách porušuje vytržením komolého kužele, vycházejícího pod úhlem cca 45° z obvodu talířku plastové hmoždinky. Nové materiály se ale chovají jinak.

## 2.2. Nové materiály

Při zkouškách jiných materiálů byly v okamžiku porušení zkušebního vzorku naměřeny podstatně vyšší síly než při porušení stejné tloušťky EPS. Zdálo by se tedy, že jejich mechanické upevnění bude snazší a bude vyžadovat menší počet hmoždinek. Zásadním problémem je ale způsob porušení vzorku a velikost deformace, při které byly tyto vysoké únosnosti zjištěny.

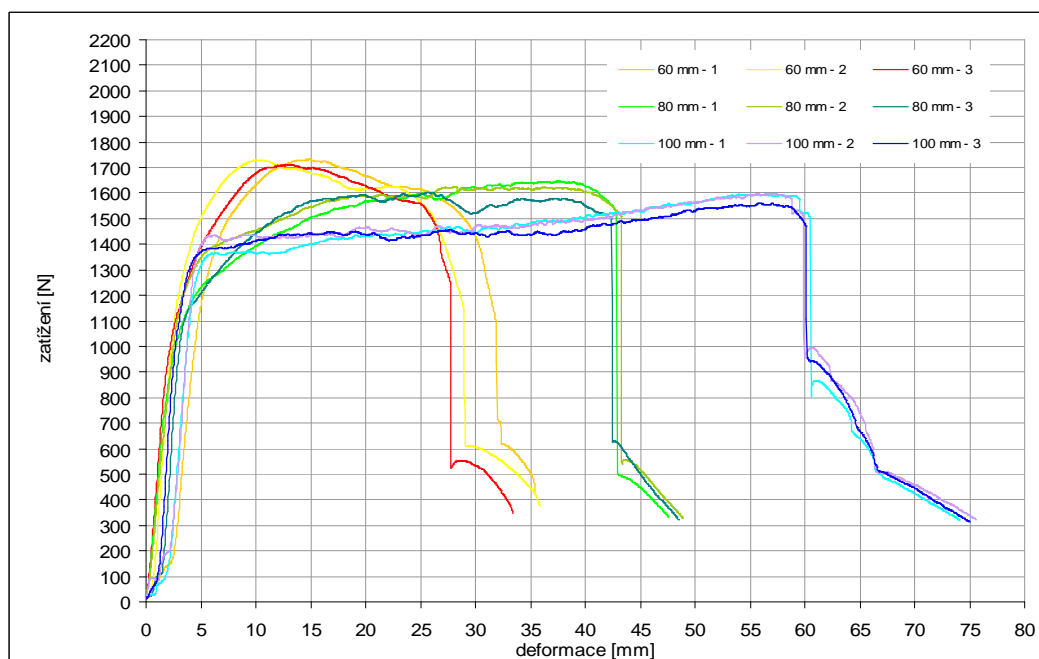
V případě některých materiálů dochází při vysoké síle k protržení jejich povrchové vrstvy a následně k prudkému poklesu síly na pseudokonstantní hodnotu, při níž se talířek hmoždinky postupně prosmyká vrstvou materiálu, až ke konci zkoušky dojde opět k vytržení malého komolého kužele. Zde představuje problém vysoká počáteční hodnota síly, protože v reálném použití se dosahuje žádoucí aktivace mechanického upevnění při mírném zatlačení talířku hmoždinky při mírném porušení povrchu vrstvy tepelné izolace v okamžiku aktivace hmoždinky.

V tomto případě by počáteční vysoké hodnoty bylo dosaženo již v průběhu montáže hmoždinky a ve funkčním stádiu by se využívala pouze výrazně nižší úroveň únosnosti. Pak by při návrhu, vycházejícím z vysoké počáteční hodnoty odolnosti proti protažení, při použití nesprávně nastaveného součinitele bezpečnosti upevnění při spolupůsobení hmoždinky na kontaktu s deskami tepelné izolace nebyla zajištěna požadovaná bezpečnost stavební konstrukce.



Obr. 1.: Typický průběh síly při zkoušce odolnosti proti protažení hmoždinky u materiálu s vysokou pevností povrchové vrstvy

U jiných materiálů dochází k postupnému protahování talířku hmoždinky při současném stlačování a zpevňování materiálu pod ní. Zde postupně síla narůstá se současným velkým zvětšováním deformace v hodnotách desítek milimetrů. Ani v tomto případě nelze v návrhu vycházet z maximální síly zjištěné při porušení vzorku, protože dávno před jejím dosažením by došlo k porušení ETICS nad talířkem hmoždinky. Ani v tomto případě by nebyla zajištěna potřebná bezpečnost mechanického upevnění.



Obr. 2.: Typický průběh síly u materiálu s vysokou pevností ve smyku i v tahu

### 3. Závěr

Pro další vývoj ustanovení ČSN 73 2902 se tedy rýsují dvě možné cesty.

První cestou je respektovat maximální hodnoty odolnosti proti protažení, zjištěné zkouškami jednotlivých tepelně izolačních materiálů, případně celých systémů, a požadovanou bezpečnost mechanického upevnění zajistit stanovením vhodné hodnoty součinitele bezpečnosti mechanického upevnění zvláště pro každý druh, případně i variantu tepelně izolačního materiálu. Tato cesta byla již uplatněna při tvorbě prvního vydání ČSN 73 2902, kdy právě na základě výsledků zkoušek byly do normy zavedeny jednotlivé hodnoty součinitele bezpečnosti mechanického upevnění pro EPS, MW a PF.

Druhou cestou je změnit způsob hodnocení zkoušky odolnosti proti protažení tak, že jejím výsledkem bude hodnota síly zjištěná při pevně stanovené deformaci, jednotné pro všechny tepelně izolační materiály. Stanovená velikost deformace by musela zajišťovat, že při jejím dosažení nedojde k porušení vrstev ETICS na rozhraní s talířkem hmoždinky. Tato cesta by zřejmě umožnila stanovit součinitel bezpečnosti upevnění při spolupůsobení hmoždinky na kontaktu s deskami tepelné izolace jednou hodnotou, společnou pro všechny tepelně izolační materiály. Vyžadovala by však upravit mezinárodně používaný způsob posuzování vlastností ETICS, a to není jednoduché.

V každém případě je nutné při návrhu mechanického upevnění ETICS založeného na materiálech, pro něž nejsou v ČSN 73 2902 stanovené hodnoty součinitele bezpečnosti upevnění při spolupůsobení hmoždinky na kontaktu s deskami tepelné izolace, postupovat velmi opatrně a nespoléhat se na vysokou hodnotu odolnosti proti protažení. Bez znalosti míry a způsobu deformace, při níž bylo této síly dosaženo, může její použití vést k velmi nepříjemným důsledkům.

## **Literatura**

- [1] ČSN 73 2902 Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) – Navrhování a použití mechanického upevnění pro spojení s podkladem

## **Kontakt**

Ing. Miroslav Procházka, tel: 00420 543 420 850, e-mail: prochazka@tzus.cz, Technický a zkušební ústav stavební Praha s.p., pobočka Brno, Hněvkovského 77, 617 00 Brno.

Ing. Karel Kalivoda, tel: 00420 543 420 841, e-mail: kalivodak@tzus.cz, Technický a zkušební ústav stavební Praha s.p., pobočka Brno, Hněvkovského 77, 617 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



**STANOVENÍ PŘÍDRŽNOSTI PU LEPIDLA  
K PODKLADU V RÁMCI OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ  
VNĚJŠÍCH TEPELNĚ IZOLAČNÍCH  
KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ (ETICS)**

**DETERMINATION OF BOND STRENGTH PU  
ADHESIVES IN THE VERIFICATION OF  
PROPERTIES OF EXTERNAL THERMAL  
INSULATION COMPOSITE SYSTEMS (ETICS)**

**Hynek Remeš**

Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

***Anotace:***

*Příspěvek popisuje způsob zjištění přídržnosti PU lepidla v rámci ověřování vlastností vnějších tepelně izolačních systémů (ETICS).*

***Annotation:***

*The article describes how to determine bonding adhesive PU in the verification of properties of external thermal insulation composite systems (ETICS).*

***Klíčová slova:*** PU lepidlo, ETICS

***Keywords:*** PU adhesive, ETICS

## 1. Úvod

Nejpopulárnější zateplovací systémy jsou bezesporu vnější kontaktní kompozitní zateplovací systémy (ETICS) s použitím tepelně izolačních desek z pěnového polystyrenu. Dobrý zateplovací systém musí splňovat základní předpoklady: bezporuchovost, vysokou investiční návratnost a výborné tepelně izolační vlastnosti. Využití PU lepidel v zateplovacích systémech zvyšuje efektivitu práce snížením doby montáže zateplovacího systému především díky zkrácení doby vyzrání lepidla před započítáním mechanického kotvení. V technických vlastnostech, jako je nízká tepelná vodivost, rozsah aplikačních teplot, předčí PU lepidla klasická cementová lepidla.

Stanovení přídržnosti lepicí hmoty k podklad se v rámci ověření vlastností ETICS provádí podle metodiky uvedené v ETAG 004 – Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou. Tento postup je určený pro klasické lepicí cementové a pastovité lepicí hmoty, nicméně pro nízkoexpanzní PU lepidla se ukazuje nepříliš vhodná z důvodů rozdílných fyzikálně mechanickým vlastnostem PU lepidel oproti klasickým lepicím hmotám. Tento příspěvek popisuje možný způsob ověření přídržnosti PU lepidel ke stavebním podkladům.

## 2. Praktická část

### 2.1. Základní údaje

Pro ověřovací zkoušky bylo použito nízkoexpanzní PU lepidlo STYRO 753 B1/E určené pro lepení ETICS, jako podklady byly stanoveny běžné stavební deskové materiály – cementopískové desky, sádrovláknité desky, dřevoštěpové desky a ocelový plech. Ověřovací práce se prováděly v laboratořích TZÚS Praha.

Tabulka 1.: Základní fyzikální vlastnosti PU lepidla (Tytan STYRO 753 B1/E).

Vlastnost	Parametr
Aplikační teplota	+0°C až +30°C
Otevřený čas	<5 min.
Čas pro úpravu pozice desek	<15 min.
Kotvení izolačních desek	2 h
Čas úplného vytvrzení	24 h
Teplotní odolnost (po vytvrzení)	-60°C až + 100°C
Hustota (ve spáře)	19 - 26 kg/m <sup>3</sup>

## 2.2. Popis metodiky

Ověření přídržnosti se provádělo nanesením PU lepidla (obr.1) na podklad s následným přiložením izolantu z pěnového polystyrenu. Tloušťka PU lepidla se definovala pomocí distančních tělísek vysokých 8 mm. Izolant se zatížil tak, aby nemohlo docházet k posunu vlivem postexpanze (obr.2). Po 24 hodinách se seřízl pěnový polystyren a přilepily se odrhové terče (50x50 mm) PU lepidlem shodným s ověřovaným PU lepidlem (obr. 3). Po dalších 24 hodinách se provedly odtrhy.



Obr. 1.: Příprava vzorků.



Obr. 2.: Přilepení odtrhových terčů a vzorek po provedení odtrhu.

Zjištěné hodnoty přídržnosti PU lepidla k běžným stavebním podkladům jsou uvedeny v tabulce 2.

*Tabulka 2.: Přídržnost PU lepidla (Tytan STYRO 753 BI/E) k vybraným stavebním deskovým materiálům.*

Podklad	Přídržnost k podkladu [MPa]	Způsob porušení
Cetris deska	0,13	mezi PU lepidlem a podkladem
Ocelová deska	0,18	v PU lepidle
Deska OSB	0,12	v PU lepidle
Deska Fermacell	0,19	mezi PU lepidlem a podkladem

### 3. Závěr

Zjištěné hodnoty přídržnosti PU lepidla k běžným stavebním deskovým podkladům jsou nižší než hodnoty zjištěné podle metodiky uvedené v ETAG 004, nicméně reflektují skutečný způsob aplikace PU lepidel a jejich technická specifika. Popsaná metodika se ukazuje jako vhodná pro stanovení přídržnosti PU lepidla k podkladu v rámci ověření vlastností ETICS.

### Kontakt

Ing. Hynek Remeš, tel. +420 416 837 387, e-mail:  
hynek.remes@tytan.cz, Selena Bohemia s.r.o., Průmyslová 1190, 412 02  
Lovosice

## DREVO NA STAVEBNÉ KONŠTRUKCIE – SKÚŠANIE A KVALITA

### STRUCTURAL TIMBER – TESTING AND QUALITY

**Alena Rohanová, Jozef Kúdela**

Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

#### ***Anotácia***

*V práci je urobená analýza vlastností dreva, na základe ktorých sa určujú triedy pevnosti. Popísaný je vplyv heterogenity, vlhkosti a hustoty dreva na tieto vlastnosti ako aj spôsob stanovenia charakteristickej pevnosti. V práci je tiež urobená analýza skúšobných deštruktívnych a nedeštruktívnych metód na stanovenie charakteristických hodnôt pevnosti, modulu pružnosti a hustoty. Experimentálne bolo na smrekovom dreve overované, ktorá z testovaných nedeštruktívnych metód poskytuje najspoľahlivejšie výsledky o kvalite dreva a bude ju môcť spoľahlivo využívať pri jeho triedení do pevnostných tried. Na základe dosiahnutých výsledkov sa ukázalo, že testované akustické metódy nadhodnocujú parametre kvality konštrukčného dreva a z tohto dôvodu je potrebné tieto metódy doladiť. Najobjektívnejšie výsledky sa dosiahli v prípade metódy ohyb-CB (flat wise). Je to jednoduchá metóda. Navyše lokalizuje kritické miesta po dĺžke reziva, čo umožňuje jeho efektívnejšie využitie.*

#### ***Annotation:***

*This paper presents the analysis of wood properties fundamental for grading the wood into strength classes. These properties are discussed in dependence on wood heterogeneity, moisture content and density. We also describe the way of determining the characteristic strength value, and analyse destructive and non-destructive methods for determining the characteristic values of strength, modulus of elasticity and density. The non-destructive methods were tested on spruce wood: to find out which of them would provide the most reliable results for assessment of wood quality, and as such would be the most suitable for wood quality grading into strength classes. Our results show that the quality parameters of engineering wood obtained with the tested acoustic methods were over-estimated and that the methods concerned need additional adjustment. The most objective results were obtained by implementing the method deflection-CB (flat wise). The method is simple. Moreover, it identifies critical spots along sawn wood, which improves the effectiveness of its further use.*

***Kľúčové slová:*** smrekové drevo, nedeštruktívna metóda, hustota, modul pružnosti, pevnosť, kvalita dreva, trieda pevnosti

***Keywords:*** spruce wood, non-destructive method, density, modulus of elasticity, modulus of rupture, wood quality, strength class

## 1. Úvod

Drevo je veľmi dobrý a atraktívny konštrukčný materiál. Vyznačuje sa dobrými fyzikálnymi a mechanickými vlastnosťami, nízkou hustotou, dobrou opracovateľnosťou. Navyše je to dostupná, obnoviteľná a ekologická surovina.

Na druhej strane, ako prírodný materiál, má aj celý rad nevýhod, s ktorými v prípade použitia dreva na konštrukčné účely je nutné uvažovať. Pre objektívne hodnotenie kvality tohto materiálu na konštrukčné účely, ako aj pre samotné dimenzovanie konštrukčných prvkov z dreva je preto potrebné poznať celý rad jeho vlastností, ich vzájomnú prepojenosť ako aj vplyv rôznych faktorov, ktoré tieto vlastnosti ovplyvňujú.

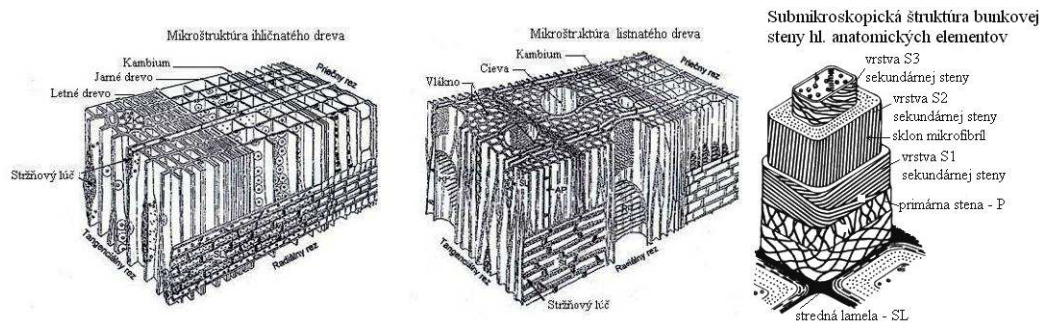
Cieľom práce je poskytnúť základné informácie o dreve, podať komplexnejší pohľad na hodnotenie kvality dreva pre konštrukčné účely a poukázať, ako sa tieto skutočnosti odrážajú v normotvornej a experimentálnej činnosti.

## 2. Charakteristika dreva

Každý materiál má svoje špecifiká. V plnej miere to platí o dreve, pretože je to prírodný, heterogénny materiál. Navyše je anizotropný, pórovitý a hydrofilný. Keďže tieto skutočnosti výrazne ovplyvňujú vlastnosti dreva a tým aj jeho kvalitu, stručne ich popíšeme.

### 2.1. Heterogenita dreva

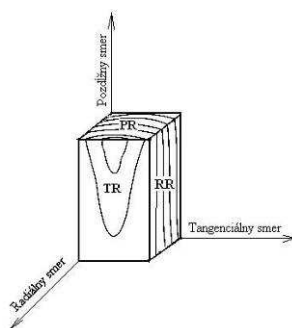
Heterogenita dreva, resp. jeho nehomogénnosť sa prejavuje na všetkých úrovniach štruktúry. Rozdiely v makroštruktúre môžeme pozorovať medzi jarným a letným drevom, medzi jadrom a belou, atď. Veľká heterogenita je aj na mikro-, a submikro-skopickej úrovni (obr. 1). Heterogenita je príčinou veľkej variability vlastností dreva, s ktorou je potrebné u dreva vždy počítať.



Obr. 1 Mikko- a submikro-štruktúra dreva (BENKOVA a SCHWEINGRUBER, 2004)

Vysoká variabilita vlastností sa v skúšobníctve odráža na zvýšenom počte experimentálnych meraní danej vlastnosti. Pri stanovení počtu telies pre konkrétny experiment sa zohľadňuje variabilita danej vlastnosti, požadovaná presnosť a spoľahlivosť výsledku. Variabilita danej vlastnosti sa zohľadňuje tiež pri stanovení charakteristickej pevnosti (STN EN 338). Pri predpokladanom normálnom rozložení hodnôt vlastnosti sa neuvažuje s priemernou hodnotou, ale s hodnotou na spodnom 5% kvantile spoľahlivosti, čo je približne priemerná hodnota –  $2 \times$  smerodajná odchýlka.

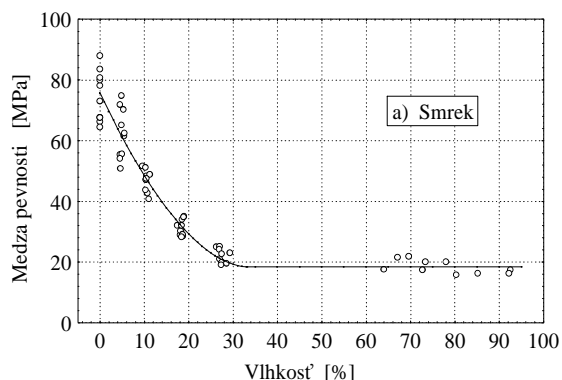
## 2.2. Anizotropia dreva



Obr. 2 Hlavné smery v dreve

Drevo je anizotropný materiál, to znamená, že má v rôznych smeroch rôzne vlastnosti. V prípade dreva anizotropiu zjednodušujeme na ortogonálnu anizotropiu. To znamená, že sa uvažuje s tromi hlavnými smermi, ktoré sú na seba kolmé. V týchto smeroch sa určujú vlastnosti dreva. V prípade dreva tri hlavné smery predstavujú – smer rovnobežne s vláknami (pozdĺžny smer) a dva smery kolmo na vlákna (radiálny a tangenciálny smer) – obr. 2. Zároveň dostávame tri základné rezy – radiálny, tangenciálny a priečny.

## 2.3. Hydrofilnosť dreva



Obr. 3 Závislosť medze pevnosti smrekového dreva v tlaku rovnobežne s vláknami na vlhkosti (Kúdela, 1997)

Pod hydrofilnosťou dreva sa rozumie jeho schopnosť viazať vodu. Je to dané jeho chemickým zložením. Hlavný podiel na hydrofilnosti má celulóza a hemicelulózy. Výsledkom hydrofilnosti je sorpcia vodných pár z ovzdušia. Z hydrofilnej povahy dreva vyplýva, že súplne suchým drevom sa v podmienkach, v ktorých je drevo spracované a spotrebiteľom používané nikdy nestretávame. Vlhkosť dreva závisí predovšetkým od parametrov prostredia (relatívnej

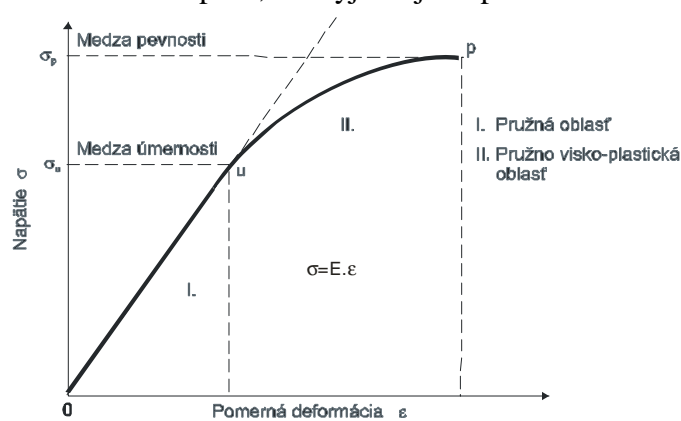
vlhkosti vzduchu a teploty) a pohybuje sa v rozsahu 0–30 %. Všetka voda sorbovaná drevom z ovzdušia je viazaná a významne ovplyvňuje fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva. Všetky napät'ové charakteristiky (medza pevnosti, medza úmernosti a modul pružnosti) s rastúcou vlhkosťou v rozsahu viazanej vody významne klesajú (obr. 3). Z tohto dôvodu normy predpisujú zisťovať mechanické vlastnosti dreva pri tzv. referenčnej 12% vlhkosti ( $\varphi = 65$  %,  $t = 20$  °C). Zmena pevnosti s vlhkosťou sa tiež zohľadňuje vo výpočtoch v triedach použitia pri stanovení návrhovej pevnosti prostredníctvom koeficientov  $k_{mod}$  a  $k_{def}$  (EC 5).

## 2.4. Pórovitosť dreva

Anatomické elementy dreva svojim rozmanitým tvarom a usporiadaním vytvárajú zložitý heterogénny pórovitý systém, ktorý je súčasťou ich vývoja. Každá drevina má svoje špecifiká, najmä čo sa týka tvaru pórov, veľkosti, miery vzájomného prepojenia a ich rozmiestnenia. Rozmiestnenie pórov je najlepšie pozorovateľné na priečnom reze. Pórovitý charakter dreva je príčinou prijímania kvapalnej vody do dreva.

## 3. Správanie sa dreva pri mechanickom zaťažení

Pri mechanickom namáhaní pôsobia na drevo vonkajšie mechanické sily, ktoré ho deformujú pružne alebo pružno-plasticky, v závislosti od miery jeho vnútorného odporu, čo vyjadruje napät'ovo-deformačný diagram dreva (obr. 4).



Obr. 4 Napät'ovo-deformačný diagram dreva

mechanických vlastností – pevnosti, pružnosti, húževnatosti a plasticity. Tieto vlastnosti kvantifikujeme pomocou napät'ových a deformačných charakteristík, ktoré určujú kvalitu dreva.

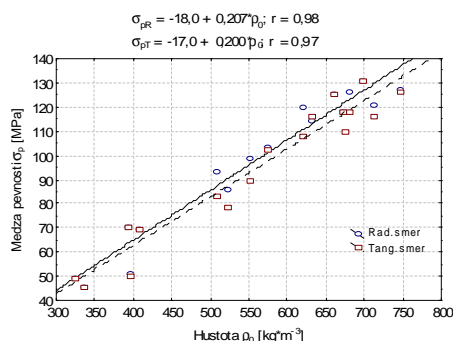
Daný priebeh diagramu platí pre všetky spôsoby zaťaženia, okrem tlaku kolmo na vlákna.

Reakcia dreva na mechanické namáhanie závisí od jeho kvality, ktorá je daná predovšetkým jeho vnútornou štruktúrou. Správanie sa dreva pri mechanickom namáhaní kvalitatívne a kvantitatívne vyjadrujeme prostredníctvom základných

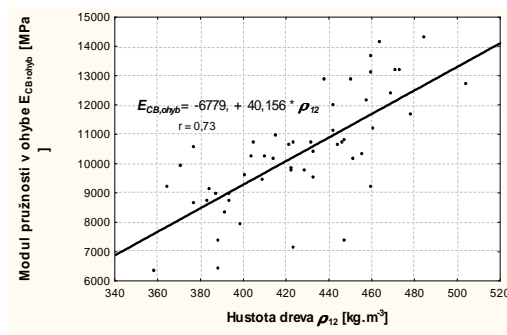


Z nášho pohľadu najdôležitejšie napät'ové charakteristiky sú medza pevnosti a modul pružnosti. Všeobecne je známe, že na hodnotách pevnosti ako aj modulu pružnosti dreva sa hlavnou mierou podieľajú predovšetkým jeho vláknité bunky. Medzi druhmi dreva sú v skladbe týchto buniek kvantitatívne aj kvalitatívne rozdiely (CHOVANEC, 1985), čo sa musí zákonite odraziť na mechanických vlastnostiach. Variabilitu v štruktúre vláknitých buniek možno pozorovať aj v rámci jednej dreviny, čo je tiež príčinou už uvedenej variability vlastností.

Keďže sa tieto rozdiely v štruktúre dreva významne odrážajú aj na jeho hustote. Preto z praktického hľadiska sa vplyv štruktúry na pevnosť a modul pružnosti dreva práve vyjadruje prostredníctvom jeho hustoty, hoci rozdielna hustota dreva nemusí vždy dostatočne vysvetľovať variabilitu jeho fyzikálnych a mechanických vlastností (KÚDELA, 2010). Platí, že obidve napät'ové charakteristiky úmerne rastú s rastúcou hustotou dreva. Závislosť medze pevnosti dreva v statickom ohybe na hustote stanovená z priemerných hodnôt pevnosti a hustoty 15 druhov dreva listnatých a ihličnatých drevín je znázornená na obr. 5. Na obr. 6 je závislosť medzi modulom pružnosti a hustotou dreva na telesách konštrukčných rozmerov (ROHANOVA, 2000). Je významné, že lineárna závislosť bola zistená v rámci dreviny ako aj medzi drevinami.



Obr. 5 Závislosť medze pevnosti dreva v statickom ohybe na hustote na malých telesách (KÚDELA, 2010)



Obr. 6 Závislosť modulu pružnosti v ohybe a hustoty dreva - konštrukčné telesá (ROHANOVA, 2000)

Delenie dreva do tried pevnosti podľa STN EN 338 si vyžaduje poznať závislosť pevnosti v ohybe od modulu pružnosti. Na znalosti tejto závislosti je založené aj pevnostné triedenie dreva pre konštrukčné účely. Experimentálne merania na malorozmerových ako aj na veľkorozmerových telesách potvrdili, že medzi pevnosťou a modulom pružnosti platí lineárna závislosť (POŽGAJ *et al.*, 1997; ROHANOVA, 1987, 2000). Z hľadiska štatistického vyhodnotenia ide o priemerné hodnoty pevnosti. Ako bolo uvedené v kap. 2, musí sa zohľadniť

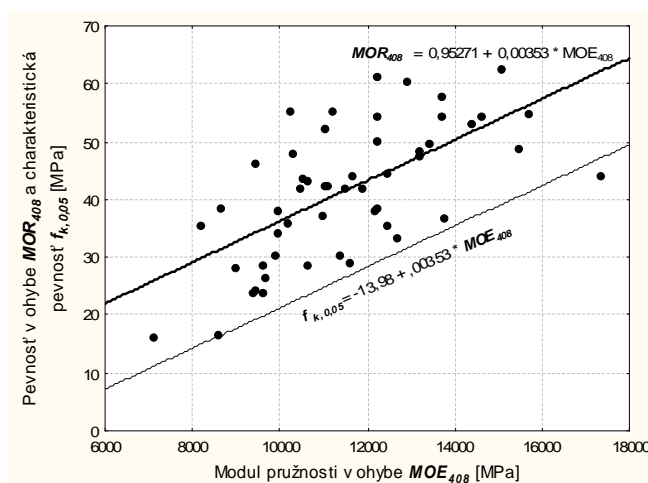
variabilita tejto vlastnosti. Na základe experimentálnych výsledkov sa potvrdilo, že okolo priamky po celej jej dĺžke platí Gausovo rozdelenie. Drevo konštrukčných rozmerov má navyše prirodzený výskyt chýb, čo ešte zvyšuje jeho variabilitu. V prípade stavebných drevených prvkov sa musí počítať s reálnou vlhkosťou a rôznou dĺžkou zaťaženia. Toto všetko sa musí zohľadniť pri transformácii priemernej pevnosti na charakteristickú pevnosť, resp. návrhovú. Ich spoľahlivé a objektívne určenie je však podmienené komplexnou analýzou a syntézou vlastností konštrukčného dreva zohľadňujúcich:

teóriu spoľahlivosti,

parametre navrhovania podľa I. a II. medzného stavu.

Tieto skutočnosti sú zohľadnené v norme STN EN 338 a v Eurokóde 5 STN EN 1995-1-1+ A1.

Závislosť pevnosti v ohybe od modulu pružnosti smrekového dreva zisťovaná na telesách konštrukčných rozmerov je znázornená na obr. 7. Zobrazuje aj lineárnu závislosť 5%-ný kvantil spoľahlivosti).



Obr. 7 Závislosť pevnosti v ohybe od modulu pružnosti smrekového dreva (ROHANOVÁ, 2000);  $MOR_{408}(MOE_{408})$  – priemerné hodnoty,  $f_{k,0,05}(MOE_{408})$  – charakteristické hodnoty (5%-ný kvantil spoľahlivosti)

#### 4. Triedy pevnosti – charakteristická a návrhová pevnosť

Norma STN EN 338 uvádza **charakteristické** hodnoty pevnosti pre konkrétne hodnoty modulov pružnosti a hustoty (tab. 1). Musí sa zohľadniť aj vplyv ďalších parametrov, ktoré vo vzájomnej interakcii ovplyvňujú charakteristickú pevnosť. Takto stanovené hodnoty pevnosti objektívnejšie a spoľahlivejšie charakterizujú skutočné vlastnosti konštrukčného materiálu

V danej norme je podobný postup aplikovaný aj pri ďalších spôsoboch zaťaženia (ťah, tlak, šmyk). Pri ich stanovení sa vychádza z STN EN 408 a STN EN 384.

Z hľadiska navrhovania drevených konštrukcií je najvýznamnejší predpis *Eurokód 5 STN EN 1995-1-1+ A1*. Používa sa na navrhovanie konštrukcií budov a inžinierskych stavieb z dreva a z materiálov na báze dreva.

Eurokód 5 sa zaoberá výlučne požiadavkami na únosnosť, použiteľnosť a trvanlivosť nosných konštrukcií metódami medzných stavov (medzné stavy únosnosti a použiteľnosti). Pri vlastnostiach materiálov (drevo, lepené lamelové drevo, vrstvené dyhové drevo, materiály na báze dreva) sú uvádzané tzv. *charakteristické* hodnoty vlastnosti materiálu ( $X_k$ ).

Pri medzných stavoch *únosnosti* sú pri výpočtoch drevených prvkov zohľadňované namáhania na ťah v smere vlákien, tlak kolmo na vlákna, ohyb, šmyk a krútenie. Pri ich výpočtoch sa zohľadňujú tzv. *návrhové* hodnoty pevnosti ( $X_d$ ) získané z charakteristických hodnôt upravených koeficientom  $k_{mod}$  a  $\gamma_M$ . Koeficient  $k_{mod}$  zohľadňuje vplyv vlhkosti, dĺžky trvania zaťaženia a druh konštrukčného materiálu a  $\gamma_M$  je parciálny súčiniteľ spoľahlivosti materiálu ( $X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$ ).

Tab. 1 Triedy pevnosti a požiadavky na charakteristické hodnoty pevnosti v ohybe  $f_{m,k}$  [MPa], modulov pružnosti  $E_{0,mean}$  [MPa] a hustoty  $\rho_{mean}$  [kg·m<sup>-3</sup>] podľa EN 338, STN 49 1531, PN – 82/D-94021, DIN 1052 a ČSN 49 1531-1

Predpis		Triedy pevnosti – charakteristické hodnoty (topoľové drevo a ihličnaté druhy dreva)									
		C 14	C 16	C 18	C 22	C 24	C 27	C 30	C 35	C 40	C 50
STN EN 338	trieda										
	$f_{m,k}$ [MPa]	14	16	18	22	24	27	30	35	40	50
	$E_{0,mean}$ [MPa]	7000	8000	9000	10000	11000	11000	12000	13000	14000	16000
	$\rho_{mean}$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	350	370	380	410	420	450	460	480	500	550
	STN 49 1531 (SK)	-	<b>SII</b>	-	-	<b>SI</b>	-	<b>S0</b>	-	-	-
	ČSN 49 1531-1 (ČR)		<b>SII</b>			<b>SI</b>		<b>S0</b>			
	PN – 82/D 94021 (PL)	-	-	<b>KG</b>	-	<b>KS</b>	-	<b>KW</b>	-	-	-
	DIN 1052:2004 (SRN)		<b>7</b>			<b>10</b>		<b>13</b>			

Pri medzných stavoch *použiteľnosti* je z hľadiska mechanických vlastností významný modul pružnosti. Vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti na pretvorenie sú pri konečnom module pružnosti  $E_{mean,fin}$  zohľadňované faktorom  $k_{def}$ . Priemerná hodnota modulu pružnosti  $E_{mean}$  sa ďalej upravuje súčiniteľom

spoľahlivosti  $\gamma_M$ . Získava sa **návrhová** hodnota modulu pružnosti  $E_d$ , ktorá sa ďalej aplikuje vo výpočtoch. Náročnosť a zložitosť skúšania a hodnotenia kvality dreva na stavebné konštrukcie potvrdzuje veľký počet európskych predpisov. Harmonizácia predpisov poskytuje každej členskej krajine EÚ zjednocovať metódy výskumu, ich aplikáciu v praxi a bezproblémovú spoluprácu v oblasti obchodnej činnosti. Príkladom toho je oblasť triedenia dreva na stavebné konštrukcie rôznymi metódami KRZOSEK *et al.*, 2009, ROHANOVÁ *et al.*, 2009, 2010).

V tabuľke 1 je uvedený výber najvýznamnejších charakteristických hodnôt (pevnosť, pružnosť, hustota) pre triedy pevnosti C14 až C50 (STN EN 338). Označenie triedy C14 znamená: C – drevo ihličnanov (coniferus), číslo 14 znamená charakteristickú hodnotu pevnosti v ohybe  $f_{m,k} = 14$  MPa.

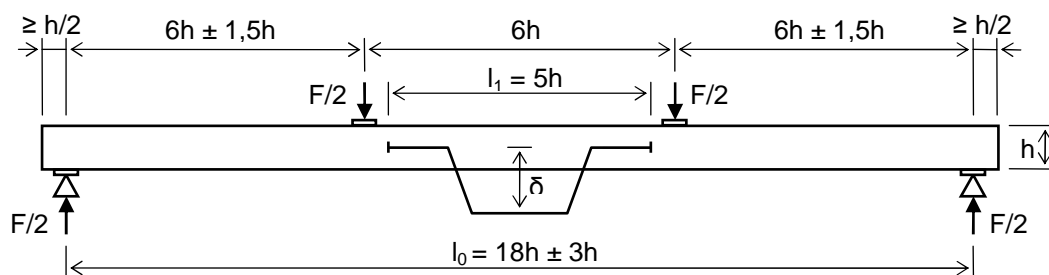
Tabuľka 1 je doplnená o STN 49 1531, ktorá uvádza triedy kvality SII, SI a S0 stanovené vizuálnou metódou, platné pre slovenský trh. Dôležité je prepojenie týchto tried s triedami v STN EN 338. Platí, že trieda SII zodpovedá triede C16, SI triede C22 a S0 triede C30. Podobné triedenie ako na Slovensku, sa uplatňuje aj v okolitých krajinách (tab. 1).

Kvalita koňš Za dôležitý faktor sa považuje tiež pôvod dreva. Geografická oblasť ťažby guľatiny je v Európe rozdelená do niekoľko oblastí: CNE, NNE a NC (STN EN 1912). V oblasti CNE (stredná, severná a východná Európa, do ktorej patrí aj SR) sú najrozšírenejšie dreviny smrek/jedľa s triedami pevnosti C30, C27, C24, C22, C18 a C16.

## 5. Kvalita konštrukčného dreva – metódy

Materiály používané v stavebných konštrukciách sú charakterizované ich vlastnosťami, ktoré sa zisťujú experimentálne. Pre každý stavebný materiál sú stanovené špecifické metódy skúšania, na základe ktorých sa hodnotí ich kvalita.

**Deštruktívna metóda** – STN EN 408 Na zisťovanie parametrov kvality konštrukčného dreva (pevnosti a modulu pružnosti v ohybe) sa aplikuje štvorbodový ohyb, ktorý je definovaný v STN EN 408. (obr. 8).



Obr. 8 Schéma zaťaženia skúšobných telies pri štvorbodovom ohybe (STN EN 408)

Namerané výsledky z deštruktívnych skúšok sa ďalej upravujú podľa STN EN 384, ktoré zohľadňujú skutočné referenčné podmienky a modelové výpočty pevnosti a modulov pružnosti.

Zistené hodnoty mechanických vlastností a hustoty dreva sú základom pre odporúčané charakteristické hodnoty uvedené v STN EN 338. Ich hodnoty sa aplikujú pri dimenzovaní drevených stavebných prvkoch ako aj pri určovaní tried pevnosti nedeštruktívnymi metódami (WEIDENHILLER - DENZLER, 2009).

### Nedeštruktívne metódy

Na zisťovanie pevnostných a pružnostných charakteristík dreva sa používajú dve metódy triedenia – vizuálna a strojová.

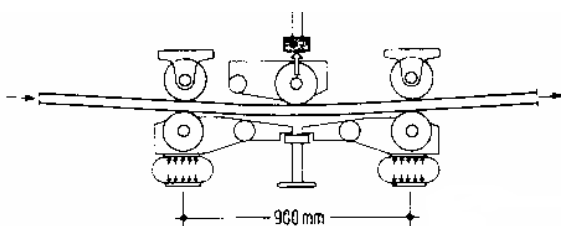
- Vizuálna – priraďuje triedy kvality, ktoré sa stanovujú na základe výskytu chýb dreva vyškoleným personálom. Vyžaduje si to poznatky o fyzikálnych a mechanických vlastnostiach dreva a jeho štruktúry. Hustota dreva sa nezohľadňuje. STN 49 1531 stanovuje limitné hodnoty dovolených chýb dreva pre jednotlivé triedy kvality S0, SI a SII. Ekvivalentom je európsky predpis STN EN 14081-1, ktorý uvádza požiadavky na charakteristiky znižujúce pevnosť (hrče, odklon vlákien, trhliny a i.). Pri vizuálnej metóde je obtiažne spoľahlivo a objektívne stanoviť parametre pevnosti a pružnosti a tým aj triedu pevnosti. Preto pri vizuálnej metóde je vhodnejšie uvádzať triedu kvality, ktorá špecifikuje vizuálnu metódu triedenia. Pri tejto metóde nie je možné vylúčiť subjektívny faktor.

- Strojová – stanovuje triedy pevnosti. Pri triedení reziva na rôznych princípoch sa zisťujú pevnostné a pružnostné charakteristiky dreva. Metodický postup ako aj konkrétne využitie výsledkov uvádzajú predpisy STN EN 408, STN EN 384, STN 14081-2, 3 a 4.

Pre obidve metódy je platná STN EN 338, ktorá uvádza systém tried pevnosti na všeobecné použitie pre navrhovanie drevených konštrukcií. U konštrukčného reziva, ktoré sa v drevených konštrukciách používa v značne väčších rozmeroch, sa zohľadňujú všetky faktory, ktoré ovplyvňujú pevnostné vlastnosti prvku v procese užívania.

*Ohybová metóda* – najrozšírenejšie sú zariadenia na princípe ohybu. Sú jednoduché a cenovo dostupné. Rezivo sa pri triedení môže zaťažiť jednou príp. dvojicou síl. Pre zisťovanie modulu pružnosti je konštantný parameter:

- predvolený priehyb (meria sa veľkosť zaťaženia),
- predvolená sila, meria sa dosiahnutý priehyb.



Obr.9 Cook Bolinders SG-AF - schéma trojbodového ohybového zaťaženia na rezive

Zariadenia, ktoré pracujú na ohybovom princípe triedenia reziva, pracujú buď *off line* alebo *in line*. V zahraničí sú vyvinuté triediace zariadenia, ktoré sa priemyselne využívajú u veľkých výrobcov či dovozcov reziva, napr. Cook Bolinders SG-AF (obr. 9).

*Röntgenová metóda* – zisťuje hustotu a chyby dreva, ktoré sa dajú identifikovať touto metódou (hniloba, poškodenie hmyzom, trhliny, hrče). Používa sa najmä na triedenie listnatého reziva. Náklady spojené so zaobstaraním zariadení, ktoré pracujú na tomto princípe sú vysoké, čo obmedzuje ich používanie v drevárskom priemysle.

*Izotopová metóda* – je založená na princípe spontánnej radiácie niektorých izotopov. Najčastejšie sa používa gama žiarenie. Intenzita radiácie sa mení pri prechode meraným materiálom, lebo materiál pohlcuje prechádzajúce žiarenie. Absorpcia žiarenia materiálom závisí od hrúbky a hustoty materiálu.

*Mikrovlnná metóda* – pri triedení stavebného reziva sa sleduje rýchlosť a útlm elektromagnetických vln v dreve. Na základe týchto parametrov sa určí hustota dreva, obsah vody a uhol vlákien v triedenom rezive.

*Vibračná metóda* – tento spôsob spočíva vo vyslaní vlnenia do testovaného reziva. Meria sa čas jeho šírenia v dreve a útlm vlnenia. Tlaková vlna sa vyvolá úderom kladiva (impaktne) na čele reziva (obr.10). Platí pritom, že čím je väčšie poškodenie štruktúry dreva tým sa zväčšuje sa útlm vlnenia v dreve a predlžuje sa čas prechodu vlnenia drevom. Na tomto princípe pracuje prístroj Timber Grader MTG.

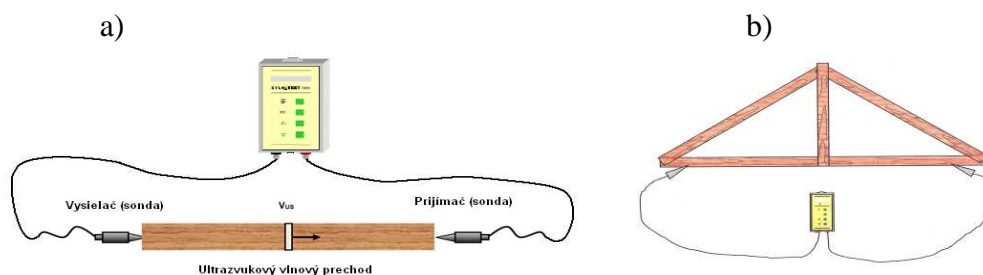


Obr. 10 Timber Grader MTG - aplikácia

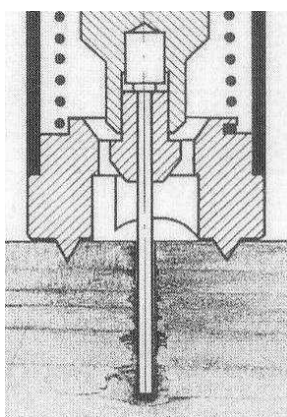
*Ultrazvuková metóda* – sa zaraďuje medzi nedeštruktívne metódy triedenia reziva. Určovanie mechanických vlastností reziva pomocou šírenia ultrazvuku v dreve sa zakladá na korelácii medzi rýchlosťou zvuku, dynamickým modulom pružnosti a hustotou dreva. Pri triedení reziva pomocou ultrazvuku sa používa frekvencia vln v rozpätí 20 až 500 kHz. Na základe rýchlosti a útlmu ultrazvuku v dreve sa stanoví pevnosť dreva.

Meranie spočíva v umiestnení dvoch piezoelektrických sond na protiľahlých stranách reziva. Táto metóda sa označuje v zahraničnej literatúre ako „trough transmission“ metóda. Ultrazvuková vlna sa vysiela jednou sondou do materiálu a druhou sondou sa zachytí. Čas prechodu je v mikrosekundách .

Na základe rýchlosti a útlmu ultrazvuku v dreve sa stanoví pevnosť dreva (MOR), modul pružnosti (MOE) a trieda pevnosti C14 až C 40 (pre ihličnaté drevo). Metódy triedenia reziva, ktoré pracujú na princípe Edyn, sa pokladajú za perspektívne metódy triedenia a postupne nachádzajú uplatnenie aj v praxi (SANDOZ, 1996). V súčasnosti má široké uplatnenie prístroj Sylvatest Duo (obr. 11).



Obr. 11 Meranie ultrazukovou metódou  
a) pozdĺžne meranie v rezive, b) nepriame meranie v konštrukcii

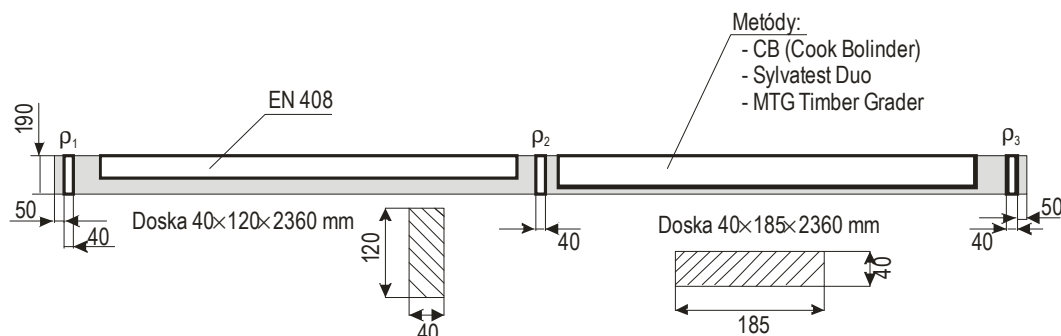


Najspoľahlivejšie výsledky sa získavajú z hmotnosti a objemu telesa. Súčasný trend určovania hustoty dreva smeruje na aplikačnú oblasť (in situ), pri ktorej sa využívajú možnosti použitia prístroja PILODYN 6J, ktorý pracuje na princípe dynamickej tvrdosti dreva (zarazenie oceľového kolíka do dreva konštantnou silou 6 Joule alebo Nm kolmo na ročné kruhy). Medzi hustotou dreva a hĺbkou vniknutia hrotu je tesná korelácia. Prednosťami prístroja sú ľahká manipulácia a možnosť použitia in situ. Umožňuje s minimálnou deštrukciou stanoviť orientačnú hustotu zabudovaného zdravého ale aj degradovaného dreva (obr. 12).

Obr.12 Detailné znázornenie zarazenia kolíka do dreva, PILODYN 6J

### Skúšanie a kvalita konštrukčného dreva v experimentoch

V tejto časti príspevku sú uvedené výsledky z deštruktívnych a nedeštruktívnych metód skúšania a hodnotenia kvality konštrukčného smrekového dreva (*Picea abies*, Karst.) zo Slovenska. Z reziva o rozmeroch 40 × 190 × 5000 mm boli zhotovené skúšobné telesá podľa schémy na obr. 13. Pre deštruktívnu metódu: 52 ks skúšobných telies rozmerov 40 × 120 × 2360 mm), pre nedeštruktívne metódy: 52 ks o rozmerov 40 × 185 × 2360 mm. Súčasne sa na rezive v troch miestach zisťovala hustota dreva podľa STN 49 0108.



Obr. 13 Výber skúšobných telies z reziva

Metódy testovania a merané parametre:

▪ **deštruktívna metóda** (ľavá doska): STN EN 408 - testovanie na 4-bodový ohyb, merané parametre: modul pružnosti v ohybe ( $MOE_{408}$ ), pevnosť v ohybe ( $MOR_{408}$ ) a hustota dreva ( $\rho_{408}$ ). Namerané parametre boli prepočítané na referenčné podmienky  $w = 12\%$ .

▪ **nedeštruktívne metódy** (pravá doska):

1) 3-bodový ohyb flat wise (parametre Cook Bolinder- EN 14 081-4, tab.1

2), merané parametre: modul pružnosti v ohybe ( $MOE_{CB}$ ), hustota dreva ( $\rho_{CB}$ ) a trieda pevnosti „C“.

2) *vibračná metóda*, prístroj MTG Timber Grader, merané parametre: modul pružnosti ( $MOE_{MTG}$ ), hustota dreva ( $\rho_{MTG}$ ) a trieda pevnosti „C“,

3) *metóda ultrazvuk*, prístroj Sylvatest Duo. Výstup z prístroja: modul pružnosti ( $MOE_{sylv}$ ), charakteristická pevnosť dreva ( $MOR_{sylv}$ ) a trieda pevnosti „C“.

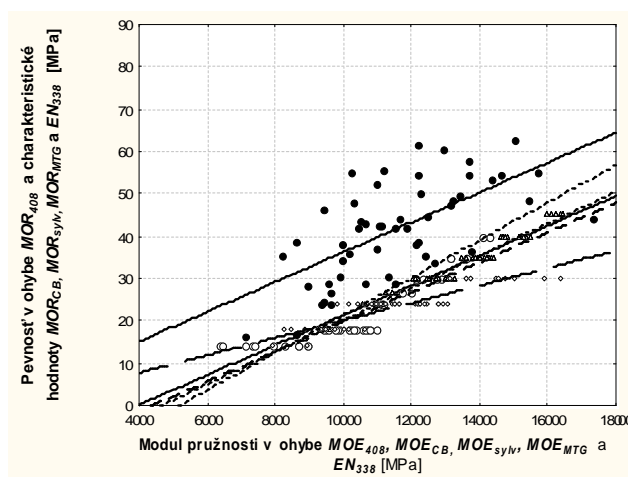
Pre každú metódu sa hodnotili namerané a vypočítané parametre kvality:  $MOE$ ,  $MOR$ , hustota dreva a trieda pevnosti. Cieľom bola analýza deštruktívnej metódy podľa STN EN 408 a nedeštruktívnych metód na rôznych princípoch. Výsledkom bolo určiť najvhodnejšiu a najspoľahlivejšiu nedeštruktívnu metódu a analyzovať objektivnosť metód vo vzťahu k deštruktívnej metóde. V tab. 2 sú uvedené namerané a vypočítané parametre kvality a ich štatistické charakteristiky.

Závislosti medzi charakteristikami pevnosti a modulom pružnosti pre jednotlivé metódy triedenia sú znázornené na obr.14. Deštruktívna metóda je charakterizovaná závislosťou podľa STN EN 408. Nedeštruktívne metódy reprezentujú závislosti STN EN 338,  $MOR_{408-0,05}$ ,  $MOR_{CB}$ ,  $MOR_{sylv}$  a  $MOR_{MTG}$ . Priebehy závislostí vymedzujú dve zóny. Zhoda medzi všetkými metódami je pri  $MOE = cca 9000$  MPa. Ľavá zóna (nižšie  $MOE$ ) má hodnoty  $MOR$  vyššie vo všetkých metódach oproti STN EN 338. Táto zóna obsahuje však menej kvalitné drevo, ktoré je zatriedené do tried pevnosti C18 a nižšie. Naopak v pravej zóne (vyššie  $MOE$ ) tesne korelujú závislosti  $MOR_{408-0,05}$ ,  $MOR_{CB}$  a  $MOR_{sylv}$ . Metóda MTG má nižšie hodnoty, ktoré sú výsledkom malého počtu tried pevností (C24, C30). Drevo s vysokými hodnotami  $MOE$  je pri metóde MTG podhodnocované.



Tabulka 2.: Výsledky experimentálních testov

Parametre/ charakteristiky	Hustota dreva $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]			Modul pružnosti <i>MOE</i> [MPa]				Pevnosť v ohybe <i>MOR</i> [MPa]
	$\rho_{408}$	$\rho_{CB}$	$\rho_{MTG}$	<i>MOE</i> <sub>40</sub> 8	<i>MOE</i> <sub>CB</sub>	<i>MOE</i> <sub>MTG</sub>	<i>MOE</i> <sub>syl</sub>	<i>MOR</i> <sub>408</sub>
Priemer	416	426	434	11512	10346	11594	13428	42
Minimum	350	356	383	7107	6342	7950	8904	16
Maximum	496	505	496	17318	14292	16378	16443	63
Variačný koef. [%]	8	8	7	18,2	18,4	17,1	12,9	27,4



Deštruktívna metóda

—●—  $MOR_{408} = 0,95271 + 0,00353 * MOE_{408}$ ,  $r = 0,642$

—○—  $MOR_{408,0,05} = -13,98 + 0,00353 * MOE$

Nedeštruktívne metódy

—○—  $MOR_{CB} = -15,48 + 0,00352 * MOE_{CB}$ ,  $r = 0,905$

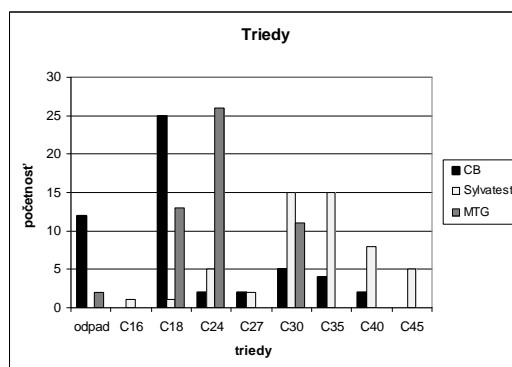
—△—  $MOR_{sylv} = -17,74 + 0,00380 * MOE_{sylv}$ ,  $r = 0,981$

—◇—  $MOR_{MTG} = -0,4716 + 0,00206 * MOE_{MTG}$ ,  $r = 0,901$

----- STN EN 338

Obr.14 Závislosti medzi charakteristikami pevnosti v ohybe a modulom pružnosti pre rôzne metódy triedenia

Významné je, že všetky hodnotené metódy pre triedy pevnosti C24 a vyššie sú v pravej zóne pod čiarou STN EN 338, čo zabezpečuje objektívne a spoľahlivé triedenie reziva.



Obr. 15 Početnosť skúšobných telies v triedach pevnosti v nedeštruktívnych metódach triedenia (ohyb-CB, ultrazvuk- Sylvatest, vibračná-MTG)

Početnosť skúšobných telies v triedach pevnosti zistená rôznymi metódami (obr.15) je ovplyvnená viacerými faktormi (napr. počet tried v metóde, kvalita výrezov ~ reziva, predikové parametre Edyn/Estat pri akustických metódach a i.).

## 6. Záver

Na základe analýzy výsledkov testovania kvality smrekového dreva deštrukčnými a nedeštrukčnými metódami sme dospeli k nasledovným záverom:

Základ tvoria výsledky z deštrukčných skúšok pri 4-bodovom ohybe (STN EN 408), s ktorými sa porovnávali výsledky získané nedeštruktívnymi metódami.

Testované akustické metódy nadhodnocujú parametre kvality konštrukčného dreva a z tohto dôvodu je potrebné tieto metódy doladiť.

Najobjektívnejšie výsledky sa dosiahli v prípade metódy ohyb-CB (flat wise). Navyše táto metóda lokalizuje kritické miesta po dĺžke reziva, čo umožňuje jeho efektívnejšie využitie.

## Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA 1/0565/10.

---

## Literatúra

- [1] BENKOVA, V. E. – SCHWEINGRUBER, F. H.: Anatomy of Russian woods. Bern – Stuttgart – Wien: Haupt Verlag, 2004, 456 s.
- [2] CHOVANEC, D. 1985. Morfológia bunecných elementov listnatých drevín. Zvolen: VŠLD, 122 p.
- [3] KÚDELA, J.: Prehodnotenie prepočtu pevnosti dreva na požadovanú vlhkosť. In.: Les – drevo – životné prostredie '97. Sekcia 5. Štruktúra a vlastnosti dreva v technologickom využití. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene 1997, s. 191–197.
- [4] KÚDELA, J.: Mechanické vlastnosti dreva. In: Parametre kvality dreva určujúce jeho finálne použitie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010, 101–127, 352 s. ISBN 978-80-228—2095-0.
- [5] KRZOSEK, S. - BACHER, M. - GRZESKIEWICZ, M. 2009. Comparison of strength grading machine settings for different grade combinations for Polish-grown *Pinus sylvestris* L. structural sawn timber. In Cost Action E53 Conference. Lisbon, Portugal, ISBN: 978-989-96428-1-2, 11 p.
- [6] POŽGAJ, A. – CHOVANEC, D. – KURJATKO, S. – BABIAK, M.: Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, a.s., 1997, 485 s.
- [7] ROHANOVÁ, A.: Pevnostné triedenie reziva na princípe ohybu pre stavebné konštrukcie. [Dizertačná práca.] Zvolen: Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, 1987, 147 s.
- [8] ROHANOVÁ, A.: Pevnostné a tuhostné charakteristiky dreva na stavebné konštrukcie. [Habilitačná práca.] Zvolen: Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, 2000, 72 s.
- [9] ROHANOVÁ, A.- LAGAŇA, R. - DUBOVSKÝ, J.(2010): Grading characteristics of structural Slovak spruce timber determined by ultrasonic and bending methods. In The Future of Quality Control for Wood & Wood Products', The Final Conference of COST Action E53, Edinburgh, pp. 9.
- [10] ROHANOVÁ, A.- JABLONSKI, M. - KRZOSEK, S. 2009. Strength grading of constructional lumber in regard to European, German, Slovak and Polish standards. In Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology. Warsaw, Ann. WULS-SGGW. For and Wood Technol. ISSN 1898- 5912, 2009, no 69, p. 227-233.
- [11] SANDOZ , J.L. 1996. Ultrasonic solid wood evaluation in industrial application". In Proceedings of the 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood Proceedings. Lausanne, 26.-28.09.1996, p.135.
- [12] WEIDENHILLER. A. - DENZLER, J. K.(2009): Optimising machine strength grading with three indicating properties". In: Proceedings of the Economic and technical aspects of quality control for wood and wood products. Cost

- Action E53 Conference 22nd – 23rd October 2009, Lisbon, Portugal. Paper #7. EN 338. Structural timber. Strength classes. 2009.
- [13] STN EN 338 Konštrukčné drevo. Pevnostné triedy. 2010.
- [14] STN EN 384. Drevo na stavebné nosné konštrukcie. Zisťovanie charakteristických hodnôt mechanických vlastností a hustoty. 2004.
- [15] STN EN 408. Drevo na stavebné konštrukcie a lepené lamelové drevo. Stanovenie niektorých fyzikálnych a mechanických vlastností. 2004.
- [16] STN EN 14 081-4. Drevené konštrukcie. Pevnostne triedené konštrukčné rezivo s pravouhlým prierezom. Časť 4: Strojové triedenie. Nastavenia triediacich strojov pre strojovo riadené systémy. 2009.
- [17] STN EN 1912+A4 Konštrukčné drevo. Pevnostné triedy. Zaradenie vizuálnych tried a druhov dreva. 2009.
- [18] STN 49 0108 Drevo. Zisťovanie hustoty. 1993.

## **Kontakt**

Doc. Ing. Alena Rohanová, PhD., tel. 00421/045/5206425, e-mail: rohanova@vsld.tuzvo.sk

Prof. Ing. Jozef Kúdela, CSc., tel. 00421/045/5206356, e-mail: kudela@vsld.tuzvo.sk,

Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

## VLIV VODNÍHO SOUČiniteLE A DISPERZNÍCH VLÁKEN NA KRYCHELNOU PEVNOST BETONOVÝCH VZORKŮ

### INFLUENCE OF WATER/CEMENT RATIO AND FIBRES ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE SPECIMENS

**Ivo Rohrbacher, Zlata Kadlecová, Petra Hronová**

Fakulta stavební, VUT v Brně, Ústav stavebního  
zkušebnictví

***Anotace:***

*Článek se zabývá vlivem různých vodních součinitelů na krychelné pevnosti betonových těles. Betonáže probíhaly ve třech etapách pro tři různé vodní součinitele. Pro každý vodní součinitel byly vybetonovány tři různé betony: referenční směs, směs obohacená vlákny Stavon a směs obohacená vlákny Econo-Net délky 38 mm. Článek přehledně ukazuje, jaký vliv má na beton přidání vláken při různých hodnotách vodního součinitele.*

***Annotation:***

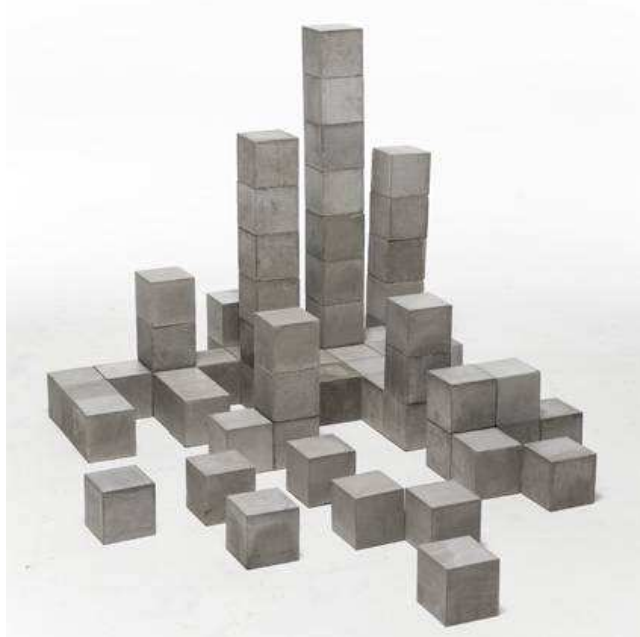
*The article deals with influence of different values of water/cement ratio on compressive strength of concrete specimens. The concreting took place in three stages for three different values of water/cement ratio. For each water/cement ratio value three different concretes were manufactured: reference recipe, recipe with Stavon fibres and recipe with Econo-Net fibres. The article clearly shows how is compressive strength influenced by different value of water/cement ratio and different fibre addition.*

***Klíčová slova:*** vodní součinitel, vláknobeton, krychelná pevnost, metodika zkoušení krychelných pevností.

***Keywords:*** water/cement ratio, fibre concrete, compressive strength, methodology of compressive strength testing.

## 1. Úvod

Krychelná pevnost je jednou z nejdůležitějších materiálových charakteristik betonu. Je podstatná pro správný a ekonomický návrh každé betonové konstrukce. Proto je podstatné zjistit, co ji může ovlivňovat a jak můžeme její hodnotu zvýšit.



*Obr. 1.: Ilustrační obrázek betonových krychlí*

## 2. Experimentální část

Experimentální práce v laboratoři byly zaměřeny na sledování vlivu vodního součinitele a přidaných vláken na hodnotu krychelné pevnosti ve 28 dnech stáří betonu.

### 2.1. Výroba čerstvého betonu

Pro výrobu referenční čerstvé betonové směsi bylo použito hrubé kamenivo frakce 4-8 mm a 8-16 mm, drobné těžené kamenivo DTK 0-4 mm (Bratčice), cement CEM I – 42,5 R a voda. Složení čerstvé betonové směsi je uvedeno v Tab. 1. Vláknina byla dávkována v množství doporučeném výrobcem, což je 600 g na 1 m<sup>3</sup> čerstvého betonu.

Tabulka 1.: Složení čerstvého betonu pro různé vodní součinitele

CEM I 42,5 R	DTK 0-4 mm	HK 4-8 mm	HK 8-16 mm	voda	w/c
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[l]	-
349	760	380	760	157	0,45
349	724	362	724	192	0,55
349	686	343	686	227	0,65

Betony byly míchány v míchačce s nuceným oběhem. Při výrobě bylo do míchačky nejdříve nadávkováno hrubé kamenivo frakce 4-8 mm a 8-16 mm, drobné těžené kamenivo a polovina dávky vody. Po krátkém promíchání kameniva s vodou byl nadávkován cement a druhá polovina dávky vody. Pro záměsi, kde byla použita vlákna, se vlákna přidávala ke hrubému kamenivu hned na počátku míchání.

Byla vyrobena jedna referenční směs bez vláken. Dále byla vyrobena směs, která obsahovala vlákna Econo-Net délky 38 mm a směs, která obsahovala vlákna Stavon.



Obr. 2.: Vlákna Stavon



Obr. 3.: Vlákna Econo-Net

## 2.2. Výroba a uložení zkušebních těles

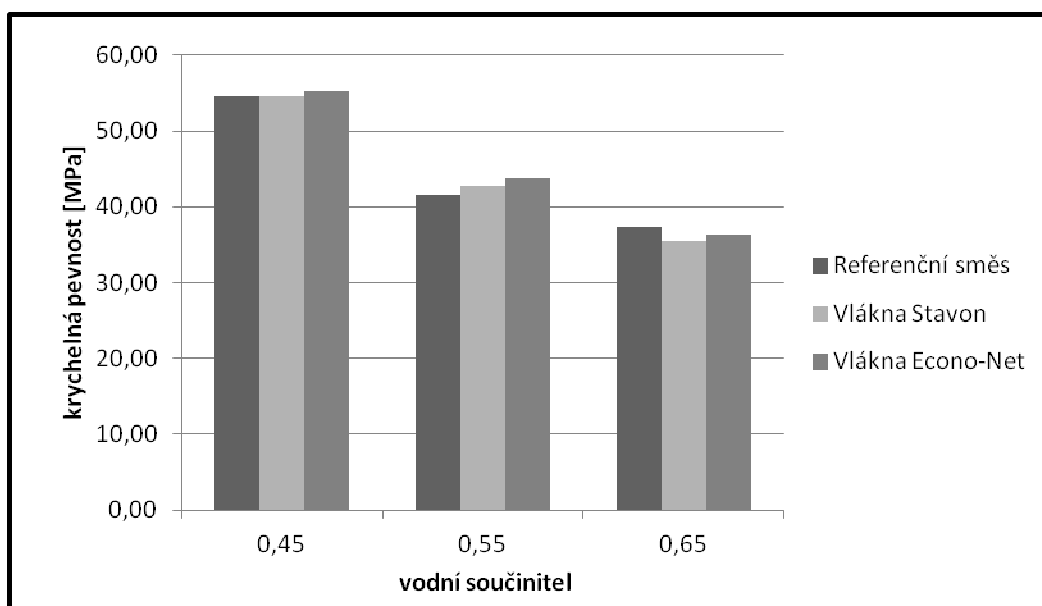
V rámci experimentů byla vyrobena zkušební tělesa pro stanovení kontrolní pevnosti v tlaku ve stáří 28 dní – krychle o hraně 150 mm. Tato tělesa zůstala 24 hodin ve formě, jejich povrch byl překryt neprodyšnou fólií, aby bylo zamezeno nadměrným ztrátám vlhkosti v počátečním stádiu tuhnutí a tvrdnutí betonu. Po 24 hodinách byla tělesa opatrně odformována a umístěna v laboratoři, opět překryta neprodyšnou fólií. Takto uložená zůstala po 14 dní, kdy byla fólie odkryta a tělesa zůstala volně v laboratoři s teplotou  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  a relativní vlhkostí  $41 \pm 3\%$ .

### 3. Vyhodnocení naměřených hodnot

Krychelné pevnosti byly měřeny dle platné ČSN EN 12390 – Zkoušení ztvrdlého betonu, pevnost v tlaku zkušebních těles. Naměřené hodnoty jsou přehledně uspořádány v následující tabulce.

Tabulka 2.: Krychelné pevnosti pro různé vodní součinitele

Receptura	Referenční	Stavon	Econo-Net
w/c	pevnost [MPa]	pevnost [MPa]	pevnost [MPa]
0,45	54,52	54,52	55,21
0,55	41,65	42,82	43,78
0,65	37,33	35,53	36,30



Graf 1: Přehled krychelných pevností pro jednotlivé záměsi.

### Poděkování

Tento text vznikl za podpory projektů GAČR 103/09/0065 Omezení vzniku a rozvoje trhlin v betonových mostech a FAST-J-11-12 Měření propustnosti betonu NDT metodami jako podklad k odhadu aktuální trvanlivosti.



## Literatura

- [1] ČSN EN 12390 – Zkoušení ztvrdlého betonu
- [2] POSPÍCHAL, O.; KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.: Stanovení pevnostních charakteristik extrudovaného materiálu, Juniorstav 2011, Cerm Brno, Brno
- [3] <http://www.designsponge.com/2005/08/david-knott.html>

## Kontakt

Ing. Ivo Rohrbacher, tel: 00420 541 147 829, e-mail: rohrbacher.i@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Zlata Kadlecová, tel: 00420 541 147 829, e-mail: kadlecova.z@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petra Hronová, tel: 00420 541 147 828, e-mail: hronova.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## RÁZOVÁ ODOLNOST CEMENTOVLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ, KRUHOVÉ VZORKY

### IMPACT RESISTANCE OF REINFORCED CEMENTITIOUS COMPOSITES, CIRCULAR SPECIMENS

**Stanislav Řeháček, Ivo Šimůnek,  
Petr Huňka, Jiří Kolísko**

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Vlákny vyztužené kompozitní materiály se stávají významné v mnoha oblastech technického použití. Kromě statického zatížení mohou být stavební konstrukce během své životnosti namáhány i krátkodobým dynamickým zatížením nebo dynamickým rázovým zatížením. Je zřejmé, že vyztužení betonu vlákny má příznivý vliv na zvýšení odolnosti proti rázovému zatížení. Presentována je konečná fáze projektu. Laboratorní zkoušky rázového namáhání zkušných těles a porovnání se statickými zkouškami.*

***Annotation:***

*Fiber-reinforced composite materials are becoming important in many areas of technological application. In addition to the static load, such structures may be stressed with short-term dynamic loads or even dynamic impact loads during their lifespan. It is clear that reinforced concrete with fibers has a positive impact on increasing the resistance to impact loads. Dynamic impact load tests and comparing with static load tests are presented.*

***Klíčová slova:*** Cementovláknové kompozity, rázová odolnost, kruhové vzorky

***Keywords:*** Fibre cementitious composites, impact resistance, circular specimens

## 1. Úvod

Cílem projektu je stanovení nových postupů pro vyhodnocení rázové odolnosti cementovláknových kompozitů. Na základě experimentálních zkoušek byly vybrány vhodné tvary zkušebních těles, způsob podepření, způsob měření.

Vhodný tvar zkušebních těles byl vybírán na základě statické zatěžovací zkoušky nevyztužených prvků. Následně byly provedeny zatěžovací zkoušky vzorků vyztužených, s různým obsahem vláknové výztuže.

## 2. Zkoušky

### 2.1. Volba tvaru vzorku

Na základě literární rešerše byly pro zkoušky vybrány dva typy vzorků. Vzorky tvaru čtvercové desky o straně 500 mm a desky kruhové o průměru 500 mm. V obou případech je tloušťka desky 50 mm. Výsledky zkoušky byly následně ověřeny i statickým výpočtem.

Na základě výsledků zkoušek byl pro další zkoumání vybrán vzorek ve tvaru kruhové desky o průměru 500 mm a tloušťce 50 mm.

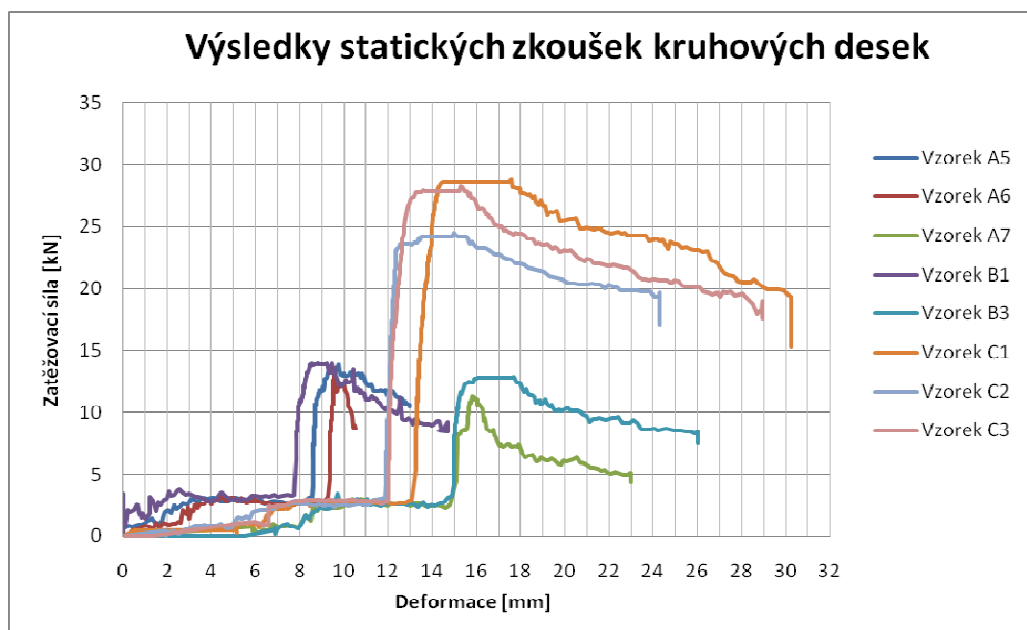
### 2.2. Statické zkoušky vyztužených vzorků

Následovalo stanovení statické únosnosti desek s různým množstvím výztuže. Jednotlivé receptury, lišící se množstvím výztuže, jsou uvedeny v tab. 1.

Výsledky zkoušky vyztužených vzorků, ve formě grafu závislosti mezi deformací a působící síly, jsou uvedeny v obr. 1. Označení jednotlivých vzorků A, B, C odpovídá receptuře dle tab. 1. Použita byla ocelová vlákna se zahnutými konci (KrampeHarex DE50/1,0 N) o průměru 1,0 mm a délce 50 mm.

Tabulka 1.: Receptury A, B a C

RECEPTURA		A	B	C
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
Cement CEM II/A-S 42,5 R – Čížkovice		350	350	350
Kamenivo	DTK 0 - 4mm, Zálezlice	1195	1189	1181
	HTK 4 - 8mm, Zálezlice	644	641	636
Superplastifikátor Chysofluid Optima 208		8,75	8,75	8,75
Ocelová vlákna Fibers KrampeHarex DE50/1,0 N		20	40	80
Voda		157,5	157,5	157,5

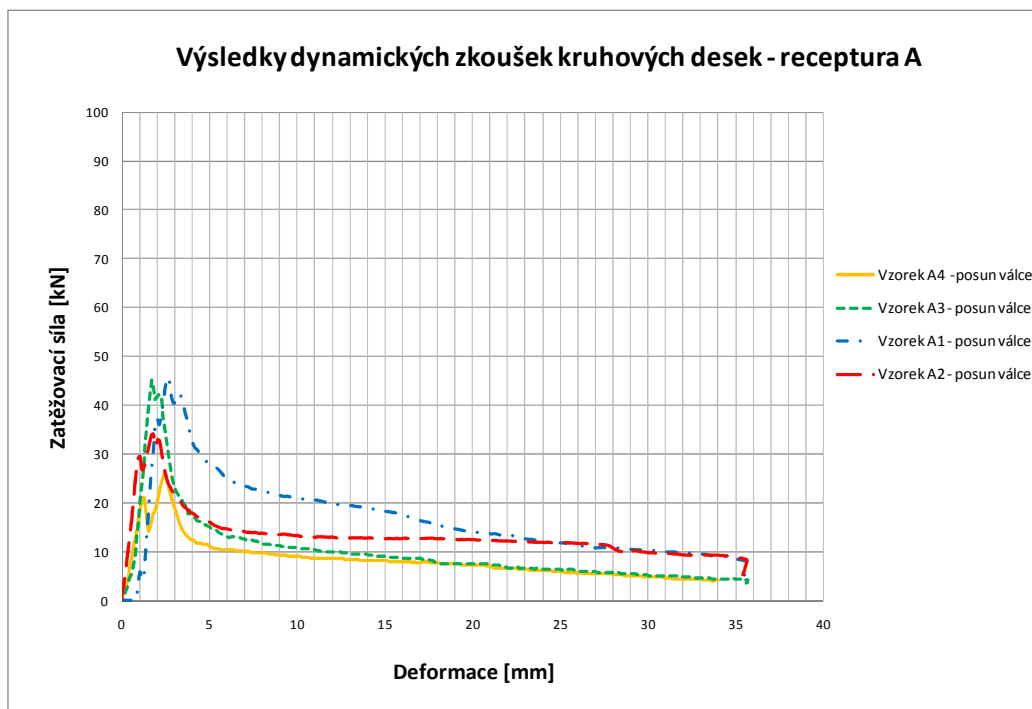


Obr. 1.: Výsledky statických zatěžovacích zkoušek vyztužených desek.

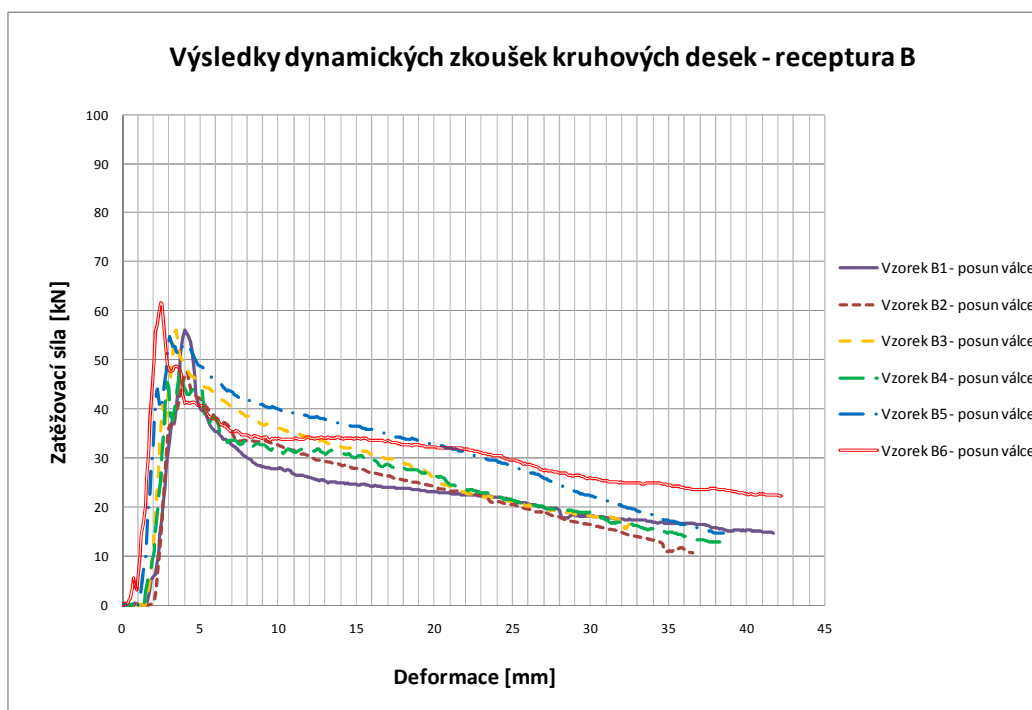
### 2.3. Dynamické zkoušky vyztužených vzorků

Dynamické zkoušky probíhaly při rychlosti zatěžování cca 70 mm/s. Byla zaznamenávána maximální síla a deformace. Kruhové vzorky byly podepřeny podél celého obvodu.

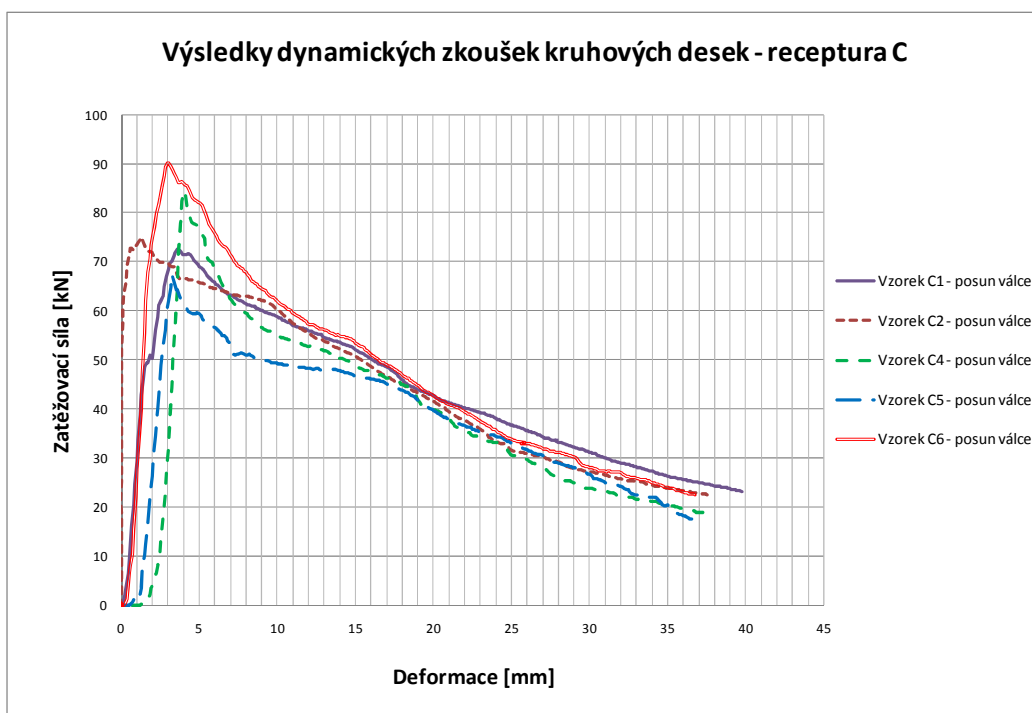
Výsledky zkoušky vyztužených vzorků, ve formě grafu závislosti mezi deformací a působící síly, jsou uvedeny v obr. 2, 3 a 4. Označení jednotlivých vzorků A, B, C odpovídá receptuře dle tab. 1.



Obr. 2.: Výsledek dynamické zatěžovací zkoušky – receptura A.



Obr. 3.: Výsledek dynamické zatěžovací zkoušky – receptura B.



Obr. 4.: Výsledek dynamické zatěžovací zkoušky – receptura C.

### 3. Závěr

Procentuální nárůst při různém způsobu zatěžování a různých recepturách je uveden v tabulce 2. Jako základ je brána receptura A nebo receptura bez výztuže.

Tabulka 2.: Porovnání jednotlivých receptur a druhu zatěžování

Druh zkoušky	Parametr	Receptura			
		Nevyztuženo	A	B	C
Statické zatěžování - kruhové vzorky	Max. síla [kN]	11,6	12,9	13,2	27,1
	Nárůst [%]	-	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>134</b>
Dynamické zatěžování - kruhové vzorky	Max. síla [kN]		37,8	54,0	76,6
	Nárůst [%]		-	<b>43</b>	<b>103</b>
Dynamické zatěžování - kruhové vzorky	Energie [kJ]		0,43	1,09	1,71
	Nárůst [%]		-	<b>154</b>	<b>298</b>
Pevnost v tlaku - kostky	Pevnost v tlaku [MPa]		39,2	37,3	61,3
	Nárůst [%]		-	<b>-5</b>	<b>56</b>

Z dosud dosažených výsledků lze shrnout:

- Jako optimální tvar vzorku byla stanovena kruhová deska o průměru 500 mm o tloušťce 50 mm, s podepřením po obvodu.
- Minimální obsah rozptýlené výztuže  $20 \text{ kg/m}^3$  v betonu nemá vliv na statickou únosnost, nicméně umožňuje dosažení větší deformace.
- Zvýšení obsahu rozptýlené výztuže na  $40 \text{ kg/m}^3$  v betonu nemá velký vliv na zvýšení statické únosnosti, nicméně umožňuje nárůst deformací. Je zde patrný značný vliv na zvýšení dynamické únosnosti vzorků.
- Zvýšení obsahu rozptýlené výztuže na  $80 \text{ kg/m}^3$  v betonu vede ke značnému zvýšení statické únosnosti a zvýšení mezní deformaci při porušení. Také zde je patrný značný vliv na zvýšení dynamické únosnosti vzorků. Nárůst únosnosti (statické a dynamické zatěžování) se pohybuje od 100 – 130% ve srovnání se vzorky s výztužením  $20 \text{ kg/m}^3$ .
- Energie potřebná k dosažení průhybu 35 mm byla odvozována ze závislosti působící síly na posunu. Celkový nárůst potřebné energie k dosažení deformace 35 mm u vzorků s výztužením  $40 \text{ kg/m}^3$  je přibližně 150% v porovnání se vzorky s výztužením  $20 \text{ kg/m}^3$ . Nárůst energie u vzorků s výztužením  $80 \text{ kg/m}^3$  je přibližně 300% v porovnání se vzorky s výztužením  $20 \text{ kg/m}^3$ .

Na základě doposud provedených statických a dynamických zkoušek a jejich výsledků, bylo přistoupeno k návrhu nových receptur označených D a E s obsahem drátků 60 respektive  $70 \text{ kg/m}^3$ . Množství drátků u receptur D a E bylo zvoleno s ohledem doplnění hodnot mezi recepturami B ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) a C ( $80 \text{ kg/m}^3$ ).

## Poděkování

Příspěvek je vypracován za přispění grantu GAČR: 103/09/0055 a GAČR 104/10/2359.

## Literatura

- [1] BENTUR, A.; MINDES, S.; BATHIA, N.: The behaviour of concrete under impal loading: Experimental procedures and method of analysis, , Matériaux et Constructions, Vol. 19, No 113, pp 371 – 378
- [2] KOLÍSKO, J.; DUDÍKOVÁ, M.; KLEČKA, T.: Ohybová zkouška vláknobetonu s PP vlákny. Vliv tvaru zkušebního trámce na výsledek, In: 6.



---

konference Speciální betony, Sekurkon Praha, Beroun 2009, str. 186-193, ISBN 978-80-86604-42-8

- [3] Bentur A, Mufti A, Banthia N, □Fibre reinforced concrete, Present and future, Canadian Society for Civil Engineering, October 19982.
- [4] Banthia N, Mindess S, Bentur A, Pigeon M, Impact testing of concrete using a drop-weight impact machine□, Experimental Mechanics 29 1 (1989), pp. 63–69.

## **Kontakt**

Ing. Stanislav Řeháček, tel: 00420 224353521, e-mail: stanislav.rehacek@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. Ivo Šimůnek, CSc., tel: 00420 224353574, e-mail: simun@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. Petr Huňka, tel: 00420 224353521, e-mail: petr.hunka@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., tel: 00420 224353537, e-mail: jiri.kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## PŘEDPÍNANÉ KONSTRUKCE Z NEREZOVÝCH OCELÍ

### PRESTRESSED STAINLESS STEEL STRUCTURES

**Kateřina Servítová, Josef Macháček**

České vysoké učení technické, Fakulta stavební

***Anotace:***

*Architekti a inženýři se neustále snaží potlačit viditelnost nosné konstrukce a co nejvíce otevřít prostor. Těmto tendencím odpovídá pokračující hledání velkorozponových subtilních konstrukcí, které je jednou z největších výzev pro statiky. Díky tomu dochází v poslední době k rozvoji předepnutých konstrukcí z oceli. Pro zvýšení únosnosti v tlaku jsou ocelové konstrukce předepínány tak aby došlo ke zkrácení vzpěrných délek. Článek popisuje experimentální a teoretické zkoumání extrémně štíhlých tlačných prvků z austenitické nerezové oceli ve tvaru vzpínadla.*

***Annotation:***

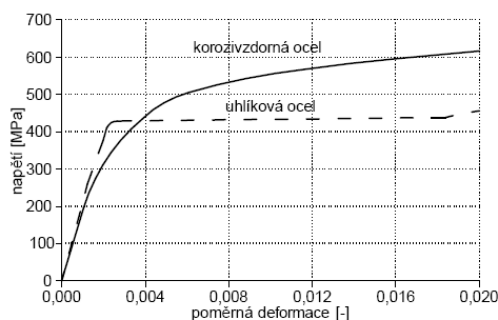
*Architects and engineers are constantly trying to suppress the visibility of the structure and open space as much as possible. These trends corresponds continuing searching large span subtle structural, which is one of the major challenges for structural engineers. Because is recently develops the prestressed structures of steel. To increase the pressure resistance of steel structures are prestressed so that there was a reduction of buckling length. The paper describes experimental and theoretical investigation of extremely slender compression elements in the form of stayed columns made of austenitic stainless steel.*

***Klíčová slova:*** *Nerezové konstrukce, Předepnuté konstrukce, Nerezové sloupy, Nerezové nosníky*

***Keywords:*** *Stainless steel structures, Prestressed structures, Prestressed stainless steel columns, Prestressed stainless steel beams*

## 1. Nerezová ocel

Nerezová ocel se díky své trvanlivosti a vzhledu začíná stále více používat na nosné stavební konstrukce. Kromě vyšší ceny materiálu brání většímu využívání i omezenější sortiment výrobků. Korozivzdorné oceli se dělí podle chemického složení a metalurgické struktury do pěti základních skupin: austenitické, feritické, austeniticko-feritické (označované také jako duplexní), martenzitické a precipitačně vytvrzené. Pro stavební konstrukce se nejčastěji užívají oceli austenitické a austeniticko-feritické. Pracovní diagram korozivzdorných ocelí nemá na rozdíl od běžných uhlíkových ocelí vyznačenou mez kluzu (Obr. 1.) a proto byla zavedena smluvní mez kluzu, která odpovídá napětí, při kterém vznikne poměrné plastické přetvoření 0,2%.



Obr. 1.: Porovnání pracovního diagramu uhlíkových a nerezových ocelí

## 2. Předepnuté konstrukce

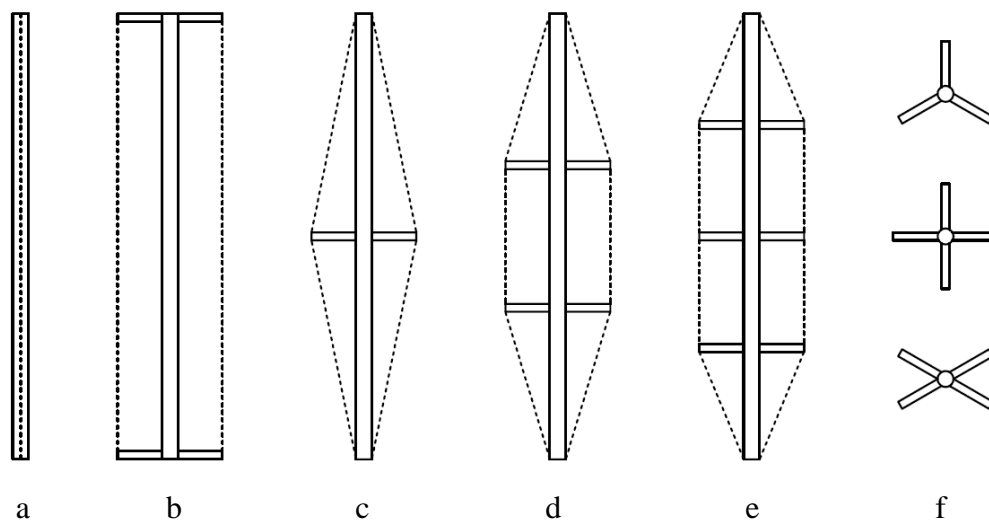
Předepnuté konstrukce jsou konstrukce, do kterých se v průběhu výroby, montáže nebo provozu (zesilování konstrukcí) vnáší záměrně napětí. Předepnuté konstrukce lze dělit podle účelu konstrukce, způsobu předpětí nebo materiálu (vysokopevnostní, běžný materiál). Předpětí se používá pro zvýšení únosnosti, zmenšení průhybu, zvýšení tuhosti konstrukce nebo zmenšení vzpěrných délek. Konstrukce lze předpínat vytvořením vícevrstvé konstrukce spojením předem ohnutých prvků, změnou polohy podpor (staticky neurčité konstrukce), montážním postupem, použitím pomocného zatížení – balastu, využitím nebo vyvoláním vlastních pnutí konstrukce. Konstrukce lze předpínat jako celek, jednotlivé prvky nebo skupiny prvků

Na rozdíl od předepnutých konstrukcí z betonu, kde se využívá rozdílné únosnosti betonu v tlaku a tahu a kde předpětí slouží k vnesení tlakového napětí do prvku v místech očekávaného tahového namáhání, u ocelových konstrukcí se

využívá předpětí hlavně ke zvýšení tuhosti konstrukce a případnému zkrácení vzpěrných délek tlačенých prutů.

Předepnuté ocelové pruty jsou konstrukční prvky, které jsou vyztuženy předepnutými lany nebo tyčemi. Pro zvýšení únosnosti v tlaku jsou lana nebo tyče uspořádány tak aby došlo ke zkrácení vzpěrných délek a tím pádem ke zvýšení únosnosti v tlaku.

Pruty vzpínadlového charakteru předepnuté vysokopevnostními tyčemi nebo lany jsou moderním typem předepnutých konstrukcí. Předpínací prvky mohou být obecně umístěny uvnitř (Obr. 2. a) nebo vně konstrukce (Obr. 2. b - e). Předepnuté vzpínadlové pruty mohou mít jeden (Obr. 2. c) nebo více křížů (Obr. 2. d, e) se třemi nebo více rameny (Obr. 2. f) umístěnými kolmo k ose centrálního prutu.



Obr. 2.: Tlačené předepnuté pruty: a – s centrickým táhlem, b – s excentrickými táhly, c- e – s táhly ve tvaru vzpínadla s jedním až třemi kříži, f – možnosti uspořádání ramen křížů

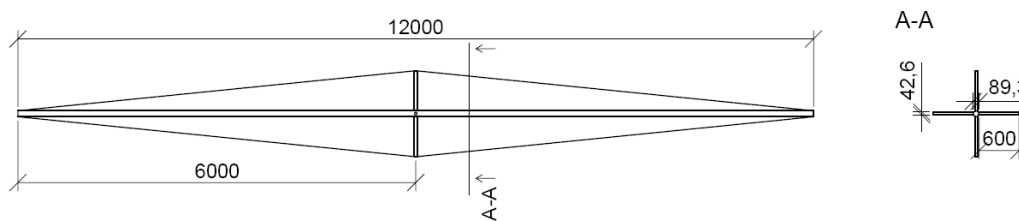
Pruty s centricky umístěným táhlem se využívají na tažené prvky, protože se použitím předpětí nezkracuje vzpěrná délka prutu. Při excentrickém uspořádání táhel dochází ke zmenšení vzpěrné délky, ale aby bylo zkrácení výraznější, musí být excentricita a tuhost táhel poměrně vysoká. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější typ ve tvaru vzpínadla, který zkracuje vzpěrnou délku až na polovinu.

Výhodou použití předepnutých prutů je subtilnější konstrukce, která hlavně v kombinaci se sklem otevírá a prosvětluje prostor, což je snem mnoha architektů. Další výhodou je nižší hmotnost konstrukce a z toho vyplývající

menší spotřeba materiálu a snazší přeprava a manipulace s jednotlivými prvky. Nevýhodou pak zůstává pouze vyšší pracnost a cena jednotlivých prvků, která je vyvážena snížením nákladů na přepravu.

### 3. Předchozí výzkum

V Brazílii byly provedeny zkoušky 12 m dlouhého prutu z uhlíkaté oceli. Zkoušený prut měl uprostřed výšky umístěn čtyřramenný kříž s vyložením 0,6 m (obr. 2). Jako táhel bylo použito lan o průměru 6,35 mm. Mez pevnosti použité oceli prutu byla 380 MPa a 750 MPa u drátů lan. Experimentálně určená únosnost v tlaku samotného prutu bez kříže s lany byla 10 kN, po přidání kříže s lany bez předpětí se zvýšila na 20 kN a při použití předpětí o celkové velikosti 7,12 kN byla únosnost 25 kN (test musel být předčasně ukončen) [1, 2].



Obr. 3.: Návrh a rozměry ocelového sloupu [1, 2]

## 4. Experiment

### 4.1. Úvodní analýzy problému

Návrh vzorků pro experiment byl výškově omezen možnostmi laboratoře. Navrženy byly pruty s délkou 5 m a jedním čtyřramenným křížem uprostřed rozpětí. Pro návrh vzorků byla provedena studie významu hlavních parametrů. Prosté a vzpěrné únosnosti byly vypočteny podle ČSN EN 1993-1-4 [3] jako charakteristické hodnoty, kritické hodnoty pomocí softwaru SCIA ENGINEER 2009 ve 3D bez předpětí (Tabulka 1. a 2.). Byly vyšetřovány případy s různým vyložením kříže. Největší únosnost byla vypočtena pro vyložení prutů kříže 0,5 m (Tabulka 1.). Pro experiment však byla velikost vyložení zmenšena na 0,25 m z důvodu očekávané praktické využitelnosti konstrukce (široké vyložení není vhodné z dopravních ani estetických důvodů a víceméně ani z důvodů statických). Únosnost prutu samozřejmě stoupá s rostoucím průměrem hlavního prutu (Tabulka 2.). Pro zkoušení byla použita trubka o průměru 50 mm, která má štíhlost  $L/r$  přibližně 300

Tabulka 1.: Únosnost a kritické zatížení v závislosti na velikosti kříže

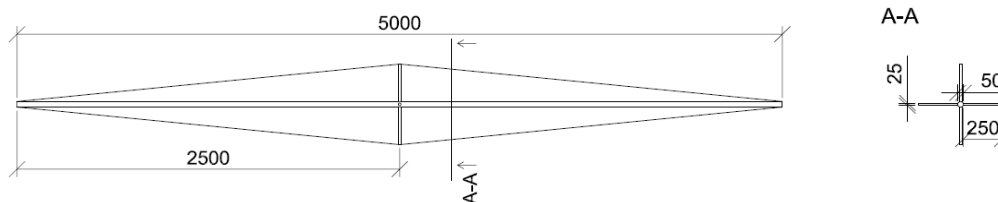
velikost kříže [mm]	kritické zatížení SCIA ENGINEER [kN]	kritické zatížení – 1 půvlvna [kN]	kritické zatížení – 2 půvlvny [kN]
bez kříže	6,9	6,87	27,48
125	13,2		
250	29,1		
500	36,2		
1000	33,0		
2000	30,6		

Tabulka 2.: Kritické zatížení v závislosti na průměru hlavního prutu

průměr / tloušťka hlavního prutu [mm]	únosnost v prostém tlaku [kN]	kritické zatížení – prut bez kříže [kN]	vzpěrná únosnost – prut bez kříže [kN]	kritické zatížení – prut s křížem 250 mm [kN]	vzpěrná únosnost – prut s křížem 250 mm [kN]
20 / 2	26,01	0,37	0,33	3,60	2,61
30 / 2	40,46	1,37	1,20	11,10	7,18
40 / 2	54,92	3,41	2,91	22,80	13,13
50 / 2	69,37	6,87	5,69	29,10	16,67
60 / 2	83,82	12,11	9,76	35,10	20,09
70 / 2	98,27	19,52	15,26	42,75	24,13
80 / 2	112,72	29,45	22,31	52,95	29,03
90 / 2	127,17	42,28	30,99	66,00	34,73
100 / 2	141,62	58,39	41,29	82,35	41,18

#### 4.2. Navržený prut

Pro experiment byl navrhnout prut o délce 5 m , který byl vyroben z nerezové oceli 1.4301. Hlavní prut byl z trubky o průměru 50 mm a tloušťce stěny 2 mm, ramena kříže s vyložením 0,25 m byla vyrobena z trubky o průměru 25 mm a tloušťce stěny 1,5 mm (Obr. 4.). Jako táhla byla použita jednopramenná vinutá lana Macalloy. Prut byl zkoušen ve svislé poloze a při zkoušce podepřen v podporách kloubově ve všech směrech.



Obr. 4.: Uspořádání a rozměry zkoušeného prutu

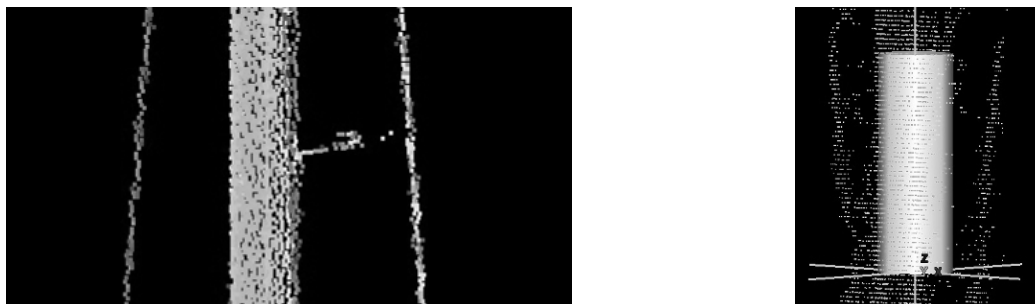
### 4.3. Metody měření

Pro zjištění deformací v průběhu zatěžování bylo použito tří metod pro kontrolu přesnosti výsledků: relativní odporové snímače, zaměření totální stanicí a 3D skenování.

Relativní odporové snímače byli upevněné na zkušebním rámu. Snímače byly osazeny ve dvou na sebe kolmých směrech (pro určení prostorové výchylky). Na konstrukci byla měřena deformace v 7 bodech po délce prutu.

Pro zajištění rovnoměrnosti a správné velikosti předpětí v lanech byly na napínacích lan a na konci prutu (pouze u prvního zkoušeného vzorku) osazeny tenzometry, které byly předem kalibrovány pro odčítání tahové síly.

3D skenování bylo použito pro měření počáteční deformace i pro měření deformací v průběhu zkoušky. Pro skenování byly vzorky předem opatřeny bílým matným nástřikem (proti zkreslení měření vlivem lesku povrchu). Pro měření byl použit skenovací systém Leica HDS3000. Přístroj byl postaven v bezpečné vzdálenosti a měření probíhalo z jednoho stanoviska. Měřené body byly v pravoúhlé síti ve vzdálenosti asi 2 mm (Obr. 5.). Jedno měření trvalo asi 3 minuty a probíhalo po každém zatěžovacím kroku. Před započítím první zkoušky byl změřen počáteční tvar prutu prostorovým protínáním vpřed pomocí totální stanice. Po ověření přesnosti 3D skenování na prvním vzorku bylo rozhodnuto ostatní vzorky nezaměřovat pomocí totální stanice.

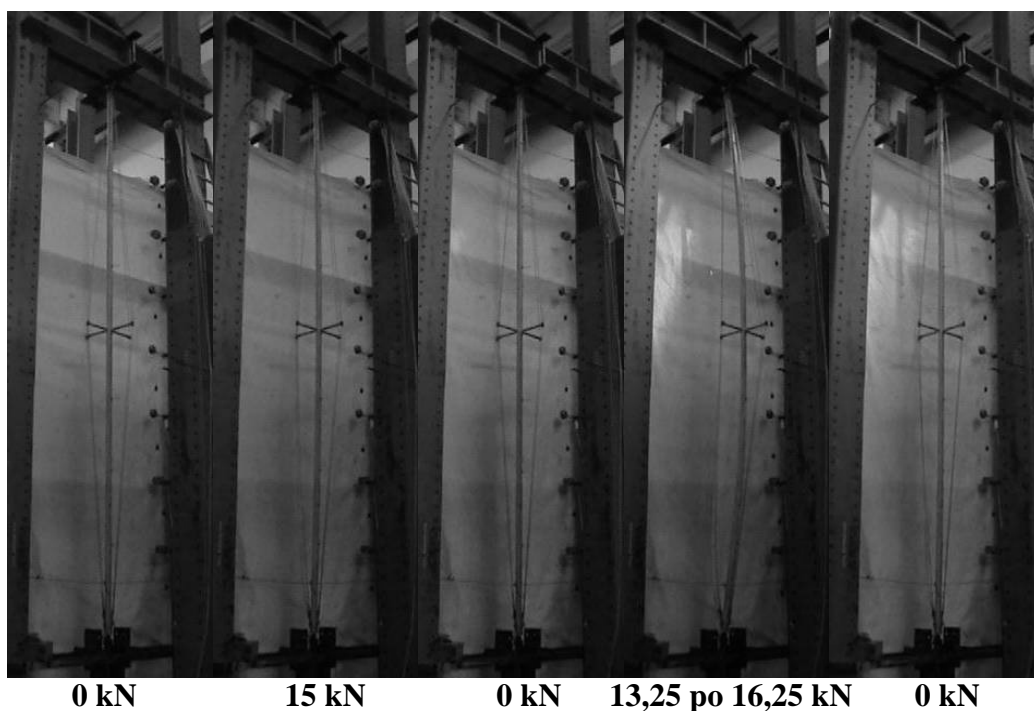


Obr. 5.: Síť bodů 3D skenování – pohled na upevnění potenciometru (vlevo) geometrická aproximace osy prutu (vpravo)



#### 4.4. Průběh experimentu

Vyrobeny byly 3 vzorky. Jeden ze vzorků byl zatěžován nejprve bez předpínacích lan a zatěžování bylo ukončeno při větším nárůstu zatížení, aby mohl být prut po předepnutí použit k dalšímu zatěžování. Ostatní zkoušky byly provedeny až do kolapsu. Zatěžování proběhlo v zatěžovacích stupních po 2,5 kN (předepnuté pruty), popř. 1,25 kN (nepředepnutý prut). Po každém přitížení bylo provedeno odlehčení na 0 kN. V průběhu zatěžování (Obr. 6.) došlo nejprve k uvolnění lan na straně opačné ke směru vybočení, poté postupně deformace narůstala až do doby, kdy deformace rostla bez dalšího přitěžování. Na závěr byla konstrukce odtížena.

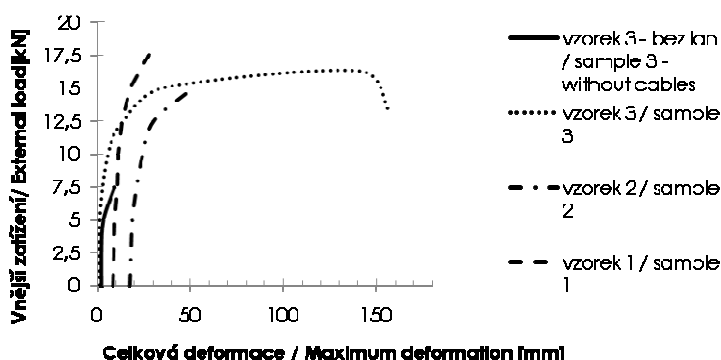


*Obr. 6.: Průběh 3. experimentu*

#### 5. Výsledky experimentu

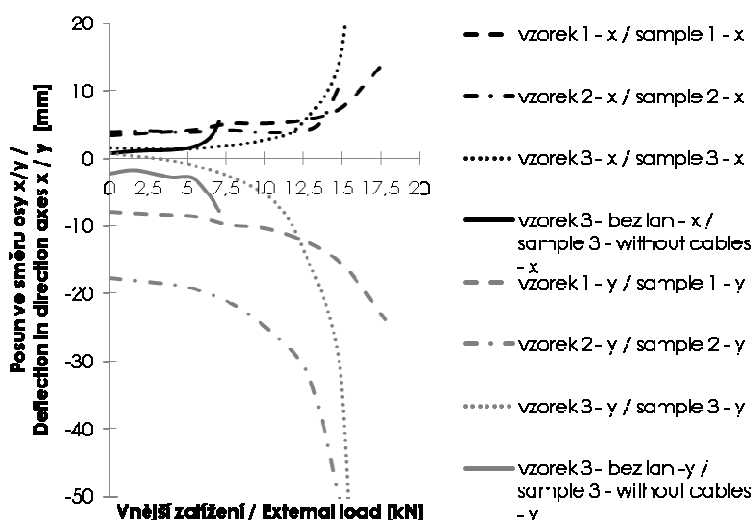
Maximální dosažená únosnost prutu bez lan byla 7,04 kN a únosnost předepnutých prutů byla 17,75 kN, 14,93 kN a 16,23 kN (Obr. 7.). Únosnost prutu bez lan byla větší než předem vypočítaná podle ČSN EN 1993-1-4 [3] (kritické zatížení - 6,87 kN a vzpěrná pevnost - 5,69 kN). Únosnost prutů s lany

byla ve dvou případech menší než vypočítaná vzpěrná pevnost (kritické zatížení - 29,10 kN a vzpěrná pevnost – 16,67 kN) což bylo způsobeno přetížením prutu vlivem předpětí lan. U druhého prutu byla únosnost snížena vlivem větší počáteční deformace (naklonění prutu). Pouze u posledního prutu se podařilo zachytit sestupnou část zatěžovací křivky. Výsledky lze také porovnat s teoretickými hodnotami kritického zatížení, které pro vybočení v jedné půlvlně činí 6,87 kN a pro dvě půlvlny 27,48 kN.



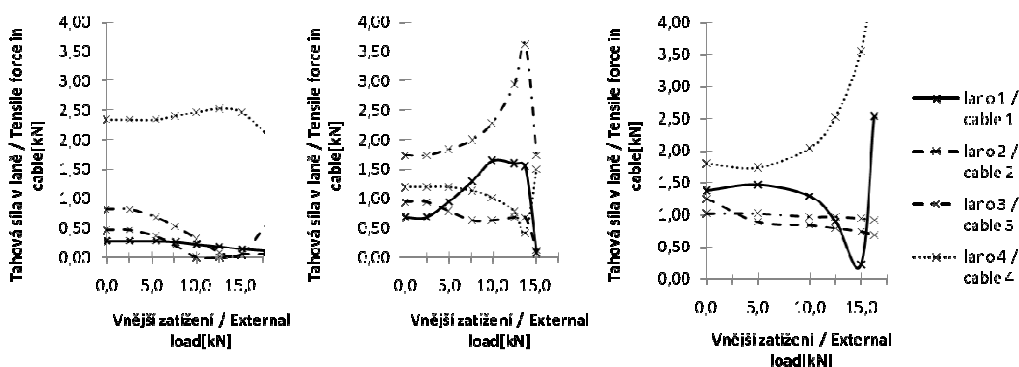
Obr. 7.: Závislost maximální celkové deformace prutu na vnějším zatížení

Prut vybočil podle předpokladu v „nejměkčím“ směru, tj. mezi osami křížce (Obr. 8.). Na vodorovné ose je vyznačen průhyb ve středu rozpětí (s křížem) v mm.



Obr. 8.: Maximální celková deformace prutu

Před zahájením zkoušek byla lana předepnuta tak, aby byla co nejvíce zmenšena amplituda počátečního průhybu a prut byl víceméně přímý. Předpínací síly a amplituda průhybu byly měřeny a budou použity jako vstupní data pro následné numerické analýzy. Z rozdělení tahových sil v jednotlivých lanech (Obr. 9.) je patrný směr vybočení prutu (prut vybočil ve směru nejvíce tažených lan).



Obr. 9.: Závislost tahové síly v lanech na vnějším zatížení – vzorek 1 - 3

## 6. Závěr

Článek popisuje experimentální a teoretické zkoumání extrémně štíhlých tlačných prutů vyrobených z austenitické nerezové oceli. Zkoušené pruty byly sestaveny z centrální trubky dlouhé 5 m, čtyř příčných trubek umístěných do kříže uprostřed délky prutu a v případě vzpínadlového systému čtyř předepnutých lan. Zkoušky byly provedeny v Experimentálním centru FSv ČVUT. Provedené zkoušky prokázaly velké zvýšení únosnosti v tlaku v porovnání s prutem bez předpínacích lan. Numerická a parametrická studie předepnutých prutů z nerezové oceli se připravuje.

## Poděkování

Podpořeno grantem FRVŠ G1 2401.

## Literatura

- [1] ARAUJO, R.R.; ANDRADE, S. A. L.; VELLASCO P. C. G.; SILVA J. G. S. a LIMA L. R. O.: Structural response of prestressed stayed steel columns. In Stability and ductility of steel structures. Lisbon, 2006. p. 241 - 248. ISBN 972-8469-61-6.
- [2] ARAUJO, R.R.; ANDRADE, S. A. L.; VELLASCO P. C. G.; SILVA J. G. S. a LIMA L. R. O.: Experimental and numerical assessment of stayed steel columns. In Journal of Constructional Steel Research 64. 2008. p. 1020–1029. ISSN: 0143-974X.
- [3] ČSN EN 1993-1-4: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-4: Obecná pravidla - Doplňující pravidla pro korozivzdorné oceli. ČNI. Praha. 2008.

## Kontakt

Ing. Kateřina Servítová, tel: 00420 224 354 828, e-mail: katerina.servitova@fsv.cvut.cz, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, FSV ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc., tel: 00420 224 354 916, e-mail: machacek@fsv.cvut.cz, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, FSV ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

## OVĚŘENÍ CHOVÁNÍ PILÍŘE PIŽMO PŘI VÝSUNU MOSTU V BOHUMÍNĚ

### VERIFICATION OF THE BEHAVIOR A PILLARS “PIŽMO” DURING BRIDGE ERECTION IN THE CITY OF BOHUMIN

**Pavel Simon, Aleš Píro**

Vladimír Fišer, Brno

***Anotace:***

*Při návrhu výsunu mostních konstrukcí bývá problémem stanovení roznosu zatížení dočasných podpěr z provizorních konstrukcí do základů a jejich stabilita při výsunu. Z tohoto důvodu došlo k ověřovacímu měření napětí nejvíce zatíženého pilíře ze systému PIŽMO při výsunu prostorově zakřivené mostní konstrukce přes zhlaví kolejiště nádraží Bohumín. Výstupem je kromě on-line výsledků během výsunu i srovnání s výpočtním modelem, jež ukazuje na vliv dalších faktorů, které však nelze při samotném teoretickém zpracování před výsunem odhadnout či eliminovat.*

***Annotation:***

*Throughout the design development of the bridge structure arise a problem in determination stability and load transition for temporary structure and their foundation during the erection.*

*Due to these concerns, we have tested loads of the most loaded pillar, as a part of the “PIŽMO” system, during the erection of the spatially curved structure over the railway tracks in Bohumín Station.*

*The output is in addition to on-line results during the erection a comparison with the computer model, shows the influence of the factors that cannot be in the theoretical process estimated or eliminated.*

***Klíčová slova:*** most, montáž postupným výsunem, stabilita

***Keywords:*** bridge, incremental bridge launching, stability, erection

## 1. Zadání

Cílem výzkumu bylo ověření chování pilíře při výsunu, zejména jeho stability vlivem vodorovné síly, která vzniká při posunu a určení skutečných třecích sil na teflonových blocích v průběhu zdvihu výsuvného válce.

### 1.1. Popis výstavby mostu

Nosnou ocelovou konstrukci zavěšeného mostu tvoří nosná OK, pylony, tyčové závěsy a spřažená ocelobetonová mostovka. Most převádí komunikaci I/67 přes produktovod a vícekolejné zhlaví na nádraží v Bohumíně. Vysouvaná byla nosná OK bez mostovky, bednění a pylonů a táhel. Výsun proběhl ve dvou etapách, měření se provádí pouze během první etapy, která končila přejezdem nejdelšího pole přes zhlaví nádraží.



*Obr. 1.: Vysouvaná konstrukce nad MP4. Vnitřní analyzovaná strana pilíře je na obrázku vpravo. Stav výsunu ráno 2.dne 1.etapy.*

## 1.2. Důvody výběru pilíře MP04- vnitřní strany

- Jedná se o pilíř, na kterém jsou největší svislé účinky od výsunu, maximální charakteristická reakce na jednom výsuvném vahadle je 1072kN
- Z důvodů snížení rozponu volného pole je pilíř zatížen nesymetricky, tlačná vodorovná síla od lisů jej destabilizuje, tahová síla v poslední řadě sloupků pilíře bude pro měření dobře identifikovatelná
- Vnitřní strana pilíře nebude ovlivněna radiálními silami vyvozenými tlakem mostu do bočního vedení, pokud bude výsun probíhat dle předpokladů
- Eliminace průhybu na pilíři MP03 po překonání největšího volného pole bude na pilíři MP04 velice dobře staticky čitelná

## 1.3. Konstrukce pilíře

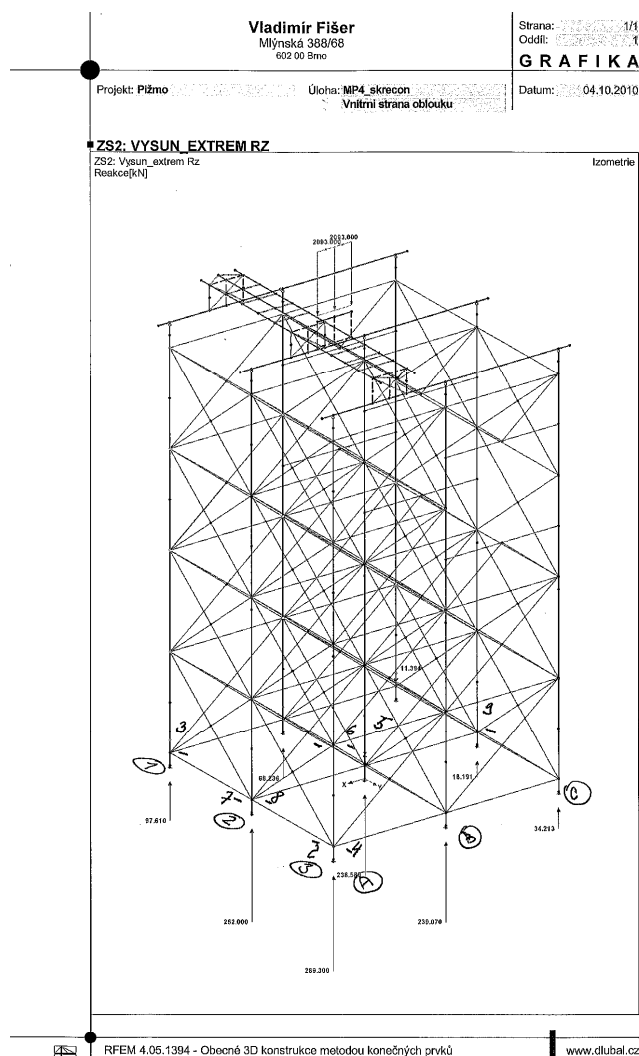
Podpěra MP04 se skládá ze dvou pilířů půdorysných rozměrů 4x4m a jejich propojení 4x8m. Pilíře jsou založeny na betonovém základě. Roštové nosníky, na kterých jsou založeny sloupky, jsou uloženy na těchto základu a jsou k němu ve vybraných místech kotveny vlepením celozávitových tyčí. Vnitřní strana pilíře byla vybetonována níže, roštové nosníky jsou podloženy ocelovými podložkami a podbetonovány ve výšce cca 120 mm. Jak je vidět na obr. 2 jsou krajní roštové nosníky uloženy z prostorových důvodů blízko hrany betonového základu.



*Obr. 2.: Vnitřní strana pilíře MP04 je tvořena 9 sloupků ztuženými ve svislých rovinách s vynecháním ztužení pro průchod stávajícím vedením pilířem.*

#### 1.4. Prostorový model – statický roznos sil a určení měřících bodů

Prostorový model byl řešen v programu RFEM4. Z výsledků silového rozdělení bylo vybráno pro měření 5 sloupků z celkového počtu 9, které v půdorysu tvoří tvar písmene T. Při této sestavě jsme měli být schopni ověřit 3 ze 4 nejvíce zatížených stojek ( A2, A3, B2, měřící body: 2-4, 5-6, 7-8) včetně přenosu sil do vnější řady pilíře (A1 měřící body: 1-3) a hlavně tažené řady stojek (C2 měřící body: 9-10) . Je třeba upozornit že již jen od svislého zatížení v místě vahadla vzniká ve stojce C1 vlivem prostorového ztužení drobný tah.



*Obr. 3.: FEM Model vnitřní strany pilíře MP04 se označením poloh tenzometrů a max. svislými reakcemi před nájezdem na MP03.*



### 1.5. Měřící body

V navržených 10 místech bylo měřeno poměrné přetvoření v podélné ose L-profilu. Výsledkem měření je napětí na vnější hraně L-profilu, způsobené jak osovou silou, tak i normálovým napětím od ohybu. Každý sloupek byl osazen 4 tenzometry do ½ mostového zapojení (dva měřící body) a bylo tak možné sledovat napětí na dvou protilehlých stranách dvou L profilů ze čtyř L úhelníků, jež tvoří členěný prut stojek.

### 1.6. Tenzometrické měření

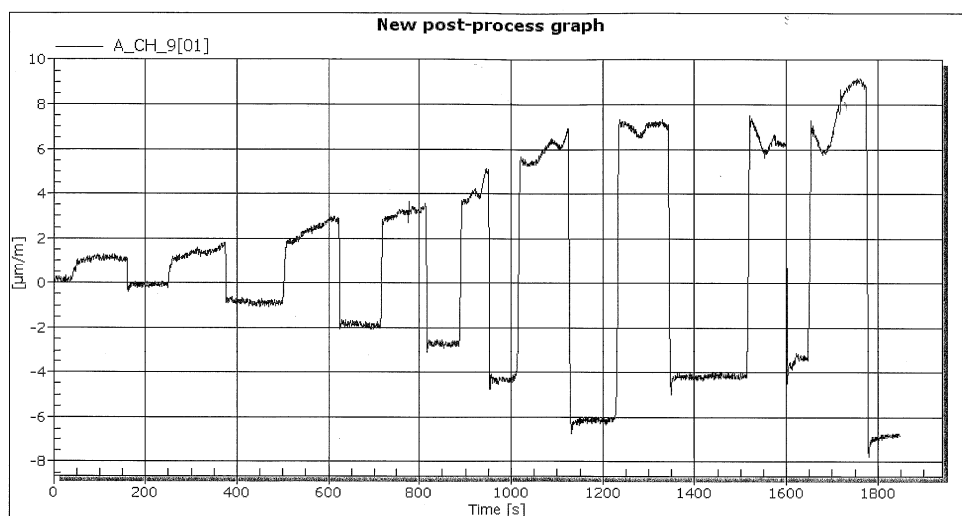
Osazení tenzometrů bylo provedeno ve dvou dnech 13.9 a 16.9. Samotná měřící soustava byla připravena k měření 30.9.2010. Bohužel 2 z 10 deseti měřících bodů se nepodařilo v den výsunu aktivovat a deštivé počasí jaké na stavbě převládalo neumožnilo lepení náhradních tenzometrů před zahájením výsunu. Chybějící měřené kanály (1, 10) byly každý na jiné stojce, měřící bod č. 1 stojka A1, měřící bod č. 10 stojka C2.

Bylo provedeno cca 30 měření, s různými frekvencemi snímání v rozsahu 2-200Hz a s rozdílným snímaným časem. Detailně byly vyhodnoceny stavy, na kterých, lze vhodně demonstrovat chování pilíře při výsunu.

## 2. Stav „PRVNÍCH 30 MINUT“

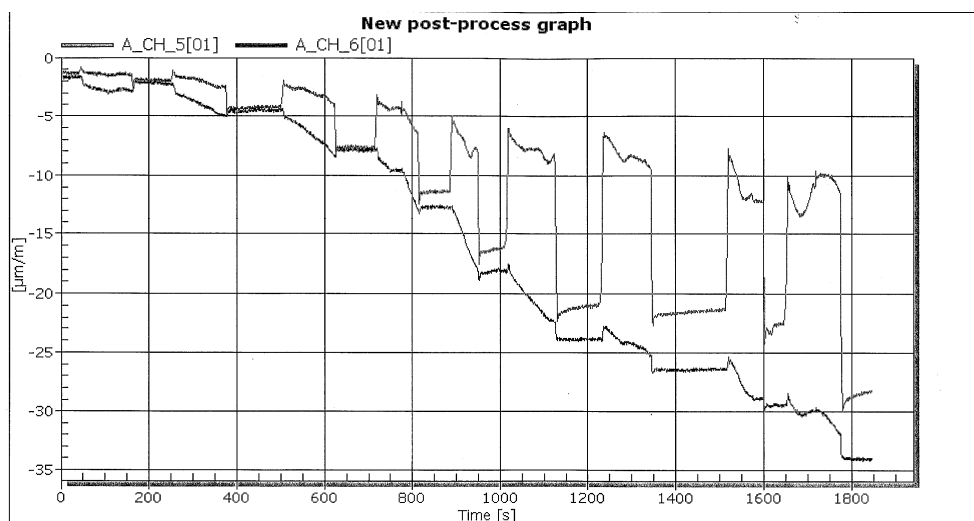
Čas 18:03-18:33, Frekvence 5Hz

Jedná se o stav, kdy most poprvé dosedl na vnitřní stranu podpěry MP04. Z uvedeného záznamu je vidět vliv vodorovné síly na napětí ve stojkách pilíře. Záporné hodnoty jsou hodnoty tlakové, kladné hodnoty jsou hodnoty tahové. Vynulování počátečních hodnot proběhlo cca 1,5 hodiny před tímto měřeným stavem. Vlastní tíha pilíře neovlivňuje měření, počáteční nulované hodnoty neuvažují napětí od vlastní tíhy.



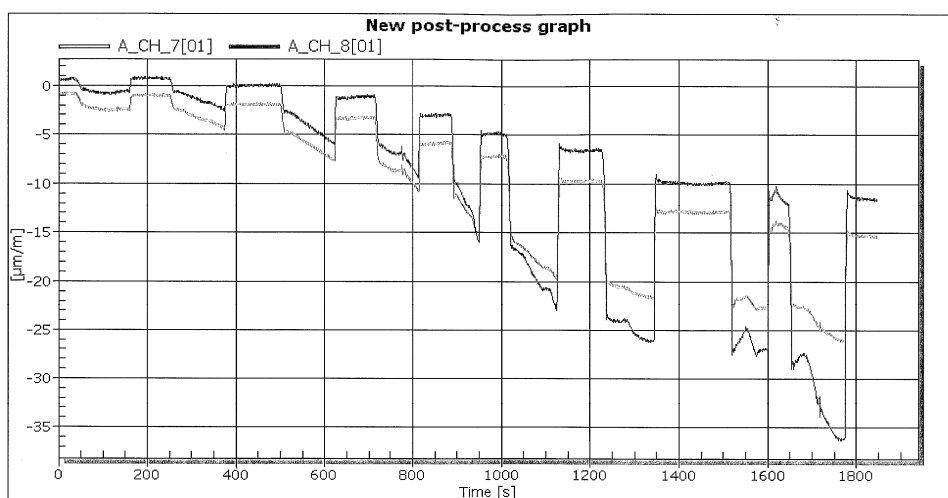
Obr. 4.: Je patrné, že ke vzniku tahové síly v C2 „9“ dochází ihned po dosednutí mostu na vahadlo. Tahová síla je větší při zdvihu válce, po jeho ukončení se vrací do stojky tlak.

Dobře patrný vliv ohybu je vidět na střední stojce B2 „5 a 6“. Napětí v bodě „5“ má stejný průběh jako v bodě „9“, ale převládá v něm tlaková síla. Při zdvihu dojde k odlehčení a po zastavení výsunu dojde k nárůstu tlakové síly. Na druhé straně stojky B2 v „6“ je také patrný vliv tahu (při zdvihu dochází k odlehčení) ale postupně s přibývajícím svislou zátěží pilře se vliv zdvihu válce vytrácí a převládá tlak.



Obr. 5.: Střední stojka B2, měřící body 5,6

Stojka A2 je střední stojka přední řady pilíře. V této řadě je dobře patrný vliv tlaku do vodorovné síly při zdvihu válce. Zajímavé je chování stojky při zdvihu oproti chování v klidu. Při zdvihu je více tlačena vnitřní strana stojky „8“ v klidu je to naopak „7“ či se strany střídají. Má zde vliv tuhost základu, a tvarové imperfekce, protože svislé zatížení se při dalších fázích výsunu přenáší výrazně více vnitřní stranou stojky „8“ než vnější stranou „7“, stejně tak je tomu i u stojky A3 s vnitřní stranou „4“ a vnější stranou „2“.



Obr. 6.: Střední stojka A2, měřící body 7,8

Oproti výpočetnímu modelu je zřejmá větší diference napětí na vnitřní a vnější straně stojek a to jak pro zatížení svislá tak i pro zatížení vodorovná. Zatímco ve výpočetním modelu je poměr napětí u stojek A2,A3,B2 pro samotnou svislou složku takřka stejný (49%:51%), tak pro stav po posledním zdvihu v tomto stavu je pro tyto stojky poměr A2( $\pm 6\%$ ), A3( $\pm 12\%$ ), B2( $\pm 6\%$ ).

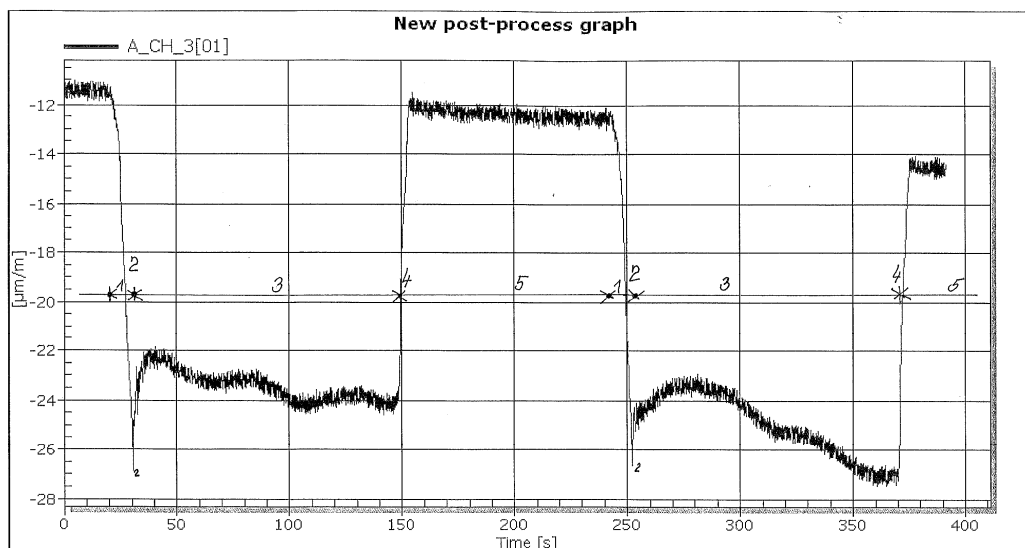
### 3. Stav „DVA ZVIHY“

Čas 9:25-9:32, Frekvence 100Hz

Tyto první dva ranní zdvihy po nočním přerušení výsunu měli sloužit pro přesnou analýzu stanovení fází výsunu:

- 1. Nárůst hydraulického tlaku v lisech, bez pohybu konstrukce
- 2. „Odlepení konstrukce“ spojené s poklesem hydraulického tlaku, zahájení posunu konstrukce (překonání tření)

- 3. Výsuv ke konstantní rychlosti (délka jednoho taktu max. 520mm)
- 4. Ukončení výsuvu – uvolnění tlaku ve válci
- 5. Zatažení válce a technologická přestávka



Obr. 7.: Krajní stojka A1, měřící bod 3 s vyznačením fází výsuvu

Chtěli jsme ověřit, zda naše hypotézy určení součinitele tření v závislosti na jednotlivých fázích výsuvu odvozené od změn tlaku v čerpadle jsou obecně platné i pro jednotlivé podpory. Pro vysouvanou konstrukci jako celek platné jsou.

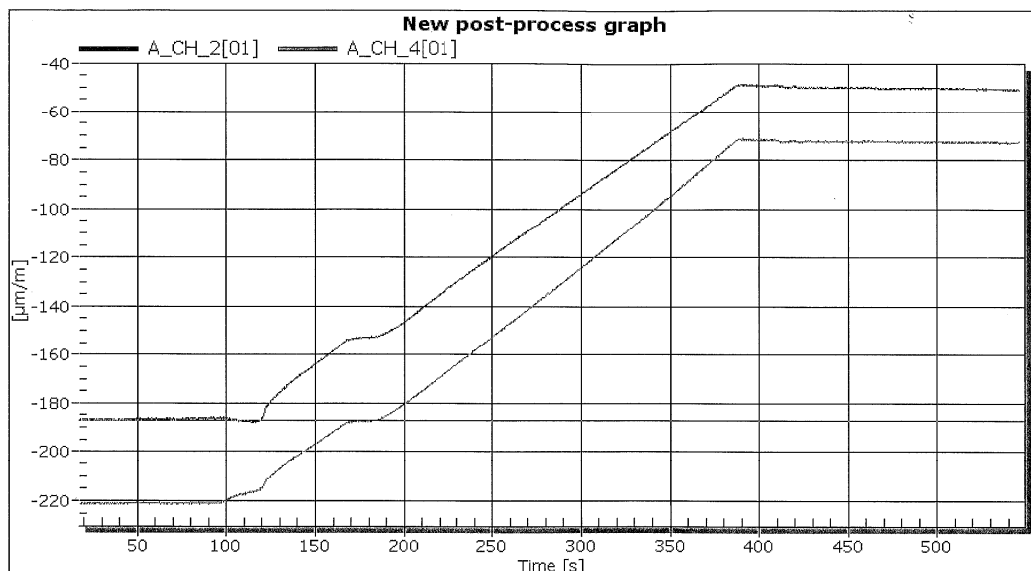
Jak je vidět z uvedených záznamů měření kdy křivky na jednotlivých měřících místech a v různých časech měření nemají obdobný tvar, nelze tyto hodnoty zobecnit pro jednotlivé výsuvné body a dále jejich roznosy do montážních pilířů. Nicméně lze konstatovat, že nikdy nebyla překročena hodnota tření 10%, která se běžně užívá při návrhu výsuvu na teflonech. Faktorů, jež ovlivňují součinitel tření je více a jejich výčet a míra vlivu přesahuje možnosti tohoto příspěvku.

#### 4. Stav „ELIMINACE PRŮHYBU“

Čas 15:31-15:40, Frekvence 5Hz

Na záznamech měření je dobře patrný postupné přebírání účinků zatížení z podpory MP04 na MP03. Před zahájením zdvihání volného konce vysouvané konstrukce prostřednictvím vertikálních lisů umístěných na MP03 má konstrukce s ohledem na montážní pilíř MP04 tvar spojitěho nosníku s převislým koncem

délky cca 28 m. Tento stav se po eliminaci průhybu a osazení kce na výsvuná ložiska na MP03 mění na spojité nosník bez převislého konce.



Obr. 8.: Průběh eliminace průhybu na stojce A3. Skok v křivce (v čase 1700-1850 vteřin) byl způsoben přerušením zvedání lisů.

Jelikož se v tomto stavu výrazně neuplatňují vodorovné síly (konstrukce není horizontálně posouvána) sloužilo nám tento stav i k ověření metodiky srovnání měřené skutečnosti a výpočetního modelu. Musíme konstatovat, že odchylka mezi modelem a přepočítaným měřením dosahovala max. 1,5% jak je vidět z příložených srovnávacích tabulek.

Měřené body	Napětí od svájeých účinků	Napětí od vodorovných účinků	Kombinace napětí	sklon	Poměr kombinace/měření	
<b>TRÉNÍ</b>	<b>kN</b>	<b>kN</b>	<b>Mpa</b>	<b>Mpa</b>	<b>Mpa</b>	
-1,49%	1072	-16			-1,20%	
<b>2</b>	-39,129072	2,23488	-36,8942	-187	-39,27	0,940
<b>3</b>	-13,374808	1,06336	-12,3114	-54,5	-11,445	1,076
<b>4</b>	-38,371168	1,45936	-36,9118	-222	-46,62	0,792
<b>5</b>	-32,555032	-0,2088	-32,7638	-102	-21,42	1,530
<b>6</b>	-34,25308	-0,13776	-34,3908	-188	-39,48	0,871
<b>7</b>	-37,432632	1,89184	-35,5408	-73	-15,33	2,318
<b>8</b>	-39,464072	1,69184	-37,7722	-305	-64,05	0,590
<b>9</b>	0,647488	-1,3576	-0,71011	29	6,09	-0,117
						7,999

Měřené body	Napětí od svájeých účinků	Napětí od vodorovných účinků	Kombinace napětí	sklon	Poměr kombinace/měření	
<b>TRÉNÍ</b>	<b>kN</b>	<b>kN</b>	<b>Mpa</b>	<b>Mpa</b>	<b>Mpa</b>	
-1,01%	597	-6			-1,58%	
<b>2</b>	-21,7911	0,83808	-20,953	-50	-10,5	1,996
<b>3</b>	-7,44847	0,39876	-7,04971	5	1,05	-6,714
<b>4</b>	-21,369	0,54726	-20,8218	-70	-14,7	1,416
<b>5</b>	-18,13	-0,0783	-18,2083	-16	-3,36	5,419
<b>6</b>	-19,0756	-0,05166	-19,1273	-70	-14,7	1,301
<b>7</b>	-20,8463	0,70944	-20,1369	-28	-5,88	3,425
<b>8</b>	-21,9777	0,63444	-21,3432	-90	-18,9	1,129
<b>9</b>	0,360588	-0,5091	-0,14851	-23	-4,83	0,031
						8,003

Obr. 9.: Srovnání měření-model před a po eliminaci

## 5. Závěr

Montážní pilř ze systému PIŽMO se při zatížení svislou silou chová obdobně jako výpočetní 3D model. V případě kombinace vodorovných a svislých účinků je třeba vzít v úvahu ostatní faktory (tuhost základu, geometrie pilře, teplota, dotažení šroubových spojů, vynechaná ztužení, atd). Jedná se o prostorovou konstrukci z členěných prutů, možnosti interpretace měřených odlišností jsou různé. Pro podrobnou analýzu by bylo vhodné více měřících bodů a další měření během výsunu, zejména měření posunutí a pootočení v závislosti na výsunu.

Stanovení součinitele tření jednotlivého výsuvného ložiska a jeho montážní podpory je možné, ale nelze jeho závěry zobecnit pro ostatní. Závěr pro nás jako firmu, jež vyvíjí montážní pomůcky a montážní postupy je ten, že rezervy používané při návrhu nelze bez bližší analýzy okrajových parametrů konkrétního výsunu vypustit. Určitý prostor jsme objevili, ale je na dalším zvážení zda náklady na jeho zajištění a ověření během výsunu jsou ekonomicky výhodné.

## Literatura

- [1] HOFFMAN, K: An Introduction to Measurements using Strain Gages -1989. Darmstadt Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
- [2] Ministerstvo Dopravy: Mostní pilř Pižmo Díl I. –Praha 1964

## Kontakt

Ing. Pavel Simon, tel: 00420 543 532 290, e-mail: pavel.simon@fiserv.cz, Vladimír Fišer, Mlýnská 68, 602 00 Brno.

Ing. MArch Aleš Píro, tel: 00420 543 532 290, e-mail: ales.piro@fiserv.cz, Vladimír Fišer, Mlýnská 68, 602 00 Brno.

**PROBLÉMY JAKOSTI VÁPENNÝCH MALT  
S PŘÍDAVKEM METAKAOLINU  
APLIKOVANÝCH PŘI OPRAVÁCH  
ARCHITEKTONICKÉHO DĚDICTVÍ**

**PROBLEMS WITH THE QUALITY OF LIME  
MORTARS MODIFIED WITH METAKAOLIN  
IN THE FIELD OF CONSERVATION  
OF BUILDING HERITAGE**

**Zuzana Slížková, Dita Frankeová,  
Petra Hauková, Dana Křivánková**

Ústav teoretické a aplikované mechaniky, v. v. i.,  
Akademie věd ČR

***Anotace:***

*V příspěvku je prezentován problematický případ, kdy byla k opravě historické zdi použita vápenná malta s metakaolinem: oprava hřbitovní zdi kostela sv. Václava v Chlumu u Třebíče. Na základě podrobné analýzy vlastností stavebních malt jsou stanoveny příčiny nízké životnosti tohoto materiálu při zmíněných aplikacích.*

***Annotation:***

*The paper presents a case of failed application of air lime mortar modified with metakaolin as the replacement of decayed or missed render rep. jointing mortar from historic wall. Detailed material characterization of applied mortar results in determination of causes leading to low durability of mortar applied on historic walls.*

***Klíčová slova:*** vápenná malta, metakaolin, VAPO, omítka, analýza malty, trvanlivost

***Keywords:*** lime mortar, metakaolin, VAPO, render, mortar characterization, durability

## 1. Úvod

Snaha o citlivé rekonstrukce stavebních památek přispívá k stále většímu zájmu o vhodné materiály pro jejich opravu. Vlastnosti vápenných omítek s přísadou metakaolinu jsou studovány s výhledem jejich využití pro opravy nebo náhrady původních vápenných malt. Řada historických objektů již byla s využitím tohoto materiálu opravena, ukazuje se však, že pokud je stavební konstrukce exponována průniku vody, mrznutí a krystalizaci solí, je odolnost a trvanlivost vápenné malty s metakaolinem bez dalších opatření nedostatečná. V následujícím příspěvku je prezentován problematický případ, kdy byla k obnově historické zdi použita vápenná malta s metakaolinem. Podrobnou analýzou vlastností malty jsou stanoveny příčiny nízké životnosti tohoto materiálu v daných podmínkách.

## 2. Hřbitovní zeď kostela sv. Václava v Chlumu u Třebíče

### 2.1. Situace

Hřbitovní zeď opravovaná během léta v roce 2010 vykazovala po uplynutí první zimy na jaře 2011 poruchy, projevující se nedostatečnou soudržností i přídržností nové malty k podkladu. Oprava zdi spočívala v přezdění části zdi s využitím původních kusů neopracovaného kamene a nové zdící malty připravené na staveništi z písku a směsného pojiva na bázi vzdušného vápna a metakaolinu s obchodním názvem VAPO. Větší část zdi byla obnovena pouze povrchově novým vyspárováním zdi toutéž maltou. Výběr typu malty byl proveden na základě doporučení regionálního pracoviště Národního památkového ústavu, který požadoval provést opravu zdi vápennou maltou bez obsahu portlandského cementu. Na jaře 2011 požádal investor ÚTAM AV ČR o posouzení jakosti provedené malty a určení příčiny špatné kvality provedené opravy.

Pro potřeby rozboru odebrali pracovníci ÚTAM vzorky malty a provedli fotodokumentaci stavby. 7 vzorků bylo odebráno pro stanovení obsahu aniontů vodorozpustných solí v maltě ve třech různých výškách zdi a v koruně na horizontální části zdi byly odebrány 3 vzorky kompaktní malty pro rozbor jejího chemického složení a stanovení texturních parametrů. Ze spáry vnější části zdi byl ve výšce cca 155 mm nad terénem odebrán 1 vzorek malty pro přípravu výbrusu pro mikroskopické vyšetření.





*Obr. 1.: Hřbitovní zeď kostela sv. Václava v Chlumu před opravou (vlevo) a po opravě (vpravo)*

## **2.2. Metodika rozboru malty**

### Stanovení aniontů vodorozpustných solí, konduktivity a pH

Anionty solí byly stanoveny ve vodném výluhu ze vzorků malty. Síranové a chloridové aniony byly stanoveny kolorimetricky pomocí testů spol. MERCK, dusičnanové aniony pomocí analytických testovacích proužků Quantofix. Hodnocení stupně zasolení bylo provedeno podle ČSN P 730610 Hydroizolace staveb-Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení (Příloha B).

Konduktivita a pH vodného výluhu (po 24 hodinách) byla stanovena přístrojem inoLab Cond 720 při teplotě 23 °C.

### Granulometrické složení kameniva v maltě

Zrnitost kameniva v maltě byla stanovena podle ČSN EN 1015-1. Vzorek malty (přibl. 60 g) byl jemným tlakem rozdružen na drť tak, aby nedošlo k rozdrcení kameniva, a vysušen při 100 °C. Pojivo malty bylo rozpouštěno

---

zředěnou kyselinou chlorovodíkovou 1 : 5. V kyselině nerozpustný podíl byl po zfiltrování a promytí vysušen, zvážen a podroben síťovému rozboru. Výsledky jsou průměrem dvou měření.

#### Stanovení sypné hmotnosti volně sypaného kameniva

Sypná hmotnost byla stanovena podle postupu popsaneho v ČSN EN 1097-3, ale s menším objemem kameniva.

#### Silikátová analýza, stanovení ztráty žháním

Složení omítky bylo určeno pomocí zkrácené silikátové analýzy na mokré cestě podle vnitřní metodiky ÚTAM. Vzorek byl před zahájením analýzy jemně podrcen v třecí misce tak, aby nedošlo k narušení zrn písku, ale pouze k oddělení pojiva. Vzorek byl rozpuštěn kyselinou chlorovodíkovou zředěnou 1:5, nerozpustný podíl odfiltrován a ve filtrátu byly stanoveny jednotlivé prvky ve formě oxidů. Rozpustný  $\text{SiO}_2$  a oxidy  $\text{R}_2\text{O}_3$  byly stanoveny gravimetricky po sražení a následném vyžháním při 1000 °C, CaO a MgO byly stanoveny titračně (Chelatonem III). Po stanovení ztráty žháním celého vzorku bylo přepočtení rozpustných složek na 100 % pojiva provedeno podle vzorce:

$$RP_{100} = \frac{\text{složka}_{\%} * 100}{100 - \text{kamenivo}_{\%} - Z\check{z}_{\%}} .$$

#### Stanovení ztráty žháním

Vzorek malty byl rozmělněn na drť a vysušen v sušárně na 105 °C. Asi 1 g vzorku byl navážen do porcelánového kelímku a žhán při 1100 °C do konstantní hmotnosti. Ztráta odpovídá obsahu vody a oxidu uhličitého a byla vyjádřena v procentech na navážku.

#### Výpočet poměru míšení plniva a pojiva při přípravě malty

Poměr míšení plniva a pojiva vápenné malty byl proveden výpočtem na základě stanovení nerozpustného podílu v HCl a ztráty žháním při 1100 °C. Předpokladem správnosti výpočtu je podmínka, že kamenivo je úplně nerozpustné v HCl. Mineralogické složení písku bylo před rozpouštěním malty zhodnoceno vyšetřením výbrusu malty pod optickým mikroskopem. K výpočtu objemového poměru složek míšených při přípravě malty byly použity naměřené sypné hmotnosti kameniva ( $1,53 \text{ g.cm}^{-3}$ ) a pojiva VAPO ( $0,5 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

#### Termická analýza

Termická analýza vzorku byla provedena na přístroji SDT Q600 firmy TA v rozmezí teplot 25-1000°C. Na analýzu bylo navažováno 20–30 mg vzorku do keramických kelímků, spalování probíhalo v N<sub>2</sub> atmosféře rychlostí ohřevu 10°C za min.

### Stanovení pórovitosti hydrostatickým vážením

Pórovitost a objemová hmotnost byla stanovena podle ČSN EN 1936 na vzorcích nestandardní velikosti a tvaru (menší velikost vzorků, ne zcela pravidelný tvar vzorků).

### Stanovení pórovitosti a distribuce velikosti pórů rtuťovou porozimetrií

Měření pórovitosti bylo provedeno na přístroji Quantachrome porozimetr, model Poremaster PM-60-30 při tlaku 0,005–413 MPa, kontaktním úhlu rtuti 140° a povrchovém napětí rtuti 480 erg/cm<sup>2</sup> (= 480.10<sup>-3</sup> N\*m<sup>-1</sup>).

## 2.3. Výsledky rozboru malty

Z analýzy vyplývá, že nová malta obsahuje zvýšené až velmi vysoké množství aniontů vodorozpustných solí. Jedná se zejména o dusičnany a chloridy v přízemních partiích, ale obsah dusičnanů je vysoký i 1,5 m nad zemí. Z výsledků je zřejmé, že nová malta byla nanášena na zdivo značně kontaminované směsí vodorozpustných solí a převzala část vodorozpustných solí z historické zdi do své porézní struktury. V části zdi, která byla přezděna a stará malta kontaminovaná solemi byla odstraněna v celé hloubce zdi, je nová malta zatížena obsahem vodorozpustných solí v mnohem menší míře. I zde však došlo během necelého roku k zasolení malty zejména dusičnany. Vzhledem k tomu, že zeď není izolována proti průniku zemní vlhkosti, je permanentně zvlhčována a soli transportované vztlínající vodou krystalizují v povrchových partiích zdiva.

Tabulka 1.: Stanovení aniontů vodorozpustných solí, konduktivity a pH vodného výluhu

Č. vzorku	Výšk a nad zemí [mm]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [% hm.]	Stupeň zasolení	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [% hm.]	Stupeň zasolení	Cl <sup>-</sup> [% hm.]	Stupeň zasolení	Konduktivita [μS/cm]	Anionty celkem [% hm.]	pH	
Profil 1	1	500	0,50	zvýšený	0,50	vysoký	0,05	nízký	172,9	1,05	7
	2	1000	0,25	nízký	0,25	zvýšený	0,05	nízký	108,3	0,55	7
	3	1500	0,25	nízký	0,10	zvýšený	0	nízký	108,7	0,35	7
Profil 2	4	500	1,99	zvýšený	2,49	velmi vysoký	0,40	vysoký	1426	4,88	7
	5	1000	1,98	zvýšený	0,99	velmi vysoký	0,20	vysoký	845	3,17	7
	6	1500	1,40	zvýšený	0,50	vysoký	0,10	zvýšený	421	2,00	7
P. 3	7	600	1,39	zvýšený	2,48	velmi vysoký	1,49	vysoký	1082	5,36	7

Poznámky:

profil 1: nová část zdi, malta z hloubky 0-10 mm

profil 2: stará část zdi, malta z hloubky 0-10 mm

profil 3: stará část zdi, tmavší místo na povrchu zdi (obr. 1 vpravo), malta z hloubky 0-10 mm

Relativně vysoký obsah rozpustného oxidu křemičitého i směsi oxidu hlinitého a železitého v pojivu malty svědčí o tom, že pojivo malty je tvořeno vedle převažující vápenné složky (63 % hm.) také hlinito-křemičitou složkou. Stanovený hydraulický modul je nízký (1,9) a odpovídá hydraulickému pojivu. Poměr stanovených oxidů v pojivu analyzované malty se shoduje s poměrem těchto oxidů v pojivu VAPO ( $H_m = 2,01$ ).

Tabulka 2.: Určení kvality pojiva malty na základě silikátové analýzy

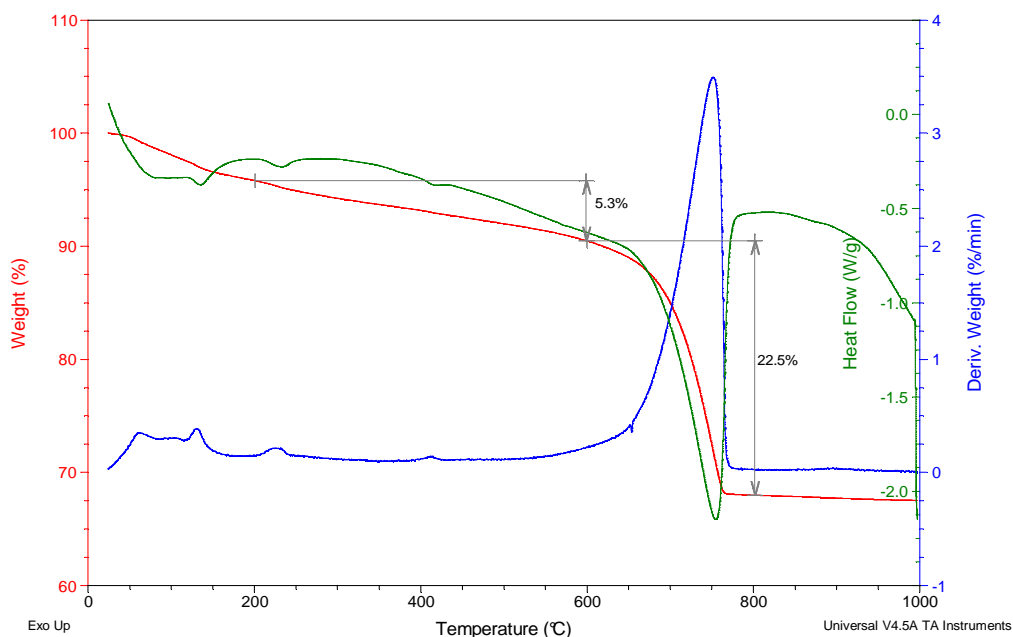
	%	rozpustný podíl přepočtený na 100%
Navážka vzorku	100,0	-
Kamenivo	80,8	-
SiO <sub>2</sub> rozp.	1,6	14,1
CaO	7,1	63,2
MgO	0,1	1,1
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1	19,0
Ztráta žháním	7,9	-
Σ	99,6 %	97,4 %

Pro identifikaci pojiva malty byla provedena termická analýza jejího nejjemnějšího podílu (menší než 0,063 mm). Výsledky analýzy jsou graficky vyjádřeny na obrázku 2. Termogram vzorku ukazuje, že hlavním dějem probíhajícím během ohřevu vzorku je rozklad uhličitanu vápenatého (maximum při 750 °C) s hmotnostním úbytkem 22,5 % hm. (uvolnění CO<sub>2</sub>). Vzorek obsahuje podíl hydraulických složek, což se projevuje hmotnostním úbytkem 5,3 % v oblasti 200-600 °C, kde dochází k jejich dehydrataci. Míru hydraulicity lze vyjádřit poměrem CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, který udává množství uvolněného CO<sub>2</sub> z uhličitanu ku množství chemicky vázané vody z hydraulických složek. S klesající hodnotou poměru roste hydraulický charakter pojiva malty. Pro analyzovaný vzorek byla vypočtena hodnota 4,2. Dle klasifikace Moropoulou [1] tato hodnota přísluší vápenným maltám s technogenními pucolány. Tomuto zařazení odpovídá pojivo VAPO, které je směsným pojivem na bázi vápenného hydrátu a metakaolinu (technogenní pucolán).

Sample: Chlum 3 povrch jen pod 0,063 mm

DSC-TGA

Instrument: SDT Q600 V20.5 Build 15



Obr. 2.: Termogram DSC analýzy vzorku malty frakce < 0,063 mm

Na základě stanoveného množství písku, pojiva a porovnáním chemického složení pojiva analyzované malty a pojiva VAPO byl vypočten objemový poměr vstupních surovin při míchání čerstvé malty. Vzorek malty byl připraven smícháním 1 dílu pojiva VAPO s 1,9 dílu písku. Z provedeného granulometrického rozboru písku použitého pro přípravu malty vyplývá, že křivka zrnitosti písku je spojitá a distribuce velikosti zrn vyhovující.

Na několika vzorcích odebraných z koruny zdi byl termogravimetricky určen stupeň karbonatace, tj. podíl vápna ve formě  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a podíl již zkarbonatovaného vápna ve formě  $\text{CaCO}_3$ . Vzorky označené jako „povrch“ byly odebrány přibližně do hloubky 1 cm od povrchu, druhý vzorek v páru přibližně 3 až 4 cm pod povrchem malty. Z výsledků je patrné, že zatímco povrchová vrstva obsahuje vápno zkarbonatované téměř ze 100% (89,9 - 100%), v hloubce 3-4 cm je tento podíl podstatně nižší (26,2–64,8 %), tabulka 3. Neúplná karbonatace malty se pravděpodobně projevila v nižší odolnosti malty vůči mrazovému poškození v průběhu zimy.

Tabulka 3.: Stanovení stupně karbonatace malty na povrchu a v hloubce

Vzorek	obsah Ca(OH) <sub>2</sub> % hm.	obsah CaCO <sub>3</sub> % hm.	podíl zkarbonatovaného vápná %
Chlum 1 povrch	0,8	14,8	93,0
Chlum 1 hloubka 3-4cm	9,5	4,5	26,2
Chlum 2 povrch	0,0	16,6	100,0
Chlum 2 hloubka 3-4 cm	4,1	10,2	64,8
Chlum 3 povrch	1,2	14,8	89,9
Chlum 3 hloubka 3-4 cm	4,5	8,6	58,5

Pórovitost zjištěná rtuťovou porozimetrií zahrnuje póry o velikosti 0,003–200 μm. Objem pórů této velikosti tvoří 32,1 % objemu malty. V maltě se vyskytují převážně dvě skupiny velikostí pórů. První skupinu tvoří póry o průměru 0,3–3 μm, přičemž nejvyšší četnost mají póry mírně pod 1 μm. Druhou skupinu tvoří póry o velikosti 10–50 μm s maximem kolem 30 μm. Pórovitost zjištěná na základě nasáknutí vzorku vodou dle ČSN EN 1936 je mírně vyšší, 33,9 % (nasákavost malty 20 % hm.).

Zjištěná pórovitost odpovídá vápenné maltě modifikované metakaolinem, což je možné doložit provedenými rozbory laboratorních malt připravených z pojiva VAPO i malt tohoto typu aplikovaných na historické objekty [2-5].

Struktura pojiva malty zkoumané ve formě výbrusu pod optickým polarizačním mikroskopem je homogenní, což svědčí o tom, že směs byla dostatečně promíchaná. V procházejícím světle i ve zkřížených nikolech jsou viditelné četné krátké pukliny v pojivu malty. Přítomnost puklin je dokumentována na obrázku 3.

#### 2.4. Závěr k výsledkům rozboru malt

Laboratorními analýzami bylo prokázáno, že k přípravě malty byl použit říční písek a vápenné pojivo VAPO (vápenný hydrát modifikovaný metakaolinem) v souladu s projektem. Doporučený poměr míchání pojiva VAPO a písku byl s malou odchylkou dodržen (rozbohem a výpočtem stanovený poměr míchání 1:1,9 se jen málo liší od doporučeného poměru míchání 1:1,5 uvedeného v technickém listu produktu VAPO). Parametry analyzované malty (objemová hmotnost, pórovitost, velikost pórů, distribuce velikosti zrn písku, mineralogické složení písku) jsou obvyklé pro daný typ malty. Zkoumaná zdící malta se liší od laboratorně připravené malty obdobného složení pouze přítomností prasklin viditelných pod mikroskopem.



maltami. Ukazuje se však, že v podmínkách, kdy je zdivo zatíženo vlhkostí (vzlínající nebo zatékající) ve vysoké míře, je trvanlivost této malty nedostatečná. Zlepšení vlastností vápeno-metakaolinové malty s ohledem na trvanlivost v specifických podmínkách vyžaduje další výzkum a úpravu receptury (řízenou zrnitostí použitého písku, příměsemi zlepšujícími mrazuvzdornost směsi). Tímto úkolem se zabývá jeden ze současných výzkumných projektů podpořený Ministerstvem kultury ČR v rámci programu NAKI (Národní a kulturní identita).

## Poděkování

Článek vznikl díky podpoře projektu programu MK ČR NAKI „Vysokohodnotné a kompatibilní vápenné malty pro extrémní aplikaci při restaurování, opravách a preventivní údržbě architektonického dědictví“ DF11P01OVV008.

## Literatura

- [1] MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. AND ANAGNOSTOPOULOU, S.: Composite materials in ancient structures, *Cement and Concrete Composites* 2005; 27 (2): 295-300
- [2] SLÍŽKOVÁ Z., MATAL L., BÁRTA J.: Poznámky k praktické aplikaci metakaolinu. Seminář Metakaolin, Brno, VUT 2007.
- [3] ČERNÝ, R., KUNCA, A., TYDLIDÁT, V., DRCHALOVÁ, J., ROVNANÍKOVÁ, P.: Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. *Construction and Building Materials* 20 (2006) pp. 849-857.
- [4] ROVNANÍKOVÁ P., VAVERKA R., VRAŽICOVÁ J.: Metakaolin jako pucolánová přísada do vápenných malt. *Sanace a rekonstrukce staveb*, Praha, 2002, s. 88-93. ISBN: 80-02-01502-9.
- [5] SLÍŽKOVÁ, Z.: Charakteristiky malt modifikovaných metakaolinem aplikovaných na historických objektech. Seminář Metakaolin, Brno, VUT 2009.



**VLIV VÝVRTŮ MALÝCH PRŮMĚRŮ  
NA ÚNOSNOST VYZTUŽENÝCH  
VLÁKNOBETONOVÝCH PRVKŮ**

**EFFECT OF DRILLED HOLES WITH SMALL  
DIAMETER ON THE RESISTANCE  
OF REINFORCED FRC MEMBERS**

**Karel Šeps, Jan Vodička**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

***Anotace:***

*Článek se zabývá dopadem provedení nového typu nedestruktivní zkoušky homogeneity drátkobetonu na únosnost vyztuženého trámu s aplikací drátkobetonu. Výpočty únosnosti trámu, které příspěvek obsahuje, jsou založeny na oslabení tlačené oblasti průřezu trámu vývrty malých průměrů, nutných k provedení zkoušky.*

***Annotation:***

*The paper deals with the impact of the new type of non-destructive test of homogeneity of the fibre reinforced concrete on the resistance of a beam. The analysis of the beam resistance involved in the paper is based on the weakening of the compressed zone of the beam section by small bored holes required in the test arrangement.*

***Klíčová slova:*** Drátkobeton, zkouška homogeneity, únosnost trámu, pevnost v tlaku

***Keywords:*** Fibre reinforced concrete with steel fibres, test of homogeneity, beam resistance, compressive strength

## 1. Úvod

V současné době můžeme konstatovat, že vláknobetonu nacházejí stále většího a častějšího uplatnění v betonovém stavitelství. Důvod je zřejmý. Vláknobeton, jako nový konstrukční materiál má charakteristiky, jejichž využití vede k větší spolehlivosti, trvanlivosti a ekonomické efektivnosti v případě reálných vláknobetonových konstrukcí.

Vláknobeton je širší pojem pro označení vláknobetonů tříděných podle užitých vláken, např. polymerových, skleněných, ocelových apod. Jsou-li k výrobě vláknobetonu užitá vlákna posledně jmenovaná – ocelová, užívá se pro vláknobeton vžitý název drátkobeton. Ten lze považovat v současné době za nejvíce využívaný k reálným aplikacím. Z pohledu výroby je kompozitem nejvíce náročným na dodržení všech zásad a ověřených postupů při výrobě i zpracování v konstrukci. Nehomogenita struktury vláknobetonu, která nedodržením uvedeného vznikne, zcela znehodnocuje tento materiál a výše jmenované efekty se při jeho užití ztrácí.

Prokázat homogenitu čerstvého vláknobetonu již dnes lze např. zkouškou, při které se užívá Dozometr, přístroj vyvinutý k tomuto účelu.

Prokázání homogenity ztvrdlého vláknobetonu v konstrukci je buď velmi náročné (např. získat dostatečný počet vývrtů potřebné velikosti a provést jejich rozbor) nebo velmi nákladné a přitom málo spolehlivé (např. rentgenovými snímky). Ukazuje se, že nově vyvíjená zkouška k prokázání homogenity drátkobetonu, založená na principu kolonoskopie, může na základě měření magnetickými sondami dát dostatečný obraz o homogenitě vyrobeného drátkobetonu.

Tento příspěvek se nezabývá vlastní zkouškou, ale pouze dopadem vývrtů malých průměrů na únosnost drátkobetonových konstrukcí, které je třeba na konstrukci v místě měření v rámci prováděné zkoušky udělat.

## 2. Experimentální zkoušky

Jako doplňující zkoušky, k posouzení vlivu vývrtů na únosnost zvoleného trámu, byly testovány krychle o hraně 150 mm opatřené vývrty  $\varnothing$  25 mm v různém uspořádání. Výpočtem zjištěné pevnosti u zkoušených krychlí, ukazují na možné snížení únosnosti v tlačných oblastech trámu prostřednictvím snížení pevnosti vláknobetonu v tlaku.



*Obr. 1.: Referenční krychle (150x150x150 mm) bez vývrtů*



*Obr. 2.: Vývrtý ve zkušební krychli (150x150x150 mm) vedle sebe*



*Obr. 3.: Vývrtý ve zkušební krychli (150x150x150 mm) nad sebou*



Obr. 4.: Diagonální vývrty ve zkušební krychli (150x150x150 mm)

Tabulka 1.: Vliv vývrťů na snížení tlačené plochy krychle a tudíž na snížení její únosnosti

Typ prováděných vývrťů	Oslabení tlačné plochy	Únosnost krychle - teorie	Únosnost krychle - zkouška
Bez vývrťů viz obr. 1	0 %	100 %	100 %
Vedle sebe viz obr. 2	33,3 %	66,7 %	65,9 %
Nad sebou viz obr. 3	16,7 %	83,3 %	69,8 %
Diagonálně viz obr. 4	33,3 %	66,7 %	65,1 %

Hodnoty v tabulce jsou vyjádřeny v procentech jako průměr ze tří naměřených hodnot, zjištěných mezních sil při zkoušce pevnosti v tlaku na krychlích o hraně 150 mm (dle ČSN EN 12390-3).

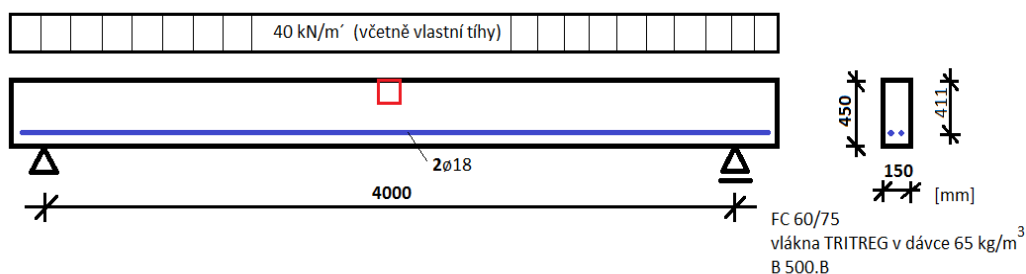
### 3. Únosnosti trámu stanovené výpočtem

Provedení zkoušky pro zjištění homogenity v libovolné hloubce vybetonovaných drátkobetonových prvků vyžaduje realizovat řadu vývrťů malých průměrů. Tím, že tyto vývrty bude vždy nutné provádět v místě největšího namáhání prvku je homogenita pro únosnost rozhodující. Pro posouzení únosnosti byl zvolen trámový prvek, na kterém byl proveden výpočet

únosnosti (dle ČSN EN 1992-1-1), na které se vliv vývrtů může projevit. Trámový prvek byl zvolen v dimenzích, kde tlačená oblast nejlépe koresponduje s velikostí krychlí, na kterých byly provedené vývrty.

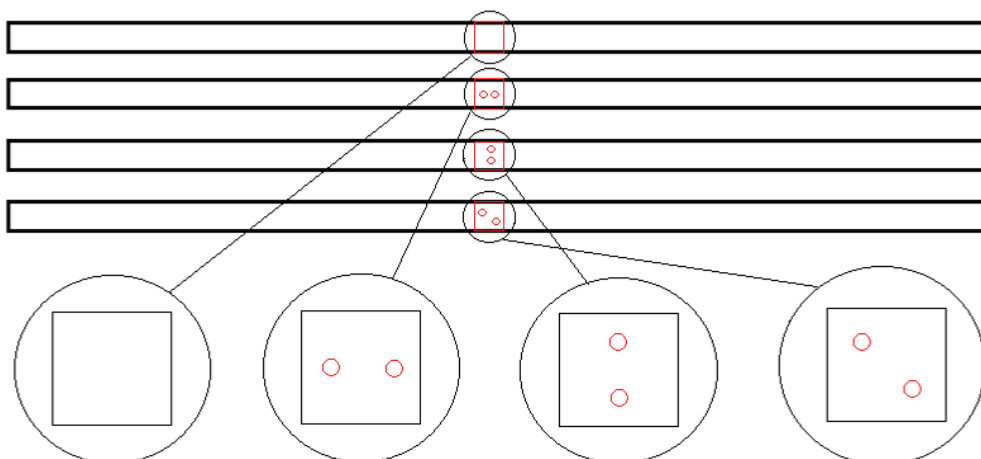
Vstupními údaji pro výpočet únosnosti trámu byly výsledky z tabulky 1. Přesto, že tyto výsledky byly získány pouze na zkušebních krychlích se zvoleným rozložením vývrtů, prokazují vliv oslabení tlačené plochy na únosnost.

Zvolený trámový prvek lze považovat za reálný prvek z drátkobetonu, vyztužený klasickou prutovou výztuží, který se může v konstrukci vyskytnout. Přesnější údaje plynou ze schéma výkresu výztuže prvku viz obrázek 5.



Obr. 5.: Schéma výkresu výztuže uvažovaného trámu

Pro větší přehlednost uvažovaného rozložení vývrtů v okolí nejvíce namáhaného průřezu je uveden obrázek 6, ve kterém je upřesněno rozložení vývrtů uvažované při výpočtu únosnosti.



Obr. 6.: Půdorysné rozmístění vývrtů v místě maximálního ohybového momentu

Tabulka 2.: Únosnosti na trémovém prvku podle seskupení dvou vývrtů

Rozložení vývrtů v tlačené oblasti	Únosnost na trému - geometricky	Součinitel $\alpha_i$	Únosnost spočítaná na trému – podle výsledků zkoušek
Bez vývrtů viz obr. x	100 %	1,000	100 %
Vedle sebe	96,9 %	0,659	97,4 %
Nad sebou	93,8 %	0,698	97,8 %
Diagonálně	96,9 %	0,651	97,3 %

Vypočtené únosnosti zvoleného vyztuženého drátkobetonového prvku byly stanoveny (podle ČSN EN 1992-1-1) bez vlivu drátkobetonu v tažené oblasti na únosnost průřezu.  $\alpha_i$  je součinitel vyjadřující vliv snížení únosnosti, stanovený na základě únosnosti zjištěné na zkoušených krychlích.

#### 4. Diskuze k metodice ověření vlivu vývrtů na únosnost

Zkoušky a výpočty, uvedené v článku, byly provedeny z důvodu zjištění dopadu nově navrhované nedestruktivní zkoušky homogenity drátkobetonu, na únosnost zkoušených prvků. Vše bylo provedeno na zvoleném drátkobetonovém prvku, vyztuženém klasickou prutovou výztuží, simulací vývrtů rozložených podle zvoleného uspořádání, a to jak z čistě geometrického hlediska, tak i z výsledků zkoušek krychlí, které k tomuto účelu byly vyrobeny a navrtány.

Takto navrženou metodikou zkoušky se ukazuje, že vliv vývrtů na únosnost se projevuje již na zkoušených krychlích. Dopad vývrtů na únosnost prvků je zřejmý.

#### 5. Závěr

Z předloženého příspěvku a provedených výpočtů se ukazuje, že:

- vliv vývrtů na únosnost reálných prvků se projevuje
- snížení únosnosti je rozdílné při uvážení geometrického oslabení tlačené plochy oproti únosnosti stanovené na základě výsledkům zkoušek na krychlích
  - nejmenší vliv na snížení únosnosti byl zjištěn při volbě vývrtů v ose trému (dle obrázku x – umístění vývrtů nad sebou), a to o 30,2 % na krychli a 2,2 % na trémovém prvku

▪ největší vliv byl zjištěn při volbě vývrtů vedle sebe a diagonálně (orientováno k ose prvku), a to o 34,1 respektive 34,8 % na krychli a 2,6 respektive 2,7 % na trámu

Z uvedeného vyplývá, že při zpracování metodického pokynu nově navrhované zkoušky bude třeba předepsat i uspořádání vývrtů vzhledem k ose prvku, aby dopad na únosnost byl co nejmenší.

Výsledky lze považovat jako orientační s ohledem na malý počet zkoušek. Jejich ověření se doporučuje provést zkouškami reálných prvků, na kterých budou vývrty provedeny v potřebném počtu pro vyhodnocení zkoušky homogenity drátkobetonu v prvku.

## Poděkování

Příspěvek byl vypracován za finanční podpory projektů GAČR č. 103/09/1073 a 103/09/2039.

## Literatura

- [1] V. Veselý, J. Vodička, J. Vašková, J. Krátký, Zkoušky konstrukčního vláknobetonu, BETON Technologie - Konstrukce – Sanace 2/2010, Praha 2010, str. 43-47, ISSN 12133116
- [2] L. Hobst, O. Anton, J. Vodicka, J. Scucka, Homogeneity Detection of Fibre-Concrete Structures using Radiographic Technique, International Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures, May 15-18, 2011 Istanbul – Turkey
- [3] L. Hobst, O. Anton, J. Vodička, J. Štučka, Ověřování homogenity drátkobetonu, Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví, Sborník recenzovaných příspěvků, Brno 2010, str. 43-50, ISBN 978-80-214-4144-6
- [4] Norma ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí

## Kontakt

Ing. Karel Šeps, tel: +420 224 354 624, e-mail: karel.seps@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

doc. Ing. Jan Vodička, CSc., tel: +420 224 354 622, e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



## HODNOCENÍ EKOTOXICITY STAVEBNÍCH VÝROBKŮ

## EVALUATION OF BUILDING PRODUCTS ECOTOXICITY

**Hana Štegnerová, Jaroslava Ledererová,  
Miroslav Svoboda, Pavel Leber**

Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s.,

***Anotace:***

*Ekonomicky výhodné a současně ekologicky přijatelné nakládání s odpady vyžaduje rozvoj nových technologií jejich využití. Jednou z možností je zpracování průmyslových odpadních materiálů jako surovin do stavebních hmot a výrobků. Tento postup však představuje určité riziko zátěže jak pro populaci tak pro přirozené a antropogenní prostředí. Ekotoxické vlastnosti odpadů, resp. stavebních výrobků se hodnotí zkouškami ekologické vhodnosti, které charakterizují vliv látek na živé organismy a životní prostředí. Na legislativní úrovni ES ani ČR neexistuje zvláštní právní úprava pro obsah nebezpečných látek ve stavebních výrobcích. Základní evropský předpis v oblasti stavebnictví směrnice Rady 89/106/EHS o stavebních výrobcích (CPD)<sup>1</sup> byl nahrazen dokumentem nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 (CPR)<sup>2</sup>. Toto nařízení by mělo zohlednit horizontální právní rámec pro uvádění stavebních výrobků na vnitřní trh<sup>3,4</sup>.*

***Annotation:***

*Economical and environmental dealing with waste requires the development of new technologies for their usage. One of the options is fabrication of industrial waste as raw materials to construction substance and products. However, this procedure represents a certain risk for both population and nature. Evaluation of ecological qualities of waste and building products is realized through ecotoxicological methods. These methods describe impact of substance on environment and living organisms. There is not any specific law regulation for content of hazard substances in constructive products in the Czech republic. The main european instruction for building industry is standard of Council 89/106/EHS about construction products (Construction Products Directive - CPD). The aim of this standard is to provide free circulation and usage of construction products in inner market. This standard was replaced on 9.3.2011 by new document - Construction Products Regulation (CPR) 305/2011 in which the conditions for entering of construction products on the market are specified.*

***Klíčová slova:*** ekotoxicita, ekologická vhodnost, odpadní materiály, stavební výrobky  
***Keywords:*** ecotoxicity, ecological suitability, waste, building products

## 1. Úvod

Výroba stavebních prvků jako každá průmyslová výroba je spojena s produkcí odpadů

a současně přítomností kontaminantů, zejména chemické povahy (např. těžké kovy, organické polutanty) a následným vlivem těchto látek na životní prostředí.

Odstranění technických překážek v oblasti stavebnictví může být dosaženo pouze zavedením harmonizovaných technických specifikací pro účely posuzování vlastností stavebních výrobků. Kromě ochrany zdraví se tyto předpisy týkají také životnosti, úspory energií, ochrany životního prostředí, ekonomických hledisek a dalších oblastí veřejného zájmu.

Vlastnosti stavebních výrobků tak neurčují pouze jejich základní charakteristiky a technická kvalita, ale i hlediska zdravotní a bezpečnostní, která souvisejí s použitím výrobku v průběhu jeho celého životního cyklu.

## 2. Základní požadavky na stavby

Stavby jako celek i jejich jednotlivé části musejí vyhovovat zamýšlenému použití, zejména s přihlédnutím k bezpečnosti a ochraně zdraví osob v průběhu celého životního cyklu staveb. Po dobu ekonomicky přiměřené životnosti musí stavby při běžné údržbě plnit základní požadavky na stavby bez nepříznivého dopadu na životní prostředí.

1. Mechanická odolnost a stabilita
2. Požární bezpečnost
3. Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí
4. Bezpečnost a přístupnost při užívání
5. Ochrana proti hluku
6. Úspora energie a tepla
7. Udržitelné využívání přírodních zdrojů<sup>5</sup>

## 3. Ekotoxicita

Ekotoxicita je obecně definována jako toxické působení na životní prostředí a živé organismy, účinek cizorodých látek na přítomná společenstva organismů v prostředí (rostlin a živočichů včetně člověka).

Z hlediska stavebních hmot a výrobků představuje toxicita akutní či pozdní nebezpečí v důsledku nepříznivého zatížení životního prostředí biologickou akumulací nebo toxickými účinky na biotické systémy.

Problematiku účinku rizikových látek na živé organismy řeší obor ekotoxikologie. Cílem tohoto oboru je vývoj metod, které charakterizují vliv chemických, fyzikálních a biologických faktorů na populace a na společenstva nehumánních druhů.

Testy toxicity jsou experimentální metody, pomocí kterých se zjišťuje odpověď organismu na expozici toxickou látkou za standardních reprodukovatelných podmínek (na živém materiálu v laboratorních podmínkách).

### 3.1 Hodnocení ekotoxicity

Pro vyhodnocení ekotoxického rizika lze využít přístup chemický (porovnání výsledků chemických analýz s kritérii jakosti) nebo přístup biologický, založený na posouzení toxicity. Tyto dva přístupy se vzájemně doplňují, ovšem pro testování složitých směsí neznámého původu jsou vhodnější biologické testy. Zahrnují komplexní účinky všech rizikových látek včetně mechanismů jejich vzájemných interakcí bez nutnosti detailní chemické analýzy.

Platná legislativa, podle které se ekotoxicita hodnotí, je zaměřena na metody hodnocení vodných výluhů (akvatické testy)<sup>6</sup>. Tyto zkoušky však nepostihují v plném rozsahu ekotoxicitu řady nebezpečných látek. V důsledku jejich nízké rozpustnosti ve vodě nebo hydrofobnímu charakteru nejsou ve výluzích obsaženy a dosažené výsledky tak nejsou objektivní.

Akvatické testy mají proto limitované použití s nízkou vypovídací hodnotou o daném vzorku i vzhledem k jejich krátkodobé expozici<sup>7,8</sup>.

Aktuálně je používána baterie akvatických testů stanovení akutní ekotoxicity pro následující organismy:

obratlovci – živorodka duhová *Poecilia reticulata*

bezobratlí – hrotnatka velká (perloočka) *Daphnia magna*

autotrofní jednobuněčné řasy – *Desmodesmus subspicatus*

vyšší zelené rostliny – hořčice *Sinapis alba*

Z ekologického hlediska je sada relevantní pouze pro vodní ekosystémy. Je nevhodná pro posouzení rizik půdních ekosystémů, testuje pouze přenesenou vlastnost - toxicitu výluhu, ale nikoli vzorek samotný a podhodnocuje tak příp. ekotoxicitu látek, obsažených ve vzorku.

Z výše uvedeného vyplývá nutnost změny stávajících metod pro hodnocení ekotoxicity odpadů. Jednou z možností je zavedení kontaktních (terestriálních, terestrických) testů. Tyto testy jsou založeny na bezprostředním kontaktu testovacích organismů s testovanými vzorky a jejich reálné dlouhodobé expozici toxikantům. Kontaktní testy vykazují vyšší citlivost, detekují nižší

koncentrace látek a mají současně charakter testů reprodukčních. Jejich výsledky jsou klíčovým indikátorem rovnováhy ekosystémů<sup>9</sup>.

### 3.2 Kritérium ekotoxicity

Jako nebezpečný se hodnotí materiál, jehož vodný výluh vykazuje ve zkouškách akutní toxicity alespoň pro jeden testovací organismus při určené době působení testovaného materiálu hodnoty limitních koncentrací: LC (EC, IC)  $50 \leq 10 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$

LC 50 - koncentrace, která způsobí úhyn 50% testovacích ryb ve zvoleném časovém úseku

EC 50 - koncentrace, která způsobí úhyn nebo imobilizaci 50% testovacích organismů

(*Daphnia magna*) ve zvoleném časovém úseku

IC 50 - koncentrace, která způsobí 50% inhibici růstu nebo růstové rychlosti řasové kultury nebo 50% inhibici růstu kořene *Sinapis alba* ve srovnání s kontrolou ve zvoleném časovém úseku

### 3.3 Návrh nové metodiky pro hodnocení ekotoxicity (CeHO VÚV T.G.M.,v.v.i. Praha)<sup>10</sup>

Sada organismů pro kontaktní testy:



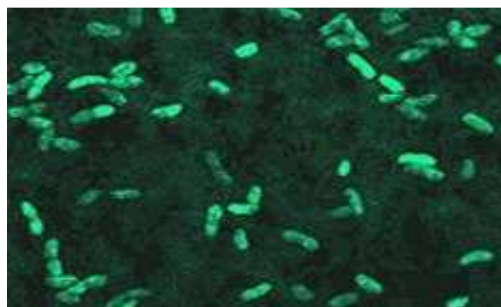
Obrázek 1: půdní členovec chvostoskok *Folsomia candida*



Obrázek 2: půdní roupice *Enchytraeus crypticus*

Kořen suchozemské rostliny – salát *Lactuca sativa*

Sada organismů pro vodné výluhy:



Obrázek 3: hrotnatka velká *Daphnia magna*      Obrázek 4: luminiscenční bakterie *Vibrio fischeri*

Autotrofní jednobuněčné řasy – *Desmodesmus subspicatus*

Tabulka 1: Vybrané předpisy pro stanovení ekotoxicity

Označení normy	Třídící znak	Název normy
ČSN ISO 11267	836451	Kvalita půdy – Inhibice reprodukce chvostoskoků ( <i>Folsomia candida</i> ) látkami znečišťujícími půdu
ČSN ISO 16387	836450	Kvalita půdy – Vliv znečišťujících látek na Enchytraeidae ( <i>Enchytraeus</i> sp.) – Stanovení vlivu na reprodukci a na přežití
ČSN EN ISO 11348-3 ČSN EN ISO 11348-2	757734	Jakost vod - Stanovení inhibičního účinku vzorků vod na světelnou emisi <i>Vibrio fischeri</i> (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) - Část 3: Metoda s lyofilizovanými bakteriemi
ISO 11269-2		Soil quality –Determination of the effects of pollutants on soil flora.Part II: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants
ČSN EN ISO 7346-2	757761	Jakost vod - Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [ <i>Brachydanio rerio</i> Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]- Část 2: Obnovovací metoda

ČSN EN ISO 6341	757751	Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> Straus ( <i>Cladocera, Crustacea</i> ) - Zkouška akutní toxicity
ČSN EN ISO 8692	757740	Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas

#### 4. Závěr

Ke světovým hospodářským i politickým úkolům patří řešení složité problematiky správného nakládání s odpady. Snahou každé vyspělé společnosti by mělo být omezení produkce odpadů, jejich správná klasifikace, posouzení nebezpečnosti a maximálního efektivního využití s minimálními dopady na životní prostředí a zdraví obyvatelstva.

Pevné materiály včetně stavebních hmot a výrobků s obsahem nejrůznějších kontaminantů mohou negativně ovlivňovat živé organismy včetně člověka. Pro zjištění tohoto rizika je potřebné určení jejich ekotoxicity. Současná česká legislativa je založena na stanovení ekotoxicity vodných výluhů materiálů. Látky omezeně rozpustné nebo nerozpustné nelze akvatickými testy stanovit.

Testování ekologické vhodnosti stavebních výrobků za použití kontaktních testů identifikuje souhrnné riziko použitého materiálu včetně vzájemných interakcí přítomných kontaminantů.

Jejich zavedení do legislativních předpisů je proto jedním z důležitých úkolů pro další vývoj v oblasti ochrany životního prostředí.

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu MSM 2623251101 - VEZPOM

#### Literatura

- [1] Směrnice Rady 89/106/EHS ze dne 21.prosince 1988 o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (Celex 31989L0106)
- [2] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9.března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS

- 
- [3] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.765/2008 ze dne 9.7.2008, kterým se stanoví požadavky na akreditaci a dozor nad trhem, týkající se uvádění výrobků na trh
  - [4] Rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady č.768/2008/ES ze dne 9.7.2008 o společném rámci pro uvádění výrobků na trh
  - [5] Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů
  - [6] Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č.383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
  - [7] Hofman J., Vácha R., Kulovaná M.: *Ekotoxikologické hodnocení vytěžených sedimentů a tuhých odpadů a legislativní změny*. Sborník konference Odpadové fórum, Mílovy, 3482-3489 (2009)
  - [8] Kulovaná M., Kočí V., Vosáhllová S.: *Jak dál v hodnocení ekotoxicity odpadů*. Sborník konference Odpadové fórum, Mílovy, 3358-3365 (2009)
  - [9] Kočí V.: *Význam testů toxicity pro hodnocení vlivů látek na životní prostředí*. Chem. listy 100, 882-888 (2006)
  - [10] Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů. Věstník MŽP, XVII, 4 (2007)

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---



**EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ CHOVÁNÍ  
PŘEDPJATÝCH SLOUPŮ  
Z ODSTŘEĐOVANÉHO BETONU**

**EXPERIMENTAL VERIFICATION OF BEHAVIOR  
OF PRESTRESSED POLES FROM SPUN CONCRETE**

**Petr Štěpánek, Petr Šimůnek, Petr Daněk,  
Ivana Laníková, Martin Zlámal**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav betonových a zděných konstrukcí

***Anotace:***

*Príspevek se zabývá destruktivní zkouškou předpjatých sloupů z odstředovaného betonu za účelem ověření vlastností z hlediska životnosti a statické způsobilosti konstrukce. Zkoušeny byly nové sloupy a staré v minulosti používané sloupy. Ověřována byla únosnost při zatížení vrcholovým tahem, rozvoj a šířka trhlin, materiálové charakteristiky betonu, hloubka karbonatace krycí betonové vrstvy a další.*

***Annotation:***

*The paper deals with the destructive testing of prestressed concrete poles from spun concrete to verify the performance of durability and static capacity of the structure. There have been tested both new poles and the used old ones. The load bearing capacity, the development of cracks and their width caused by top force load, material characteristics of concrete, carbonation depth of concrete cover layer, and more were verified.*

***Klíčová slova:*** sloup, experimentální ověřování, beton, únosnost

***Keywords:*** pole, experimental verification, concrete, load bearing capacity

## 1. Úvod

Cílem zkoušek bylo ověřit vlastnosti nových a starých (30 let i více) předpjatých sloupů z odstředovaného betonu. U starých sloupů byla sledována možnost jejich používání i po skončení jejich plánované doby životnosti.

## 2. Popis destruktivní zkoušky

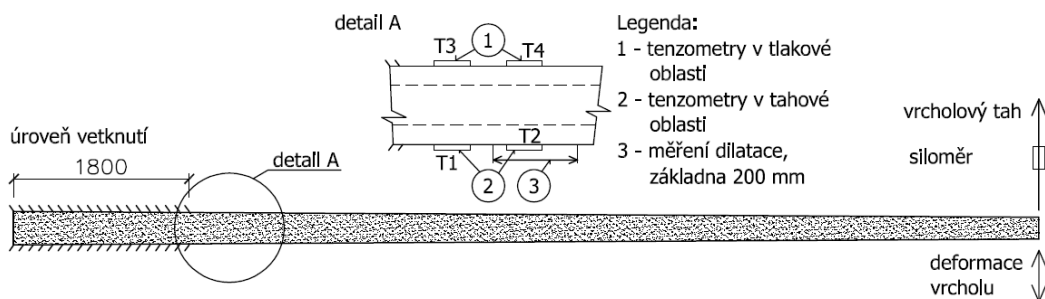
V průběhu roku 2010 byly provedeny ve Sloupárně Majdaléna s.r.o destruktivní zkoušky ŽB sloupů z odstředovaného betonu. Schéma uspořádání zkoušky je na obrázku 1. V rámci zkoušky bylo sledováno následující:

- velikost vrcholového tahu,
- vychýlení vrcholu sloupu,
- vznik trhlin a šířka trhlin v závislosti na vrcholovém tahu a uzavření trhlin při odtížení,
- poměrné přetvoření v zóně poruchy na nejméně tlačených a tažených oblastech pomocí tenzometrů,
- v tažené oblasti dilatace pomocí indukčnostního snímače dráhy na základně 200 mm.

Z paty sloupů byly odebrány vývrty  $\varnothing$  50mm za účelem zjištění pevnosti betonu v tlaku a modulu pružnosti. Na odebraných segmentech (výřezech) sloupů vystavených působení ovzduší byla zjišťována hloubka karbonatace a kontrolováno krytí předpínací i betonářské výztuže.

Tabulka 1.: Přehled zkoušených sloupů a jejich stručná charakteristika

Datum výroby	označení při zkoušce	označení výrobce: délka / vrcholový tah [m] / [kN]	výztuž: předpínací, betonářská	cement beton	počet [ks]
1967	S3	10,5/10	24×( $\varnothing$ 3×3), Bst 500 $\varnothing$ 8	CEM II A-S/42,5 R C40/50 – X0	1
1977	S4	10,5/10	32×( $\varnothing$ 3×3), Bst 500 $\varnothing$ 8		1
1977	S2, S5	10,5/6	16×( $\varnothing$ 3×3), Bst 500 $\varnothing$ 8		2
6. 4. 2010	S1	10,5/6	16×( $\varnothing$ 2,8×3), Bst 500 $\varnothing$ 7		1



*Obr. 1.: Schéma provedení destruktivní zkoušky, sledované veličiny, sloup S1 (10,5m/6kN)*



*Obr. 2.: Měřící zařízení deformace v tažené zóně (tenzometry T1 a T2, měření dilatace)*

Byly zkoušeny dva sloupy délky 10,5m s předepsanou jmenovitou vrcholovou silou 10kN vyrobené v roce 1967 a 1977. Sloupy se lišily množstvím betonářské a předpínací výztuže (v roce 1977 změna výroby). Dále byly zkoušeny tři sloupy délky 10,5 m s vrcholovým tahem 6 kN; dva z roku 1977 a jeden nový ve stáří cca 2 měsíce. Přehled značení zkoušených sloupů a jejich základní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 1.

Sloupy byly zatěžovány cyklicky s postupným nárůstem síly vždy o 20% jmenovité vrcholové síly a následným odlehčením. Po dosažení zatížení odpovídající jmenovité vrcholové síly probíhalo další zatěžování plynule až do destrukce.

### 3. Vyhodnocení průběhu zkoušek

Podle podnikové normy EGÚ [1] musí sloupy vykazovat požadovanou únosnost, trvalou použitelnost a velikost průhybu:

- zatížení při porušení zjištěné zkouškou musí být minimálně o 20% vyšší, než je požadované návrhové zatížení pro mezní stav únosnosti
- trvalá použitelnost se při zkouškách u sloupů s kombinovanou výztuží prokazuje dodržáním kritérií:
  - vznik trhlin při zatížení  $\geq 0,5$  násobku jmenovité vrcholové síly  $F$ ,
  - šířka trhlin při zatížení jmenovitou vrcholovou silou má být menší než 0,15 mm,
- maximální hodnota průhybu při zatížení jmenovitou vrcholovou silou  $F$  nesmí být větší než 4% z volné délky sloupu,

Při všech zkouškách bylo dosaženo destrukce sloupu. Výsledné hodnoty sledovaných veličin jsou shrnuty v tabulce 2. Způsoby porušení jednotlivých sloupů při destrukci jsou na obrázku 3.

Tabulka 2.: Přehled výsledků z průběhu destrukčních zkoušek sloupů

Označení při zkoušce	Jmenovitá vrcholová síla $F$	Únosnost	Trvalá použitelnost		Průhyb při zatížení $F$
		dosažena hodnota vrcholové síly při destrukci	vznik trhlin při zatížení $< 0,5 F$	šířky trhlin při zatížení $F$	
S1	6 kN	12,84 kN <sup>1)</sup>	ne	0,05 mm <sup>3)</sup>	169 mm <sup>4)</sup>
S2	6 kN	13,59 kN <sup>1)</sup>	ne	0,10 mm <sup>3)</sup>	186 mm <sup>4)</sup>
S3	10 kN	20,83 kN <sup>2)</sup>	ne	0,15 mm <sup>3)</sup>	267 mm <sup>5)</sup>
S4	10 kN	15,91 kN <sup>2)</sup>	ne	0,25 mm <sup>3)</sup>	356 mm <sup>5)</sup>
S5	6 kN	11,16 kN <sup>1)</sup>	ne	0,18 mm <sup>3)</sup>	184 mm <sup>4)</sup>
<sup>1)</sup> požadovaná hodnota $1,2 F_d = 10,8$ kN, <sup>2)</sup> požadovaná hodnota $1,2 F_d = 18,0$ kN, <sup>3)</sup> mezní hodnota 0,15 mm <sup>4)</sup> mezní hodnota pro hloubku založení 1,8 m je 348 mm <sup>5)</sup> mezní hodnota pro hloubku založení 2 m je 340 mm					

Sloupy S1 až S3 a S5 byly schopné s výraznou rezervou přenést požadované zatížení; šířka trhlin při zatížení nepřekračuje hranici dovolenou normovým předpisem a průhyb při zatížení jmenovitou hodnotou vrcholového tahu nepřekročil mezní hodnotu. Při odtížení se trhliny uzavíraly na hodnotu cca 0,02 mm. Sloup S4 nevyhovuje požadovaným parametrům; po celé délce sloupu byla již před zkouškou podélná trhlina.



*Sloup S1 (10,5m/6kN), r.v. 2010*



*Sloup S2 (10,5m/6kN), r.v. 1977*



*Sloup S3 (10,5m/10kN), r.v. 1967*



*Sloup S4 (10,5m/10kN), r.v. 1977*



*Sloup S4 – detail porušené oblasti*



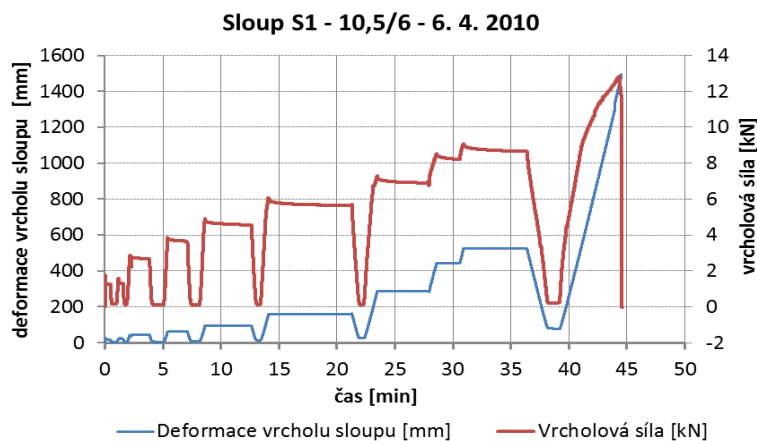
*Sloup S5 (10,5 m/6kN), r.v. 1977*

*Obr. 3.: Způsoby porušení zkoušených sloupů*

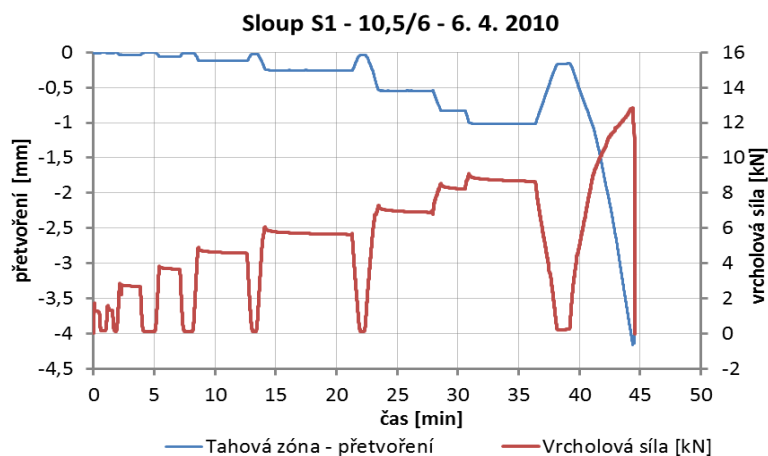
#### 4. Vyhodnocení záznamů ze zkoušek

Během zkoušky byl osmikanálovou ústřednou zaznamenáván čas, hodnoty tahové síly v hlavě sloupu pomocí siloměru, přetvoření v hlavě sloupu pomocí potenciometru, poměrná přetvoření pomocí tenzometrů T1 a T2 na tažené straně sloupu a tenzometrů T3 a T4 na tlačené straně sloupu v místě nad předpokládaným vetknutím, viz obrázek 1 a 2. Tažená strana byla doplněná o indukčností snímač dráhy, aby bylo možné sledovat deformaci tažené zóny i po porušení tenzometru.

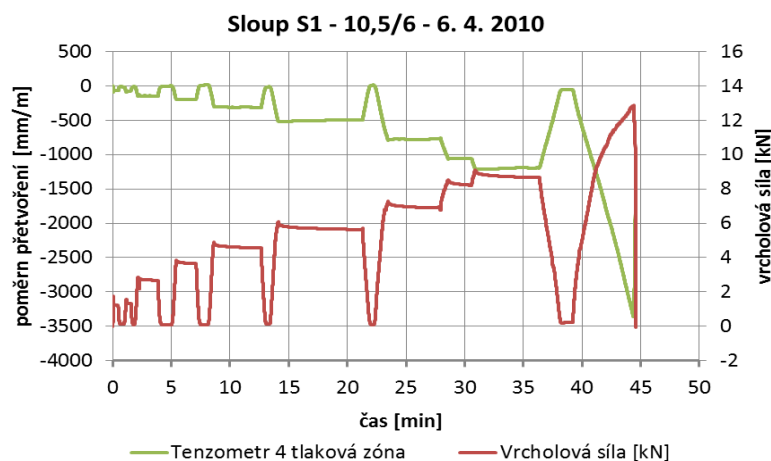
Naměřené hodnoty závislosti přetvoření (průhybu) stožáru na velikosti vrcholové síly v čase jsou v grafu na obrázku 4 (pro sloup S1). Obrázek 5 a 6 zobrazuje velikost přetvoření naměřených snímačem dráhy se základnou 200 mm v tažené zóně a poměrná přetvoření protilehlé tlačené zóny naměřená tenzometrem T4 (sloup S1).



Obr. 4.: Závislost deformace vrcholu sloupu na vrcholové síle v čase



Obr. 5.: Závislost přetvoření tahové zóny na vrcholové síle v čase



Obr. 6.: Závislost přetvoření tlakové zóny na vrcholové síle v čase

## 5. Vyhodnocení dalších sledovaných vlastností

### 5.1. Pevnost betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla zjišťována na 25 válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrtů odebraných z paty sloupů před provedením zatěžovacích zkoušek podle [2]. Z každého stožáru byly odebrány 3 jádrové vývrty o průměru cca 50 mm. Zjištěná válcová pevnost  $f_{0c,cy}$  byla přepočítána na krychelnou v souladu s ustanoveními [3] s využitím literatury [4].

Průměrné hodnoty pevností betonu jednotlivých sloupů jsou uvedeny v tabulce 3. Projektovaná třída betonu stožáru je C40/50. Z výsledků je zřejmé, že u sloupů S1, S2, S4 jsou dosažené hodnoty pevnosti nižší. Přitom výroba je kontrolovaná a podle zkoušek na krychlích beton odpovídá požadované kvalitě. Příčinou může být jednak malý rozměr zkušebních vývrtů z důvodu malé tloušťky stěny mezikruží, jednak skutečnost, že vývrty musely být provedeny blíže vnitřního líce (z důvodu výztuže umístěné u vnějšího líce) a vlivem technologie odstředování je struktura betonu po průřezu nerovnoměrná, tzn., že hrubší frakce kameniva je rozmístěna blíže vnějšímu líci a směrem k vnitřnímu líci je frakce kameniva jemnější, krajní vrstvu u vnitřního líce tvoří kal.

### 5.2. Modul pružnosti

Z rychlosti ultrazvukového impulzu při průchodu vyšetřovaným vývrtem byl postupem dle [5] vypočítán dynamický modul pružnosti betonu v tlaku/tahu  $E_{bu}$ . Pro informativní stanovení statického modulu pružnosti betonu  $E_{s,inf}$  byl dynamický modul pružnosti přepočítán postupem dle čl. 4.3.3. ČSN 73 2011 [6].

Průměrné hodnoty statického modulu pružnosti jsou uvedeny v tabulce 3. Projektovaný sečnový modul pružnosti je 35 GPa.

Tabulka 3.: Průměrné hodnoty pevností betonu v tlaku a modulů pružnosti

Značení	Rok výroby	Pevnost betonu v tlaku		Modul pružnosti	
		válcová	krychelná	dynamický	statický
		$f_{c,cv}$	$f_{c,cu}$	$E_{bu}$	$E_{s,inf}$
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[GPa]
S1	2010	26,64	32,20	37611	30,26
S2	1977	31,88	37,48	34543	28,08
S3	1967	57,14	60,58	41012	36,52
S4	1977	35,16	41,34	35816	29,64
S5	1977	57,12	60,38	46532	41,68

### 5.3. Karbonatace betonu

Hloubka karbonatace betonu byla zjišťována na výřezech ze sloupů pomocí 1%-ního roztoku fenolftaleinu. U všech výřezů ze starých sloupů se projevila do hloubky 2 až 6 mm.

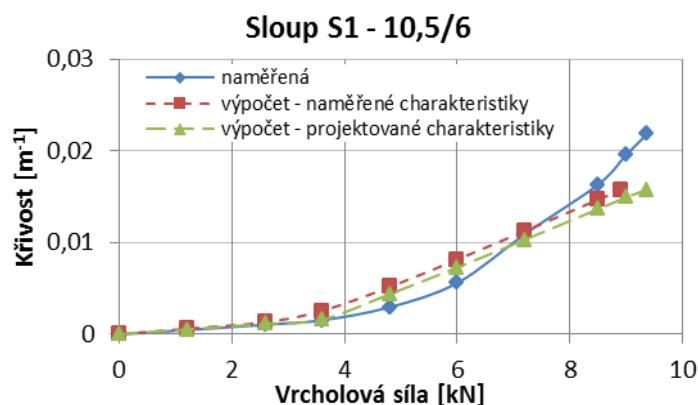
## 6. Porovnání zkoušek a statických výpočtů, závěr

Naměřené údaje ze zkoušky byly použity pro porovnání chování sloupů při destruktivní zkoušce s vypočítanými hodnotami. Při výpočtech byly použity jednak projektované vlastnosti materiálů a rozměry, jednak hodnoty získané měřením.

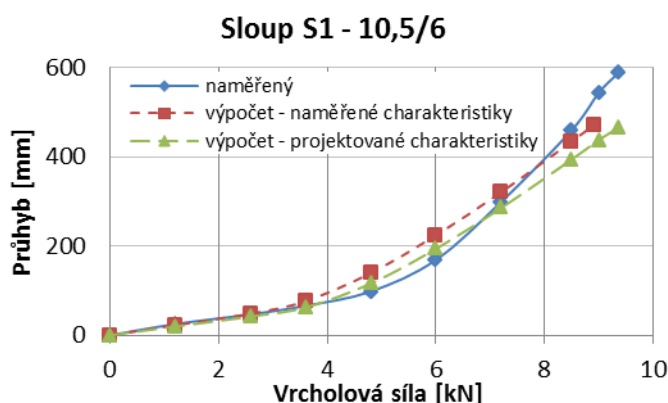
Na obrázku 7 je graf s porovnáním naměřených a vypočítaných křivostí v okolí kritického průřezu sloupu S1, kde došlo k porušení sloupu (cca 2,05 m nad patou sloupu, tak jak předpokládal výpočet). Křivost ze zkoušky byla spočítána z poměrného přetvoření tlačných vláken (tenzometr T4) a z přetvoření tažených vláken (snímač deformací) a výšky průřezu. Tímto postupem byl eliminován vliv předpětí na deformační stav sloupu před zkouškou. Z tohoto grafu stejně jako z grafu průhybu sloupu S1 (obrázek 8.) je patrné, že skutečný stožár je při nižším zatížení tužší, než při výpočtu. Nad hodnotu vrcholové síly 6 kN již dochází k zplastizování materiálů, které není ve výpočtech zohledněno.

Vypočítaná únosnost sloupu S1 s projektovanými vlastnostmi je 9,37 kN, s naměřenými vlastnostmi 8,91 kN. Destrukce bylo dosaženo až při zatížení 12,84 kN (hodnota není již v grafech zanesena) i přes nízkou naměřenou hodnotu pevnosti betonu v tlaku.





Obr. 7.: Křivost v kritickém průřezu sloupu v závislosti na velikosti vodorovné síly



Obr. 8.: Průhyb sloupu v závislosti na velikosti vodorovné síly

Ze získaných výsledků vyplývá, že experimentální zkoušení je nutná cesta k ověření reálných vlastností konstrukce a k verifikaci výpočtových modelů.

Výsledky experimentů lze využít při pravděpodobnostním přístupu navrhování konstrukcí. Měřením a vyhodnocením lze získat vstupní údaje (statistické údaje rozdělení pravděpodobnosti návrhových proměnných) potřebné pro výpočet, které odpovídají kvalitě výroby, a porovnáním s výsledky experimentů zpřesnit model odolnosti stožáru (např. úpravou náhodné proměnné vyjadřující nejistoty modelu odolnosti). Znalost skutečných charakteristik (materiálů, geometrie) a použití adekvátního modelu pro výpočet únosnosti umožňuje úsporu materiálu při zajištění odpovídající spolehlivosti konstrukce.

## Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS a projektu MPO FR-TI1/357 „Betonové konstrukce s nekovovou výztuží se zvýšenou požární odolností a odolností vůči agresivním vlivům“.

## Literatura

- [1] PNE 34 8220 Odstředované betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV, Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie. 2006
- [2] ČSN EN 12504-1. „Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku
- [3] ČSN ISO 4012 (731317) Beton. Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles
- [4] Rybicky,R.: Schäden und Mängeln an Baukonstruktionen. Verlag - Düsseldorf, 1976
- [5] ČSN 73 1371 (731371) Nedeštruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- [6] ČSN 73 2011 (732011) Nedeštruktivne skúšanie betónových koňtrukcií

## Kontakt

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc., tel: 00420 541 147 848, e-mail: stepanek.p@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petr Šimůnek, Ph.D., tel: 00420 541 147 859, e-mail: simunek.p@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petr Daněk, Ph.D., tel: 00420 541 147 492, e-mail: danek.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ivana Laníková, Ph.D., tel: 00420 541 147 847, e-mail: lanikova.i@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Martin Zlámal, Ph.D., tel: 00420 541 147 864, e-mail: zlamal.m@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

**PROBLEMATIKA MĚŘENÍ  
PŘEDEPNUTÝCH ZDĚNÝCH OBJEKTŮ**

**PROBLEMS OF MEASURING OF PRESTRESSED  
MASONRY OBJECTS**

**Pavel Šulák**

Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně,  
Veveří 95, 602 00 Brno.

***Anotace:***

*Příspěvek popisuje dlouhodobé měření pokusného zděného objektu horizontálně předeprnutého lany. Všímá si specifických problémů tohotu způsobu zesílení.*

***Annotation:***

*The article describes long-term measuring of experimental masonry object, horizontally prestressed using cables - monostrands. In the text are mentioned specific problems of this method of strengthening.*

***Klíčová slova:*** Zdivo, přepínání,

***Keywords:*** Masonry, prestressing

## 1. Úvod

Pro zesilování zděných objektů existuje mnoho metod, jedna z nich je i zpevňování konstrukce dodatečným předpětím pomocí předpínacích lan. U klasických objektů pozemních staveb trasujeme vedení lan převážně rovnoběžně s ložnými spárami. Kromě pevnostních charakteristik je důležité určení přetvárných vlastností konstrukce (modul přetvárnosti).

## 2. Princip chování zdiva

Pro lepší pochopení připomeňme proces porušení (spolupůsobení) zdiva. Zdivo se skládá ze dvou složek – zdících prvků a pojiva, které spolu vzájemně spolupůsobí. Výsledná pevnost zdiva je většinou menší než pevnost cihel, na druhé straně větší než pevnost malty. To je způsobeno tím, že sekundární tahová napětí, která vznikají v pojivu v důsledku jeho stlačování rovnoběžným ve směru zatížení, zároveň způsobují jeho roztahování ve směru vodorovném. Tato roztažnost vyvolává tahové trhliny ve zdících prvcích. Poněvadž spára nebývá vždy dokonale vyplněna maltou, nejsou zdící prvky rovnoměrně zatíženy a chovají se částečně jako nosníky na elastoplastickém podkladě; k tomu přispívá ještě vliv nerovnoměrnosti cihel, kdy cihly jsou namáhané také ohybem.

Faktory, které nejvíce ovlivňují pevnost zdiva jsou:

- Pevnost v tlaku a pevnost v tahu cihly a malty.
- Velikost (především výška) a tvar cihly.
- Výška a provedení ložných a styčných spár.
- Složení, zejména velikost zrna kameniva malty.
- Zpracovatelnost a přídržnost malty.
- Nasákavost cihel.
- Vazba zdiva.

Zatížení obvykle působí kolmo na ložnou spáru cihly. Tento druh namáhání je podrobně popsán jak v normách, tak i v jiné odborné literatuře, zabývající se pevností zdiva; totéž platí i pro jeho přetvárné vlastnosti. Jak bylo uvedeno výše, u zesilování zděných objektů předpínacími lany potřebujeme znát charakteristiky zdiva namáhaného rovnoběžně s ložnou spárou. Tento druh namáhání je podstatně méně propracovaný; přesto je možné najít mnoho autorů, kteří se jím zabývali [1], [2], [3], [4].

### 3. Pevnost zdiva rovnoběžná s ložnou spárou

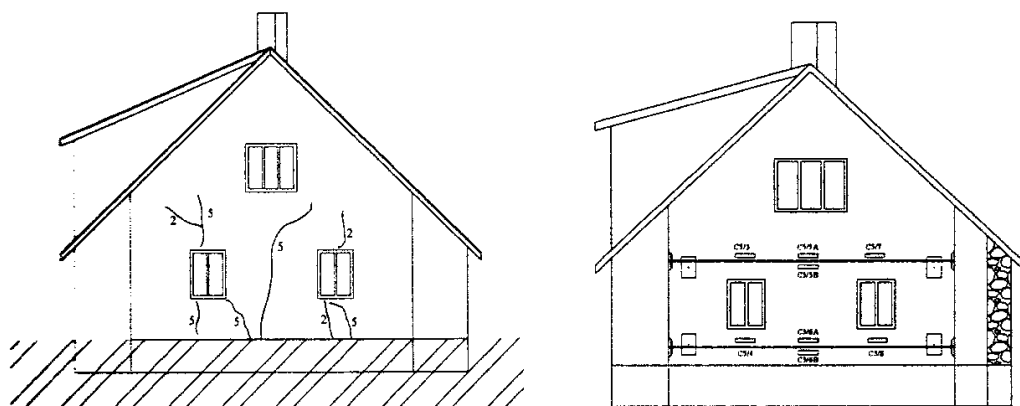
V BRD byl proveden rozsáhlý experiment se zdivem s monitorováním pevnosti zdiva rovnoběžné s ložnými spárami. Z pokusů vyplynulo, že u pálených cihel se vyskytuje zcela zřejmé odstupňování středních poměrných hodnot pevnosti mezi plnými cihlami  $f_h = 0,67 f_k$  ( $f_h$  charakteristická pevnosti zdiva zatěžovaného rovnoběžně s ložnou spárou,  $f_k$  charakteristická pevnosti zdiva kolmá na ložnou spáru), příčně děrovanými cihlami  $f_h = 0,28 f_k$  a lehkými příčně děrovanými cihlami  $f_h = 0,25 f_k$ . U plných cihel se vyskytuje při respektování vlivu štíhlosti zhruba stejná pevnost v tlaku ve směru výšky a délky prvku. U děrovaných cihel jsou hodnoty pevnosti v tlaku při stejné štíhlosti podstatně menší než je tomu ve směru výšky prvku. Přitom mohou být jednotlivé hodnoty (jak to ukazují výsledky vyhodnocení) velmi nízké a v extrémních případech mohou obnášet  $f_h = 0,1 f_k$ .

Otázka pevnosti a přetvárnosti zdiva byla řešena i při rekonstrukcích staveb, prováděných v rámci výzkumného týmu na ÚBZK VUT v Brně. Od roku 1992 byla předepnuta celá řada staveb a konstrukcí, zejména historických. Na základě tohoto výzkumu byly stanoveny pevnosti zdiva, namáhaného s ložnou spárou.

Je třeba poznamenat, že u historických objektů velikosti pevnosti  $f_h$  byly stanoveny pečlivým studiem stavu zdiva sanovaného objektu, zejména pak bylo zkoumáno vyplnění svislých spár zdiva maltou. Je totiž třeba říci, že kvalita vyplnění svislých spár maltou je pro pevnost zdiva rozhodující – nejsou-li spáry dobře vyplněny, pak lze očekávat nízké hodnoty  $f_h$ , u zdiva se zcela zaplněnými spárami hodnoty  $f_h$  vyšší.

Stanovení hodnoty  $f_k$  se většinou zajišťovalo nedestruktivními zkouškami, tj. pomocí Schmidtova tvrdoměru u cihel a Kučerovou vrtačkou u malty.

### 4. Pokusný objekt



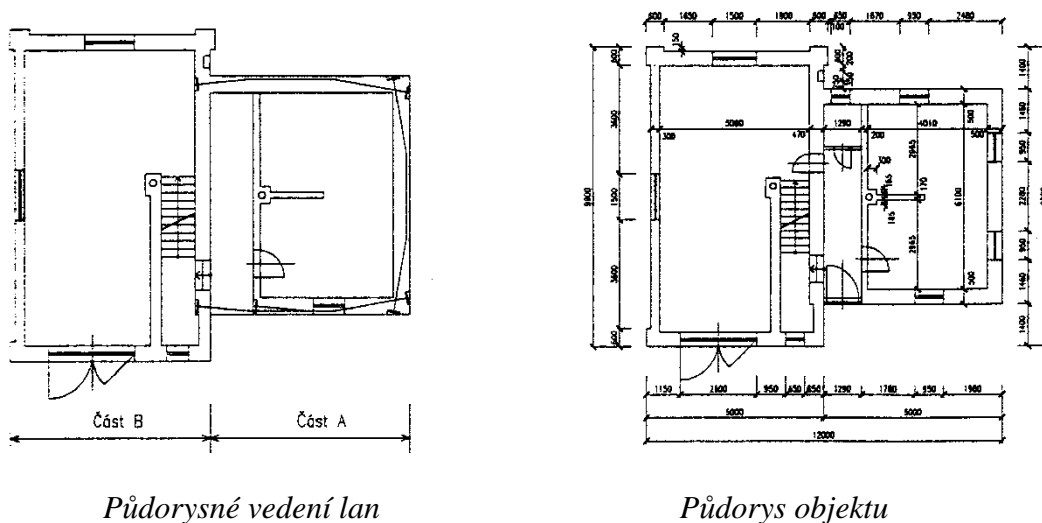
Trhliny na fasádě

Předpínací lana a měřicí základny

Obr. 1.: Pohled na čenlí fasádu

K objasnění nejasností se stále zkoumá pokusný objekt, u něhož bylo monitorováno přetváření zdiva namáhané rovnoběžně na ložné spáry.

Jedná se o objekt o rozměrech 9,0 x 12,0 m. Půdorysně se skládá ze dvou obdélníkových částí, tvořící jeden funkční i konstrukční celek. Starší a menší část objektu o půdorysných rozměrech 6,0 x 7,1 m byla hojně potrhána trhlinami. Právě tato část byla sanována pomocí opláštěných předpínacích lan (monostrandů).



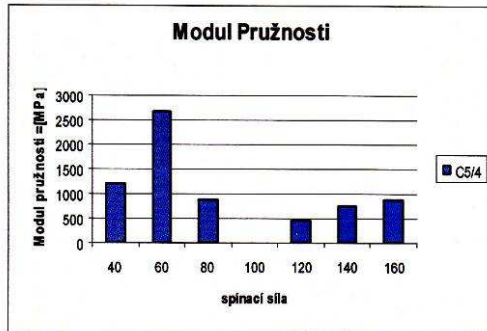
Obr. 2.: Půdorysný pohled na měřený objekt

Před započítím prací bylo měření od ledna 1998 prováděno každý měsíc po dobu jednoho roku a vyplynulo z něj, že objekt je stále v pohybu – trhliny se rozevíraly.

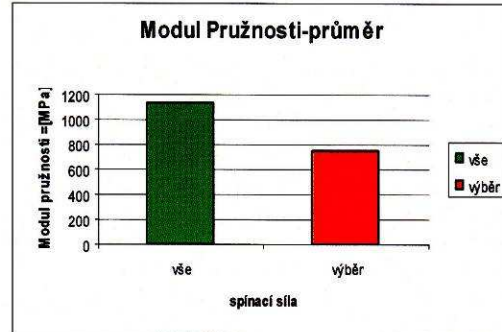
Dále byla konstrukce sledována při přípravě napínání 1x deně a při napínání v únoru 1999 nepřetržitě. Posléze byl vliv horizontálního předpětí na zdivo sledován do současnosti s časovým krokem několika měsíců (průměrný interval je 6 měsíců).

## 5. Výsledky měření

Na obrázku 3 až 5 je stanoven modul pružnosti z deformací při předpínání čelní stěny. Z grafu obsahujícího jednotlivé moduly pružnosti ad 3a), 4a), 5a), je dobře patrné chování zdiva, jež se nepřetváří spojitě, ale spíše skokem. Na obrázcích, ad 3b), 4b), 5b), jsou zaznamenány dvě hodnoty modulu pružnosti, nejprve hodnoty získané průměrem všech naměřených dílčích hodnot a pak hodnoty získané průměrem hodnot příliš se neodchylujících od střední hodnoty.

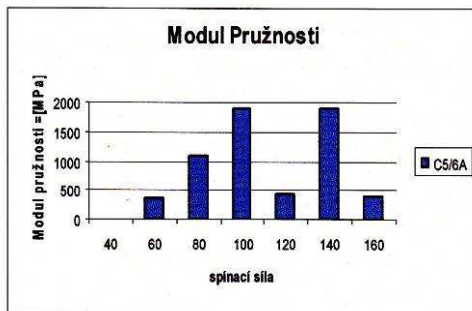


a) dílčí modul pružnosti

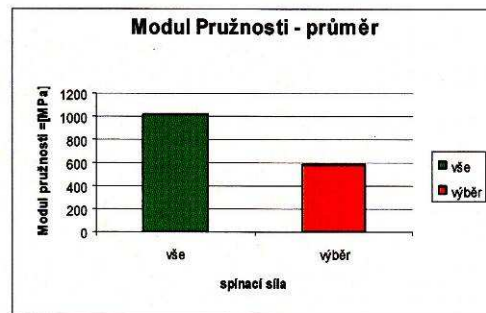


b) průměrný modul pružnosti

Obr. 3.: Modul pružnosti zdiva v oblasti C5/4

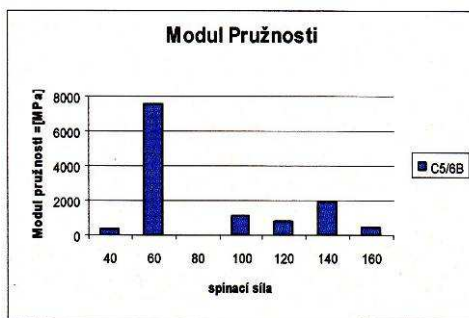


a) dílčí modul pružnosti

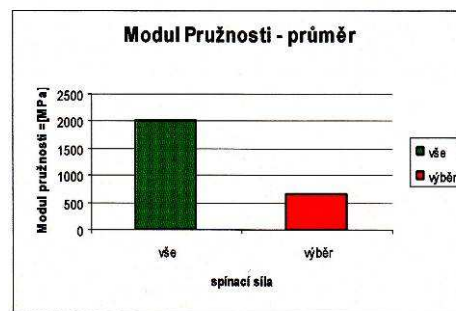


b) průměrný modul pružnosti

Obr. 4.: Modul pružnosti zdiva v oblasti C5/6A



a) dílčí modul pružnosti



b) průměrný modul pružnosti

Obr. 5.: Modul pružnosti zdiva v oblasti C5/6B

Z obrázků 3 - 5 je též patrný velký rozptyl hodnot modulu pružnosti pro jednotlivé hladiny napětí i pro konkrétní základny. Výchytky jsou pravděpodobně dány strukturou zdiva; dochází k různému tření mezi povrchy





## 6. Závěr

Tento pokusný objekt je sledován po dobu 12 let a sleduje se i na dále. Bylo to zřejmě poprvé, kdy byl dlouhodobě měřen pokusný, horizontálním předpětím stabilizovaný objekt, provedený z cihelného zdiva. Výsledky měření nejen ukázaly; že se zdivo vlivem předpětí dlouhodobě přetváří, ale stanovily i průběh dlouhodobé deformace.

Velikost ztrát je potom závislá na velikosti protažení použité předpínací výztuže. V popisovaném případě bylo lano Ls 16,5 v dolní pásu zdiva napnuto na 160 kN (a tedy relativní protažení na hodnotu 0,00593) a velikost ztráty je 16%. V horním pásu bylo lano Ls 16,5 mm napnuto na hodnotu 100 kN (relativní protažení je 0,0037) a velikost ztráty je 12%. Z uvedeného vyplývá, že ztráty dotvarováním zdiva jsou v souvislosti s rezervou do 20% původní předpínací síly.

Ze srovnání změřeného stlačení zdiva předpínáním a výsledného stlačení po 12 letech na pokusném objektu vychází, že dotvarování je v tomto případě až 6,5 násobek pružného stlačení.

Trvalé předpětí lze v horizontálně zesílené konstrukci dosáhnout pouze při použití vysoce tažných předpínacích ocelí. Průřezy předpínacích lan (monostrandů nebo spletců) je nutno přizpůsobit navrženým předpínacím silám tak, aby bylo v předpínací výztuži co největších napětí a tím i přetvoření.

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, v rámci výzkumného záměru MSM 0021630519 „Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce“.

## Literatura

- [1] BAŽANT, Z.; KLUSÁČEK, L.: Statika při rekonstrukcích objektů. 5. doplněné vydání, CERM Brno, 8/2010
- [2] Schubert, P.; Hoffmann, G.: Druckfestigkeit von Mauerwerk parallel zu den Lagerfugen. Mauerwerk-Kalender 1994, Ernst & Sohn Berlin
- [3] Košatka, P.; Broukalová, I.: Navrhování zděných konstrukcí – příručka k ČSN EN 1996-1-1, Informační centrum ČKAIT Praha 2010, ISBN 978-80-87438-02-2
- [4] Klusáček, L.; Šulák, P.; Bažant, Z.: Short-term and Long-term Strain Behaviour of Masonry Structure Post-tensioned horizontály. Sborník příspěvků 12th International Conference and Exhibition „Structural and Repair 2008“ Edinburgh 13th – 15th June 2006 ve formátu SD ROM, 7 stran

- [5] Klusáček, L.; Bažant, Z.: Strain Behaviour of Masonry Structures stabilised using horizontal Post-tensioning. Sborník příspěvků „12th International Scientific Conference“, April 20 – 22, 2009 Brno, Czech Republic
- [6] Šulák, P.: Dlouhodobé sledování chování předpjaté konstrukce. Seminář „Zpevňování, Těsnění a kotvení horninového masívu a stavebních konstrukcí 2008“, ISBN 978-80-248-1715-6

## **Kontakt**

Ing. Pavel Šulák, Ph.D., tel: 00420 541 147 866, e-mail: [sulak.p@fce.vutbr.cz](mailto:sulak.p@fce.vutbr.cz), Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## VYUŽITIE KORELAČNÝCH VZŤAHOV MEDZI VLASTNOSŤAMI TEHLIARSKEHO ČREPU

## THE USE OF CORRELATION RELATIONSHIPS BETWEEN PROPERTIES OF BRICK BODY

**Mikuláš Šveda**

Stavebná fakulta STU v Bratislave

***Annotation:***

*The regular exit check of the brick products is an important step as to meet the quality in brickworks. These products are characterized by a porous and lightweight brick body; therefore, their physical properties depend primarily on the specific characteristics of their pore structure. Based on one well-known property and the correlation relationships, we can determine other characteristics of the brick body because there is an assumption that these properties are "related" to one another. The author proposes to use this knowledge in the exit speed check directly at the factory.*

***Anotácia:***

*Pravidelná výstupná kontrola tehliarskych výrobkov je dôležitým krokom ako dodržať kvalitu v tehelniach. Tieto výrobky sú charakterizované pórovitým a ľahčeným črepom, z tohto dôvodu ich fyzikálne vlastnosti závisia predovšetkým od špecifických vlastností ich pórovej štruktúry. Na základe jednej známej vlastnosti a príslušných korelačných vzťahov môžeme stanoviť ostatné vlastnosti tehliarskeho črepu, nakoľko je tu predpoklad, že tieto vlastnosti sú medzi sebou navzájom „prepojené“. Autor navrhuje využiť tento poznatok v rámci rýchlej výstupnej kontroly priamo vo výrobnom závode.*

***Keywords:*** Brick body, pore structure, properties, correlation relationships

***Kľúčové slová:*** Tehliarsky črep, pórová štruktúra, vlastnosti, korelačné vzťahy

## 1. Introduction

In the mid-nineties, our team at the Department of Materials Engineering Faculty of Civil Engineering, Bratislava began exploring the idea of using of computer technology in brick practice [1]. This idea was based on the assumption that based on experimentally derived values, we could determine the correlation relationships between pairs of physical properties. These relationships could be then used in the exit speed check directly at the factory.

An important reason was the fact that the laboratory equipment in many brickworks did not allow to detect in advance certain problems, for example an inaccuracy for dosing of starting raw materials. Because the requirements for the quality of finished products are continuously increasing, the immediate exit control is one of the important prerequisites for achieving this goal. Let us look at current state of the exit control. The Wienerberger AG company manufacturing plants that are scattered across Central Europe have in one place (in the suburbs of Vienna) not only research but also a control of products. This means that this centralized laboratory can be equipped by high technology from the simplest machines to more advanced hydraulic presses used for the determination of strength properties. The feedback control of the quality of products is, however, more time-consuming.

This article proposes to use simple test methods that are neither financially nor time demanding; these methods could be implicated directly in the manufacturing plant. In this case, only one property could be tracked, in particular a property that can be quickly and reliably determined, such as thermal conductivity of brick body using an apparatus Isomet or alternatively bulk density. Then, knowing the correlation function between thermal conductivity and compressive strength of brick body, the compressive strength could be established at certain intervals without using a hydraulic press.

It is well-known that previous studies have already tried to express relationships between the physical properties of brick body. Most commonly, we deal with relationships between two properties [2]. These are usually expressed in mathematical formulas based on experimentally obtained data. This trend is already well documented; see [3-5]. One study in particular [6] achieved a significant progress, and from this work, we can focus on the following conclusions:

- The relationship between the admixture dose and a physical property of the brick body is possible to describe in most cases using a quadratic function.
- The relationships between the individual pairs of physical properties can be described by three types of mathematical functions: linear, exponential and

power, see Table 1. Here is, however, necessary to emphasize the fact that only one type of mathematical function can be defined for every pair of physical properties.

- The types of mathematical functions are valid also when applying physical properties, which were determined with systematic errors in measurements.
- The types of mathematical functions remain the same even when the brick clay, the organic combustible additive, or the firing temperature, change; only the coefficients of the mathematical functions become different.
- The types of mathematical functions are valid only for the brick body without the black or reduction core, i.e. the cross section of the brick body must be consistently homogeneous.

*Table 1.: The basic types of mathematical functions between the pairs of physical properties of the brick body [6]*

*	A	B	C	D	E	F	G
A	*	linear	linear	linear	exponenc	exponenc	exponenc
B	linear	*	linear	linear	exponenc	exponenc	exponenc
C	linear	linear	*	linear	exponenc	exponenc	exponenc
D	linear	linear	linear	*	exponenc	exponenc	exponenc
E	exponenc	exponenc	exponenc	exponenc	*	power	power
F	exponenc	exponenc	exponenc	exponenc	power	*	power
G	exponenc	exponenc	exponenc	exponenc	power	power	*

*A – Total porosity*

*B – Pore volume*

*C – Median pore radius*

*D – Water capillarity*

*E – Bulk density*

*F – Compressive strength*

*G – Thermal conduction coefficient*

## 2. Characteristics of the input materials

The base brick raw material was used from a locality called Hevlín. In particular, it consists of Neogene fine-grained sandy and calcium clays from the Vienna Basin. For other relevant input data, see [7].

In the manufacture of test samples, the original raw material was ground by a laboratory grinding mills for dry milling (the maximum grain size was less than 1 mm).

## 2.1. Chemical additive VUPPOR 1

Chemical additives VUPPOR 1 – is a white emulsion prepared on the basis of aldehyde condensates. Its density is  $1140 \text{ kg/m}^3$  and dry matter content is 38%. The additive is water-soluble and sanitary.

## 2.2. Manufacture and testing of samples

Determination of selected properties of clay mass and brick body were carried out according to relevant standards and test procedures that are listed in Table 2.

Table 2.: List of used standards and test procedures for determining properties of clay mass and brick body

Property	Standard – test procedure
Moisture content, %	STN 72 1074
Apparent porosity, %	STN 72 1565, part 6
Bulk density, $\text{kg/m}^3$	STN 72 1565, part 6
Thermal conductivity coefficient $\lambda$ , W/m.K	apparatus IZOMET
Compressive strength, MPa	The test samples (dimensions about $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}$ ) were weighed down to the limit strength



Figure 1.: Determination of thermal conductivity by apparatus IZOMET

VUPPOR 1 additive was added to the original brick raw material in the percentages 0.25, 0.5, 0.75 and 1.0 % of dry additive, referring to the weight of the dried material. A detailed procedure of work manufacture of test samples is shown in [7].

### 3. Results achieved

The results achieved with the VUPPOR 1 additive before and after firing are listed in Table 3.

*Table 3.: Properties of brick raw materials before and after firing that were affected by the additive VUPPOR 1*

Dosage	$W_{pr}$	ZP	$\rho_v$	$\lambda$	$R_{pd}$
%	%	%	kg/m <sup>3</sup>	W/m.K	MPa
0,00	24,3	33,2	1725	0,497	47,6
0,25	27,9	38,0	1638	0,418	35,3
0,50	30,1	41,0	1595	0,360	28,5
0,75	31,7	43,4	1536	0,330	21,4
1,00	33,4	45,7	1494	0,307	17,1

$W_{pr}$  – Moisture content of clay mass

ZP – Apparent porosity

$\lambda$  – Thermal conductivity coefficient

$\rho_v$  - Bulk density determined by the hydrostatic method

$R_{pd}$  – Compressive strength

The effect of clay mass moisture content on the apparent porosity of the brick body, which was reached at different doses of VUPPOR 1 additive is shown in Figure 2. This is a linear relationship, where with an increasing dose of the additive the moisture content increases and at the same time, the porosity of its brick body also increases.

#### 3.1. Methodology for determining the mathematical relationships

The following methodical procedure was chosen to determine the mathematical relationships between pairs of physical properties. First, the control scheme has been created with selected properties according to Figure 3. Then, under this scheme, we looked for optimal mathematical functions between individual pairs by the least squares (using a computer program GRAF4WIN).

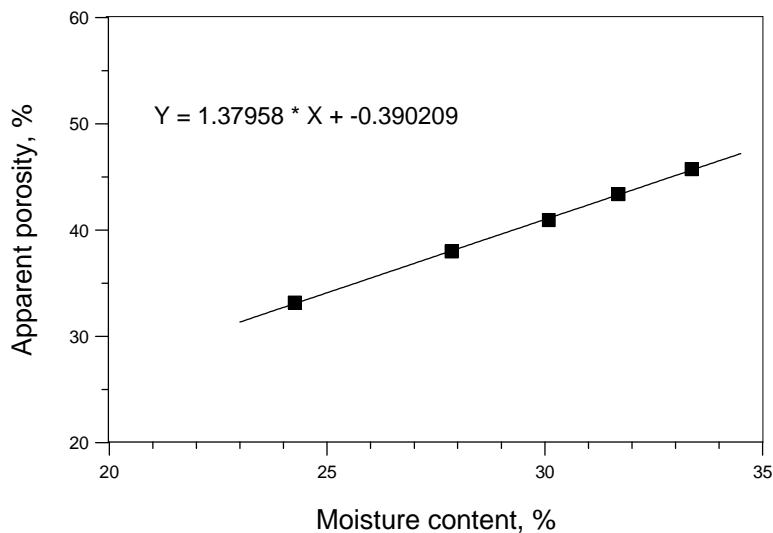


Figure 2.: The effect of clay moisture content on the apparent porosity of the brick body in the application of VUPPOR 1 additive

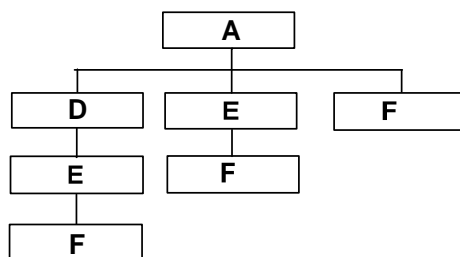


Figure 3.: The control scheme for determining the mathematical relationships between physical properties, where A - apparent porosity, D – bulk density. E - compressive strength, F - thermal conductivity

The optimal mathematical functions between pairs of physical properties were determined using control scheme, see Figure 3. Their mathematical notations are shown in Table 4.



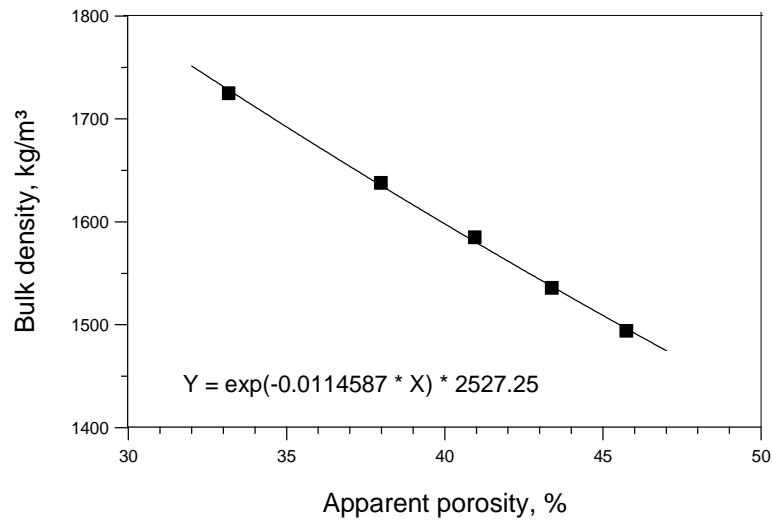


Figure 4.: The optimal correlation between apparent porosity and bulk density

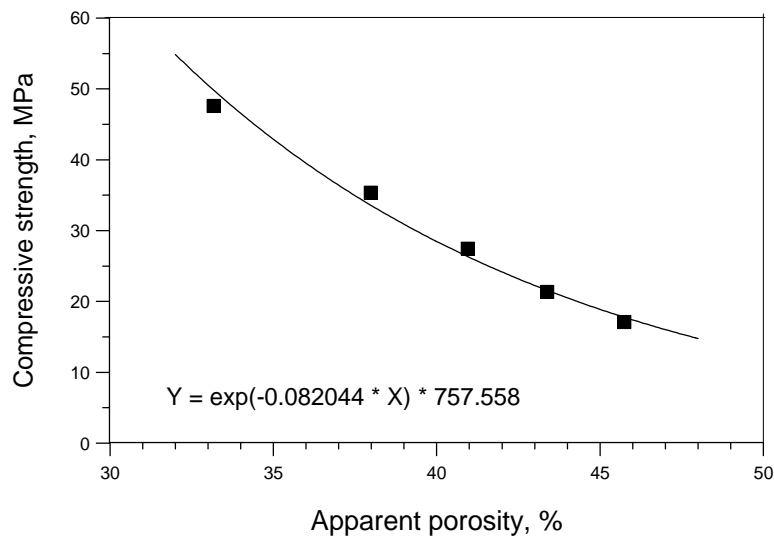


Figure 5.: The optimal correlation between apparent porosity and compressive strength

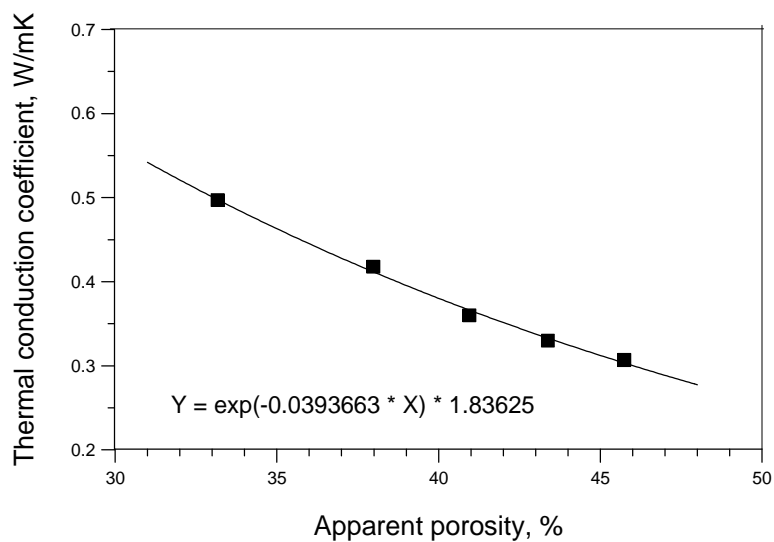


Figure 6.: The optimal correlation between apparent porosity and thermal conductivity

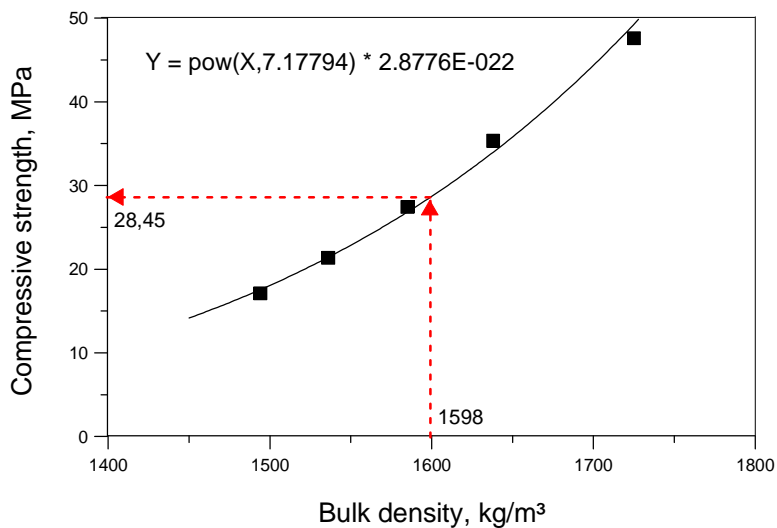


Figure 7.: The optimal correlation between bulk density and compressive strength

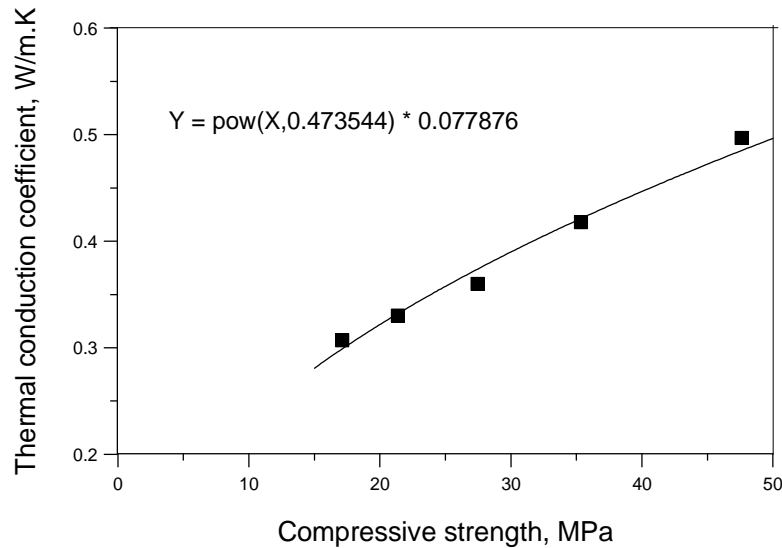


Figure 8.: The optimal correlation between compressive strength and thermal conductivity

Table 4.: Mathematical functions between pairs of physical properties

Designation correlation	Mathematical function
AD	$Y = \exp(-0.0114587 * X) * 2527.25$
AE	$Y = \exp(-0.082044 * X) * 757.558$
AF	$Y = \exp(-0.0393663 * X) * 1,83625$
DE	$Y = \text{pow}(X, 7.17794) * 2.8776E-022$
EF	$Y = \text{pow}(X, 0.473544) * 0.077876$

The correctness of the mathematical functions was verified as follows. In the first step, the value of the apparent porosity  $A = 40\%$  was chosen as the starting point, which is the value from the interval of measured values. By gradual substitution of calculated values according to the scheme in Figure 3, a control system was obtained, which is shown in Figure 9. This picture illustrates that the values of compressive strength and thermal conductivity obtained by different ways are almost identical. We can therefore state that the mathematical functions in Table 4 are very reliable in a reciprocal comparison of calculated values for individual physical properties.

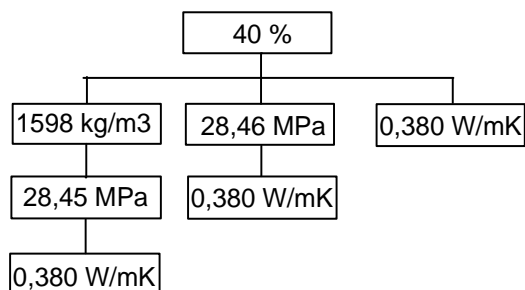


Figure 9.: The control scheme for determining the mathematical relationships between physical properties, where  $A = 40\%$

In the second step, the value of the apparent porosity  $A = 0\%$  was chosen as the starting point. *Using a procedure similar* to the one described in the previous step, a control system was obtained, which is shown in Figure 10. In this case, small deviations were observed (error is less than 1%) that were probably caused by a small number of measurements or possibly a larger deviation of a single measurement.

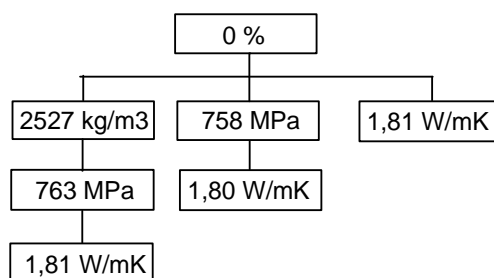


Figure 10.: The control scheme for determining the mathematical relationships between physical properties, where  $A = 0\%$

### 3.2. Application in practice

When determining the compressive strength of the brick body by using the calculated correlation relations, two properties come into consideration: thermal conductivity and bulk density.

If we want to determine the thermal conductivity, it is necessary to cut a part from a burning brick body (such as from the external thickest walls) and then grind its surface. The surface probe of the apparatus ISOMET is then placed on the surface and the value of the coefficient of thermal conductivity  $\lambda$  can be determined, see Figure 1. This value is established within a few minutes, and

then according to the correlation relationship, we can immediately determine the compressive strength of the brick body, see Figure 11.

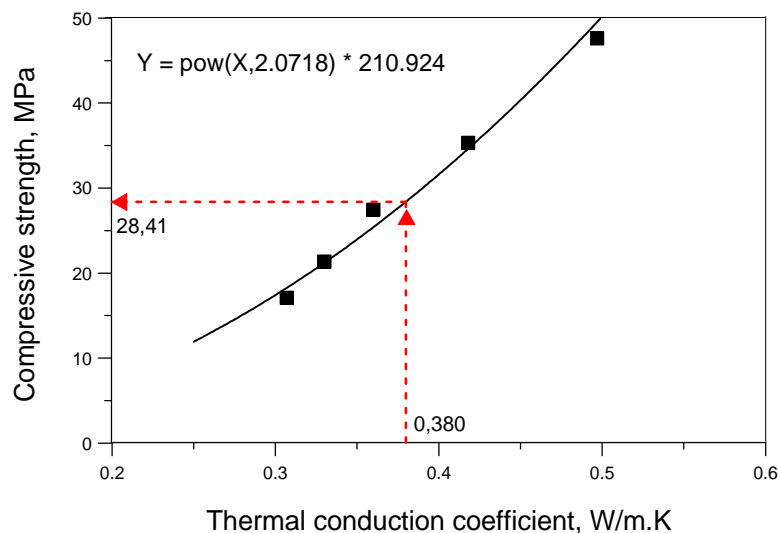


Figure 11.: The use of a correlation relationship to determine the compressive strength from the thermal conductivity value

The second possibility that comes into consideration is the application of the correlation between bulk density and compressive strength. In this case, we again cut at least three geometrically-shaped pieces from the thickest external wall of the brick block and we calculate the arithmetical average of their volumes. The determination of compressive strength according to the correlation relationship is shown in Figure 7.

#### 4. Conclusion

Based on the achieved results, we can state that correlation relationships between physical properties can be determined in the porous brick body using a fewer numbers of measurements than mentioned in the previous study [6]. As was confirmed by the control measurements, the mathematical relationships that represent correlation relationships are very reliable not only in the area of the ordinarily determined values, but also for the brick bodies with zero porosity. At the same time, the existence of three mathematical functions between pairs of physical properties of brick body was confirmed (i.e. the linear, exponential and power).

## Literature

- [1] ŠVEDA, M., MALINOVSKÝ, E., BÁGEL, L., GOMOLOVÁ, Z.: Nové možnosti rychlého stanovenia fyzikálních vlastností tehliarskych výrobkov hned po ich vypálení. *Inžinierske stavby*, roč. 42, 1994, č. 9-10, s. 347-350, ISSN 1335-0846
- [2] SOKOLÁŘ, R. *Možnosti využití vybraných odpadních látek při tvorbě keramického střepu*. Habilitační práce, VUT Brno, 2008
- [3] LACH, V.: *Teoretické základy výroby pálených stavebných látek, Keramika II*. Ediční středisko VUT Brno 1989.
- [4] BUDNIKOV, P.P. a kol.: *Technologie keramiky a žárovzdorného zboží*, SNTL, Praha 1960.
- [5] HANYKÝŘ, V. – KUTZENDORFER, J.: *Technologie keramiky*. Vega, Hradec Králové, 2000, ISBN 80-900860-6-3.
- [6] ŠVEDA, M.: Čierne jadro v tehliarskych výrobkoch a využitie poznania vzájomných vzťahov medzi fyzikálnymi vlastnosťami črepu v praxi (3. časť). *Silika*, roč.15, 2005, č. 7-8, str. 197-202, ISSN 1213-3930
- [7] ŠVEDA, M.: Chemická přísada VUPPOR 2. *Keramický zpravodaj*, roč. 27, 2011, č. 3, str. 11-15, ISSN 1804-0195

## Kontakt

Prof. Ing. Mikuláš Šveda, Ph.D., tel: 00421 907 469474, e-mail: mikulas.sveda@stuba.sk, Katedra materiálového inžinierstva, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

## MĚŘENÍ ROVINNOSTI PRŮMYSLOVÝCH PODLAH U NÁS A VE SVĚTĚ

## FLATNESS AND LEVELNESS MEASUREMENT OF INDUSTRIAL FLOORS IN CZECH REP. AND IN THE WORLD

**Petr Tůma**

Betonconsult

***Anotace:***

*Srovnání české metody měření rovinnosti průmyslových podlah s metodami definovanými v německých normách (DIN), amerických normách (ASTM a ACI) a britském dokumentu (TR 34).*

***Annotation***

*Comparison of methods for measuring the flatness and levelness of industrial floors according to Czech technical standards with the methods defined in the German standards (DIN), American standards (ASTM and ACI) and the British document (TR 34).*

## 1. Úvod

Z pohledu rovinnosti lze průmyslové podlahy rozdělit na dva základní typy, podle jejich využití. Podlahy pro volný (náhodný) pojezd – free movement a podlahy s definovanými dráhami pojezdu – defined movement. Do první skupiny patří podlahy ve většině průmyslových hal a na tuto problematiku je zaměřen i předkládaný příspěvek. Podlahy druhé skupiny jsou méně časté, jsou vyžadovány ve skladových halách s velmi úzkými uličkami, ve kterých jsou vozíky pomocí naváděcího zařízení udržovány v přesně daných drahách. Výška regálů v tomto případě obvykle přesahuje 8m. Na podlahy s definovanými dráhami pojezdu manipulačních prostředků jsou kladeny specifické požadavky a jsou sledovány jiné parametry než u podlah s náhodným pojezdem.

## 2. České normy

### 2.1. Postup dle ČSN 74 4505 z roku 2008 (aktuálně platná)

Norma ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení definuje dvě rozdílné vlastnosti, které mají jak rozdílný vliv na užívání podlahy, tak i odlišný způsob zkoušení. V případě rovinnosti povrchu se sledují odchylky výškové úrovně vybraných bodů skutečně provedené podlahy od výškové úrovně definované v projektu. Tento parametr je důležitý zejména pro návaznost podlahy na okolní konstrukce, např. dveře. Maximální dovolené odchylky od rovinnosti nášlapné vrstvy je třeba stanovit v návrhu podlahy, a to v závislosti na konkrétních podmínkách. Doporučené hodnoty jsou uvedeny v ČSN 73 0205 Geometrická přesnost ve výstavbě – Navrhování geometrické přesnosti v příloze A. Pro omezení možných sporů je vhodné rovněž definovat maximální odchylky od rovinnosti povrchu pro ostatní vrstvy, zejména pro povrchy, kde na sebe budou navazovat dodávky různých firem. V praxi často dochází k tomu, že na nosnou vrstvu tvořenou cementovým nebo anhydritovým potěrem zbyde pouze několik málo centimetrů, které nemohou zajistit dostatečnou únosnost podlahy. Při užívání, v lepším případě již během stavby, pak dochází k překročení únosnosti nosné vrstvy a k jejímu poškození. Tento parametr se kontroluje geodetickým zaměřením sítě bodů, podrobný postup je uveden v ČSN 73 0212-3 Geometrická přesnost ve výstavbě – Kontrola přesnosti – Část 3: Pozemní stavby. Zjištěné hodnoty se konfrontují s úrovní povrchu požadovanou v projektu.

V případě místní rovinnosti povrchu se sledují dva parametry. Prvním je odchylka povrchu podlahy od proložené úsečky reprezentované dvoumetrovou

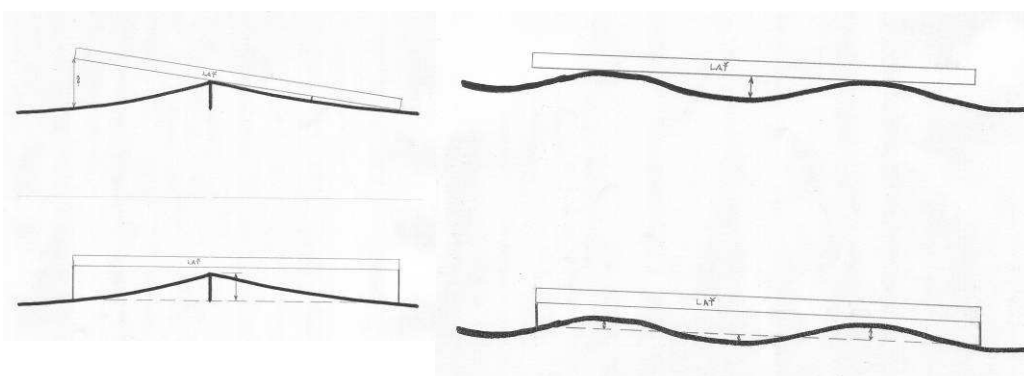


latí (požadavky pro nášlapnou vrstvu viz tabulka 1). Tento parametr nevypovídá nic o tom, v jaké výškové úrovni byl povrch podlahy proveden, ale je důležitý pro provoz na podlaze a komfort jejího používání. Druhým parametrem pak je požadavek na mezní rozdíl rovinnosti nášlapné vrstvy v dilatační nebo smršťovací spáře. Stanovení tohoto parametru má za cíl vyloučit nerovnosti nášlapné vrstvy podlahy, ve kterých by hrozilo zakopnutí uživatele podlahy, případně drncání přepravních prostředků, které by způsobovalo nadměrné namáhání hran podlahy a opotřebení mechanizace. V normě jsou uvedeny pouze požadavky na nášlapnou (vrchní) vrstvu, protože ty jsou pro uživatele rozhodující. Je vhodné, aby návrh podlahy obsahoval požadavky na oba parametry místní rovinnosti i pro ostatní vrstvy podlahy. Tyto hodnoty je třeba stanovit v návrhu podlahy v závislosti na požadavcích výše položené vrstvy na podklad. Pokud zamýšlenou technologií není možné dosáhnout rovinnosti potřebné pro správné položení následné vrstvy je třeba v návrhu podlahy počítat s vyrovnávací vrstvou. Postup měření místní rovinnosti je definován následovně:

*Odchytky místní rovinnosti se stanovují pomocí dvoumetrové latě, na jejíž koncích jsou podložky o výšce 20 mm a půdorysné ploše 10 mm x 10 mm. Pomocí posuvného měřítka se změří maximální a minimální vzdálenost mezi povrchem vrstvy a spodním lícem latě.*

*Plocha kontaktu mezi měřítkem a vrstvou je čtvercová o rozměrech 10 mm x 10 mm. Minimální a maximální odchytky se stanoví odečtením hodnoty 20 mm od změřených hodnot.*

*Měření se provede nejméně v pěti zkušebních místech na každých 100 m<sup>2</sup> podlahy. Nejmenší počet zkušebních míst v jedné místnosti je pět. Zkušební místa se rovnoměrně rozmístí po ploše podlahy.*



*Obr. 1 Srovnání měření s položením latě přímo na posuzovaný povrch a na podložky*

Před koncem roku 2011 by mělo být vydáno revidované znění normy. Mezi navrženými změnami je i nahrazení posuvného měřítka odměrným klínem. Srovnání měření pomocí lati položené přímo na povrch a lati položené na podložky viz obr. 1.

V případě nerovností s menšími půdorysnými rozměry (kratší vlny) vede měření s latí na podložkách k příznivějším výsledkům, než měření s latí přímo položenou na povrch. Při položení přímo na povrch se spodní líc lati nachází v úrovni nejvyšších bodů podlahy a měřeným parametrem je tedy vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem podlahy. Při položení latě na podložky a následném odečtení výšky podložek pak srovnávací úsečkou je sečna povrchem podlahy. Měřeným parametrem je vzdálenost mezi touto sečnou a nejvyšším bodem povrchu, respektive mezi sečnou a nejnižším bodem povrchu.

Tabulka 1.: Mezní odchylky místní rovinnosti nášlapné vrstvy dle aktuální ČSN 74 4505

Typ podlahy	Mezní odchylka
Podlahy v místnostech pro trvalý pohyb osob (byty, kanceláře, nemocniční pokoje, kulturní zařízení, obchody, komunikace uvnitř objektu apod.)	2 mm
Ostatní místnosti	3 mm
Výrobní a skladovací haly	5 mm

## 2.2. Postup měření místní rovinnosti dle ČSN 74 4505 z roku 1994

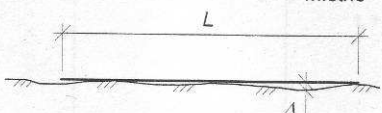
V normě ČSN 74 4505 „Podlahy – Společná ustanovení“ z roku 1994 se pro odchylky na dvoumetrové lati používá samostatný pojem rovinnost. To však neodpovídá názvosloví používanému ve skupině norem zabývajících se geometrickou přesností ve výstavbě, a proto byly v novém znění parametry rovinnost a místní rovinnost jednoznačně odděleny. Vlastní zkušební postup není v normě přesně definován. Je pouze uvedeno, že se zjišťují odchylky na dvoumetrové lati a že výsledkem měření je největší zjištěná hodnota. Další specifikace se týkají volby polohy zkušebních míst a jejich četnosti.

V běžné praxi probíhalo měření tak, že dvoumetrová lat' byla položena přímo na hodnocený povrch a byla zjištěna největší mezera mezi latí a povrchem podlahy. To se provádělo buď pomocí klínu, nebo pomocí posuvného měřítka s vysunovacím hrotem. Díky nedostatečné specifikaci zkušební metody však mohly být rozdílnými postupy získány rozdílné hodnoty.

Prvním kamenem úrazu je vlastní položení latě na zkoumaný povrch. Dle výkladu části odborné veřejnosti lze za výsledky měření považovat pouze odchylky změřené mezi místy dotyku latě a povrchu. Odchylky na částech latě

vně míst dotyku se nezjišťují. Druhá část se pak domnívala, že je třeba do hodnocení zahrnout i tyto odchylky. Při „vhodném“ položení lati přitom nadzvižení jejích konců nad povrch podlahy může být poměrně velké, přestože při měření odchylek pouze mezi body kontaktu lati s podlahou je povrch vyhovující. K prvnímu výkladu se přiklonila norma ČSN P ENV 13670-1 (třídící znak 73 2400) „Provádění betonových konstrukcí – Část 1: Společná ustanovení“ (viz obr. 2).

Číslo	Druh odchylky	Popis	Dovolená odchylka $\Delta$ Třída 1	
a	rovinnost			
	povrch ve styku s bedněním nebo hlazený:	celkově	$L = 2,0 \text{ m}$	9 mm
		místně	$L = 0,2 \text{ m}$	4 mm
	povrch bez styku s bedněním:	celkově	$L = 2,0 \text{ m}$	15 mm
místně		$L = 0,2 \text{ m}$	6 mm	



Obr. 2 Definice parametru rovinnost v ČSN P ENV 13670-1

Druhým kamenem úrazu pak je nejednoznačnost způsobu vlastního měření odchylek. Při použití posuvného měřítka jsme schopni přesně kopírovat tvar povrchu podlahy. Vzhledem k tomu, že hrot je relativně ostrý však může nastat situace, že za odchylky od místní rovinnosti bude považována drsnost povrchu. Použití odměrného klínu vede k tomu, že klín neleží celou svou plochou na hodnoceném povrchu, ale překlenuje nerovnosti o menších půdorysných rozměrech.

### 2.3. Postup dle českých norem pro geometrickou přesnost

Měření je definováno v ČSN 73 0212-3. Tato norma sleduje místní rovinnost na kontrolní přímce opět dlouhé 2 metry. Odchyly od této přímky se zjišťují v pěti místech ve vzdálenosti 500 mm po délce lati, tedy na jejích koncích, uprostřed a ve vzdálenosti 500 mm od konců (viz obr.3). Nevýhodou tohoto postupu je, že nemusí zachytit místa s maximálními odchylkami. Výhodou pak je teoretická možnost automatizace. Bohužel není uvedeno, zda odměrná přímka má být tečnou povrchu podlahy (což by odpovídalo položení lati na povrch podlahy), nebo sečnou povrchu podlahy (což odpovídá položení lati na



Tabulka 2.: Mezní hodnoty odchylek rovinnosti dle DIN 18202

Řádek	Vztah	Mezní hodnota v mm při vzdálenosti měřících bodů v m				
		0,1	1 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup> *
1	Povrchově nedokončené vrchní strany stropů, spodních a podkladních betonů	10	15	20	25	30
2	Povrchově nedokončené vrchní strany stropů, spodních a podkladních betonů se zvýšenými požadavky, např. pro položení plovoucích potěrů, průmyslové podlahy, dlažeb, spojovacích potěrů. Hotové povrchy pro podřadné účely, např. v prostorách skladů, sklepích	5	8	12	15	20
3	Povrchově dokončené podlahy, např. potěry jako užitkové potěry, potěry pro uložení podlahových obkladů, podlahové obklady, dlažby, zatmelené a nalepené obklady	2	4	10	12	15
4	Jako řádek 3, ale se zvýšenými požadavky	1	3	9	12	15
<sup>a</sup> Mezihodnoty je třeba vybrat podle obrázků 4 a 5 a zaokrouhlit na celé mm * Mezní hodnoty odchylek rovinnosti sloupce 6 platí i pro vzdálenost měřících bodů přes 15 m						

Pro mezilehké hodnoty vzdálenosti měřících bodů se lineárně interpoluje. Pokud mají být použity zvýšené požadavky podle řádků 2, nebo 4, musí to být zvlášť dohodnuto.

Tabulka 3.: Mezní hodnoty odchylek rovinnosti dle DIN 18202 – vypočtené požadavky pro vzdálenost měřících bodů 2m

1	Povrchově nedokončené vrchní strany stropů, spodních a podkladních betonů	16,7 mm
2	Povrchově nedokončené vrchní strany stropů, spodních a podkladních betonů se zvýšenými požadavky, např. pro položení plovoucích potěrů, průmyslové podlahy, dlažeb, spojovacích potěrů. Hotové povrchy pro podřadné účely, např. v prostorách skladů, sklepích	9,3 mm
3	Povrchově dokončené podlahy, např. potěry jako užitkové potěry, potěry pro uložení podlahových obkladů, podlahové obklady, dlažby, zatmelené a nalepené obklady	6 mm
4	Jako řádek 3, ale se zvýšenými požadavky	5 mm

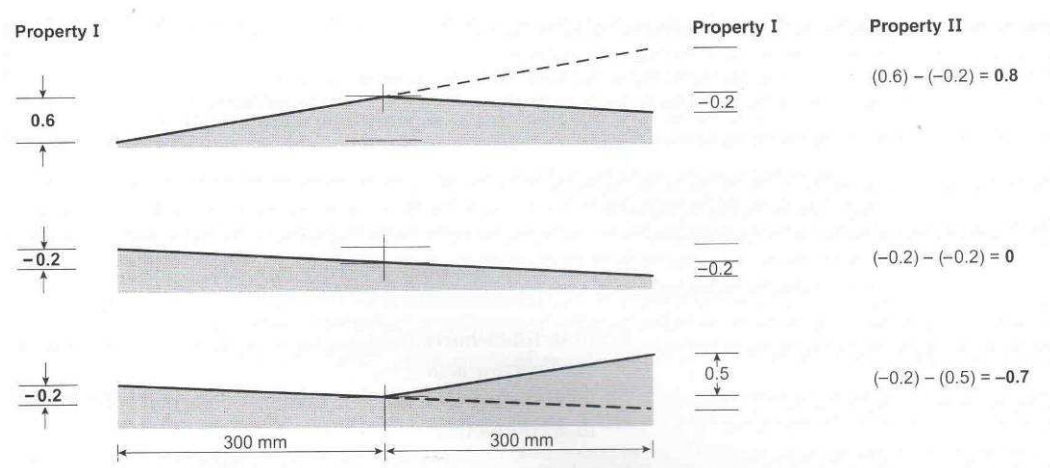
V kapitole Měření norma uvádí: *Dodržení tolerancí je třeba kontrolovat jen když je to potřebné. Kontrolu je třeba provést, z důvodu deformací závislých na čase a zatížení, co možná nejdříve, nejpozději však při přejímce stavební části nebo stavby dodavatelem následující zakázky, nebo bezprostředně po dokončení stavby. Volba postupu měření je ponechána na kontrolorovi. Použitý postup měření a s tím spojenou nejistotu měření je třeba deklarovat a zohlednit při posuzování.* Měření se provádí buď pomocí lati příslušné délky (viz obr. 4), nebo geodeticky v síti bodů – plošnou nivelací. Při měření latí se lat' pokládá na namátkově vybraná místa, přímo na povrch podlahy a hledá se maximální vzdálenost mezi latí a povrchem podlahy. Uvažují se pouze měření mezi body dotyku lati s podlahou. Při geodetickém měření se v hodnoceném prostoru vytyčí síť bodů s poloviční vzájemnou vzdáleností než je požadovaná odměrná vzdálenost. Nerovnost v příslušném bodě pak je rozdíl mezi měřením v tomto bodě a průměrem z měření v sousedních bodech.

#### **4. Britský TR34 Concrete industrial ground floors – A guide to design and construction**

Jedná se o technickou publikaci Concrete Society, tedy obdoby České betonářské společnosti. Publikace má 138 stran a problematika místní rovinnosti je pouze jednou z kapitol. Výhodou oproti normám je, že obsahuje i doporučení jak příslušných požadavků dosáhnout. Angličtina pro rovinnost povrchu používá dva pojmy „flatness“ a „levelness“. Flatness sleduje zda, případně nakolik, je povrch podlahy zvlněný. Levelness pak zda (nakolik) je povrch podlahy skloněný. S ohledem na rovinnost povrchu definuje dokument čtyři parametry prozaicky nazvané Vlastnost I, Vlastnost II, Vlastnost III a Vlastnost IV. Pro podlahy s náhodným pojezdem manipulačních prostředků jsou důležité parametry Vlastnost II a Vlastnost IV.

Vlastnost II je určena pro sledování parametru flatness. Sleduje změnu sklonu podlahy mezi body ve vzdálenosti 300 mm (viz obr. 5). Měření se provádí pomocí speciálního zařízení, které je sunuto po podlaze a nerovnosti automaticky zaznamenává. Měřené oblasti se náhodně vyberou v síti bodů pro kontrolu Vlastnosti IV. Oblasti by měly být rovnoměrně rozmístěny po celé ploše podlahy. Teoreticky lze měření provést i pomocí vodováhy délky 600 mm, která by v každém bodě byla ustavena do vodorovné polohy. Měření by však bylo velmi pracné.

Vlastnost IV je určena pro sledování parametru levelness. Měří se geodeticky, pomocí nivelačního přístroje, v bodech pravoúhlé sítě o délce strany 3m. Proměřuje se celá podlaha. Sleduje se výškový rozdíl mezi sousedními body. Při měření Vlastnosti IV se rovněž kontroluje odchylka úrovně podlahy od předepsané úrovně.



Obr. 5: Definice Vlastnosti II (Property II) - flatness v TR 34

Inspirativní je přístup dokumentu k definování požadavků. Stanoven je přísnější limit, který musí splnit 95% zjištěných hodnot a mírnější limit, který musí splnit všechny hodnoty (viz tabulka 2). V případě lokálních míst s nepříznivými výsledky zkoušek je doporučeno provést v těchto místech podrobnější měření. Pokud jsou nepříznivé výsledky zjištěny i při něm, doporučuje se zvážit vliv tohoto místa na užité vlastnosti a trvanlivost podlahy, ve srovnání s vlivem případné opravy. Zejména u podlah s minerálním vsypem.

Tabulka 4.: Pořadavky na rovinnost podlah podle TR34

Klasifikace podlahy	Typické využití podlahy	Vlastnost II – požadavek (mm)		Vlastnost IV – požadavek (mm)	
		95%	100%	95%	100%
FM 1	Velmi vysoké požadavky na flatness a levelness.	2,5	4,0	4,5	7,0
FM 2	Sklady s širokými uličkami s regály, nebo stohováním do výšky přes 8m.	3,5	5,5	8,0	12,0
FM 3	Sklady s širokými uličkami s regály, nebo stohováním do výšky maximálně 8m. Prodejní a výrobní haly.	5,0	7,5	10,0	15,0

Maximální odchylka od předepsané úrovně podlahy je 15 mm.

## 5. Americké normy

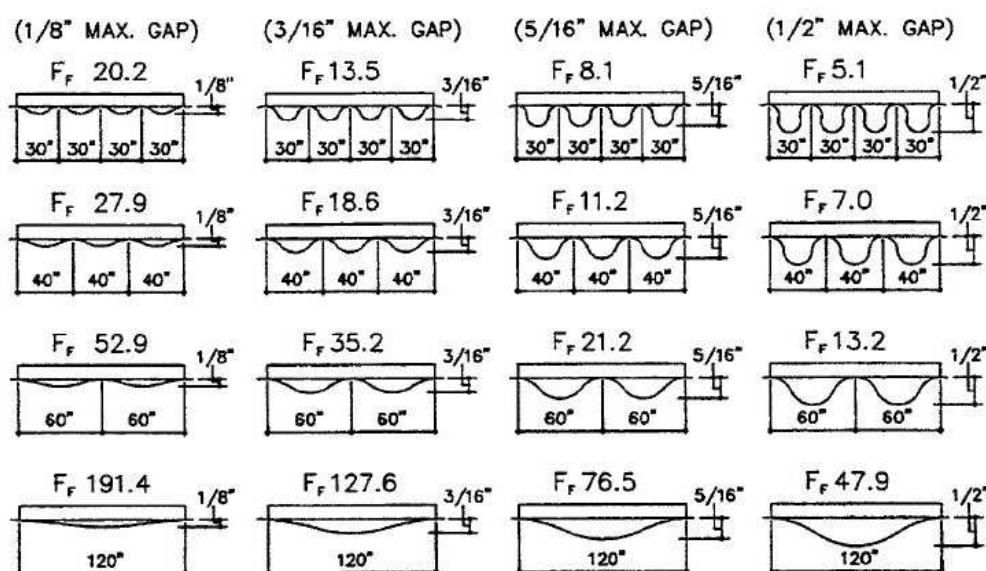
V systému amerických norem problematiku rovinnosti průmyslových podlah řeší norma ACI 117-10 Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials. Obdobně jako u DIN 18202 je záběr normy širší a problematika rovinnosti průmyslových podlah je pouze jednou z řešených oblastí. Zkušební postup pak je definován v normě ASTM E1155-96 Standard Test Method for Determining  $F_F$  Floor Flatness and  $F_L$  Floor Levelness Numbers. Měření sleduje stejné parametry jako v případě britského TR 34, tedy v případě flatness změny sklonu podlahy mezi body ve vzdálenosti 300 mm (přesněji 1 stopa = 304,8 mm) a v případě levelness se sledují výškové rozdíly v bodech po 10 stopách (tj. 3,048 m). Čísla  $F_F$  a  $F_L$  jsou pak získána statistickým vyhodnocením měření z jednotlivých bodů. Čím je číslo vyšší, tím je podlaha rovnější.



Obr. 6: Poslední model „kráčejičího“ přístroje Dipstick



Vlastní měření se obvykle provádí pomocí speciálního jednoúčelového přístroje. Tato specifikace je v USA používána cca 20 let. Nejprve byly používány pro měření „krácející“ přístroje Dipstick (viz obr. 6), později pak přístroje pojíždějící po podlaze. Novinkou posledních let jsou robotické přístroje, které automaticky zmapují celou podlahu podobně jako pracují robotické vysavače. Nevýhodou metody však je cena přístroje na úrovni cca 10 000,- \$. Velkou výhodou, a pravěpodobně i důvodem proč ve Spojených státech tato metoda nahradila měření pomocí lati, je možnost relativně rychlého změření celé plochy podlahy. Díky tomu a díky statistickému vyhodnocení výsledků je opakovatelnost měření lepší než u náhodného pokládání latě.



Obr. 7: Srovnání čísel  $F_F$  s mezerou pod třímetrovou latí na teoretických příkladech (v USA byla tradičně používána třímetrová lať místo naší dvoumetrové).

Není bez zajímavosti, že tato norma doporučuje provést měření rovinnosti podlahy do 72 hodin po jejím položení a před odstraněním bednění a podpěr, aby výsledky pokud možno nebyly ovlivněny smršťováním, zkroucením desek nebo průhyby stropu. Odborná veřejnost ze oceánem zjevně došla k závěru, že tyto, pro podlahy nepříznivé, procesy nejsou ovlivnitelné technologií pokládky a hlazení podlahy a proto není vhodné je uvažovat ve specifikaci rovinnosti. Tyto vlivy jsou nepříznivé zejména pro  $F_L$ , hodnotu  $F_F$  významně nemění.

*Tab. 5 Hrubé srovnání výsledků měření čísla  $F_F$  a měření pomocí třímetrové latě reálných podlah, exaktní závislost neexistuje.*

číslo $F_F$	mezera pod třímetrovou latí položenou na povrch podlahy
$F_F$ 12	$\frac{1}{2}$ in
$F_F$ 20	$\frac{5}{16}$ in
$F_F$ 25	$\frac{1}{4}$ in
$F_F$ 32	$\frac{3}{16}$ in
$F_F$ 50	$\frac{1}{8}$ in

## 6. Závěrečné srovnání

Po srovnání postupů hodnocení rovinnosti podlah lze konstatovat, že pravděpodobně nejlepší vztah mezi výsledky měření a skutečností vykazuje americký postup. Měření  $F$  čísel je zároveň i poměrně rychlé. Jeho velkou nevýhodou však je vysoká pořizovací cena jednoúčelového zařízení. Za nevýhodu oproti ostatním třem popsáním postupům lze označit i skutečnost, že čísla  $F_F$  a  $F_L$  jsou bezrozměrné parametry za kterými není možné si představit nějaký konkrétní objekt. Postup měření definovaný britským dokumentem je americkému velmi podobný, nepřevádí však zjištěné výsledky do bezrozměrných parametrů. Německý postup, a z něj historicky vycházející postup český, pak jsou postupy tradičními, kdy měření je relativně levné, avšak reálně ho lze provést pouze ve vybraných oblastech podlahy.

Český postup dle ČSN 74 4505 je ve srovnání s německým pracnějším. Měření latí s podložkami však v mnoha případech vede k příznivějším výsledkům, než při položení přímo na hodnocený povrch. Tím se částečně kompenzuje výrazně větší přísnost našich požadavků.

Vždy platí, že čím přísnější požadavek je na podlahu kladen, tím je její pokládka a finalizace dražší.

## Literatura

- [1] ACI 117-10 Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials
- [2] ASTM E1155-96 Standard Test Method for Determining  $F_F$  Floor Flatness and  $F_L$  Floor Levelness Numbers

- [3] Commentary on Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-90)
- [4] TR34 Concrete industrial ground floors – A guide to design and construction
- [5] DIN 18202 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke
- [6] ČSN 74 4505 Podlahy. Společná ustanovení
- [7] ČSN 73 0212-3 Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 3: Pozemní stavební objekty

## **Kontakt**

Ing. Petr Tůma, Ph.D., Betonconsult s.r.o., V Rovínách 123, 140 00 Praha 4, [www.betonconsult.cz](http://www.betonconsult.cz), tel. 724 080 924, e-mail: [petr.tuma@betonconsult.cz](mailto:petr.tuma@betonconsult.cz)

*Tabulka 6: Srovnání požadavků předních evropských předpisů a ČSN.*

levelness (viz kap. 4)	flatness (viz kap. 4)	místní rovinnost		rovinnost (celková)	parametr		
		rozdíl ve výškové úrovni hran spár	2m lať na podložkách	geodeticky	metoda	požadavek	ČSN 74 4505
		2mm	2mm – 5mm dle účelu místnosti	neuveden			
			2m lať na povrchu	geodeticky	metoda	požadavek	ČSN 73 0205 (doporučen í pro projektovou specifikaci)
			2mm – 3mm dle účelu místnosti	2mm – 15mm dle velikosti a účelu			
			lať na povrchu / geodeticky		metoda		
			6mm – 9,3mm dle účelu místnosti při 2m lati				DIN 18202
geodeticky	speciální měřidla			geodeticky	metoda	požadavek	TR 34
7mm – 15mm na 3,0m dle zvolené třídy	4,0mm – 7,5mm na 0,3m dle zvolené třídy			15 mm			

## ZKOUŠENÍ LEHKÝCH PLOVOUCÍCH PODLAH S CEMENTOTŘÍSKOVÝMI DESKAMI CETRIS<sup>®</sup>

### TESTING OF THE LIGHT FLOATING FLOORS WITH THE CETRIS<sup>®</sup> CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS

**Miroslav Vacula**

CIDEM Hranice, a.s.

***Anotace:***

*Plovoucí podlahy se staly v současnosti hitem při pokládání podlah. Zejména při rekonstrukci a půdních vestavbách je nutno pod konečnou povrchovou úpravu upravit a připravit vhodný podklad. Betonové nebo anhydritové monolitické podlahy zvyšují zatížení původní konstrukce, zanáší mokry proces do objektu. Nejen kvůli suchému způsobu montáže se využívají lehké plovoucí podlahy s roznášecí vrstvou z cementotřískových desek CETRIS<sup>®</sup>*

***Annotation:***

*Floating floors are today's hit of floor constructions. In case of reconstructions and attic in-building a suitable substrate must be prepared under the final layer. Monolithic concrete or anhydride floors increase the load of the original construction and introduce wet process into the object. Not only because of the dry installation process the light floating floors with a load distribution layer made of CETRIS<sup>®</sup> cement bonded particleboards are used.*

***Klíčová slova:*** *lehká plovoucí podlaha, kročejová a vzduchová neprůzvučnost, zatížení*

***Keywords:*** *light floating floor, impact and airborne sound insulation, load*

## **1. Historie lehkých plovoucích podlah z cementotřískových desek CETRIS®**

Plovoucí podlahy se staly v současnosti hitem při pokládání podlah. Používání lehkých plovoucích podlah z desek CETRIS® má již více než 10-letou tradici. První nabízenou skladbou byla podlaha ORCET s izolačními deskami Orsil, nabízená od roku 1997. V roce 2001 byly ověřeny parametry systému IZOCET – lehké plovoucí podlahy s dřevovláknitou izolační deskou (hobrou). V roce 2006 uvedl výrobce desek CETRIS® – CIDEM Hranice, a.s. novou variantu lehkých podlah – POLYCET, podlahy s izolačními deskami z pěnového polystyrénu.

## **2. Vývoj nových skladeb podlah**

Na základě požadavků zákazníků byl v roce 2010 zahájen vývoj nových skladeb lehkých podlah s vyššími užitnými vlastnostmi. Ze strany projektantů byl řešen především požadavek na skladbu podlahy s vyšším užitným zatížením, stavebníci a realizační firmy naopak preferovali „jednoduchou“ skladbu s co nejnižšími pořizovacími náklady.

Vyvíjeny byly tedy tyto dvě skladby podlah :

1. Skladba vhodná pro prostory definované v EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb s kategorií zatížení jako A (obytné plochy a plochy pro domácí činnosti) a B (kancelářské plochy). Celková výška skladby do 60 mm, použití cenově dostupných materiálů, dosažení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti (na železobetonové stropní desce) min. 54 dB, snížení přenosu hluku min. 20 dB.

2. Skladba vhodná pro prostory definované v EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb s kategorií zatížení jako C1 - C3, C5 (plochy kde může docházet ke shromažďování lidí) a D1 (prodejní plochy v malých obchodech). Celková výška skladby do 60 mm.

---

*Tabulka č.1 – Kategorie zatížení dle EN 1991 – 1 - 1*

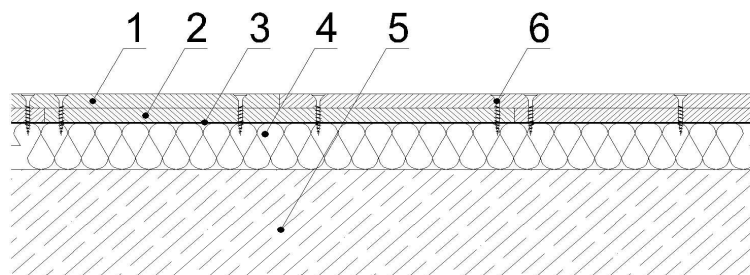
A .Obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	místnosti obytných budov a domů, lůžkové pokoje a sály v nemocnicích, ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety
B. Kancelářské plochy	
C. Plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí (kromě ploch uvedených v kategoriích A, B, D)	C1 : plochy se stoly atd. - např. plochy ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích. C2 : plochy se zabudovanými sedadly, např. plochy v kostelech, v divadlech nebo kinech, v konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražních čekárnách C3 : plochy bez překážek pro pohyb osob, např. plochy v muzeích, ve výstavních sáních a přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách a hotelích C 4 : plochy určené k pohybovým aktivitám, např. taneční sály, tělocvičny, jeviště C 5 : plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí, např. budovy pro veřejné akce jako koncertní síně, sportovní haly, včetně tribun, terasy a přístupové plochy
D. Nákupní plochy	D1 : plochy v malých obchodech D2 : plochy v obchodních domech, například plochy ve skladech zboží, papíru a kancelářských potřeb.

### **3. Návrhy skladeb podlah**

S ohledem na předchozí výsledky původních skladeb lehkých podlahových systémů padla volba na izolaci z pěnového polystyrénu. Laboratorními testy byla ověřována tuhost různých typů polystyrénu při bodovém zatížení přes roznášecí podložku ze dvou vrstev cementořískových desek CETRIS<sup>®</sup>. Na základě těchto ověřovacích testů byly navrženy následující skladby :

---

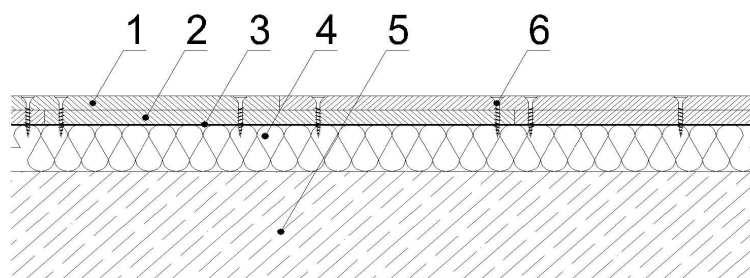
POLYCET Max – lehká podlaha pro vysoké užitné zatížení



Skladba :

- 1- cementotřísková deska CETRIS® 12 mm, horní vrtaná
- 2- cementotřísková deska CETRIS® 12 mm, spodní
- 3- separační vrstva – pěnová fólie tl. 1 mm
- 4- pěnový polystyrén EPS 200S tl. 30 mm
- 5- stropní konstrukce
- 6- samořezný vrut 4,2x35 mm, popřípadě sponka Haubold KG 700 CNK

POLYCET Min - lehká plovoucí podlaha s nízkými pořizovacími náklady



Skladba :

- 1- cementotřísková deska CETRIS® 10 mm, horní vrtaná
- 2- cementotřísková deska CETRIS® 10 mm, spodní
- 3- separační vrstva – pěnová fólie tl. 2 mm
- 4- pěnový polystyrén EPS T4000 tl. 30 mm
- 5- stropní konstrukce
- 6- samořezný vrut 4,2x35 mm



#### 4. Zkoušení podlahových konstrukcí

Pro ověření vlastností a parametrů pro lehké plovoucí podlahy z cementotřískových desek CETRIS<sup>®</sup> byl v akustické místnosti zkušebny Centra stavebního inženýrství a.s. ve Zlíně sestaven zkušební vzorek podlahy o celkových rozměrech 3x3,6 m /plocha 10m<sup>2</sup>/.

Na tomto vzorku byly provedeny akustické zkoušky – stanovení vzduchové neprůzvučnosti, stanovení kročejové neprůzvučnosti, zlepšení útlumu a mechanické parametry – v souladu s těmito normami :

- ČSN EN 13 810-1 Desky na bázi dřeva - Plovoucí podlahy - Část 1: Specifikace užitečných vlastností a požadavky
- ČSN EN 1195 Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Působení nosných podlah
- ČSN EN 12 431 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení tloušťky izolačních výrobků pro plovoucí podlahy
- ČSN EN 140-3 Akustika - Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí - Část 3: Měření kročejové neprůzvučnosti
- ČSN EN 140-6 Akustika - Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí - Část 3: Měření vzduchové neprůzvučnosti
- ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda
- ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody
- ČSN EN 13 501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň

Při mechanických zkouškách soustředěného zatížení obou skladeb nebyly překročeny maximální hodnoty průhybu, definované v ČSN EN 13 810-1 [2] :

Kategorie zatěžovaných ploch dle EN 1991-1-1	A	B	C1 – C3 a C5	D1
Soustředěné zatížení (působení na plochu 50x50 mm) dle EN 1991 – 1 -1 kN	2	2	4	4
Soustředěné zatížení působení na kruhovou podložku o průměru 25 mm kN	1,3	1,3	2,6	2,6
Mezní průhyb v milimetrech pro soustředěné zatížení :				
x <sub>1-4</sub> pod zatěžovacím ramenem			3,0	
x <sub>5-8</sub> vedle zatěžovacího ramene			2,5	
x <sub>c</sub> rozdíl (mezi měřením pod a vedle zatěžovacího ramene)			2,5	

Také při dynamickém zatížení nárazem (40 kg vak spouštěný z výšky 350 mm) nebylo dosaženo mezního průhybu (1,0 mm).

Výsledky akustických zkoušek nových skladeb podlah s deskami CETRIS<sup>®</sup> jsou shrnuty v tabulce :

Podlaha	Vzduchová neprůzvučnost *) R <sub>w</sub> (dB)	Kročejová neprůzvučnost *) L <sub>nw</sub> (dB)	Zlepšení kročejové neprůzvučnosti ΔL <sub>w</sub> (dB)
POLYCET Max	55	58	22
POLYCET Min	54	57	23

\*) hodnoty platí pro podlahu na železobetonovém stropu tl. 140 mm.

## 5. Závěr

Výhodou obou nových skladeb podlah POLYCET je jednoduchá a rychlá pokládka, podlahy jsou po montáži ihned pochůzí a připraveny pro kladení podlahových krytin. Lehké plovoucí podlahy nejsou vhodné do prostor s výskytem vlhkosti (sprchy, koupelny, prádelny, sauny...), kde by dovolené průhyby plovoucí podlahy mohly ohrozit funkčnost hydroizolační vrstvy.

Variant provedení pevné, pochůzí a lehké podlahy z desek CETRIS<sup>®</sup> je mnoho. Aby základní návrh podlahy byl snadný i pro laiky, připravil výrobce cementotřískových desek CETRIS – společnost CIDEM Hranice, a.s. jednoduchou aplikaci pro zvolení vhodné skladby podlahy. Tato aplikace je součástí nových webových stránek [www.cetris.cz](http://www.cetris.cz), spuštěných k 1.2.2011. Pro stavebníky, projektanty, montážníky i laiky z řad široké veřejnosti je připravena zcela nová pomůcka pro navrhování podlah z desek CETRIS<sup>®</sup>. Stačí pár minut a díky nové internetové aplikaci po zadání vstupních údajů dostanete informaci o vhodné skladbě podlahy. Součástí výsledku je i výpis potřebného materiálu, doporučení na správné lepení podlahové krytiny, technický list zvolené skladby.

## Poděkování

Poděkování vedoucímu zkušební laboratoře Centra stavebního inženýrství ve Zlíně RNDr. Josefu Vránovi, CSc.

## **Literatura**

- [1] ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 13 810 Desky na bázi dřeva - Plovoucí podlahy - Část 1: Specifikace užitných vlastností a požadavky

## **Kontakt**

Ing. Miroslav Vacula, tel: 00420 581 676 393, e-mail: [vacula@cetris.cz](mailto:vacula@cetris.cz),  
CIDEM Hranice, a.s. divize CETRIS, Nová 223, 753 40 Hranice.

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## GEOMETRICKÉ TOLERANCE SÁDROKARTONOVÝCH KONSTRUKCÍ

## GEOMETRICAL TOLERANCES OF DRYWALL CONSTRUCTIONS

**Linda Veselá**

ČVUT V Praze, Fakulta stavební,  
Katedra technologie staveb

***Anotace:***

*Abychom mohli zkontrolovat, zda daná stavební konstrukce dosahuje požadované geometrické přesnosti musíme znát dva parametry. Musí být stanoveny přípustné mezní odchylky geometrických parametrů skutečně realizovaných konstrukcí, které udávají o kolik se můžou skutečné parametry stavebních konstrukcí lišit od projektovaných hodnot. Dále musí být stanoveny postupy měření, kterými se budou kontrolovat geometrické parametry dokončených stavebních konstrukcí a zjišťovat jejich odchylky od projektovaných hodnot. Článek se zabývá geometrickými tolerancemi sádrokartonových konstrukcí.*

***Annotation:***

*If we want to check whether the building construction achieves the desired geometrical accuracy we need to know two parameters. It must be determined allowable geometrical tolerances of building constructions, which indicate how much the parameters of construction may differ from the projected values. Then must be established measurement procedures, which will control the geometric parameters of the completed structures and detect deviations from their projected values. The article deals with geometric tolerances of drywall construction.*

***Klíčová slova:*** Sádrokartonové konstrukce, Geometrické tolerance

***Keywords:*** Drywall construction, Geometrical tolerances

## 1. Úvod

Odchyšky geometrických parametrů konstrukcí s dokončeným povrchem mohou mít vliv na jejich výslednou kvalitu. Jedním z případů, kdy mohou geometrické tolerance ovlivnit kvalitu dokončené stavební konstrukce jsou sádrokartonové konstrukce, u nichž se nepředpokládají žádné výrazné následné úpravy povrchu.

Kvalita dokončených sádrokartonových konstrukcí a podhledů se posuzuje i z hlediska geometrických parametrů. Jedná se především o půdorysnou polohu, svislost, rovinnost a kvalitu dokončeného povrchu, přímost hran a úhly.

Rizika spojená s nedodržením geometrických parametrů sádrokartonových konstrukcí jsou velká, protože jakákoliv výrazná nerovnost povrchu může znamenat dodatečné náklady a čas spojené s jejím odstraněním.

## 2. Přehled norem týkajících se provádění a kontroly sádrokartonových konstrukcí

Pokud není v projektové dokumentaci nebo smlouvě o dílo s investorem uvedeno jinak, geometrické parametry dokončených sádrokartonových konstrukcí by se měly posuzovat podle požadavků platných norem ČSN. Tyto normy stanovují, jakých maximálních přípustných odchylek od projektovaných hodnot mohou dosahovat geometrické parametry dokončených konstrukcí.



Obr. 1.: Schéma norem týkajících se provádění sádrokartonových konstrukcí

V soustavě norem ČSN neexistuje norma, která by upravovala provádění a přípustné geometrické tolerance dokončených sádrokartonových konstrukcí. Existují pouze normy výrobků ČSN EN 520+A1 pro sádrokartonové desky a ČSN EN 14195 pro kovové konstrukční prvky pro sádrokartonové systémy.

Podle jakých norem lze tedy provádět sádrokartonové konstrukce a následně posuzovat kvalitu jejich dokončených povrchů?

### **3. Sádrokartonové konstrukce**

V České republice jsou (především ze strany projektantů a investorů) běžně požadovány geometrické dokončených vnitřních povrchů a konstrukčních celků podle normy pro navrhování geometrické přesnosti ČSN 73 0205. U sádrokartonových konstrukcí jsou požadavky normy ČSN 73 0205 vyžadovány velmi často právě proto, že jiná norma ČSN požadavky na geometrické tolerance sádrokartonových konstrukcí neřeší a povrch dokončených sádrokartonových konstrukcí lze požadovat za finální úpravu povrchu (malby a nátěry již jeho geometrické tolerance neovlivní).

Existují ovšem ještě technické listy výrobců sádrokartonových systémů (Knauf, Rigips), které obsahují mimo jiné požadavky na přípustné geometrické tolerance rovinnosti povrchu, přímosti hran a úhly. Tyto tolerance jsou převzaty z německé normy DIN 18 202.

Tabulka 1.: Porovnání požadavků na geometrické tolerance dokončených sádrokartonových konstrukcí podle normy ČSN 73 0205 a požadavků výrobců sádrokartonových konstrukcí.

<b>Geometrické tolerance pro provádění sádrokartonových konstrukcí</b>				
<b>Tolerance</b>	<b>ČSN 73 0205 pro dokončené vnitřní povrchy</b>		<b>Technické listy výrobců pro sádrokartonové kce <sup>a</sup></b>	
Místní rovinnost povrchu stěn a stropů	Místnosti pro pobyt osob	Ostatní místnosti	Standardní provedení	Zvýšené nároky
	2mm/ 2m	3mm/ 2m	7mm/2m <sup>b</sup>	5mm/2m <sup>b</sup>
Celková rovinnost povrchu stěn a stropů	neřeší		3mm/ 0,1m <sup>c</sup>	2mm/ 0,1m <sup>c</sup>
	3mm do 1m	5mm do 1m	5mm/1m <sup>c</sup>	3mm/1m <sup>c</sup>
	5mm/ 1až4m	8mm/ 1až4m	10mm/4m <sup>c</sup>	8mm/4m <sup>c</sup>
	8mm/ 4až10m	12mm/ 4až10m	20mm/10m <sup>c</sup>	15mm/10m <sup>c</sup>
	15mm nad10m	15mm nad10m	25mm/≥15m <sup>c</sup>	20mm/≥15m <sup>c</sup>
Místní přímot hran	3mm/ 2m	4mm/ 2m	7mm/2m <sup>b</sup>	5mm/2m <sup>b</sup>
	neřeší		3mm/ 0,1m <sup>c</sup>	2mm/ 0,1m <sup>c</sup>
Celková přímot hran	2mm/ do 1m	4mm/ do 1m	5mm/1m <sup>c</sup>	3mm/1m <sup>c</sup>
	5mm/ 1až4m	6mm/ 1až4m	10mm/4m <sup>c</sup>	8mm/4m <sup>c</sup>
	8mm/ 4až8m	10mm/ 4až8m	20mm/10m <sup>c</sup>	15mm/10m <sup>c</sup>
	12mm/ nad8m	15mm/ nad8m	25mm/≥15m <sup>c</sup>	20mm/≥15m <sup>c</sup>
	<sup>a</sup> Pro provádění sádrokartonových konstrukcí neexistuje norma ČSN, pouze technické listy výrobců.			
<sup>b</sup> Hodnoty převzaty z německé DIN 18 202, Tabulka 3, řádky 6 a 7, interpolovány a zaokrouhleny na celé mm.				
<sup>c</sup> Hodnoty převzaty z německé DIN 18 202, Tabulka 3, řádky 6 a 7. Mezihodnoty se interpolují a zaokrouhlí na celé mm.				



Tabulka 2.: Pokračování porovnání požadavků na geometrické tolerance dokončených sádrokartonových konstrukcí podle normy ČSN 73 0205 a požadavků výrobců sádrokartonových konstrukcí z Tabulky 1.

<b>Geometrické tolerance pro provádění sádrokartonových konstrukcí</b>			
<b>Tolerance</b>	<b>ČSN 73 0205 pro dokončené vnitřní povrchy</b>		<b>Technické listy výrobců pro sádrokartonové kce<sup>a</sup></b>
Úhly			6mm pro $l \leq 1\text{m}$ <sup>d</sup>
	±5mm pro $l \leq 4\text{m}$		8mm pro $1\text{m} < l \leq 3\text{m}$ <sup>d</sup>
	±8mm pro $4\text{m} < l \leq 8\text{m}$		12mm pro $3\text{m} < l \leq 6\text{m}$ <sup>d</sup>
	±10mm pro $8\text{m} < l \leq 16\text{m}$		16mm pro $6\text{m} < l \leq 15\text{m}$ <sup>d</sup>
	±12mm pro $16\text{m} < l$		20mm pro $15\text{m} < l \leq 30\text{m}$ <sup>d</sup>
			30mm pro $30\text{m} < l$ <sup>d</sup>
Svislost povrchu v jednom podlaží	±10mm pro $h \leq 4\text{m}$		neřeší
	±12mm pro $4\text{m} < h \leq 8\text{m}$		
	±15mm pro $8\text{m} < h \leq 16\text{m}$		
Vzdálenost protilehlých kcí (délka, šířka místností)	±15mm/do 4m,	±20mm/do 4m,	neřeší
	±20mm/4až8m,	±25mm/4až8m,	
	±25mm/ 8až16m	±30mm/ 8až16m	
	±30mm/16až30m	±50mm/16až30m	
Vzdálenost protilehlých kcí (výška místností)	±20mm/do 4m,	±30mm/do 4m,	neřeší
	±25mm/4až8m,	±40mm/4až8m,	
	±30mm/ 8až16m	±50mm/ 8až16m	
<sup>d</sup> Hodnoty převzaty z německé DIN 18 202, Tabulka 2, řádek 1.			

Geometrické parametry povrchu sádrokartonových konstrukcí budou vždy záviset na přesnosti, s jakou byly provedeny. Pokud porovnáme požadavky normy ČSN 73 0205, podle které lze posuzovat geometrickou přesnost dokončených konstrukcí a požadavky výrobců sádrokartonových konstrukcí, zjistíme, že jejich požadavky se výrazně liší.

Výrobci sádrokartonových konstrukcí nastavili svoje požadavky na geometrické tolerance dokončených konstrukcí tak, aby byly zahrnuty i tolerance materiálů, ze kterých se sádrokartonové konstrukce montují (jedná se především o sádrokartonové desky a kovové profily).

#### 4. Sádrokartonové desky a profily

U sádrokartonových desek může celkové geometrické tolerance dokončené konstrukce ovlivnit především tloušťka desky. Rozdílné tloušťky desek, které na sebe navazují ve spáře, by mohly vytvořit nerovný povrch přechodu v místě spoje a tím pádem by nemusela být dodržena požadovaná rovinnost povrchu dle ČSN 73 0205 ( 2mm/2m) nebo by musel být povrch spoje vyrovnán větším množstvím stěrkovací hmoty.

Vliv na geometrické tolerance dokončených sádrokartonových povrchů mohou mít sádrokartonové profily. U sádrokartonových profilů může celkové geometrické tolerance dokončené konstrukce ovlivnit především přímota a zkroucení profilu. Dle normy ČSN EN 14195 může být tolerance přímoty u profilu délky 3m až 7,5mm a tolerance zkroucení profilu až 10mm u profilu šířky 100mm.

Tabulka 3.: Požadavky na geometrické tolerance sádrokartonových desek dle ČSN EN 520.

Geometrické tolerance sádrokartonových desek		
Rozměry	ČSN EN 520+A1 pro sádrokartonové desky	
	druh P	druh A, H, D, E, F, I, R, kombinované
Šířka	-8 / 0 mm	-4 / 0 mm
Délka	-6 / 0 mm	-5 / 0 mm
Tloušťka	±0,6mm	jm tloušťka ≤18mm: ±0,5mm
		jm tloušťka >18mm: ±0,04xjm tloušťka v mm
Pravouhlost	2,5mm/1m	
Podélné hrany a profily	zkosený a polozaoblený zkosený profil hran <sup>a)</sup> : – hloubka úkosu: 0,6 až 2,5mm – šířka úkosu: 40 až 80 mm	
<sup>a)</sup> Ostatní profily norma ČSN EN 520+A1 neřeší		

Tabulka 4.: Požadavky na geometrické tolerance sádrokartonových kovových profilů dle ČSN EN 14195.

Rozměry	ČSN EN 14195 pro sádrokartonové profily
Tloušťka	tolerance musí být deklarovány výrobcem
Délka profilu	$\pm 3\text{mm}$ pro $L \leq 3\text{m}$
	$\pm 4\text{mm}$ pro $3 < L \leq 5\text{m}$
	$\pm 5\text{mm}$ pro $5\text{m} < L$
Šířka profilu	$\pm 0,5\text{mm}$
Šířka příruby	Příruba mezi dvěma oblouky: $\pm 0,5\text{mm}$ Příruba mezi obloukem a seříznutým okrajem: $\pm 1\text{mm}$
Úhlová přesnost mezi přírubou a okrajem	$\pm 2^\circ$
Přímost profilu	jm délka/400 v mm <sup>a)</sup>
Zkroucení profilu	$h/W \leq 0,1$ kde h je naměřená mezera a W je jmenovitá šířka profilu
<sup>a)</sup> Měří se ve dvou na sebe kolmých směrech.	

Geometrické tolerance sádrokartonových konstrukcí by také měly pojmut případné deformace, které mohou vzniknout při montáži těchto konstrukcí (např. kovový profil, do něhož se montuje sádrokartonová deska, se může zkroutit, prohnut apod.).

## 5. Vzhled povrchu sádrokartonových konstrukcí

V souvislosti s kontrolou kvality povrchu sádrokartonových konstrukcí je potřeba upozornit na parametr týkající se vzhledu povrchu uváděný výrobcem a především zhotoviteli sádrokartonových konstrukcí.

Vzhled dokončeného povrchu sádrokartonových konstrukcí lze podle výrobců a zhotovitelů sádrokartonových konstrukcí rozdělit do čtyř kvalitativních tříd Q1 až Q4, kde Q1 požaduje nejnižší nároky a Q4 nejvyšší nároky na estetický vzhled povrchu, rovinnost, přímost hran apod..

Tabulka 5.: Požadavky na úpravu povrchu sádrokartonových konstrukcí dle Technických listů výrobců.

Provádění sádrokartonových konstrukcí		
Parametr	ČSN 73 0205 pro dokončené vnitřní povrchy	Technické listy výrobců pro sádrokartonové kce <sup>a</sup>
Vzhled povrchu	neřeší	Q1 – pro povrchy, které nemusejí splňovat vysoké estetické nároky a budou následně zakryté (pod obklady, omítky apod.)
		Q2 – vystěrkování spár + konečná úprava spár vyhlazením (standardní provedení – hladký pře-chod mezi deskami)
		Q3 – provedení v kvalitě Q2 + široké vystěrkování spár a místní vystěrkování povrchu zbývající plochy kartónu + vyhlazení do roviny
		Q4 - provedení v kvalitě Q2 + přestěrkování a vyhlazení celé plochy stěny v tl. 1-3mm (lze požadovat rovinnost povrchu 2mm/2m)
<sup>a</sup> Pro provádění sádrokartonových konstrukcí neexistuje norma ČSN, pouze technické listy výrobců.		

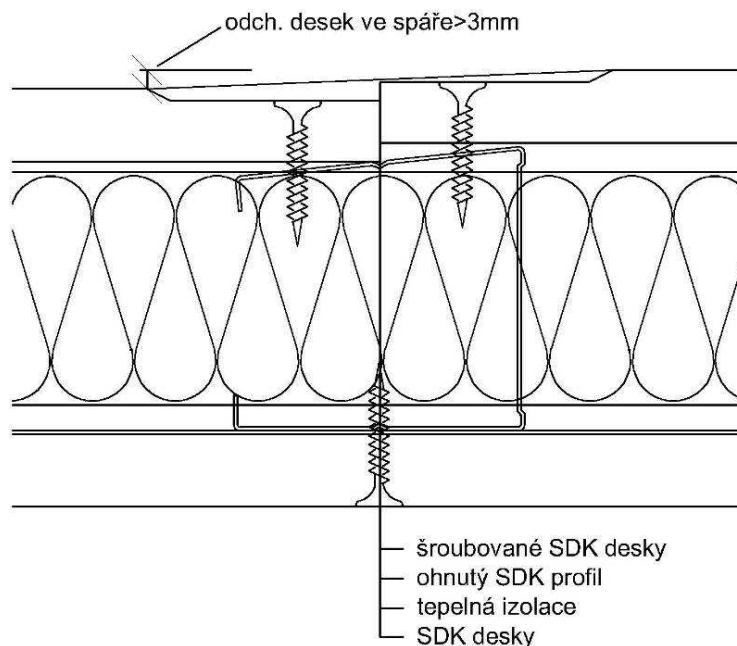
Většina zhotovitelů sádrokartonových konstrukcí uvádí ve smlouvě o dílo nebo technologickém postupu jako standard úpravu povrchu v třídě Q2. V této třídě bude provedeno vystěrkování spár a jejich přehlazení, zbytek povrchu sádrokartonových konstrukcí zůstane bez úprav. Tyto úpravy zajistí vyhlazení povrchu sádrokartonových konstrukcí v místě spár a lze počítat s rovinností povrchu cca 7mm na 2m. V kombinaci s třídou Q3, která zajišťuje široké vystěrkování a vyhlazení spár a lokální vystěrkování a vyhlazení nerovností v ploše sádrokartonu lze požadovat rovinnost povrchu 5mm na 2m. Pokud ovšem investor požaduje rovinnost povrchu podle ČSN 73 0205 (2mm na 2m) potom je potřeba použít pro vzhled povrchu třídu Q4, která zajišťuje kromě vystěrkování spár i vystěrkování a vyhlazení celého povrchu sádrokartonové konstrukce v tloušťce 1 až 3mm. V tomto případě je potřeba počítat s delším technologickým časem pro provedení a s vyšším objemem spotřebovaného materiálu.

## 6. Nejčastější problémy vznikající při provádění sádrokartonových konstrukcí - Rovinnost povrchu sádrokartonových konstrukcí

Sádrokartonové konstrukce jsou montovány ze sádrokartonových profilů a desek a každý z těchto materiálů má své přípustné tolerance, které mohou ovlivnit výsledné tolerance celé konstrukce (tloušťka sádrokartonových desek, průhyb sádrokartonových profilů). Navíc při montáži může dojít k dalším deformacím (např. bočnic profilů, do kterých se připevňují sádrokartonové desky) a tyto deformace mohou ovlivnit rovinnost dokončeného povrchu.

Výše uvedené odchylky a deformace sádrokartonových konstrukcí se promítnou především do rovinnosti dokončeného povrchu a jejich odchylek, které budou větší než požadované 2mm na 2m. Rovinnosti 2mm na 2m nelze u sádrokartonových konstrukcí dosáhnout bez dodatečného plošného vyrovnání povrchu vyrovnávací stěrkou.

Toto řešení je náročné na čas potřebný pro provedení i na spotřebu materiálu a jeho cenu (zvláště pokud v nabídce nebylo s vyrovnáním nerovností počítáno).



*Obr. 2.: Detail napojení sádrokartonových desek šroubovaných do sádrokartonového profilu. Při montáži desek může dojít ke zkroucení bočnice sádrokartonového profilu. Výsledkem může být nerovnost v místě napojení desek nebo plošné prohnutí celé konstrukce. V těchto případech pravděpodobně nebude dodržena rovinnost 2mm na 2m.*

## 7. Závěr

Při provádění sádrokartonových konstrukcí je potřeba předem projednat s projektantem i investorem požadavky na výslednou kvalitu dokončených sádrokartonových konstrukcí a projednat podmínky provádění těchto konstrukcí. To znamená, že je potřeba předem ujasnit jaké parametry se budou kontrolovat (celková nebo místní rovinnost, svislost, přímost hran apod.) a podle jakých parametrů se budou posuzovat (zda podle ČSN 73 0205 nebo budou stačit technické listy výrobců).

V případě, že projektant s investorem budou souhlasit se snížením nároků na tolerance povrchu, lze použít standardní třídu Q2 dle technických listů výrobců (Knauf, Rigips), tedy s konečnou rovinností povrchu 7mm/2m, případně počítat s lokálním vyrovnáním sádrokartonových povrchů a dosažením rovinností povrchů 5mm/2m.

V případě, že investor s projektantem bude trvat na parametrech dokončených sádrokartonových povrchů podle ČSN 73 0205, je potřeba počítat s provedením povrchů v třídě Q4 (vyrovnávací stěrka v celé ploše) a tím pádem s větší spotřebou materiálu a delším časovým intervalem potřebným pro vyrovnání nerovností a náklady s vyrovnáním nerovností přenést na investora.

## Literatura

- [1] ČSN 73 0205 - Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti, ČNI 1995,
- [2] ČSN EN 520+A1 - Sádrokartonové desky - Definice, požadavky a zkušební metody, UNMZ 2010,
- [3] ČSN EN 14195 - Kovové konstrukční prvky pro sádrokartonové systémy - Definice, požadavky a zkušební metody, ČNI 2005,
- [4] Systémy suché výstavby – montážní příručka:2010, Knauf Praha s.r.o.

## Kontakt

Ing. Linda Veselá, tel: 00420 224 354 581, e-mail: linda.vesela@fsv.cvut.cz, Katedra technologie staveb, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6.

## TEPELNÉ A VLHKOSTNÍ VLASTNOSTI CIHELNÉHO STŘEPU

## THERMAL AND HYGRIC PROPERTIES OF BRICK BODY

**J. Výborný, M. Jerman, E. Vejmelková, R. Černý**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,  
Katedra materiálového inženýrství a chemie

***Anotace:***

*V článku jsou uvedeny výsledky měření základních fyzikálních parametrů, tepelných a vlhkostních vlastností keramického střepu cihel Family 50 a STI 40 firmy Heluz. Z vlhkostních vlastností byly měřeny sorpční izotermy, difúze vodní páry a součinitel vlhkostní vodivosti, z tepelných vlastností součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita v závislosti na vlhkosti.*

***Annotation:***

*Basic physical parameters and thermal and hygric properties of ceramic body of hollow bricks Family 50 and STI 40 produced by Heluz are presented in the paper. Sorption isotherms, water vapor diffusion properties, and moisture diffusivity are the tested hygric properties. Among the thermal properties, thermal conductivity and specific heat capacity in dependence on moisture content are studied.*

***Klíčová slova:*** Cihelný střep, součinitel tepelné vodivosti, difúze vodních par, součinitel vlhkostní vodivosti

***Keywords:*** Brick body, thermal conductivity, water vapor diffusion, moisture diffusivity

## 1. Úvod

Požadavky na součinitel prostupu tepla u obvodových plášťů budov se neustále zvyšují, od příštího roku bude muset mít každá novostavba energetický štítek, prokazující její energetickou úspornost. Snahou tedy je uspořit co nejvíce energie a z toho důvodu se staly velice oblíbenými kontaktní zateplovací systémy. Díky těmto systémům dochází k výrazným úsporám tepla, na druhou stranu mají i své nevýhody. Jejich životnost se pohybuje kolem 25 let. Potom je nutné konstrukci demontovat a izolační materiál recyklovat, což zatěžuje životní prostředí. Stavba nových domů z tenkých konstrukcí a jejich zateplování je tedy z hlediska životního prostředí poněkud kontroverzní.

Účelnější je najít takový stavební materiál, který by díky jeho vlastnostem nebylo nutné dále zateplovat, a přesto by splnil požadavky normy ČSN 73 0540 na prostup tepla. Takovým materiálem by mohla být cihla, která má dlouholetou tradici a svoji funkci plní po staletí. Cihelný dům vytváří příjemné a zdravé prostředí po celou dobu životnosti stavby.

Hodnota tepelného odporu cihelných prvků je závislá jednak na velikosti cihly, na tvaru a objemu dutin a samozřejmě na vlastnostech cihelného střepu. Cihelný střep by měl mít co nejlepší tepelné vlastnosti, vysokou pórovitost, ale zároveň by si měl uchovat své mechanické vlastnosti, tedy pevnost v tlaku. Vlastnosti cihelného střepu lze ovlivnit zejména lehčivý a ostřivý. Další vliv může mít jeho mineralogické složení a teplota výpalu.

Výzkum vlastností cihelných střepů probíhá paralelně na několika vědeckých pracovištích. Například vědecký tým G. Cultronea se zabýval vlivem mineralogického složení a teploty výpalu keramických cihel. Porovnával dva druhy jílu. Do jednoho byly přidány uhličitany  $\text{CaCO}_3$  a  $\text{CaMgCO}_3$ , druhý jíl byl bez uhličitany. Optimální teplota výpalu cihel z jílu bez uhličitany je  $800^\circ\text{C}$  až  $1000^\circ\text{C}$ , ovšem jíly s uhličitany je vhodné pálit při teplotě  $1100^\circ\text{C}$  [1].

Další možností je přidání popílku. Vlivem popílku z biomasy na tepelně-vlhkostní chování pálené cihly se zabýval vědecký tým L.P. Villareja. Zjistil, že s vyšším objemem popílku stoupá absorpční koeficient, zvyšuje se pórovitost a zároveň klesá pevnost v tlaku. Optimálním množstvím popílku v cihelném střepu je 20% [2].

Tento článek se zaměřuje na výzkum vlastností cihelného střepu cihel Family F50 a STI 40 firmy Heluz. Jako lehčivo v těchto cihlách byly použity piliny a cílem tohoto článku je zjistit základní fyzikální veličiny, vlhkostní a tepelné vlastnosti cihelného střepu.



## 2. Experimentální metody

### 2.1 Základní fyzikální vlastnosti

Základní fyzikální vlastnosti byly získány pomocí metody založení na vakuové saturaci vodou. Vlastní experiment, pomocí kterého byly získány tyto základní veličiny, byl proveden následovně: jednotlivé vzorky byly uloženy v sušárně až do dosažení hmotnosti v suchém stavu  $m_d$  (kg). Vysušené vzorky byly následně umístěny do exsikátoru s destilovanou vodou, kde byly vakuovány po dobu 24 hodin a pak zváženy. Archimédova hmotnost byla stanovena vážením plně nasyceného vzorku pod vodou.

Z naměřených hodnot hmotnosti vzorku při maximální saturaci  $m_w$  (kg), hmotnosti vzorku určené tzv. Archimédovými vahami  $m_a$  (kg) a hustoty vody  $\rho_l$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) byl stanoven objem  $V$  ( $\text{m}^3$ ) vzorku podle rovnice:

$$V = \frac{m_w - m_a}{\rho_l} \quad (1)$$

Na základě určeného objemu bylo možno určit nasycený obsah vlhkosti  $w_{\text{sat}}$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ), objemovou hmotnost  $\rho$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ), hustotu matrice daného materiálu  $\rho_{\text{mat}}$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) a otevřenou pórovitost  $\psi_0$  ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) s použitím následujících vztahů:

$$w_{\text{sat}} = \psi_0 \rho_l = \frac{m_w - m_d}{V} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{m_d}{V} \quad (3)$$

### 2.2 Vlhkostní vlastnosti

#### 2.2.1 Sorpční izotermy

Měření sorpčních izoterm bylo provedeno v laboratorních podmínkách při průměrné teplotě 23 °C. Vzorky byly umístěny v exsikátorech [3], s různými solnými roztoky, nad kterými se vytváří známá konstantní vlhkost vzduchu. Měření bylo provedeno paralelně ve všech exsikátorech vždy pro tři vzorky materiálu. Hmotnost vzorků byla sledována až do ustálení a potom byla vypočtena hodnota hmotnostní vlhkosti ve vzorcích.

### 2.2.2 Difúzní vlastnosti vodní páry

Měření součinitele difúze vodní páry bylo provedeno miskovou metodou bez teplotního spádu. Tato metoda je založena na jednorozměrném šíření vodní páry vzorkem a spočívá v měření difúzního toku vodní páry prošlé vzorkem při znalosti parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu pod a nad měrným povrchem vzorku [4]. Vzorek je vzduchotěsně upevněn v misce naplněné roztokem o známé hodnotě relativní vlhkosti. Miska se vzorkem se periodicky váží a zjištěné úbytky či přírůstky hmotnosti se vynesou v závislosti na době vážení do grafu. Po dosažení přímkového charakteru křivky se měření pokládá za ukončené.

Součinitel difúzní propustnosti vodní páry  $\delta$  (s) se vyhodnocuje podle vztahu

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p} \quad (4)$$

kde  $\Delta m$  je množství páry difundující vzorkem (kg),  $d$  je tloušťka vzorku (m),  $S$  je plocha vzorku ve styku s daným prostředím ( $m^2$ ),  $\tau$  je časové období korespondující s transportem hmotnosti vodní páry  $\Delta m$  (s) a  $\Delta p_p$  je rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod měrným povrchem vzorku (Pa).

Za izotermních podmínek platí následující vztah mezi součinitelem difúze vodní páry  $D$  a součinitelem difúzní propustnosti  $\delta$ :

$$D = \delta RT/M \quad (m^2 s^{-1}), \quad (5)$$

kde  $R$  je univerzální plynová konstanta,  $T$  je absolutní teplota a  $M$  je molární hmotnost vody.

Ve stavební praxi se nejčastěji používá faktor difúzního odporu vodní páry

$$\mu = D_a / D \quad (-), \quad (6)$$

kde  $D_a$  je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu ( $m^2 s^{-1}$ ).

### 2.2.3 Součinitel vlhkostní vodivosti

Součinitel vlhkostní vodivosti  $\kappa$  je transportní parametr, charakterizující přenos kapalné vlhkosti u, v porézní látce. Jednorozměrnou difúzní rovnicí pro přenos kapalné vlhkosti je možno napsat ve tvaru

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \kappa(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (7)$$

$$u = \frac{m_v - m_s}{m_s} \quad (8)$$

kde  $m_v$  je hmotnost vlhkého a  $m_s$  je hmotnost suchého porézního vzorku.

Všechny přímé metody určování součinitele vlhkostní vodivosti, a to jak stacionární tak i nestacionární, využívají jednorozměrné difúzní rovnice. Obě skupiny metod vycházejí ze stejného experimentu. Je nutné změřit vlhkostní profily, tedy rozložení vlhkosti  $u(x,t)$  po celé délce vzorku v daných časech [5].

### 2.3 Tepelné vlastnosti

Tepelné vlastnosti byly měřeny přístrojem Isomet. Měření je založené na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na impulsy tepelného toku do analyzovaného materiálu. Tepelný tok se vytváří rozptýleným elektrickým výkonem v rezistoru sondy, která je tepelně vodivě spojená s analyzovaným materiálem. Teplota je vzorkována a jako funkce času přímo vyhodnocena pomocí polynomiální regrese. Koeficienty získané touto regresí jsou použity k výpočtu měřených veličin.

Zkušební vzorky byly vyříznuty z lícních čel cihly. Tyto vzorky však byly příliš tenké, a tedy nevhodné pro měření. Z toho důvodu byly jednotlivé plátky spojeny k sobě pomocí vodícího ultrazvukového gelu. Tím byly eliminovány vzduchové mezery mezi jednotlivými plátky.

## 3. Experimentální výsledky

### 3.1 Základní fyzikální vlastnosti

Tabulka 1. Základní fyzikální parametry

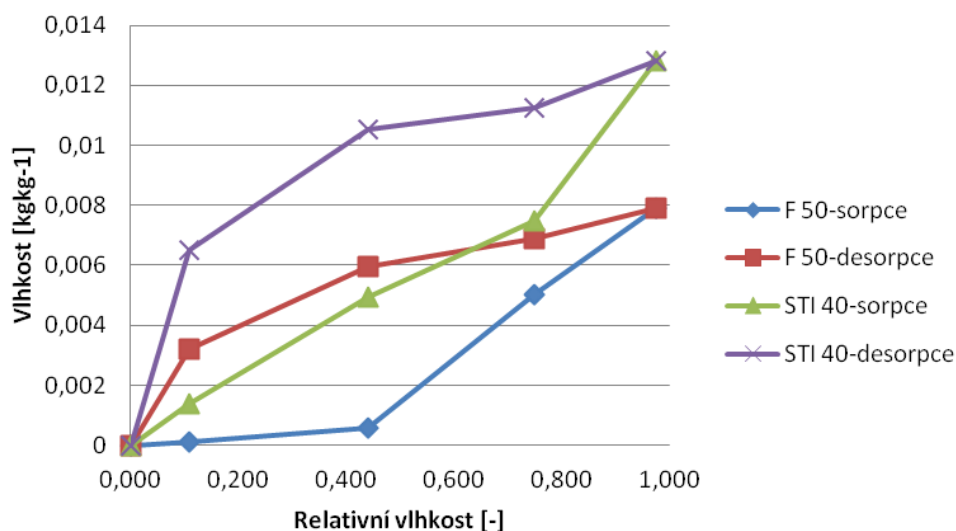
materiál	$\rho$	$\rho_{mat}$	$\psi$
	[kg m <sup>-3</sup> ]	[kg m <sup>-3</sup> ]	[%]
F50	1376	2666	48,4
STI - 40	1514	2634	43,0

V tabulce č. 1 jsou uvedeny základní fyzikální parametry střepu cihly F 50 a STI 40. Tyto parametry byly určeny měřením ze 6 vzorků, v tabulkách jsou uvedeny průměrné hodnoty.

### 3.2 Vlhkostní vlastnosti

#### 3.2.1 Sorpční izotermy

Sorpční a desorpční izotermy pro oba cihelné střepy jsou uvedeny na obr. č. 1.



Obr. 1.: Sorpční a desorpční izotermy

#### 3.2.2 Difúzní vlastnosti vodní páry

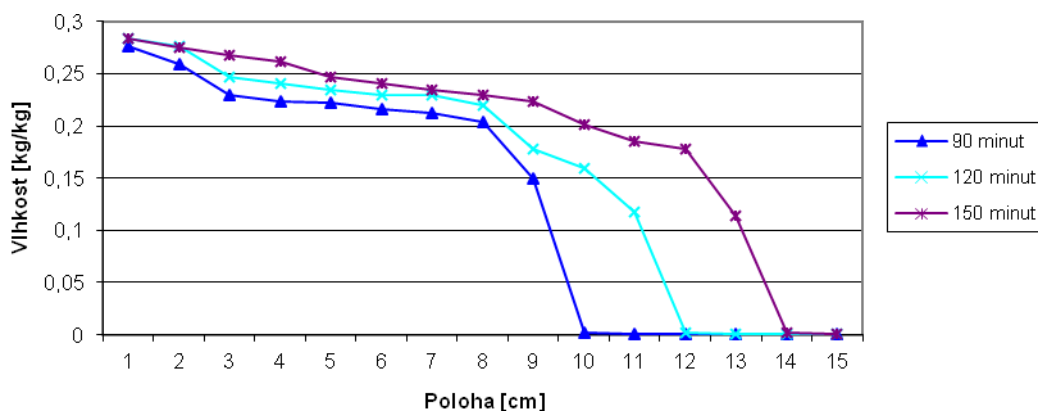
Tabulka 2. Difúzní vlastnosti vodní páry cihelných střepů

materiál	5/50%			97/50%		
	$\delta$	$D$	$\mu$	$\delta$	$D$	$\mu$
	[s]	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	[-]	[s]	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	[-]
<b>F50</b>	1,25E-11	1,72E-06	13,38	2,20E-11	3,02E-06	8,10
<b>STI - 40</b>	5,36E-12	7,36E-07	31,27	8,69E-12	1,19E-06	19,62

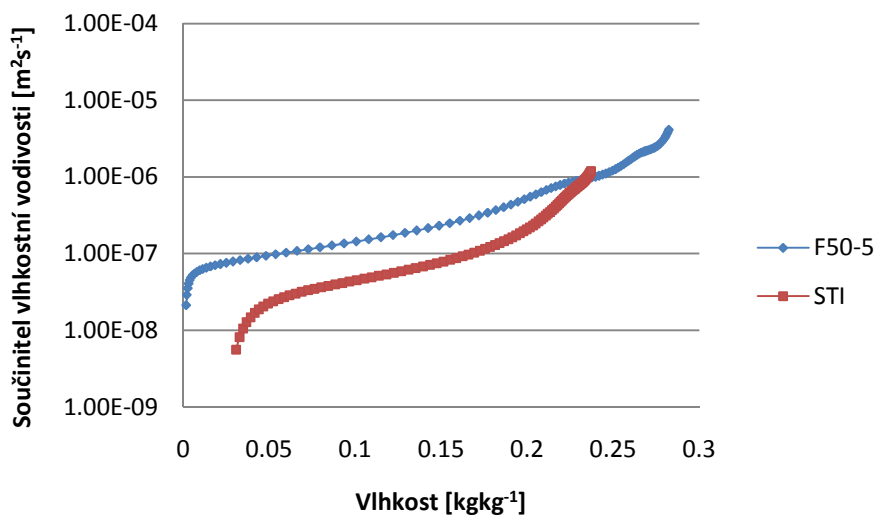
Difúzní vlastnosti vodní páry studovaných materiálů v prostředí 5/50 % a 97/50 % relativní vlhkosti jsou uvedeny v tabulce 2. Hodnoty faktoru difúzního odporu vodní páry jsou vyšší u materiálu STI 40.

### 3.2.3 Součinitel vlhkostní vodivosti

Na obrázku 2 jsou vyneseny vlhkostní profily v čase pro cihelný střepek F50. Z vlhkostních profilů se pomocí Boltzmanovy transformace vypočítal součinitel vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti.



Obr. 2.: Vlhkostní profily cihly F 50



Obr. 3.: Součinitel vlhkostní vodivosti cihelných střepek

Součinitel vlhkostní vodivosti byl měřen na třech vzorcích pro každý typ cihelného střepe F 50 a STI 40. Z obrázku 3 je patrné, že kapalnou vodu lépe vede cihla F 50, ale rozdíl není příliš velký.

### 3.3 Tepelné vlastnosti

V tabulkách 3 a 4 jsou uvedeny tepelné vlastnosti cihelného střepe v závislosti na vlhkosti měřené na plátcích slepených ultrazvukovým gelem.

*Tabulka 3. Tepelné vlastnosti střepe cihly Family*

F50	u [kgkg <sup>-1</sup> ]	λ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	c [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	a [10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
0	0.00	0.300	1038	0.209
1	0.08	0.437	1085	0.327
2	0.09	0.567	1104	0.372
3	0.21	0.747	1108	0.482
4	0.26	0.879	1159	0.545
5	0.33	1.030	1504	0.494
max	0.35	1.057	1523	0.500

*Tabulka 4. Tepelné vlastnosti střepe cihly STI*

STI40	u [kgkg <sup>-1</sup> ]	λ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	c [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	a [10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
0	0.00	0.353	949	0.248
1	0.03	0.458	981	0.312
2	0.05	0.508	993	0.340
3	0.14	0.712	1046	0.452
4	0.18	0.789	1044	0.5043
max	0.24	0.962	1337	0.487

Z tabulek 3 a 4 je zřejmé, že lepší tepelné vlastnosti v nižších vlhkostech má cihla Family, ve vyšších vlhkostech naopak cihla STI 40, což je způsobeno její nižší pórovitostí.

## 4 Závěr

Výsledky uvedené v tomto článku mohou pomoci při řešení vhodného složení vstupních surovin pro cihelné výrobky. Jako lehčivo u výše uvedených cihel byly použité piliny, ale je možné použít i jiné suroviny, např. slámu. Vlastnosti cihelných střepeů vyrobených z jiných surovin se pak mohou porovnat s vlastnostmi zde uvedenými a zjistit tak jejich efektivitu v cihelném střepeu.

## Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu MPO ČR č. FR-TI2/007 „Vývoj nové generace cihelných prvků jednovrstvého zdiva“.

## Literatura

- [1] CULTRONE, G.; SEBASTIÁN, E.; ELERT, K.; TORRE, M.; CAZALLA, O.; RODRIGUEY-NAVARRO, C.: Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. In Journal of the European Ceramic Society 24 (2004) p. 547-564.
- [2] PÉREZ-VILLAREJO, L., ET AL., Recycling of ash from biomass incinerator in clay matrix to produce ceramic bricks, Journal of Environmental Management (2010), doi: 10.1016/j.jenvman.2010.10.022
- [3] ROELS, S. et.al. : Interlaboratory Comparison of Hygric Properties of Porous Building Materials. Journal of Thermal Envelope and Building Science, Vol. 27, 2004, 307-325.
- [4] EN ISO 12572, Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of Water vapour transmission properties, European standard, CEN, 2001.
- [5] DRCHALOVÁ, J., ČERNÝ, R.: Measuring Moisture Profiles in AAC during Water Suction Experiment by Capacitance Technique and Determination of Moisture Diffusivity. Proceedings of CIB W40 Meeting, CIB, Wellington, p. 51-57, 2001.

## Kontakt

Doc. Ing. Jaroslav Výborný, CSc., tel: 00420 224 354 447, e-mail: vyborny@fsv.cvut.cz, Katedra materiálového inženýrství a chemie, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Ing. Miloš Jerman, Ph.D., tel: 00420 224 355 436, e-mail: milos.jerman@fsv.cvut.cz, Katedra materiálového inženýrství a chemie, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Ing. Eva Vejmelková, Ph.D., tel: 00420 224 354 694, e-mail: eva.vejmelkova@fsv.cvut.cz, Katedra materiálového inženýrství a chemie, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Prof. Ing. Robert Černý, DrSc., tel: 00420 224 355 044, e-mail: cernyr@fsv.cvut.cz, Katedra materiálového inženýrství a chemie, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.



**PROGRAMY ZKOUŠENÍ ZPŮSOBILOSTI  
POSKYTOVANÉ ÚSZK FAST VUT  
PRO ROZVOJ ZKUŠEBNÍCH LABORATOŘÍ**

**PROFICIENCY TESTING SCHEMES PROVIDED  
BY THE DEPARTEMENT  
OF THE BUILDING TESTING FCE BUT**

**Tomáš Vymazal, Petr Misák,  
Barbara Kucharczyková, Petr Daněk**

Ústav stavebního zkušebnictví FAST VUT

***Anotace:***

*Příspěvek se zabývá systémem služeb, které ÚSZK FAST VUT v Brně nabízí zkušebním laboratořím a jejím pracovníkům pro zajištění a zvyšování kvality poskytovaných služeb. V roce 2010 vyšla norma ČSN EN ISO/IEC 17043, na základě které je možno akreditovat poskytování programů zkoušení způsobilosti u národního akreditačního orgánu ČR, kterým je ČIA, o.p.s. Příspěvek rovněž popisuje související oblasti poskytovaných služeb, jejich systém a některé úvahy o současném trhu v ČR.*

***Annotation:***

*The paper deals with proficiency testing schemes provided by the Departement of the building testing, Faculty of civil engineering, Brno University of technology. ISO/IEC 17043 proficiency testing provider accreditation by ČIA, o. p. s. is discussed.*

***Klíčová slova:*** Zkoušení způsobilosti, mezilaboratorní porovnání, akreditace, certifikace.

***Keywords:*** Proficiency testing, Interlaboratory comparisons, accreditation, certification

## 1. K čemu je mezilaboratorní porovnávání?

Mezilaboratorní porovnávání se používá zejména k:

- vyhodnocení výkonnosti laboratoří u specifických zkoušek nebo měření a průběžné sledování výkonnosti,
- identifikaci problémů v laboratořích a iniciace činností směřujících k jejich nápravě, které se mohou týkat nevhodných postupů zkoušek nebo měření,
- poskytnutí další úrovně důvěryhodnosti laboratoře pro její zákazníky,
- identifikaci rozdílů mezi laboratořemi,
- validaci deklarovaného odhadu nejistoty.

## 2. Krátce z historie ÚSZK FAST VUT

První mezilaboratorní porovnávací zkoušky (MPZ) byly na ÚSZK FAST VUT v Brně organizovány v roce 2009. Vzhledem k pilotnímu ověřovacímu programu byly vybrány nejběžnější zkoušky ztvrdlých betonů a kameniv. V roce 2010 to již byl bohatší program nabízející zkoušky v oblasti čerstvých a ztvrdlých betonů, kameniv a laboratorních zkoušek zemin. Toto rozšíření služeb si vyžádalo zapojení dalších ústavů FAST VUT v Brně, konkrétně Ústavu chemie, Ústavu geotechniky, Ústavu technologie stavebních hmot a dílců a zapojení firmy BETOTECH, s.r.o. - dodavatele pro oblast přípravy zkušebních vzorků, který je schopen ve spolupráci s ÚSZK FAST VUT v Brně zajistit zkušební vzorky pro oblast zkoušení čerstvých a ztvrdlých betonů.

V roce 2011 po velmi dobrém ohlasu jak ze strany účastníků MPZ, tak ze strany ČIA, o.p.s. byly již programy zveřejňovány nejen na internetových stránkách ÚSZK FAST VUT v Brně, ale i na stránkách ČIA, o.p.s.

## 3. Norma ČSN EN ISO/IEC 17043 a MPA 20–01-11

V roce 2010 vyšla norma ČSN EN ISO/IEC 1743 [3] a společně s MPA 20–01-11 [6] nahradila dosavadní MPA 30–01-04, a k 1. 1. 2011 ČIA, o.p.s. přestal poskytovat službu „Jmenování pilotním pracovištěm“. Došlo tedy k tomu, že v současné době neexistuje v České Republice oficiální organizátor programů zkoušení způsobilosti pro oblast stavebnictví, neboť jsou zrušena tzv. „pilotní pracoviště“ a akreditaci pro oblast stavebnictví nikdo doposud nemá. Tato norma je rovněž jakýmsi standardem, který v mnohých věcech doplňuje [1][2][4] a [5].

Nabízí se otázka: „proč?“. Odpověď je poměrně jednoduchá – jednak se cena akreditace organizátora zkoušení způsobilosti pohybuje poměrně vysoko a

bude ji nutno přenést na jednotlivé účastníky MPZ formou zvýšení úhrady za účast v programech MPZ a potom v [6] v Příloze C je uvedena věta: „Akreditované laboratoře by měly dle MPA 30-03-.. využívat přednostně účast v programech, které organizují poskytovatelé programů zkoušení způsobilosti akreditovaní podle této normy“. Znamená to tedy, že v případě akreditace jednoho organizátora zkoušení způsobilosti v ČR budou zkušební laboratoře po uplynutí jakéhosi přechodného období vedeny ze strany ČIA, o.p.s. k tomu, aby se zúčastňovali programů zkoušení způsobilosti právě u tohoto akreditovaného organizátora, což při počtu cca stovky zkušebních laboratoří v ČR pro oblast stavebnictví znamená poměrně velký nápor nejen na administraci, ale zejména na přípravu dostatečně homogenních zkušebních vzorků v požadovaném počtu. Např. pro zkoušky betonů to může být velmi komplikované a ze strany účastníků, kteří v programu zkoušení způsobilosti nevyhoví, může docházet k napadení objektivity zkoušek způsobilosti právě z důvodu nehomogenních vzorků.

#### 4. Zprávy o výsledcích programů MPZ

Výsledky zkoušek jednotlivých účastníků programu MPZ jsou vzájemně porovnány metodou statistické analýzy experimentu shodnosti podle ČSN ISO 5725-2 [2] a nově podle ČSN EN ISO/IEC 17043 [3]. Výsledkem řešení MPZ je zpráva, která shrnuje výsledky experimentu shodnosti, včetně statistického vyhodnocení. Zpráva má následující strukturu:

- Popis programu MPZ a jeho účastníci
- Postupy statistické analýzy experimentu shodnosti
  - Numerický postup zjišťování odlehlých hodnot
    - Cochranův test
    - Grubbsův test – jedno odlehlé pozorování
  - Mandelovy statistiky
    - Mezilaboratorní statistika konzistence h
    - Vnitrolaboratorní statistika konzistence k
  - Výpočet odhadů rozptylů
    - Rozptyl opakovatelnosti
    - Mezilaboratorní rozptyl
    - Rozptyl reprodukovatelnosti
  - Opakovatelnost a reprodukovatelnost
  - Výpočet statistik výkonnosti
    - Z-score
    - $\zeta$ -score (zeta-score)
- Závěry statistické analýzy
- Použité normy a dokumenty

## 5. Programy zkoušení způsobilosti a jejich hodnocení

Aniž by to bylo na počátku organizování programů zkoušení způsobilosti primárním záměrem, byla a je všem účastníkům MPZ nabídnuta možnost konzultace výsledků MPZ nejen s organizátorem, ale i s dalšími účastníky MPZ formou brainstormingu na vzdělávacích kurzech pořádaných v rámci programů celoživotního vzdělávání, a tím je naplněn požadavek kapitoly 4.4.1.5 i) uvedeného v [3].

V rámci vzdělávacího kurzu je organizátorem vždy podrobně vysvětlen postup statistické analýzy programu MPZ, jsou podrobně rozebrány jednotlivé závěry statistické analýzy a všem účastníkům je dána možnost diskuze nad výsledky.

## 6. Závěr

Programy zkoušení způsobilosti organizované ÚSZK FAST VUT v Brně letos probíhají již třetí rok. Vzhledem k zaměření vzdělávací činnosti ÚSZK FAST VUT v Brně jsou programy zkoušení způsobilosti zaměřeny do oblastí zkoušení čerstvých a ztvrdlých betonů, čerstvých a zatvrdlých malt, cementů, kameniv a zemin.

Podle zpětné vazby od účastníků lze konstatovat nejen velmi vysokou odbornou a formální úroveň zpráv z programů zkoušení způsobilosti, ale i velmi dobrou organizaci.

Bohužel je třeba konstatovat, že [3] a [6] zřejmě stejně jako všechny „systémové“ normy, kladou ve svých požadavcích důraz na dokumentování všech možných požadavků na organizátora, programy a případné dodavatele služeb, avšak ani tato norma není schopna podchytit občas se objevující neetické chování účastníků MPZ, kteří se z obavy z neshodného výsledku přímo informují o výsledcích u ostatních účastníků a své výsledky zkreslují nebo se analýzy neprovádějí na těch pracovištích, která zkušební laboratoř nahlásila do programu zkoušení způsobilosti. Jedna věc je tedy „dokumentovaná“ způsobilost a druhá věc je vypovídací schopnost těch programů zkoušení způsobilosti, ve kterých se účastníci nechovají eticky.

## Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru č.: MSM 0021630511 s názvem: „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.

## **Literatura**

- [1] ČSN ISO 5725-1: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 1: Obecné zásady a definice, ČNI 1997.
- [2] ČSN ISO 5725-2: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 1: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření, ČNI 1997.
- [3] ČSN EN ISO/IEC 17043: Posuzování shody - Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti, ČNI 2010.
- [4] ČSN ISO 3534-1: Statistika. Slovník a značky – Část 1: Pravděpodobnost a obecné statistické termíny, ČNI 1994.
- [5] EA 4/02: Vyjadřování nejistot měření při kalibracích, 2000.
- [6] MPA 20 – 01 – 11 k aplikaci ČSN EN ISO/IEC 17043 Posuzování shody – Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti v akreditačním systému České republiky

## **Kontakt**

Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D., tel: 00420 541 147 818, e-mail: vymazal.t@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

**KOMBINOVANÉ MAKROSKOPICKÉ  
A MIKROSKOPICKÉ CHARAKTERIZACE  
CEMENTOVÝCH PAST**

**COMBINED MACROSCOPIC AND MICROSCOPIC  
CHARACTERIZATION OF CEMENT PASTE**

**Jaromír Wasserbauer, Bernhard Pichler, Martin Zmrzlý**

VUT v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů  
TU Wien, Faculty of Civil Engineering,  
Institute for Mechanics of Materials and Structures

***Anotace:***

*Tato studie představuje širokou škálu možností přístupu k pevnosti cementové pasty, která je pojivem pro všechny cementové materiály. Pro předpověď makroskopické pevnosti cementových materiálů ze znalostí o jejich složení a na míře hydratace, je slibné začít s experimentální technikou charakterizace na nejlepší možné úrovni (nanometrová škála), a postupně přes střední mikro- a mezo-úroveň až po makroskopické pevnosti materiálu.*

***Annotation:***

*This study represents a multi-scale approach to strength of cement paste, which is the binder for all cementitious materials. For predict macroscopic material strength of cementitious materials from knowledge on their composition and on their degree of hydration. Is promising start with experimental characterization techniques at the finest possible scales (nanometer scales), and to progressively upscale (homogenize) strength via intermediate micro- and meso-scales up to the macroscopic material scale.*

***Klíčová slova:*** Cementová pasta, hydratace, kalorimetrie, ultrazvukové testy, jednoosá pevnost v tlaku, nanoindentační testy.

***Keywords:*** Cement paste, hydration, calorimetry, ultrasonics, uniaxial compression, nanoindentation testing.

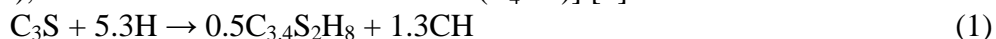
## 1. Introduction

This study represents a multi-scale approach to strength of cement paste, which is the binder for all cementitious materials, including mortar, concrete, high-performance concrete, sprayed concrete, jet grouted soil, etc.

Nowadays, working groups both of engineering mechanics and of material science aim at developing scientific models that are capable to predict macroscopic material strength of cementitious materials from knowledge on their composition and on their degree of hydration. In this context, it appears to be promising to start with experimental characterization techniques at the finest possible scales (which are nowadays nanometer scales), and to progressively upscale (homogenize) strength via intermediate micro- and meso-scales up to the macroscopic material scale.

## 2. Hydration process

The chemical reactions taking place during the hydration process are described by the stoichiometric reactions of the four main phases of Portland cement: Tricalciumsilicate ( $C_3S$ ), Dicalciumsilicate ( $C_2S$ ), Tricalciumaluminat ( $C_3A$ ), and Tetracalciumaluminatferrite ( $C_4AF$ ) [1]:



(where  $C=CaO$ ,  $S=SiO_2$ ,  $A=Al_2O_3$ ,  $F=Fe_2O_3$ ,  $\hat{S}=SO_3$  and  $H=H_2O$ )

## 3. Raw materials: Portland cement – CEM I 52.5 R and CEM I 42.5 N

Two sets of specimens were prepared (notation according to EN 197-1) – CEM I 52.5 R and CEM I 42.5 N – cylindrical specimens were produced with a diameter ranging from 28.28 to 29.57 mm, a height ranging from 55.64 to 66.45 mm and with water-to-cement mass ratio  $w/c = 0.42$ .



## 4. Experimental results

### 4.1. Calorimetry testing

A heat-flux differential calorimeter Toni Cal 7338 was used for the calorimetry experiments. The evaluation was performed according to the literature [2, 3].

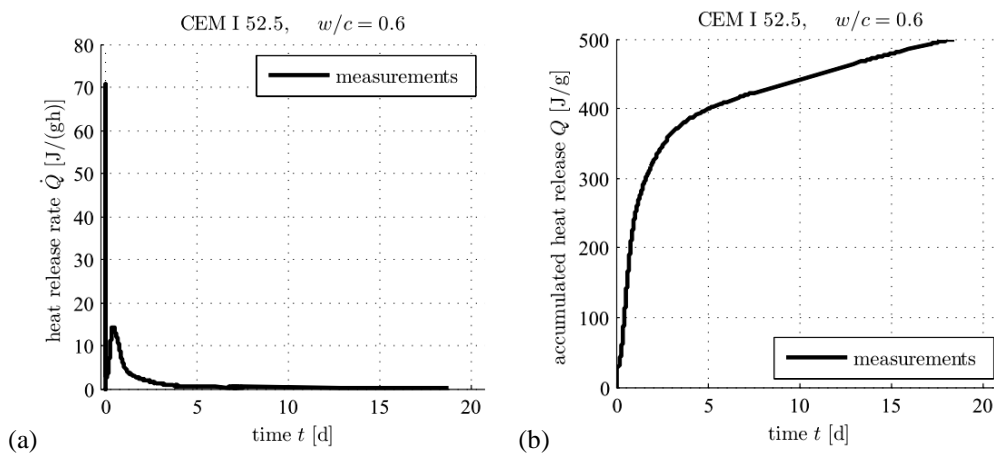


Figure 1: (a) Heat release rate  $\dot{Q}$  [J/(gh)] for 19 days; (b) Accumulated heat release  $Q$  [J/g] for 19 days – CEM I 52.5 R

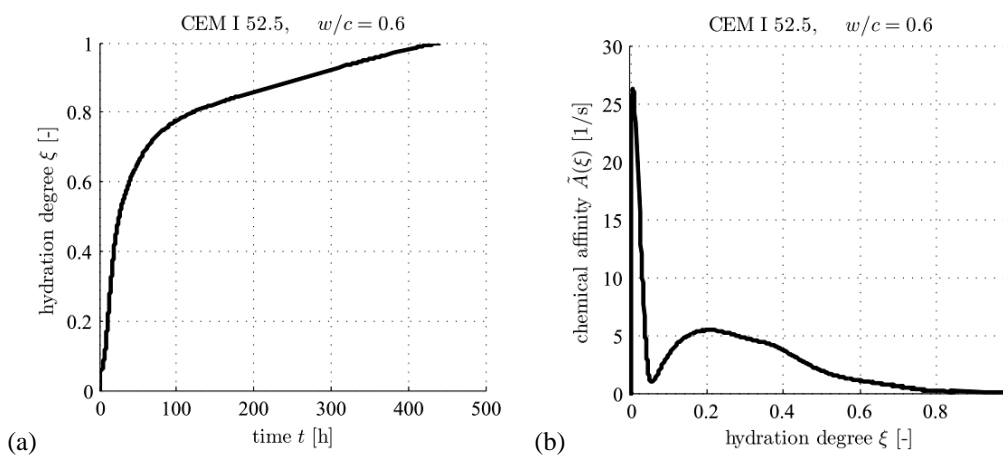


Figure 2: (a) Hydration degree  $\xi$  [-] for 19 days; (b) Dependence of chemical affinity on the hydration degree – CEM I 52.5 R

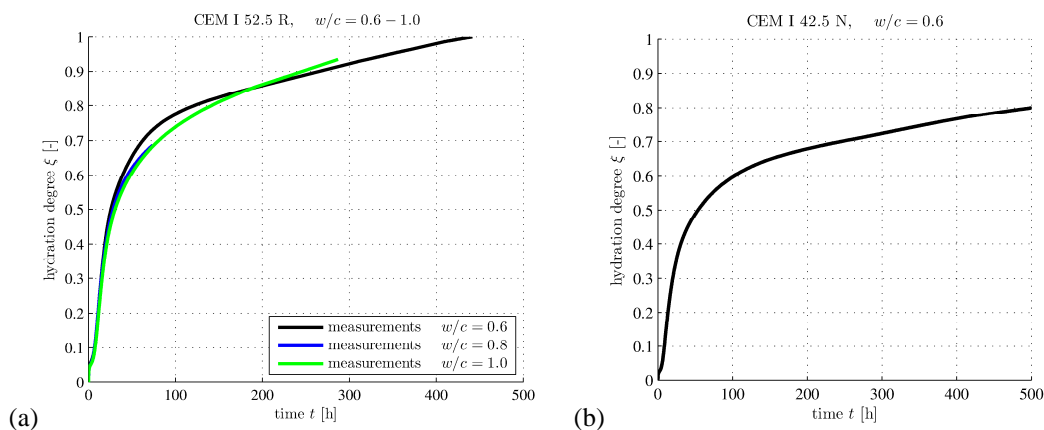


Figure 3: (a) Hydration degree  $\xi$  [–] for samples with an initial  $w/c = 0.6, 0.8$  and  $1.0$  – CEM I 52.5 R; (b) Hydration degree  $\xi$  [–] for 500 hours for CEM I 42.5 N

We were able to compute (a posteriori) an effective water-to-cement mass ratio for the cement paste at the bottom of the test tube (Fig. 3a):

- In the test performed with an initial  $w/c = 0.6$ , apparently all water was involved into the chemical reaction, i.e. the effective water-to-cement mass ratio amounted to 0.6.
- For the test performed with an initial  $w/c = 0.8$ , were calculated an effective water-to-cement mass ratio amounting to 0.61.
- For the test performed with an initial  $w/c = 1.0$ , were calculated an effective water-to-cement mass ratio amounting to 0.56.

As expected, the CEM I 42.5 N cured at a significantly smaller speed as the CEM I 52.5 R, i.e. the CEM I 42.5 N reached hydration degrees amounting to 20 %, 40 %, 60 %, and 80 %, respectively, 13h 34min, 1d 06h 42min, 4d 06h 00min, and 20d 20h 00min after production, see Fig. 3b.

## 4.2. Ultrasonics testing

To measure ultrasonic wave speeds through cement samples we used the ultrasonic measurement system: LeCroy WaveRunner 62Xi, Pulsar-receiver Panametrics-NDT 5077 PR, Ultrasonic transducer and receivers Panametrics-NDT, honey and a plastic film. The ultrasonic transducer (emitter) and receiver (detector) were coated with honey and covered with a plastic film. Honey has been used to ensure optimal contact between the transducers and the samples. The plastic film was used to avoid direct contact of the honey with the samples.

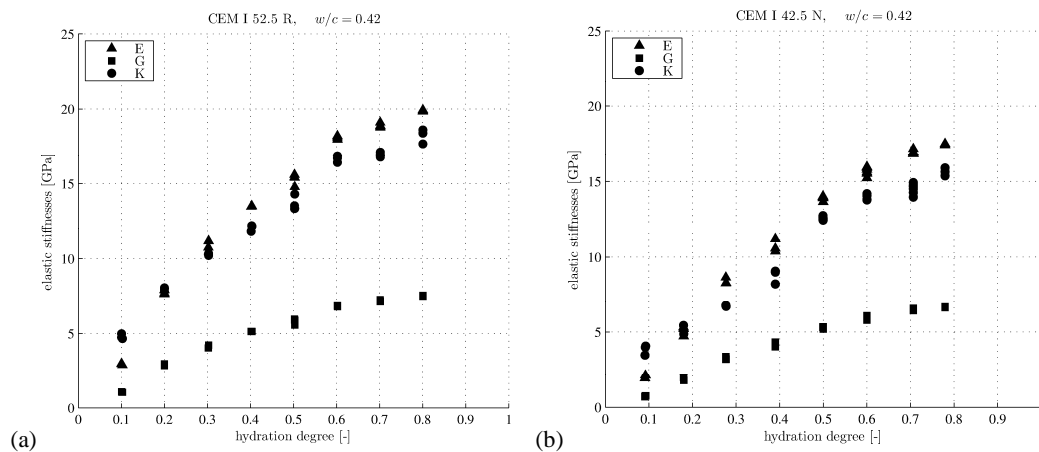


Figure 4: Elastic stiffnesses (Young's modulus  $E$ , shear modulus  $G$  and bulk modulus  $K$ ) (a) for CEM I 52.5 R and (b) for CEM I 42.5 N

Extrapolating – by hand – the trend of the Young's modulus evolution obtained for hydration degrees between 10 and 50 % such that the expected final Young's modulus amounting to 25 GPa is reached at completed hydration ( $\xi = 100\%$ ), we identify that the ultrasonics-based results are consistent with theoretical expectations up to hydration degrees of approximately 50 %, but that the ultrasonics-based results start to be too small for larger hydration degrees. This is an indicator, that evaporation protection is not the only problem which is significant during curing of the samples, but that leaching effects took place. The solution which was used to store the samples, was not lime saturated resulting in lime leaching, and this effect becomes more and more prominent the larger the hydration degree.

### 4.3. Uniaxial compression testing

To measure hardened cement paste samples, we used the universal testing machine: Walter & Bai LFM 150.

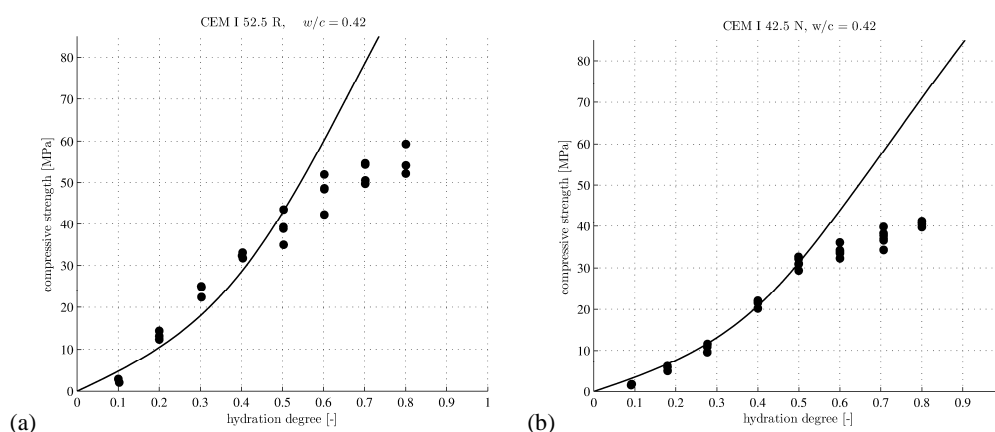


Figure 5: Compressive strength (a) for CEM I 52.5 R and (b) for CEM I 42.5 N

For cement CEM I 42.5 N we conclude that the tests carried out at hydration degrees smaller or equal than approximately 50 % are not affected by lime leaching. These tests were used to back-analyze – based on the micromechanics model of [4] – the microscopic deviatoric hydrate strength of the hydration products. The adjusted model prediction agrees very well with the measurements, i.e. the quadratic correlation coefficient amounts to very satisfactory 99.35 %. The corresponding deviatoric hydrate strength was identified as

$$\sigma_{hyd,crit}^{dev} = 67.73 \text{ MPa} \quad (7)$$

For cement CEM I 52.5 R the correlation between the adjusted model prediction and the measurements is quantified by the quadratic correlation coefficient which amounts to 91.49 %. The corresponding deviatoric hydrate strength was identified as

$$\sigma_{hyd,crit}^{dev} = 92.51 \text{ MPa} \quad (8)$$

#### 4.4. Nanoindentation testing

The standard way of extracting mechanical properties is based on a continuum scale mechanical model which delivers two quantities: indentation hardness  $H$  and indentation (reduced) modulus  $M$

$$H \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P_{\max}}{A_c}, \quad (9)$$

$$M \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{S}{\sqrt{A_c}}. \quad (10)$$

Except for the projected area of contact  $A_c$ , all quantities required to determine  $H$  and  $M$  are directly obtained from the  $P-h$  curves: the maximum applied force  $P_{\max}$ .

In the isotropic case,  $M$  reduces to the plane-stress elastic modulus,

$$M = \frac{E}{1-\nu^2} = 4G \frac{3K+G}{3K+4G}, \quad (11)$$

where  $E$  is the Young's modulus,  $\nu$  the Poisson's ratio;  $G$  is the shear modulus and  $K$  the bulk modulus of the indented isotropic material.

Evaluation of next histogram followed the standard procedure described in [5, 6, 7], i.e. the histogram is explained as the superposition of four Gaussian distributions, with different mean values, different standard deviations, and different scalar multiplication factors. The four statistical distributions refer to a weak phase influenced by nanodefects (P), low density C-S-H (LD), high density C-S-H (HD), and Portlandite (CH).

#### Analysis of all indentation tests – CEM I 52.5 R

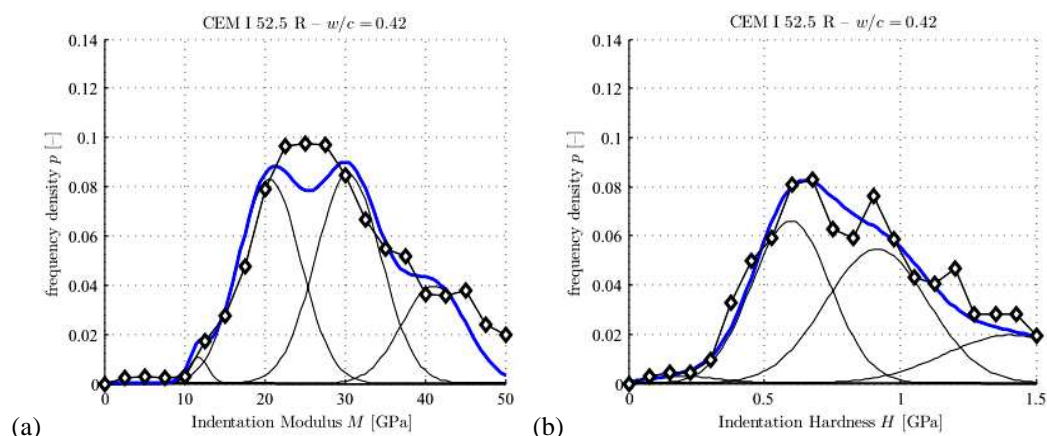


Figure 6: Indentation modulus  $M$  (a) and indentation hardness  $H$  (b) for CEM I 52.5 R – all data (1069) – constraint optimization

Table 1: Indentation modulus  $M$ , indentation hardness  $H$  and phase volume fractions  $f$  for CEM I 52.5 R.

<b>M (all indentation tests)</b>		<b>H (all indentation tests)</b>		
P:	11.725 +/- 1.170	P:	0.20825 +/- 0.1348	$f = 0.0152$
LD:	20.606 +/- 3.879	LD:	0.59766 +/- 0.1448	$f = 0.3830$
HD:	30.430 +/- 4.070	HD:	0.91422 +/- 0.1890	$f = 0.4120$
CH:	41.103 +/- 4.030	CH:	1.40600 +/- 0.2415	$f = 0.1900$

### Analysis of all indentation tests – CEM I 42.5 N

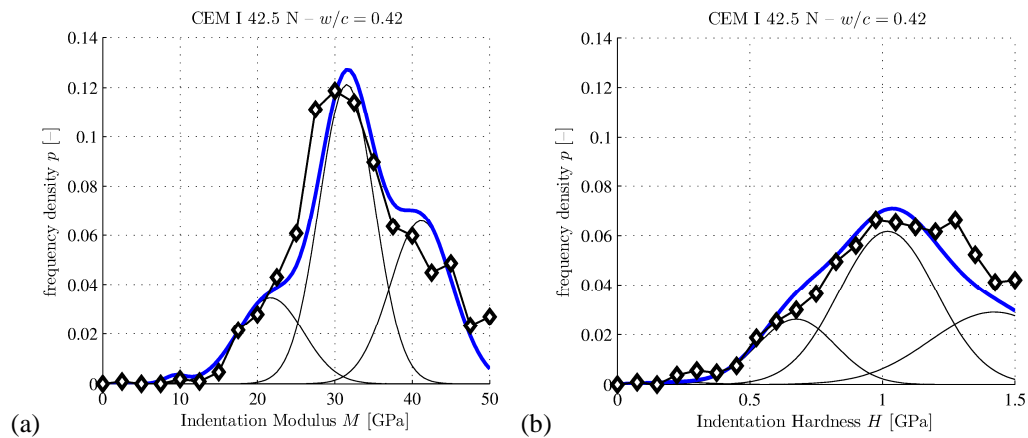
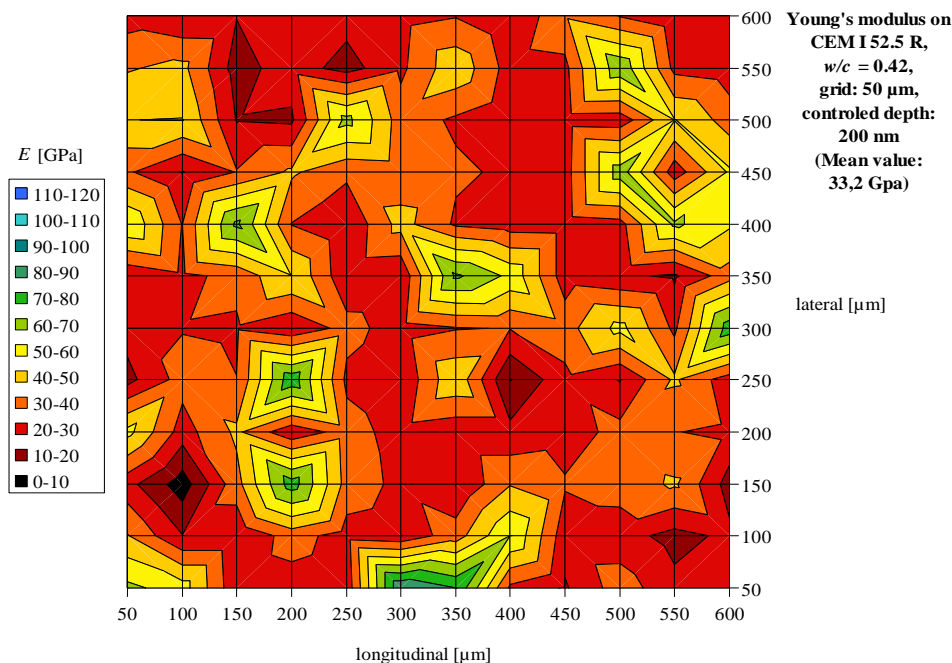


Figure 7: Indentation modulus  $M$  (a) and indentation hardness  $H$  (b) for CEM I 42.5 N – all data (1070) – constraint optimization

Table 2: Indentation modulus  $M$ , indentation hardness  $H$  and phase volume fractions  $f$  for CEM I 42.5 N.

<b>M (all indentation tests)</b>		<b>H (all indentation tests)</b>		
P:	9.396 +/- 1.422	P:	0.22259 +/- 0.1371	$f = 0.0052$
LD:	21.700 +/- 4.190	LD:	0.67500 +/- 0.1470	$f = 0.1720$
HD:	31.553 +/- 3.548	HD:	1.02030 +/- 0.1834	$f = 0.5080$
CH:	41.179 +/- 4.030	CH:	1.42140 +/- 0.2415	$f = 0.3140$



*Figure 8: Young's modulus for CEM I 52.5 R – controlled depth (200 nm); grid space (50  $\mu\text{m}$ ) – 2D graphic*

## 5. Conclusion

Calorimeter testing and ultrasonics experiments are necessary pre-requisites for this study, and they allow for an independent check of the quality of production of the involved test specimens.

Nanoindentation experiments performed on the basis of a grid indentation technique and evaluated in the well-accepted framework of statistical deconvolution [5, 6, 7] provides access to hardness values of different hydration products, representing microstructural components of the micro-heterogeneous material cement paste.

Macroscopic uniaxial compressive strength tests, carried out on stoichiometric cement pastes of defined maturities, in turn, provide access – via back-analysis based on a recently validated continuum micromechanics model [4] – to a related deviatoric strength value of hydrates. Finally, consistent results for strength over several orders of magnitude were obtained. Deepening our insight related to the question how strength of cementitious materials scales up from the smallest scales of observation to the macrostructural scales of the daily engineering construction business.

In the future will be to identify models for converting nano(micro)-strength values at the macro-strength values.

## References

- [1] TENNIS, P.D., JENNINGS, M.: A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes. *Cement and Concrete Research* 30 (2000) 855–863
- [2] BYFORS, J.: Plain concrete at early ages. Technical report, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, Sweden (1980)
- [3] HELLMICH, CH.: Shotcrete as Part of the New Austrian Tunneling Method: From Thermochemomechanical Material Modeling to Structural Analysis and Safety Assessment of Tunnels. Institute for Strength of Materials, Vienna University of Technology, Vienna, Austria (1999)
- [4] PICHLER, B., HELLMICH, CH.: Upscaling quasi-brittle strength of cement paste and mortar: A multi-scale engineering mechanics model. *Cement and Concrete Research* 41 (2011) 467–476
- [5] NĚMEČEK, J.: Nanoindentation of Heterogeneous Structural Materials. Habilitation thesis, Prague, Czech Republic (2009)
- [6] CONSTANTINIDES, G., ULM, F.-J.: The nanogranular nature of C–S–H. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA (2007)
- [7] CONSTANTINIDES, G., ULM, F.-J., VLIET, K. V.: On the use of nanoindentation for cementitious materials. *Materials and Structures*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA (2003) 191–196

## Contact

Ing. Jaromír Wasserbauer, tel: +420 541 149 469, e-mail: xcwasserbauer@fch.vutbr.cz, Ústav chemie materiálů, Centrum materiálového výzkumu, FCH VUT v Brně, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno.

Assistant Prof. Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard PICHLER, tel: +43158801-20224, e-mail: Bernhard.Pichler@tuwien.ac.at, Institute for Mechanics of Materials and Structures, Faculty of Civil Engineering, TU Wien, Karlsplatz 13/202, A-1040 Wien.

Ing. Martin Zmrzlý, Ph.D., tel: +420 541 149 470, e-mail: zmrzly@fch.vutbr.cz, Ústav chemie materiálů, Centrum materiálového výzkumu, FCH VUT v Brně, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno.



**POZNÁMKY:**

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

## **POZNÁMKY:**

**POZNÁMKY:**

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

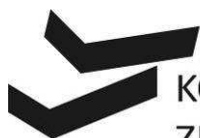
## **POZNÁMKY:**

**POZNÁMKY:**

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

Vysoké učení technické v Brně



KONFERENCE  
ZKOUŠENÍ A JAKOST  
VE STAVEBNICTVÍ

Sborník recenzovaných příspěvků konference  
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2011

4. - 5. října 2011, Fakulta stavební VUT v Brně

Editoři:

Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Náklad: 130 ks

Rok vydání: 2011

Kontaktní adresa:

VUT v Brně, Fakulta stavební

Ústav stavebního zkušebnictví

Veveří 95, 602 00 Brno

ISBN 978-80-214-3438-9



Fakulta stavební  
Vysoké učení technické v Brně  
Ústav stavebního zkušebnictví  
Veveří 95  
602 00 Brno

2012 

## PŘEHLED ODBORNÝCH VZDĚLÁVACÍCH AKCÍ A PROGRAMŮ ZKOUŠENÍ ZPŮSOBILOSTI

Ústav stavebního zkušebnictví pro vás připravil několik odborných akcí spojených s programy zkoušení způsobilosti, jejichž přehled si vám dovoluji nabídnout.  
Na všechny akce se můžete přihlásit na:

[www.fce.vutbr.cz/szk](http://www.fce.vutbr.cz/szk).

*doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.,*  
odborný garant

### KVALITA VE STAVEBNÍM ZKŠEBNICTVÍ 2012,

19. – 20. 1. 2012

Vzdělávací kurz „*Kvalita ve stavebním zkušebnictví 2012*“ je určen pracovníkům stavebních zkušebních laboratoří a odborné veřejnosti působící v oblasti stavebního zkušebnictví. Cílem kurzu je prohloubit znalosti o zkoušení vlastností ztvrdlých betonů a kameniv, hodnocení výsledků zkoušek a jejich interpretace.

### ZKOUŠENÍ ČERSTVÝCH A ZATVRDLÝCH MALT A CEMENTŮ 2012

26. 1. 2012

Vzdělávací kurz „*Zkoušení čerstvých a zatvrdlých malt a cementů 2012*“ je určen pracovníkům stavebních zkušebních laboratoří a odborné veřejnosti působící v oblasti stavebního zkušebnictví. Cílem kurzu je prohloubit znalosti o zkoušení vlastností malt, hodnocení výsledků zkoušek a jejich interpretace.

### NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ VE STAVEBNICTVÍ 2012

19. - 21. 1. a 25. - 27. 1. 2012

Kurz je určen pracovníkům stavebních zkušebních laboratoří, pracovníkům stavebních firem a odborné veřejnosti působící v oblasti stavebního zkušebnictví, kteří si chtějí zlepšit znalosti a dovednosti v oblasti NDT zkoušení betonu, betonových dílců a konstrukcí.

*Osvědčení o absolvování kurzu je jednou z podmínek účasti na zkoušce pro získání personálního certifikátu „Technik NDT zkoušení ve stavebnictví“, která na tento kurz navazuje (3. 2. 2012). Cena certifikační zkoušky je 3 500,- Kč + 20% DPH.*

*Tento certifikát je akreditován ČIA, o.p.s.*

### ZKOUŠENÍ ČERSTVÉHO BETONU 2011 - 2012

12. 10. 2011 (TBG BETONMIX a.s., Vinohradská 1188, 618 00 Brno)

19. 4. 2012 (Areál cementárny Králův Dvůr., Beroun 660, 266 01 Beroun)

10. 10. 2012 (TBG BETONMIX a.s., Vinohradská 1188, 618 00 Brno)

4. – 5. října 2011, FAST VUT v Brně

---

**CD S PŘÍSPĚVKY VE FORMÁTU PDF:**