



**KONFERENCE
ZKOUŠENÍ A JAKOST
VE STAVEBNICTVÍ**

**Sborník recenzovaných příspěvků konference
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2010**

www.zkouseniajakost.cz

5. - 6. října 2010

Fakulta stavební VUT v Brně

5. – 6. října 2010, 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. Vladislav Horák, CSc.
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.
Ing. Petr Tůma, Ph.D.
Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.



Sborník recenzovaných příspěvků konference
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2010

5. - 6. října 2010, Fakulta stavební VUT v Brně

Vydavatel:
Vysoké učení technické v Brně

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

ISBN 978-80-214-4144-6

OBSAH

I. Zkoušení betonových konstrukcí

Ondřej Anton, Věra Heřmánková, Leonard Hobst, Tomáš Kordina, Michal Stehlík - Alternativní vzorky pro testování a kalibraci nedestruktivních metod stanovení obsahu drátků v drátkobetonu	.....	9
Michal Batelka, Jiří Adámek - Možnost využití spěkaných hlušin do betonu a stanovení základních vlastností	.....	17
Katarína Gajdošová, Juraj Bilčík - Experimentálne overenie odolnosti štíhlych stĺpov zosilnených CFRP materiálmi	.....	25
Zbyněk Hlaváč - Ratio between static and dynamic modulus of elasticity of concrete	.....	33
Leonard Hobst, Ondřej Anton, Jan Vodička, Jiří Ščučka - Ověřování homogenity drátkobetonu	.....	43
Adam Hubáček - Průkazní zkoušky betonů dle ČSN EN 206-1/Z3 a dle jednotlivých resortních předpisů	.....	51
Petr Huňka, Karel Jung, Karel Kolář, Stanislav Řeháček - Statistické vyhodnocení pevnosti betonu C45/55 XF2 pro prefabrikované nosníky	.....	65
Zlata Kadlecová, Jiří Adámek, Pavel Reiterman - Hodnocení betonových kvádrů z hlediska trvanlivosti	.....	75
Dalibor Kocáb, Petr Cíkrle - Modul pružnosti betonu prefabrikovaných mostních nosníků	.....	83
Dalibor Kocáb, Petr Cíkrle, Barbara Kucharczyková, Jiří Adámek, Ondřej Pospíchal - Stanovení modulu pružnosti na válcových tělesech vyrobených z mostního betonu	.....	91
Dalibor Kocáb, Barbara Kucharczyková, Ondřej Pospíchal - Stanovení stejnorodosti kompozitních materiálů pomocí elektroakustických metod	.....	101
Klára Křížová, Rudolf Hela - Statický modul pružnosti betonu v tlaku	.....	111
Vojtěch Mencl - Stavebně technický průzkum konstrukcí z předpjatého betonu	.....	115

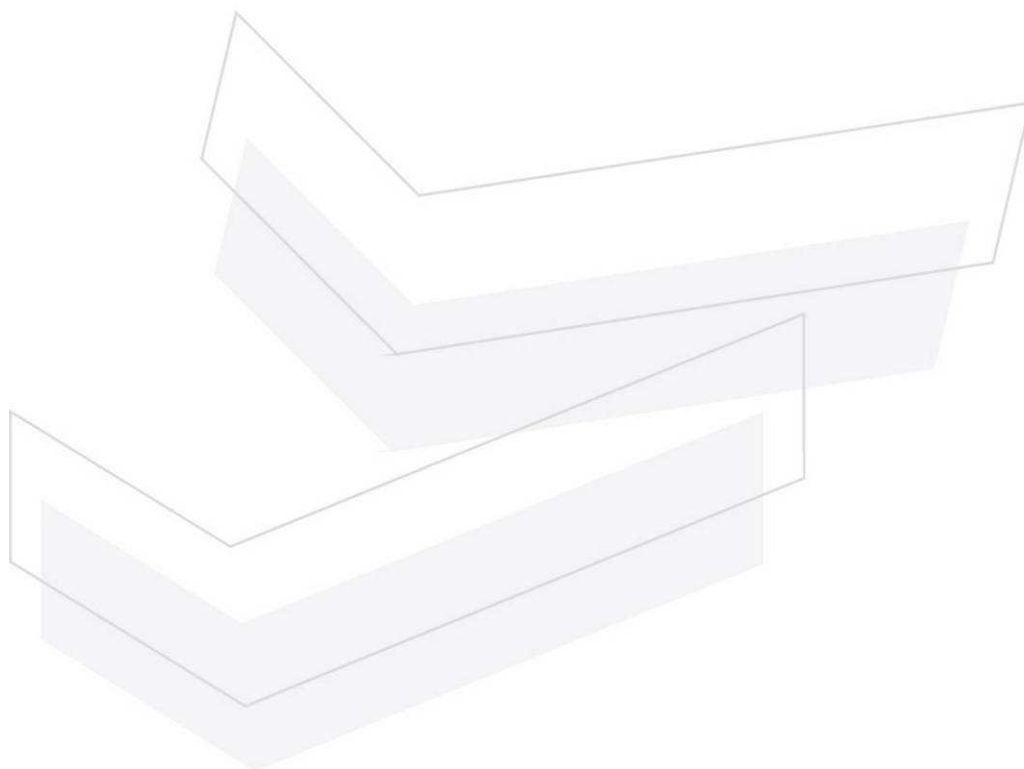
Petra Odehnalová, Jiří Adámek - Vliv polypropylenových vláken na šířku trhlin v raném věku betonu	.....	121
Michal Stehlík, Ondřej Anton, Věra Heřmánková, Lubomír Vítek - Modifikace betonu z betonového recyklátu variantní kombinací přísad a příměsí	.....	127
Ivo Šimůnek, Stanislav Řeháček, Petr Huňka - Nové postupy hodnocení rázové odolnosti cementovláknových kompozitů	.....	137
Tomáš Vymazal, Petr Misák, Barbara Kucharczyková, Petr Daněk - Porovnání výsledků zkoušek vzduchové permeability betonu přístrojem TPT a metodou Cembureau	.....	143
Miloš Zich, Petr Daněk, Jaromír Láník, Ladislav Michálek - Monitoring nádrží v Loukově během zatěžovací zkoušky	.....	147
Oldřich Žalud - Vliv zkušebních forem a ošetřování čerstvého betonu ve formách na pevnost betonu v tlaku	.....	157
II. Zkoušení kovových konstrukcí		
Stanislav Kmeť, Michal Tomko, Ivo Demjan - Diagnostika porúch a skúšky materiálu nosnej ocelovej konštrukcie poškodenej účinkami požiaru	.....	169
Lubomír Mindoš, Kateřina Kreislová, Hana Geiplová - Protikorozi ochrana kovových konstrukcí ve stavebnictví	.....	183
Thi Huong Giang Nguyen, Josef Macháček - Spráhovací trny malých průměrů pro ocelobetonové konstrukce	.....	193
III. Přístrojová technika		
Anna Benešová, Jan Vaněrek - Kvalitativní analýza stavebních materiálů pomocí infračervené spektroskopie	.....	205
Jaroslav Čambula - Vliv opracování povrchu výztuže na rozptyl výsledků měření její pevnosti tvrdoměrem PROCEQ	.....	213
Michaela Dudíková, Petr Huňka, Jiří Kolísko - Vliv úpravy povrchů zkušebních vzorků na spacing factor	.....	225
Tomáš Kordina, Ondřej Anton - Porovnání různých vyhodnocovacích postupů naměřených dat metodou GPR v rámci diagnostiky betonových konstrukcí	.....	231

Jaroslav Mikula - Přístroje pro nedestruktivní zkoušení firmy PROCEQ SA, Švýcarsko	.....	241
Jakub Štainbruch - Možnosti použití georadaru (GPR) při nedestruktivní diagnostice konstrukcí	.....	253
Miroslav Vokáč, Lucie Matoušová, Jakub Klečka, Dita Jiroutová, Petr Bouška - Využití optovláknových extenzometrů v betonových konstrukcích a v laboratorních podmínkách	.....	265
IV. Zkoušení dalších stavebních hmot, dílců a konstrukcí		
Petr Cirkle, Dalibor Kocáb, Petr Mitrenga - Modul pružnost hornin určených pro výrobu hrubého kameniva	.....	273
Rostislav Drochytka, Jiří Zach, Jitka Hroudová - Problematika stanovení návrhových tepelných hodnot u pórobetonového zdiva	.....	279
Veronika Franková, Leona Slívová, Libor Žídek - Diagnostické metody hodnocení dřevěných konstrukcí	.....	287
Jan Hradil - Ověřování vlastností elastických mostních závěrů (EMZ)	.....	295
Petr Hýzl, Dušan Stehlík, Michal Varaus - Systém funkčních zkoušek pro posuzování silničních stavebních materiálů	.....	309
Jiří Kolísko, Lukáš Balík - Vliv hydrofobizačních přísad na difúzní vlastnosti maltových směsí	.....	321
Oľga Koronthályová, Martin Križma, Anatolij Guzun - Mechanické a tepelnoizolačné parametre kompozitných materiálov na báze biomasy	.....	329
Jan Kudrna, Jaroslava Halásková, Luděk Mališ - Zkoušení protismykových vlastností povrchů cementobetonových krytů vozovek zařízením Wehner/Schulze	.....	333
Lucie Matoušová, Lenka Bodnárová - Zkoušení vlastností alkalicky aktivovaných kompozitních materiálů	.....	345
Ondrej Michalko, Zdenka Bažantová, Tomáš Korecký, Michal Frank, Jan Toman, Robert Černý - Mechanická stabilita kompozitních deskových materiálů namáhaných vysokými teplotami	.....	351
Lenka Nevřivová - Reologické vlastnosti bentonitu	.....	360

Hana Nohelová - Zkoušení malt a omítek s ohledem na jejich určení a platné normové předpisy	.....	367
Mikuláš Šveda, Radomír Sokolář, Lenka Nevřivová - Zmeny v tehliarskom črepe v procese zmrazovania a rozmrazovania	.....	373
Jan Toman, Tomáš Korecký, Michal Frank, Robert Černý - Stabilita tepelně technických vlastností deskových kompozitů za vysokých teplot	.....	381
Miroslav Vokáč, Petr Bouška - Lomové vlastnosti pálené pórovité keramiky	.....	391
Richard Wasserbauer - Odstranění solí dusíku ze zdiva pomocí směsi denitrifikačních bakterií a řas	.....	399
Katarína Zgútová, Viliam Híreš - Posúdenie vhodnosti kameniva z lomu Olcnav a do nestmelenej ochranej vrstvy	.....	405
VI. Normalizace a certifikace ve stavebnictví, řízení jakosti a kvality		
Václav Hadrava - Evropské technické schválení pro stavební výrobky	.....	413
Ľubomír Pepucha, Milan Valuch, Peter Fraňo - Ekonomické otázky kvality v etape využívania stavby	.....	417
Tomáš Vymazal, Petr Misák, Barbara Kucharczyková, Petr Daněk, Ondřej Pospíchal, Dalibor Kocáb - Management rizik s podporou expertních systémů jako nadstavba formalizovaných integrovaných systémů řízení	.....	427

I.

ZKOUŠENÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ



5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**ALTERNATIVNÍ VZORKY PRO TESTOVÁNÍ
A KALIBRACI NEDESTRUKTIVNÍCH METOD
STANOVENÍ OBSAHU DRÁTKŮ
V DRÁTKOBETONU**

**ALTERNATIVE SAMPLES FOR TESTING
AND CALIBRATION OF DETERMINATION
OF STEEL-FIBRES CONTENT IN STEEL-FIBRE
CONCRETE**

**Ondřej Anton, Věra Heřmánková, Leonard Hobst,
Tomáš Kordina, Michal Stehlík**

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Jedním z určujících faktorů pro jakost konstrukce z drátkobetonu je správný obsah a homogenita rozptýlení drátků. V rámci řešení projektu, jehož cílem je vývoj nových nedestruktivních metod pro stanovení homogenity drátkobetonu a procentuelního obsahu drátků byl řešen problém vytvoření kalibračních vzorků, kde bude zaručena ideální homogenita rozptýlení drátků, a tento faktor bude možné jak během vytváření vzorků, tak po jejich dokončení snadno sledovat. Tento problém byl vyřešen vytvořením vzorků, kde betonová směs byla nahrazena poloprůhlednou směsí skleněné drti a epoxidové pryskyřice.

Annotation:

One of determining factors for steel-fibre concrete quality is correct content and homogeneity of steel-fibres distribution. During work on a project which target is development of new non-destructive methods for determination of homogeneity of steel-fibre concrete and percents of steel-fibres content there was solved a problem of creation of calibration relationships where will be guaranteed an ideal homogeneity of steel-fibres distribution. This factor would be easily controlled, either during the fabrication of specimens or after their finishing. The

problem was solved by prefabrication of specimens where concrete mixture was substituted by semi-transparent composite of glass mash and epoxy resin.

Klíčová slova: *nedestruktivní zkoušení, drátkobetonové konstrukce, kalibrační vzorky*

Keywords: *non-destructive testing, steel-fibre concrete structures, calibration samples*

1. Úvod

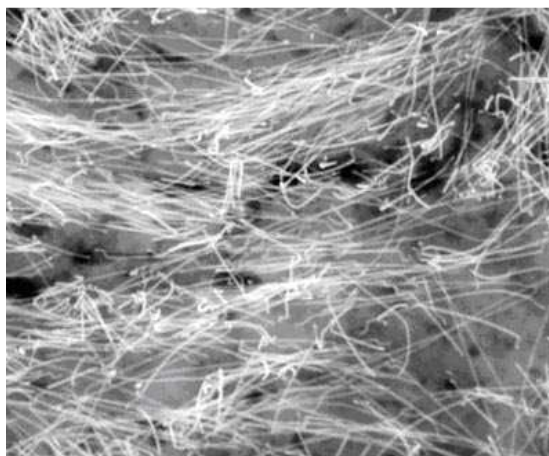
Jedním z určujících faktorů pro jakost konstrukce vytvořené z drátkobetonu je správná hustota drátků v materiálu a rovněž správná homogenita rozptýlení. V současnosti platná ČSN EN 14721 uvádí pouze jednu metodu pro určování obsahu drátků ve ztvrdlém betonu, založenou na destruktivních zkouškách - odebrání jádrových vývrtů a extrakce drátků. Projekt, v současnosti řešený ve spolupráci Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně a Fakulty stavební ČVUT, se zabývá vývojem nových nedestruktivních metod určování obsahu drátků. Při vývoji nových metod je klíčovým problémem použití kalibračních vzorků drátkobetonu s různým zaručeným obsahem drátků. Tyto vzorky současně nesmí obsahovat žádné nehomogenity.

2. Drátkobetonové kalibrační vzorky

Pro kalibraci a testování nových metod měření obsahu drátků v betonu byly vytvořeny 3 sady vzorků s různou koncentrací drátků – 0,0 %, 0,5 %, 0,75 %, 1,0 %, 1,25 % a 1,5 %. Byly použity tři typy drátků: TRI-TREG (délka 60 mm), DRAMIX (délka 50 mm) a FIBREX (délka 25 mm). Vzorky byly zhotoveny ve formách o rozměrech 300 x 300 x 150 mm. Tyto rozměry byly zvoleny proto, aby vzorky byly snadno manipulovatelné a současně dostatečně velké na to, aby u nich nedocházelo k „okrajovým jevům“ při zpracovávání drátkobetonu případně k jednosměrné orientaci drátků. Při výrobě betonu byly striktně dodrženy všechny zásady pro výrobu drátkobetonu.

Jakost hotových vzorků z hlediska rozmístění drátků ověřena provedením gamagrafie a ve spolupráci s Fakultou stavební VŠB-TU Ostrava rentgenografií (viz. příspěvek *Ověřování homogenity drátkobetonu v tomto sborníku*). Na radiogramech bylo zjištěno, že ve vzorcích převládá vodorovná orientace drátků, současně u bočních stěn vzorku došlo k orientaci drátků podél okraje formy. V několika místech byla konstatována lokální maxima a minima koncentrace drátků.

Cílem bylo pokusit se u dalších zkušebních vzorků tyto drobné nedostatky eliminovat bez použití tak náročné metody, jakou je radiografie, případně zaručit eliminaci defektů ještě před zatvrdnutím směsi. Logickým řešením by bylo vytvoření do jisté míry průhledných vzorků, kde by již při míchání mohla probíhat přímá vizuální kontrola polohy drátků, a před zatvrdnutím směsi by byly reálné korekce viditelných problémů.



Obr. 1.: Radiogram s dobře patrnými oblastmi jednosměrné a zvýšené koncentrace drátků.

3. Alternativní vzorky

Pro vytvoření alternativních vzorků byla vytvořena směs, de facto složením identická s betonem použitým v předchozích sadách drátkobetonových vzorků. Kamenivo bylo však nahrazeno odpovídajícími frakcemi skleněné drti a pojivo s vodou nahradila epoxidová pryskyřice. Vzhledem k tomu, že vyvíjené metody jsou převážně na elektromagnetické bázi, není změna materiálu žádným problémem. Podstatné je zachování struktury a objemu materiálu.

Použitá skleněná drť byla odpadním produktem z výroby firmy Glass Sphere s.r.o. Z dodaných směsných drtí byly nejprve od sebe odděleny jednotlivé frakce a následně byla namíchána směs odpovídající poměrům frakcí kameniva původního betonu. Ze skleněné drti byly před tím odstraněny všechny části větších frakcí, které neměly vhodný tvarový index (ploché destičky).

Při výběru epoxidových pryskyřic bylo zohledněno několik faktorů. Co nejnižší viskozita, zajišťující ideální zatékání směsi, vhodná, delší doba zpracovatelnosti, minimální objemové změny. Po konzultaci s firmou Transtech Tooling s.r.o. byla jako ideální vybrána víceúčelová pryskyřice Biresin L84.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

Drátky byly použity tytéž, jako v předchozím případě, tedy TRI-TREG, DRAMIX a FIBREX, v hmotnostních koncentracích 0,5 %, 1,0 %, a 1,5 %.

Formy byly použity rozměrů 300 x 300 x 150 mm, vnitřní povrch forem byl opatřen kovovou folií, která měla zaručit hladkost povrchu a ochranu samotné formy před teplotou - při vytvrzování pryskyřice dochází k exotermické reakci a zahřátí vzorků na cca. 90°C.



Obr. 2.: Část separovaných frakcí skleněné drti.



Obr. 3.: Použité drátky, zleva TRI-TREG, DRAMIX a FIBREX.

4. Výroba sklo-epoxidových vzorků

Po testech bylo jako optimální postup použito nejprve namíchání suché směsi skleněných drtí, následně byly přimíchány drátky v příslušném množství. Míchání probíhalo ručně s vizuální kontrolou homogenity drátků. Suchá směs

byla poté vsypána do formy. Na závěr byla směs zalita pryskyřicí Biresin L84. Díky vhodně zvolené nízké viskozitě bylo zaručeno zalití celého vzorku, a současně díky dlouhé době zpracovatelnosti došlo k samovolnému odstranění většiny vzduchových bublin.

Tabulka 1.: Potřebné množství skla a pryskyřice pro navrženou směs

Materiál	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Hmotnost na 1m ³ směsi [kg]
Sklo frakce 0 - 8	2600	960
Sklo frakce 8 - 16	2600	640
Pryskyřice L84	700	269

Pozn.: Sypná hmotnost smíchaných frakcí skla v setřeseném stavu byla 1600 kg/m³, mezerovitost 38,5%

Tabulka 2.: Potřebné množství drátků pro jednotlivé směsi

Množství drátků pro V = 0,0135 m ³ (vzorek o rozměrech 300/300/150)			
Koncentrace (hmotnost na 1m ³ směsi)	FIBREX	TRI-TREG	DRAMIX
0 %	0	0	0
0,50 % (39,25 kg/m ³)	0,53 kg = 9 104 ks	0,53 kg = 1 628 ks	0,53 kg = 2 307 ks
0,75 % (58,88 kg/m ³)	0,79 kg = 13 658 ks	0,79 kg = 2 443 ks	0,79 kg = 3 462 ks
1,00 % (78,50 kg/m ³)	1,06 kg = 18 209 ks	1,06 kg = 3 257 ks	1,06 kg = 4 615 ks
1,25 % (98,13 kg/m ³)	1,32 kg = 22 762 ks	1,32 kg = 4 071 ks	1,32 kg = 5 769 ks
1,50 % (117,75 kg/m ³)	1,59 kg = 27 312 ks	1,59 kg = 4 885 ks	1,59 kg = 6 923 ks



Obr. 4.: Suchá směs ve formě.



Obr. 5.: Nalévání pryskyřice L84.



Obr. 6.: Při zalití vzorku se celý objem stal zcela průhledným, v případě potřeby bylo možné provádět dodatečné korekce.



Obr. 7.: Detailní pohled na zatvrdlý vzorek s drátky TRI-TREG v koncentraci 1,5%.

5. Závěr

V příspěvku je podrobně popsána úspěšná realizace návrhu a výroby epoxido - skleněných vzorků, které při vývoji zkušebních metod pro stanovení obsahu drátků v drátkobetonu mohou nahradit vzorky betonové, se zárukou přesné kontroly skutečné polohy a rozložení drátků. Tyto vzorky jsou používány pro testování zkušebních metod na magnetickém a elektromagnetickém principu, kde změna materiálu není překážkou, při zachování odpovídající struktury a objemu materiálu.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován s podporou grantového úkolu GAČR 103/09/1073 Vývoj nedestruktivních metod pro posouzení homogenity ztvrdlého drátkobetonu a výzkumného záměru MSM 0021630519.

Literatura

- [1] BROŽOVSKÝ, Jiří, HOBST, Leonard, KAPLAN, Věroslav. Posouzení vzniklých závad drátkobetonu podlahové desky. *Sanace betonových konstrukcí*. 1999, roč. 7, č. 2, s. 14-17. ISSN 1211-3786.
- [2] VODIČKA, Jan; VESELÝ, Vladimír; KRÁTKÝ, Jiří. Specifika z technologie vláknobetonu. *Beton TKS* . 2010, roč. 10, č. 2, s. 38-42. ISSN 1213-3136.

Kontakt

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.

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

Prof. Ing. Leonard Hobst, CSc., tel.: 00420 541 147 836, e-mail: hobst.l@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Tomáš Kordina, tel: 00420 541 147 828, e-mail: kordina.t@fce.vutbr.cz , Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Michal Stehlík, Ph.D., tel: 00420 541 147 820, e-mail: stehlik.m@fce.vutbr.cz , Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

MOŽNOST VYUŽITÍ SPÉKANÝCH HLUŠIN DO BETONU A STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ

THE POSSIBILITY OF USING BURNED TAILINGS IN CONCRETE AND DETERMINATION OF PRIMARY CHARACTERISTICS

Michal Batelka, Jiří Adámek

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

V posledních několika letech probíhá výzkum možnosti výroby nového druhu umělého kameniva z uhelných hlušin. Výroba spočívá v tepelné úpravě černouhelné hlušiny na principu samovýpalu. Jednou z možností využití takto vzniklého kameniva může být náhrada za běžné kamenivo. V rámci této možnosti bylo provedeno několik základních receptur s tím, že následně byly posouzeny základní vlastnosti.

Annotation:

In recent years, ongoing research into the possibility of a new kind of artificial aggregates from coal tailings. Production is in the heat treatment of coal tailings self-burned principle. One of the possibilities resulting from the use of such aggregates may be a replacement for normal aggregate. Under this option, there have been several basic recipes that were subsequently reviewed the basic properties.

Klíčová slova: *Uhelná hlušina, množství spalitelných látek, umělé kamenivo, beton z umělého kameniva, lehký beton.*

Keywords: *Coal tailings, quantity burnable part, Artificial aggregate, Concrete from Artificial aggregate, lightweight concrete.*

1. Úvod

Již několik desetiletí u nás i v zahraničí prochází vývoj a výroba nových druhů umělých kameniv období stagnace. V posledních několika letech probíhá výzkum a vývoj zaměřený na výrobu nového druhu umělého kameniva z uhelných hlušin. Podstata úpravy uhelné hlušiny spočívá v jejím vypálení na aglomeračním roštu obdobným způsobem jako tomu je při výrobě lehkého kameniva LYTAG (Agloporit).

V minulém roce byly provedeny první betonářské zkoušky, které měly prokázat možnost využití umělého kameniva z uhelných hlušin jako plniva do betonu. Bylo provedeno několik záměsí, s tím, že se v první fázi ověří pouze vybrané základní vlastnosti. Bylo dosaženo velmi dobrých výsledků zejména v pevnosti v tlaku, kdy dosažené pevnosti přesáhly navrhovanou krychelnou pevnost téměř o 30%. [1]

Dalším cílem bylo tedy především prokázat dobré výsledky získané v předchozí etapě, ale také rozšířit danou problematiku o další vybrané vlastnosti a tím poukázat na možnosti využití betonu s umělým kamenivem v podobě vypáleného kameniva z uhelných hlušin.

V rámci této etapy provedeny betonářské zkoušky vybraných tří zkušebních záměsí, které prokázaly dobré výsledky z předchozích prováděných zkoušek, kdy pevnosti v tlaku opět výrazně překročily návrhové pevnosti. Dále byly zjištěny statické a dynamické moduly pružnosti. Následně byla provedena zkouška mrazuvzdornosti, která poukázala na možnou problematiku těchto betonů.

2. Použité suroviny

Zkoušky prováděné v rámci výroby nového druhu umělého kameniva poukázaly na skutečnost, že pro výrobu je především jako surovina vhodná černouhelná hlušina, která sama o sobě nese vhodný podíl spalitelných látek potřebných pro průběh samovýpalu surové vsázky.

Obsah spalitelných látek se v černouhelných hlušínách nejčastěji pohybuje v rozmezí 7-16% přičemž optimální hodnota zaručující bezproblémový průběh výpalu hlušin je v rozmezí 10-12%. V daných podmínkách výpalu uhelných hlušin může nastat situace, kdy je obsah spalitelných látek v hlušíně nízký, v tomto případě je nutno do vsázky přidat jistý podíl spalitelných látek například v podobě uhlí. V opačném případě, kdy surovinová vsázka obsahuje obsah spalitelných látek příliš vysoký, dochází k vzniku tzv. spečenců, které je nutno po výpalu rozdružit například v drtiči.

Ve své podstatě je z hlediska optimálního výpalu homogenizovat hlušinu tak, aby nebylo nutno vypálenou hlušinu složitě rozdružovat ani zbytečně

přidávat do vsázky alternativní paliva. K prováděným zkouškám bylo použito stejného druhu černouhelné hlušiny, jako tomu bylo v předchozí etapě. Černouhelná hlušiny tedy pochází z úpravnického zařízení Darkov.

Tabulka 1.: Základní vlastnosti uhelné hlušiny z úpravny Darkov OKD

Vlastnosti hlušiny	Jednotka	Frakce 8-16		
		-	0-4	4-10	10-22
Sypná hmotnost – volně sypaná	Kg.m ⁻³	1282	1086	1162
Sypná hmotnost – setřesená	Kg.m ⁻³	1417	1211	1297
Vlhkost	%	1,07	1,93	1,18
Ztráta žháním (1100 °C)	%	14,23	12,55	7,23

3. Vlastnosti kameniva z uhelných hlušín

Pro provádění betonářských zkoušek bylo použito umělé kamenivo z vypalovaných umělých hlušín dodané z úpravny Darkov. Bylo využito frakcí 4-8 a 8-16 jako náhrada kameniva do betonu. Vliv drobné frakce nebyl v této etapě ověřován.

Základní vlastnosti umělého kameniva z vypálených černouhelných hlušín jsou uvedeny dále v tabulkovém přehledu. V jednoduchém přehledu základních vlastností jsou uvedeny i vlastnosti nevypálené uhelné hlušiny, toto srovnání umožňuje dobře pochopit a vysvětlit některé specifické vlastnosti tohoto nového druhu umělého kameniva.

Tabulka 2.: Porovnání základních vlastností uhelné hlušiny a umělého kameniva frakce 4-16mm

Vlastnost	Jedn.	Surová	Vypálená	
Sypná hmotnost	volně sypaná	Kg.m ⁻³	1220	850
	setřesená	Kg.m ⁻³	1350	980
Obsah spalitelných látek	-	%	7,50	1,02
Odolnost proti drcení	-	%	3,2	2,5

4. Návrh receptur

Pro ověření dobrých výsledků z předchozí etapy a rozšíření zkouškách byly ověřeny tři základní betonové směsi, které jsou dále vedeny pod označením A2, B2, C2. Receptury pro výrobu těchto zkušebních směsí jsou dále uvedeny v tabulkovém přehledu.

Složení betonové směsi pod označením A2 bylo zvoleno pro třídu C 20/25. Směsi B2 a C2 jsou voleny pro vyšší třídu betonu a obecně se odlišují od základní směsi A2 vyšší dávkou cementu a mírně zvýšeným obsahem drobného přírodního kameniva (písek fr. 0-4 mm), s cílem zvýšit obsah jemných podílů ve směsi. Směs C2 se odlišuje od zkušební směsi B2 pouze užitým druhem cementu. Tímto způsobem byl vyšetřován vliv použitého druhu cementu na konečné vlastnosti betonu.

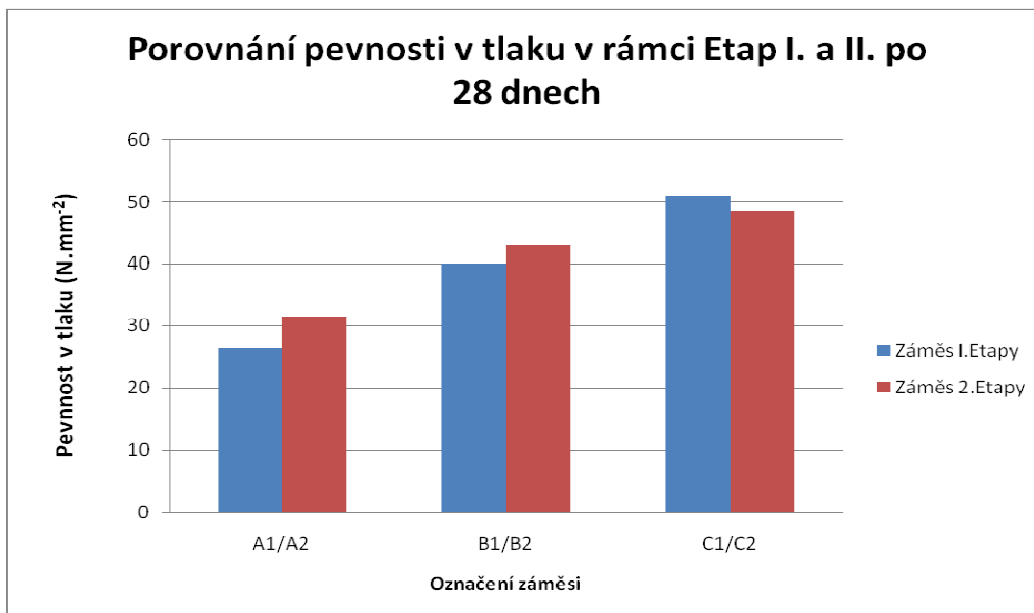
Tabulka 3.: Složení navržených receptur

Složka		Množství		
		A2	B2	C2
-	-	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
Cement CEM II/S 32,5	-	300	385	0
Cement CEM I 42,5	-	0	0	385
Písek Bratčice 0-4 mm	0-4 mm	528	578	578
Umělé kamenivo	1-4 mm	0	0	0
	4-8 mm	320	280	280
	8-16 mm	640	560	560
Voda – záměsová + předmáčecí	l/m ³	216	200	205

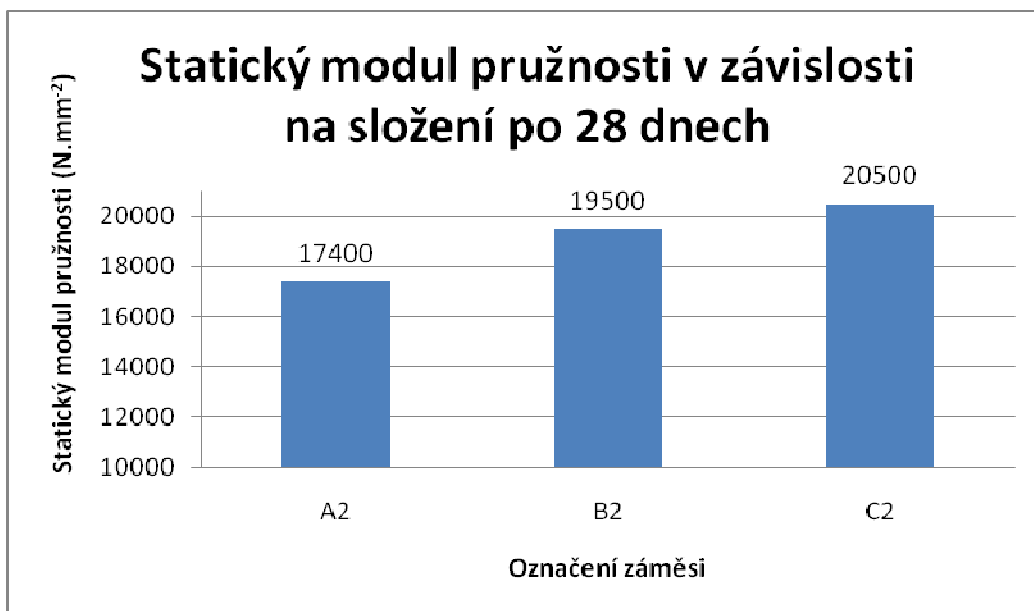
5. Výsledky betonářských zkoušek

Betonářské zkoušky provedené v rámci druhé etapy byly zaměřeny především na prokázání předchozích výsledků vhodnosti využití nového druhu betonu v rozsahu porovnání základních vlastností betonů (z předchozí pracovní etapy) vyrobených z nového druhu kameniva s cílem posoudit především obecnou vhodnost použití tohoto kameniva pro výrobu betonů. Dalším cílem bylo rozšířit sledovanou základnu vlastností.

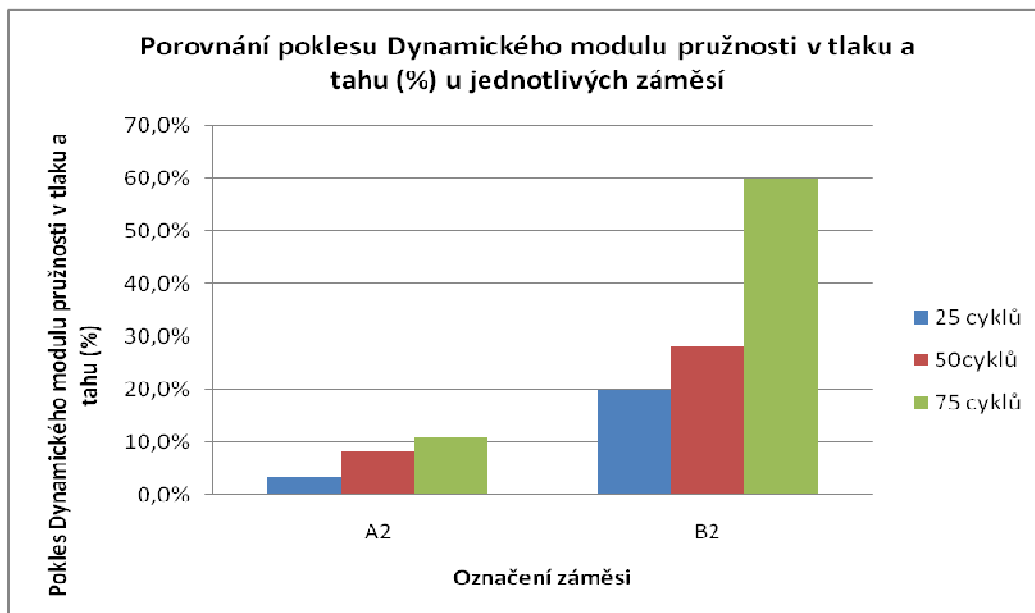
Konkrétní vlastnosti betonu vyrobených z ověřovaných zkušebních směsí v závislosti na době zrání vzorku jsou uvedeny v následujících grafických přehledech.



Obr. 1.: Graf porovnání pevnosti v tlaku po 28 dnech v rámci etap I. a II.



Obr. 2.: Graf porovnání statického modulu pružnosti v tlaku po 28 dnech zrání u jednotlivých navržených betonů



Obr. 3.: Graf porovnání poklesu dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu po zmrazování

6. Závěr

Hlavním cílem prováděných betonářských zkoušek bylo ověřit a prokázat možnost využití umělého kameniva z vypálených černouhelných hlušin pro výrobu betonů, porovnání výsledků s předchozí etapou a rozšíření dosažených výsledky o další poznatky (např. z oblasti trvanlivosti).

Výsledky betonářských zkoušek provedených v rámci druhé pracovní etapy potvrdily dobré výsledky předchozích zkoušek se závěrem, že pro účely výroby betonů lze navrhnout receptury umožňující s dosažení po 28 dnech zrání pevnosti v tlaku prostém 40 MPa a to bez použití přísad a příměsí. Potvrdila se také předchozí skutečnost, že krychelné pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání převyšují svoji návrhovou pevnost až o 1/3.

Objemová hmotnost betonů s novým druhem umělého kameniva ze spékáných hlušin se pohybuje na hranici 2000Kg/m³.

Dále bylo zjištěno, že moduly pružnosti v tahu a tlaku se u tohoto druhu betonu pohybují kolem hranice 20 GPa.

Při zkouškách mrazuvzdornosti došlo na skutečnost, že při použití nového druhu kameniva výrazným způsobem klesá mrazuvzdornost těchto betonů.

Dále bylo zjištěno, že tento druh betonů špatně odolává zkoušce mrazuvzdornosti, kdy při porovnání statického modulu pružnosti v tlaku a tahu došlo k poklesu až o 70% během 75-ti zmrazovacích cyklů. Zajímavou informací pro náplň další pracovní etapy se jeví skutečnost, že záměs s nižší návrhovou pevností, tj. menšími pevnostmi v tlaku prostém vyhověla zkoušce mrazuvzdornosti podstatně lépe.

Na základě získaných informací, budou další výzkumné práce zaměřeny na problematiku mrazuvzdornosti s úpravou dosavadních receptur.

Poděkování

Článek byl vypracován v rámci výzkumu projektů MPO FI-IM4/224 a GA103/09/0065.

Literatura

- [1] KULÍSEK, K.; ADÁMEK, J.; BATELKA, M. *Artificial aggregate from coal debris and the possibility of its utilization in concrete production*. In Ecology and new building materials and products. Telč. 2009. p. 1 - 4. ISBN 978-80-254-4447-4.

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. Adámek Jiří, 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.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ODOLNOSTI ŠTÍHLÝCH STĽPOV ZOSILNENÝCH CFRP MATERIÁLMI

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SLENDER COLUMNS STRENGTHENED WITH CFRP MATERIALS REISTANCE

Katarína Gajdošová, Juraj Bilčík

Stavebná fakulta STU v Bratislave

Anotace:

Experimentálne overenie najúčinnnejšieho spôsobu zosilnenia štíhlych ŽB stĺpov – CFRP lamely v drážkach v betónovej krycej vrstve, ovinutie CFRP tkaninou, kombinácia CFRP lamiel a tkaniny. Meranie na stĺpoch skutočnej veľkosti. Priame a nepriame spôsoby merania na overenie odolnosti, porovnanie.

Annotation:

Experimental investigation of the most effective method of slender reinforced concrete columns strengthening determining – CFRP laminate strips in grooves in concrete cover, CFRP sheet confinement, combination of CFRP strips and sheet. Full scale columns specimens measurement. Direct and indirect measurement methods for resistance verification, comparison.

Klíčová slova: *odolnosť štíhlych stĺpov, CFRP, priame a nepriame merania, indukčné snímače dráhy, tenzometre, deformetre*

Keywords: *slender columns resistance, CFRP, direct and indirect measurements, linear variable displacement transducers, tensometers, deformeters*

1. Úvod

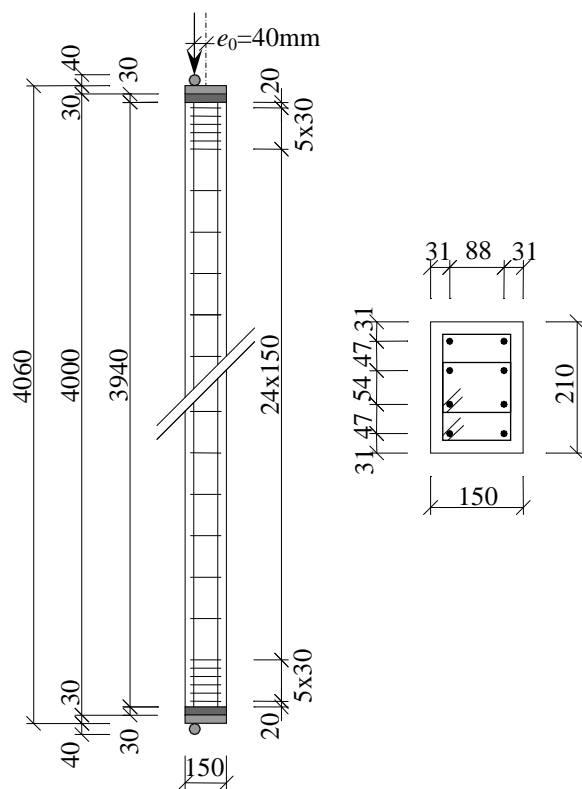
Cieľom experimentálneho programu zistenia odolnosti štíhlych železobetónových stĺpov zosilnených CFRP materiálmi bolo overiť výsledky

teoretickej a numerickej analýzy za účelom odvodenia návrhových postupov pri zosilňovaní pre projekčnú prax.

Experimentálne overenie sa uskutočnilo v priestoroch Centrálnych laboratórií Stavebnej fakulty v Trnávke v Bratislave. Už pri návrhu stĺpov, ktoré boli predmetom experimentálneho skúmania sa brali do úvahy priestorové možnosti a vybavenie laboratórií.

2. Predmet experimentálneho skúmania

Predmetom experimentálneho skúmania boli štíhle železobetónové stĺpy dĺžky 4m s pričným rezom obdĺžnikového tvaru s rozmermi 210 x 150mm vystužené symetricky 2x4Ø10mm. Po výške stĺpa sú štvorstrižné strmene Ø6mm a 150mm. V hlave a päte skúšaného prvku je zosilnené vystuženie z dôvodu roznosu zaťaženia. Strmene sú zhustené a 30mm a doplnené priečnymi sponami na dĺžke 150mm. Na hornej a spodnej koncovej prierezovej ploche stĺpa je umiestnená oceľová platnička hrúbky 30mm, na ktorú sú prúty pozdĺžnej výstuže privarené. Geometria a vystuženie stĺpa sú zrejmé z obr. 1.



Obr. 1.: Geometria, vystuženie a uloženie stĺpa. Umiestnenie referenčného stĺpa v lise pri skúške

Analyzované boli štyri typy stĺpov:

- nezosilnené železobetónové stĺpy,
- stĺpy zosilnené pridanou výstužou – CFRP lamelami v drážkach,
- stĺpy zosilnené ovitím CFRP tkaninou vo forme strmeňov,
- stĺpy zosilnené kombináciou CFRP lamiel a CFRP tkaniny.

2.1. Príprava stĺpov

Všetky stĺpy boli vybetónované vo vodorovnej polohe, homogenita betónu v smere predpokladaného vybočenia stĺpov sa dosiahla postavením foriem na užšiu hranu. Vzhľadom na potrebné budúce zaoblenie hrán ovíjaných stĺpov boli pred betonážou do rohov foriem vložené lišty trojuholníkového prierezu 10x10mm, ktoré vytvorili potrebné skosenie. Zároveň so stĺpmi boli vybetónované aj vzorky na zisťovanie vlastností betónu: kocky, valce a hranoly.

Po štrnástich dňoch boli vzorky odformované, po dvadsiatich ôsmich dňoch boli urobené skúšky vlastností materiálov a začalo sa so zosilňovaním.

Najskôr sa pripravili stĺpy na lepenie lamiel do drážok. Po celej dĺžke stĺpov sa na dlhšej strane prierezu z oboch strán vyfrézovali tri drážky hrúbky 3mm a hĺbky 15mm, následne sa drážky vyčistili od prachu a úlomkov z brúsenia, vyplnili epoxidovým lepidlom MBrace® Epoxikleber 220, do ktorého boli zatlačené CFRP lamely (rozmerov 1,4x10mm). Na lamely boli vopred nalepené tenzometrické pásky.

Na stĺpoch, ktoré boli pripravované na ovitutie tkaninou, sa skosené hrany brúsením zaoblili do požadovaného polomeru zaoblenia 20mm. Ovitutie jednou vrstvou CFRP tkaniny bolo realizované pomocou laminačnej epoxidovej živice MBrace® vo forme strmeňov v 11 polohách po výške stĺpa – šírka tkaniny je 300mm. Medzi jednotlivými „strmeňmi“ bola vynechaná medzera 50mm. Kotvenie tkaniny bolo urobené presahom tkaniny o 170mm na dlhšej strane prierezu stĺpa.

2.2. Skúšky vlastností použitých materiálov

Kvôli možnosti porovnania výsledkov experimentálneho projektu s teoretickým výpočtom a jeho následnej kalibrácie je potrebné ako vstupné hodnoty výpočtov použiť priemerné hodnoty získané meraním. Za týmto účelom boli odskúšané vzorky betónu a betonárskej výstuže a boli získané charakteristiky materiálov skúšaných stĺpov.

Skúšky betónu boli urobené podľa STN EN 12390: Skúšanie zatvrdnutého betónu.; STN ISO 6784: Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku. V čase veku betónu 28 dní bola zisťovaná kocková a valcová pevnosť betónu v tlaku, v čase skúšania stĺpov, vo veku betónu 316 dní boli

získované kocková a valcová pevnost betónu v tlaku a statický modul pružnosti neovinutého i ovinutého betónu.

Na vystuženie stĺpov bola použitá výstuž BSt 500. Skúšky boli urobené podľa STN EN 10002 Kovové materiály: skúška ťahom. Vyhodnotené boli medza klzu, medza pevnosti a modul pružnosti ocelevej výstuže.

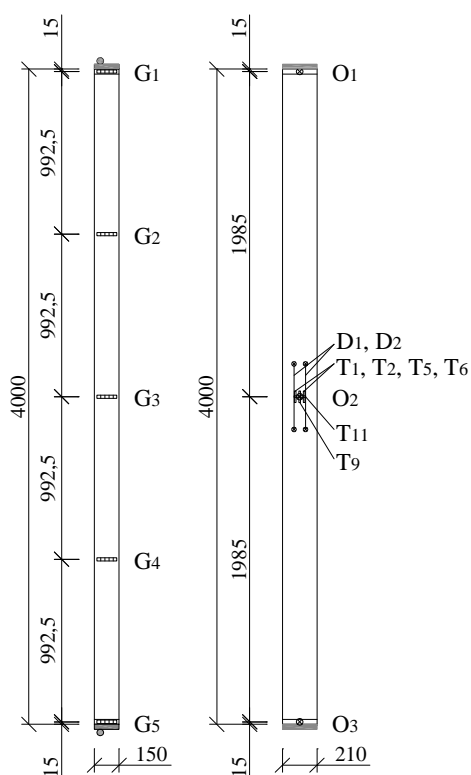
Vlastnosti CFRP materiálov neboli experimentálne overované, vo výpočtoch sú použité vlastnosti udávané výrobcom, ktorých zhoda s reálne nameranými hodnotami bola predtým preukázaná v [2].

2.3. Zaťažovacia skúška

Statická schéma stĺpa bola obojstranné kĺbové uloženie zabezpečené navarením oceľových valčekov na oba konce stĺpa na zvolenej excentricite 40mm. Pásové zarážky na podkladovej platni lisu potom umožňovali otáčanie okolo osi valca.

Stĺpy boli zaťažované postupne v jednotlivých zaťažovacích krokoch s prírastkom tlakovej sily po 10% predpokladanej odolnosti.

2.4. Meracie prístroje a zariadenia



Obr. 2.: Rozmiestnenie meracích zariadení

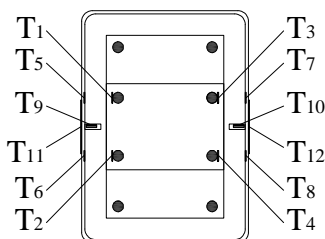
Stĺpy boli skúšané vo zvislej polohe v 6MN hydraulickom lise.

Počas zaťažovacej skúšky boli sledované a merané nasledujúce veličiny:

- pretvorenie stĺpa – priehyb;
- pomerné pretvorenia materiálov;
- veľkosť pôsobiacej tlakovej sily;
- spôsob zlyhania a medzná odolnosť stĺpa.

Vzhľadom na to boli zvolené nasledovné meracie prístroje a zariadenia (znázornené na obr. 2):

- indukčné snímače dráhy ($O_1 - O_3$);
- teodolit a geodetické body ($G_1 - G_5$);
- elektrické odporové tenzometre ($T_1 - T_{12}$) – obr. 3;
- príložné deformetre ($D_1 - D_4$).



Obr. 3.: Rozmiestnenie tenzometrov v priereze ($T_1 - T_4$ – výstuž, $T_5 - T_8$ – betón, T_9, T_{10} – lamela, T_{11}, T_{12} – tkanina)

3. Výsledky experimentálnych meraní

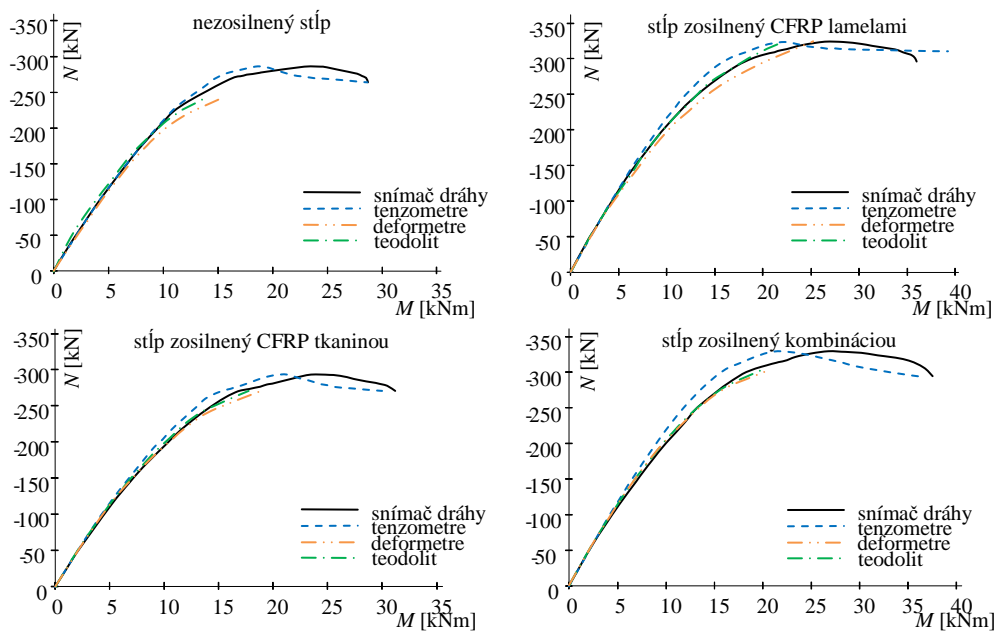
Prvoradou úlohou experimentálneho merania bolo zistiť závislosť priehybu v strede stĺpa od excentricky pôsobiacej tlakovej sily. Najpresnejšie meranie schopné zaznamenať aj klesajúcu vetvu ponúkajú indukčné snímače dráhy. Hodnota nameraná v bode O_2 bola ešte skorigovaná hodnotami v bodoch O_1 a O_3 v prípade, ak došlo k nakloneniu stĺpa pri dosadnutí kaloty lisu.

Ak je priehyb známy a známa je aj hodnota tlakovej sily a jej počiatkovej excentricity, výsledná odolnosť môže byť pre porovnanie s teoretickou metódou znázornená na grafe závislosti tlakovej sily a ohybového momentu.

Priehyb nameraný indukčnými snímačmi dráhy je možné kontrolovať menej presnými spôsobmi – priamymi a nepriamymi. Z priamych metód sa použilo geodetické meranie pomocou teodolitu.

Ako nepriama metóda sa využila kontrola priehybu stĺpa s hodnotami vypočítanými na základe krivosti najviac namáhaného prierezu, ktorá vyplýva z nameraných pomerných pretvorení – získaných meraním odporovými tenzometrami a príložnými deformetrami.

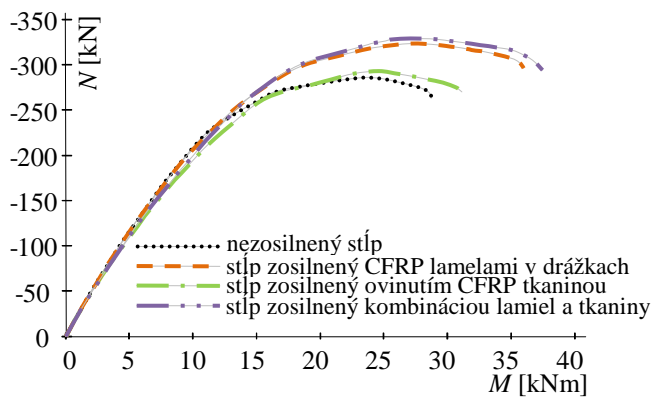
Porovnanie výsledkov zistených indukčnými snímačmi dráhy a kontrolnými meraniami preukazujú dobrú zhodu (obr. 4) a získané výstupy preto možno považovať za dôveryhodné.



Obr. 4.: Porovnanie meraní

Uvažovať potom možno nasledovné zvýšenie odolnosti zosilnených stĺpov (obr. 5):

- nezosilnený stĺp: 286kN
- stĺp zosilnený CFRP lamelami v drážkach: 323kN → +12,9%
- stĺp zosilnený ovinutím CFRP tkaninou: 293kN → +2,4%
- stĺp zosilnený kombináciou lamiel a tkaniny: 330kN → +15,4%



Obr. 5.: Závislosť tlakovej sily a ohybového momentu

Odporovými tenzometrami boli zisťované aj pomerné pretvorenia CFRP lamiel a tkaniny (obr. 3) a tým sa sledovalo ich pôsobenie a využitie.

Pretvorenia CFRP lamiel boli pri stĺpe zosilnenom CFRP lamelami v drážkach porovnávané s pretvoreniami betonárskej výstuže. Tlakové aj ťahové pomerné pretvorenia CFRP lamiel majú vyššie hodnoty ako pretvorenia betonárskej výstuže, čo zodpovedá väčšej vzdialenosti CFRP lamiel od neutrálnej osi prierezu. Na ťahanej strane betónového prierezu bolo zistené pretrhnutie CFRP lamiel pri pomernom pretvorení v rozmedzí 2,5 až 2,8%. Rovnaké hodnoty uvádza aj Olivová [2]. Tie sú až 5-krát nižšie ako medzné pomerné pretvorenia získané z ťahovej skúšky, čo má za následok obmedzené využitie kapacity CFRP lamiel. Môže to byť dôsledok prevažne ohybového namáhania prierezu stĺpa a tvaru CFRP lamely – prierez lamely 1,4x10mm nie je namáhaný ťahom rovnomerne ako pri ťahovej skúške, ide skôr o ťah za ohybu. V mieste pretrhnutia lamely (najviac namáhaný prierez v strede výšky stĺpa) je veľká krivosť a vlákna lamely nie sú, vzhľadom na jej geometriu, namáhané rovnomerne.

Využitie CFRP tkaniny v priereze štíhleho stĺpa je tiež značne obmedzené, čo potvrdzujú namerané hodnoty pomerných pretvorení tkaniny. Na tlačenej strane prierezu boli priečne pomerné pretvorenia blízke nule a na ťahanej strane prierezu bolo maximálne pomerné pretvorenie CFRP tkaniny 0,1%. Rovnaké hodnoty uvádzajú aj Tao a Yu (2008) [3]. Potrebné zvýšenie pevnosti betónu sa teda nepodarilo dosiahnuť, čo malo za následok malý účinok ovinutia na zvýšenie odolnosti štíhlych stĺpov.

4. Záver

Správnosť hodnôt nameraných pri experimentálnom overení potvrdzuje dobrá zhoda hlavných meraní (indukčnými snímačmi dráhy) s kontrolnými meraniami (priame – teodolitom a nepriame – tenzometrami a deformetrami). Na základe výsledkov experimentálnych meraní je možné kalibrovať výsledky teoretických výpočtov a určiť modely najviac sa približujúce experimentom.

Zosilnenie CFRP lamelami v drážkach môže byť pri výpočte odolnosti uvažované ako prídavná výstuž s príslušnými vlastnosťami a diagramom $\sigma-\varepsilon$. Pri započítavaní tohto účinku sa musí vziať do úvahy, že prierez je v čase zosilňovania už zaťažený na istú hladinu zaťaženia. Pri zosilňovaní sa odporúča maximálne odľahčenie konštrukcie kvôli lepšej aktivácii lamiel.

Zosilnenie ovinutím CFRP tkaninou môže byť pri výpočte uvažované zvýšením pevnosti betónu a zmenou diagramu $\sigma-\varepsilon$.

Nízky stupeň využitia CFRP materiálov v zosilňovaných prierezoch vyplývajúci z nameraných hodnôt pomerných pretvorení odporúčame ako predmet ďalšieho skúmania.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci a s podporou výskumného projektu VEGA č. 1/0306/09 Aplikácia pravdepodobnostných metód na obnovenie spoľahlivosti betónových stavieb.

Literatúra

- [1] GAJDOŠOVÁ, K.: Zosilňovanie štíhlych železobetónových stĺpov použitím polymérov vystužených vláknami : Dizertačná práca. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2010, 115s.
- [2] OLIVOVÁ, K.: Zosilňovanie betónových stĺpov lamelami a tkaninou z uhlíkových vlákien : Dizertačná práca. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2007, 207s.
- [3] TAO, Z. – YU, Q.: Behaviour of CFRP-strengthened Slender Square RC Columns. In: Magazine of Concrete Research, ročník 60, 2008, č. 7, s. 523 – 533.

Kontakt

Ing. Katarína Gajdošová, tel: 00421 259 274 382, e-mail: katarina.gajdosova@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.

RATIO BETWEEN STATIC AND DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE

POMĚR MEZI STATICKÝM A DYNAMICKÝM MODULEM PRUŽNOSTI BETONU

Zbyněk Hlaváč

Department of Building Testing, Faculty of Civil
Engineering, Brno University of Technology

Annotation:

In the paper there is solved problem of different values of E-modulus of concrete by static or dynamic testing. Results of compressive and four-point bending tests of prisms of common concrete are compared to the ultrasonic and resonance tests. On the basis of these comparisons is possible to estimate mean value \pm mean sample deviation of ratio: static versus dynamic modulus, where the static is about (88 ± 5) % of the dynamic.

Anotace:

Ve článku je řešen problém rozdílných hodnot modulu pružnosti betonu, určeného ze statických nebo dynamických zkoušek. Zkoušky v tlaku na válci či hranolu a také v tahu za čtyřbodého ohybu jsou porovnávány s ultrazvukovou a rezonanční zkouškou. Použity jsou výsledky zkoušek obyčejného betonu. Na základě těchto srovnání je možné odhadnout střední hodnotu \pm průměrnou výběrovou směrodatnou odchylku poměru statického ku dynamickému modulu, které se pohybují kolem (88 ± 5) %.

Keywords: Modulus of elasticity of concrete, ratio between static and dynamic modulus, mean value, sample deviation

Klíčová slova: Modul pružnosti betonu, poměr mezi statickým a dynamickým modulem, střední hodnota, výběrová směrodatná odchylka

1. Destructive testing

In Center of Nuclear Research in Řež u Prahy were taken 12 samples of common concrete by casting of 2 massive blocks. More 6 prisms came from older block No. 5. Three cylinders were bored in another hardened block No. 3.

1.1. Compressive test

Three samples from each new batch I and II or older blocks No. 5 and 3 were tested in compression according to the standard [2] so that compressive E-modulus E_c could be evaluated. After every test was determined maximal force and compressive strength (cylindrical or prismatic, f_c or $f_{c,prism}$, respect.). Another 3 prisms from each batch I and II or block 5 were used for destructive bending test what will be described later on. In case of cylinders were done only compressive tests so just E-modulus in compression E_c and cylindrical strength f_c could be determined. Cylindrical and prismatic strengths are assumed to be equal ($f_{c,prism} \cong f_c$).

Evaluation of compressive tests of concrete is shown in Table 1. Distribution of values of all investigated magnitudes is assumed as normal so that mean value of magnitude $X = (E_c \text{ or } f_c)$ is estimated as arithmetical average, separately for each block or batch by formula (1),

$$\mu_{X,j} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i,j}}{n}, \quad (1)$$

here $\mu_{X,j}$ ($\mu_{E,c,j}$ or $\mu_{f,c,j}$) is mean value of attribute X (E_c or f_c) determined on set No. j ,

$x_{i,j}$ is value of attribute X from experiment No. i carried out on set No. j ,

i number of experiment,

n is number of all experiments in one set (one block, batch, group of elements, etc.).

Sample deviation and mean sample deviation can be expressed by equations (2) and (3), respectively,

$$\sigma_{X,j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i,j} - \mu_{X,j})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{i,j} - \mu_{x,j})^2}{m(n-1)}}, \quad (3)$$

here $\sigma_{x,j}$ is sample deviation of attribute X determined on set No. j ,

σ_x mean sample deviation of attribute X valid for all the sets,

j number of the set,

m total number of sets.

For the whole structure (general set) is estimated mean value of characteristic X by equation (4),

$$\mu_x = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_{x,j}}{m}. \quad (4)$$

Coefficient of variation is expressed as ratio between mean sample deviation and mean value of all blocks and batches,

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}. \quad (5)$$

Table 1.: Mean values $\mu_{x,j}$ (sample deviations $\sigma_{x,j}$) of E -modulus E_c and compressive strength f_c of concrete from Řež u Prahy [1]

Sample	Modulus of elasticity E_c [MPa]	Compressive strength f_c [MPa]
01/I	28 700	40,4
03/I	30 000	44,0
05/I	28 500	40,7
13/II	25 200	36,9
16/II	27 500	39,1
17/II	28 400	38,5
7/5.	35 300	48,3
8/5.	34 700	50,5
9/5.	34 000	50,1
1A	24 200	39,4
3A	26 700	46,3
4A	25 100	41,2
Mean value μ_x (mean sample deviation σ_x)	29 000 (1 200)	43,0 (2,2)
Coefficient of variation δ_x	0,041	0,051

1.2. Four-point bending test

Twelve prisms of common concrete (taken by casting of 2 new massive blocks and 3 prisms casted earlier during construction of older block No. 5 in Center of Nuclear Research in Řež u Prahy) were tested in flexure according to the standard ČSN 736174 [3]. Three samples from each new batch I. and II or older block No. 5 were tested in four-point (4P) bending and tensile E-modulus $E_{ct,fl}$ could be evaluated. By each test was determined maximal force and tensile strength $f_{ct,fl}$.

Evaluation of 4P bending tests of concrete is shown in Table 2. Mean value of each of three specimens ($i = 1, 2, 3$) of every batch ($j = 1, 2, 3$) is estimated by relationship (1), sample deviation $\sigma_{X,j}$, its mean σ_X , general mean value μ_X and variation coefficient δ_X are determined by equations (2) to (5), respectively.

Table 2.: Mean values $\mu_{X,j}$ (sample deviations $\sigma_{X,j}$) of E-modulus $E_{ct,fl}$ and tensile strength $f_{ct,fl}$ of concrete from Řež u Prahy [1]

Sample	Modulus of elasticity $E_{ct,fl}$ [MPa]		Tensile strength $f_{ct,fl}$ [MPa]	
02/I	30 100	30 300 (700)	5,83	5,99 (0,41)
08/I	29 700		5,69	
09/I	31 100		6,46	
11/II	31 300	29 300 (1 900)	5,75	5,74 (0,30)
12/II	27 600		6,04	
14/II	28 900		5,44	
4/5.	34 600	34 100 (600)	5,39	5,68 (0,26)
5/5.	34 400		5,88	
6/5.	33 400		5,76	
Mean value μ_X (mean sample deviation σ_X)	31 200 (1 200)		5,80 (0,33)	
Coefficient of variation δ_X	0,038		0,056	

Comparison of the values of E-modulus from compressive and 4P bending test was published in paper [1]. Variations of their values are similar as can be seen in Tables 1 and 2. Nevertheless the mean values differ; in this case is mean value of tensile E-modulus $\pm 30\%$ of possible results expressed as relationship (5),

$$\mu_{E,ct,fl} = (1,04 \pm 0,04)\mu_{E,c}. \quad (6)$$

2. Non-Destructive Testing

Whereas static modulus E_c (or $E_{ct,f}$) is determined as a secant of stress-strain relationship, dynamic E-modulus $E_{c,us}$ (or $E_{c,r,f}$) expresses its tangent. Tangent point is where stress and strain equal zero.

Relationship between static and dynamic modulus of elasticity of common concrete was analyzed in article [1].

2.1. Ultrasonic transmission test

In Table 3 there are results of the ultrasonic transmission tests [4] of 9 prisms and 3 cylinders which were checked before the compression tested. Distribution of the table is according to the Tables 1 and 2. Fundamental data of the measurement come from article [1].

Table 3.: Mean values $\mu_{X,j}$ (sample deviations $\sigma_{X,j}$) of dynamic E-modulus of concrete $E_{c,us}$ and ratio between static and dynamic modulus $E_c/E_{c,us}$

Sample	Modulus of elasticity $E_{c,us}$ [MPa]	Ratio $E_c/E_{c,us}$ ¹⁾
01/I	33 800	0,85
03/I	35 300	0,85
05/I	33 900	0,84
13/II	29 600	0,85
16/II	31 200	0,88
17/II	31 400	0,90
7/5.	41 000	0,86
8/5.	40 400	0,86
9/5.	40 700	0,84
1A	31 900	0,76
3A	31 000	0,86
4A	32 300	0,78
Mean value μ_X (mean sample deviation σ_X)	34 400 (700)	0,84 (0,03)
Coefficient of variation δ_X	0,020	0,035
¹⁾ Particular value of E_c is taken from Table 1		

On the basis of Table 3 is clear distribution of dynamic E-modulus $E_{c,us}$ in the structure. Static E-modulus E_c of investigated concrete is about (88 ± 3) % of adequate dynamic modulus $E_{c,us}$.

In Table 4 are results of the ultrasonic transmission tests of 9 prisms which were tested also by four-point bending.

Table 4.: Mean values $\mu_{x,j}$ (sample deviations $\sigma_{x,j}$) of dynamic E-modulus of concrete $E_{c,us}$ and ratio between static and dynamic modulus $E_{ct,fl}/E_{c,us}$

Sample	Modulus of elasticity $E_{c,us}$ [MPa]	Ratio $E_{ct,fl}/E_{c,us}$ ¹⁾
02/I	34 300	0,88
08/I	32 400	0,92
09/I	30 600	1,02
11/II	32 700	0,96
12/II	30 000	0,92
14/II	32 900	0,88
4/5.	41 200	0,84
5/5.	41 200	0,83
6/5.	40 400	0,83
Mean value μ_x (mean sample deviation σ_x)	35 100 (1 400)	0,90 (0,047)
Coefficient of variation δ_x	0,040	0,050
¹⁾ Particular value of $E_{ct,fl}$ is taken from Table 2		

From Table 4 is clear distribution of $E_{c,us}$ in the rest of the structure. Tensile E-modulus $E_{ct,fl}$ of the concrete approaches (90 ± 5) % of corresponding dynamic modulus $E_{c,us}$. Higher values, in comparison to the compressive modulus, can be caused due to the relationship (6) which increases the mean value as well as the deviation.

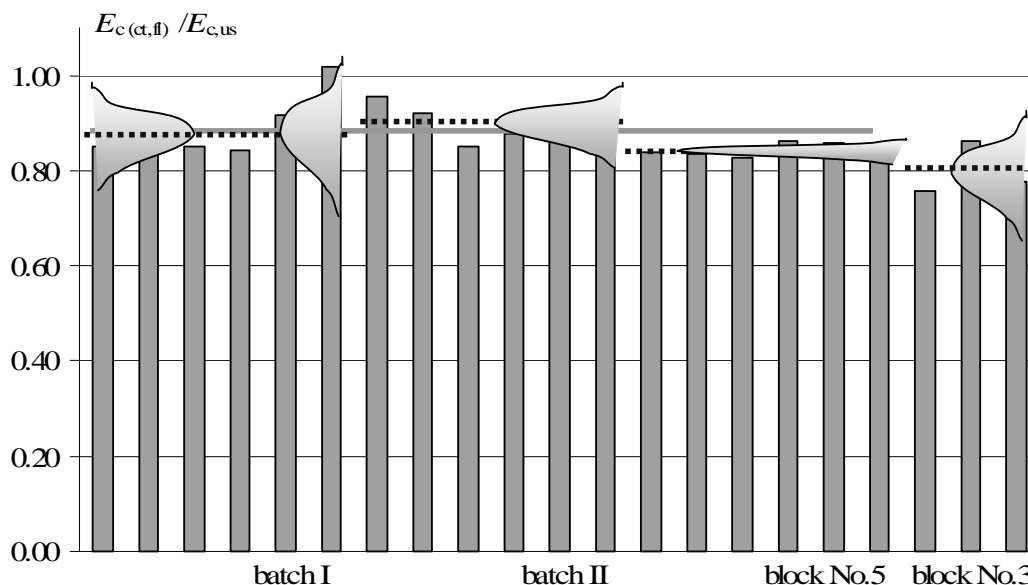


Figure 1.: Distribution of ratio between static and dynamic E-moduli of concrete $E_{c(ct,fl)}/E_{c,us}$

In Figure 1 there are shown ratios of static and dynamic E-moduli performed in Tables 3 and 4 neglecting the difference between E_c or $E_{ct,fl}$. Sorting of the samples is just by their origin, i.e. prisms of new batches I and II, prisms of the 5th block and bored cylinders of block No. 3 which aren't involved to the average (signed by the gray thick line; density function is on the left). Mean value of each batch or block is marked by shortly-dashed thick dark line.

Taking into account Figure 1, average ratio $\mu_{E,c(ct,fl)}/\mu_{E,c,us} = 0.88 \pm 0.050$ comparing the samples casted separated from the structure and 0.80 ± 0.055 for specimens taken directly in structure (by boring).

2.2. Flexural resonance test

Comparison of dynamic modulus of elasticity of common concrete from Řež u Prahy is performed analogously to the ultrasonic measurement. In Tables 5 and 6 there are results of flexural resonance tests of 9 prisms and 3 cylinders which were tested also in compression and 4P bending, respectively. Data origin is article [1].

In Table 5 is performed dynamic modulus of elasticity $E_{c,r,f}$ determined in transversal direction of the specimen by resonance method [5] employing principle impact-echo [6]. It is compared to the results of Table 1 (analogously to Table 3).

Table 5.: Mean values $\mu_{X,j}$ (sample deviations $\sigma_{X,j}$) of dynamic E-modulus of concrete $E_{c,r,f}$ and ratio between static and dynamic modulus $E_c/E_{c,r,f}$

Sample	Modulus of elasticity $E_{c,r,f}$ [MPa]	Ratio $E_c/E_{c,r,f}$ ¹⁾
01/I	34 400	0,83
03/I	33 300	0,90
05/I	33 600	0,85
13/II	30 600	0,82
16/II	32 700	0,84
17/II	34 800	0,82
7/5.	40 400	0,87
8/5.	40 100	0,87
9/5.	39 700	0,86
1A	36 100	0,67
3A	30 400	0,88
4A	34 000	0,74
Mean value μ_X (mean sample deviation σ_X)	35 000 (1 800)	0,83 (0,06)
Coefficient of variation δ_X	0,051	0,072
¹⁾ Particular value of $E_{ct,fl}$ is taken from Table 2		

Probably due to the high sensitivity of flexural resonance method [7] happen the high deviation within cylinders 1A and 4A testing. Neglecting these results, the variation coefficient would be 0.03, i.e. less than half.

Similarly can be compared dynamic modulus $E_{c,r,f}$ to the static $E_{ct,fl}$ determined in tension by bending. In Table 6 there are these comparisons made on 9 prisms of batch I, II and block No. 5 of Řež's nuclear institute. Basic data of the measurement is again in the article [1]. Poisson coefficient moves there between 0.18 and 0.21 what confirms the assumptions. Nevertheless uncertainty of the comparison (increased probably due to the combination of errors - mistakes in both complicated flexure methods, i.e. static and dynamic) is high.

Table 6.: Mean values $\mu_{X,j}$ (sample deviations $\sigma_{X,j}$) of dynamic E-modulus of concrete $E_{c,r,f}$ and ratio between static and dynamic modulus $E_{ct,fl}/E_{c,r,f}$

Sample	Modulus of elasticity $E_{c,r,f}$ [MPa]	Ratio $E_{ct,fl}/E_{c,r,f}$ ¹⁾
02/I	32 300	0,93
08/I	32 500 (900)	0,89
09/I		0,98
11/II		1,00
12/II	34 300 (2 900)	0,74
14/II		0,84
4/5.		0,86
5/5.	40 300 (100)	0,85
6/5.		0,83
Mean value μ_X (mean sample deviation σ_X)	35 700 (1 500)	0,88 (0,08)
Coefficient of variation δ_X	0,045	0,091
¹⁾ Particular value of $E_{ct,fl}$ is taken from Table 2		

In Figure 2 there are shown ratios between static and dynamic E-modulus E_c (or $E_{ct,fl}$) and $E_{c,r,f}$, respectively. Average value for prisms is signed by gray thick line, its density function is on the left. Mean value of each batch or block is marked by shortly-dashed thick dark line.

Taking into account Figure 2, mean ratio $\mu_{E,c(ct,fl)}/\mu_{E,c,r,f} = 0.87 \pm 0.05$ comparing separately casted prisms; for bored cylinders is the ratio 0.76 ± 0.11 .

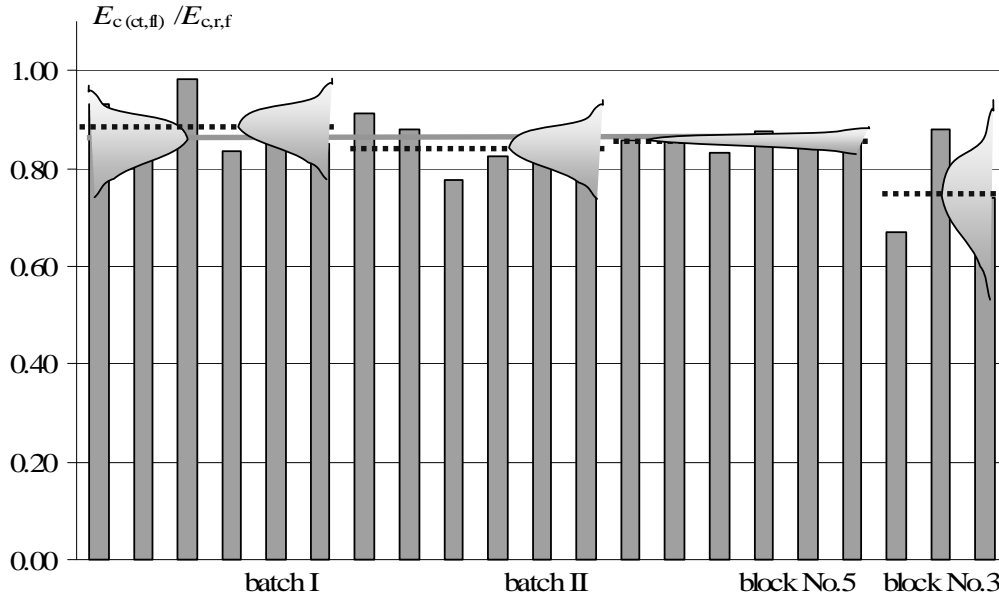


Figure 2.: Distribution of ratio between static and dynamic E-moduli of concrete $E_{c(ct,fl)}/E_{c,r,f}$

3. Conclusion

There were compared results of static and dynamic tests of common concrete prisms and bored cylinders in this article. On the basis of the comparison can be made several remarks:

- There are differences between E-modulus determined by one-axis compression and four-point bending tests according to in present valid Czech standards [2, 3] which might be assumed, comparing static to dynamic modulus.
- Static (compressive or tensile) modulus of elasticity of common concrete E_c or $E_{ct,fl}$ can be estimated sufficiently accurately, knowing dynamic modulus form ultrasonic or resonance methods $E_{c,us}$ or $E_{c,r,f}$, respectively. There was determined mean relationship between static and dynamic E-modulus of particular concrete [1],

$$E_{c,stat} = (0.88 \pm 0.05)E_{c,dyn}. \quad (7)$$

- By relationship (7) is estimated 70 % of results, the accuracy is depended mainly on homogeneity of the structure or its concrete while testing the whole structure (large building) or just one set (e.g. here block No. 5). During measurement of static or dynamic E-modulus are caused additional uncertainties depended on the performance of used methods.

Acknowledgement

This paper was prepared by the benefit of grant GAČR 103/09/1073.

References

- [1] HLAVÁČ, Z.: Srovnání a optimalizace zjišťování modulu pružnosti betonu [Comparison and optimization of discovering of concrete E-modulus]. Abstracted In Sborník, Juniorstav 2007 [Proceedings, Junior-construct] Brno, FAST, VUT v Brně [Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology]. 2007. ISBN 978-80-214-3337-3. Full version of article on CD p. 1 – 5 or at http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_2.5/Hlavac_Zbynek_CL.pdf
- [2] ČSN ISO 6784 Beton – Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku [Concrete – Determination of static modulus of elasticity in compression]. Československá norma [Czechoslovak code]. Praha, Vydavatelství norem [Codes publishers]. 1993.
- [3] ČSN 736174 Stanovení modulu pružnosti a přetvárnosti betonu ze zkoušky v tahu ohybem [Determination of modulus of elasticity and deformability of concrete]. Československá státní norma [Czechoslovak state code]. Praha, ÚNM. 1968.
- [4] ČSN 731371 Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu [Method of ultrasonic pulse testing of concrete]. Československá štátna norma [Czechoslovak code]. 1981.
- [5] ČSN 731372 Rezonančná metóda skúšania betónu [Testing of concrete by resonance method]. Československá štátna norma [Czechoslovak state code]. 1981.
- [6] SANSALONE, M.; STREET, W., B.: Impact–echo. Nondestructive evaluation of concrete and masonry. Ithaca NY, Bulbrier Press. 1997.
- [7] CIKRLE, P.; HLAVÁČ, Z.; KRÁLOVÁ, L.; BÍLEK, V. Sledování vnitřních poruch struktury zmrazovaného betonu [Observation of inner failures of frozen-thawed concrete's structure]. In Experiment '07 – Sborník [Experiment '07 – Proceedings]. Brno, Akademické nakladatelství [Academic publishers] CERM. 2007. p. 53 - 58. ISBN 978-80-7204-543-3.

Contact

Ing. Zbyněk Hlaváč, tel: 00420 541 147 815, e-mail: hlavac.z@fce.vutbr.cz, Department of Building Testing, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Veveří 95, 602 00 Brno.

OVĚŘOVÁNÍ HOMOGENITY DRÁTKOBETONU

VERIFICATION OF THE HOMOGENEITY OF THE FIBRE-CONCRETE

**Leonard Hobst, Ondřej Anton,
Jan Vodička, Jiří Ščučka**

VUT v Brně, Fakulta stavební,
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Anotace:

Homogenita vláknobetonu aplikovaného na nosnou konstrukci je nejdůležitějším faktorem pro zajištění spolehlivosti vláknobetonové konstrukce. Pokud homogenita vláknobetonu není dodržena, dochází k tomu, že v různých částech konstrukce má vláknobeton jiné charakteristiky (např. tahovou pevnost), což může způsobit poruchu konstrukce (vznik a vývoj trhlin). V příspěvku je proto pojednáno o tom, jakými dosud známými způsoby lze získat informace o homogenitě vláknobetonu s ocelovými drátky (drátkobetonu).

Annotation:

Fibre concrete homogeneity applied on the supporting structure is the most important factor for ensuring of the reliability of the fibre-concrete construction. In the opposite case, i.e. non homogeneity of fibre concrete, it would have different characteristics in different parts of fibre concrete construction (e.g. tensile strength) what can make failure of the construction (initiation and development of the cracks). In the paper there are discussed already known ways how to obtain information about the homogeneity of steel-fibre concrete.

Klíčová slova: *nedestruktivní zkoušení, drátkobetonové konstrukce, radiografie, kontrola kvality, analýza obrazu*

Keywords: *non-destructive testing, fibre-concrete structures, radiography, quality control, image analysis*

1. Úvod

Vláknobetony s ocelovými vlákny (drátky) jsou u nás známé pod názvem drátkobetony. Jejich aplikace do konstrukcí podlah průmyslových hal a supermarketů je technické veřejnosti dobře známa. V poslední době se díky dobrým fyzikálně mechanickým vlastnostem drátkobetonu velmi často vyskytuje snaha projektantů, především však investorů, využít drátkobeton i pro konstrukce nosné. Ukazuje se, že aplikace drátkobetonu na takovéto konstrukce je cestou, která vede k ekonomickým efektům.

Nosné konstrukce, které mohou být jak monolitické tak i prefabrikované, nemají charakter konstrukce podlahové desky spočívající přímo na terénu. Případná nižší spolehlivost konstrukce může proto znamenat podstatně horší následky, a to nejen pokud jde o škody na majetku, ale především o bezpečnost a životy lidí. Tato skutečnost u konstrukcí zmíněných podlah v podstatě nehrozí.

Z uvedených důvodů je zřejmé, že je nutno se zaměřit na účinnou kontrolu homogenity drátkobetonu ve zhotovené nosné drátkobetonové konstrukci.

2. Homogenita drátkobetonu

Základem k získání homogenity drátkobetonu v nosné konstrukci je dodržení zásad technologie drátkobetonu. To spočívá ve správném návrhu složení drátkobetonové směsi, kde při vyšších dávkách drátků musí být zohledněno tzv. nakypření směsi kameniva drátky, dále ve správném postupu technologie výroby čerstvého drátkobetonu a stanovení správného způsobu hutnění čerstvého drátkobetonu při betonáži konkrétní vláknobetonové konstrukce. Podrobnější popis uvedených etap technologie drátkobetonu lze nalézt např. v [1].

V literatuře [1] lze také nalézt popis zkušební metody ke zjišťování obsahu drátků v odebíraných vzorcích čerstvého drátkobetonu. První informaci o homogenitě čerstvého vláknobetonu lze získat vizuálně, kdy viditelné shluky drátků (tzv. ježci), svědčí o chybách, které při výrobě čerstvého vláknobetonu nastaly.

Složitější otázkou zůstává, jak získat informaci o homogenitě drátkobetonu zabudovaného v nosné konstrukci. Kromě odběru vývrtů a jejich rozboru je třeba hledat další cesty – zkoušky, které by poskytly spolehlivou informaci o homogenitě materiálu. Jednou z takových cest je rentgenografie, která je popsána v následujících kapitolách příspěvku.

3. Rentgenografická metoda kontroly homogenity drátkobetonu

Rentgenografie patří k nedestructivním metodám, které umožňují kontrolu vnitřní struktury materiálu bez jeho porušení. Ve stavebnictví byla tato metoda úspěšně odzkoušena při radiografické kontrole výztuže v železobetonových konstrukcích a dále při kontrole zainjektování předpínací výztuže v konstrukcích z předpjatého betonu. Přestože vypovídací schopnost radiogramů je vynikající, má rentgenografická metoda kontroly řadu omezení. Je např. možné kontrolovat předměty a materiály pouze o určité limitované tloušťce, která je závislá na energii rentgenového záření. V běžných podmínkách je používáno rentgenové záření o energii cca 160 kV, které umožňuje prozařovat vzorky betonu do tloušťky 100 mm. Větší tloušťky lze prozařovat při volbě vyšší energie záření a to buď rentgenového, nebo gama záření, vznikajícího v radioizotopech. Např. při použití Co 60 jako zdroje záření lze prozařovat betonové konstrukce až do tloušťky 400 mm, ovšem při podstatné ztrátě rozlišitelnosti detailů v materiálu. V neposlední řadě je nutno při radiografické kontrole dodržovat přísná bezpečnostní opatření.

Pro experimentální stanovení homogenity drátkobetonu byly zhotoveny tři série vzorků (označené A, B a C) s různou koncentrací drátků – 0,0 %, 0,5 %, 0,75 %, 1,0 %, 1,25 % a 1,5 %. Byly použity drátky TRI-TREG (délka 60 mm), DRAMIX (délka 50 mm) a FIBREX (délka 25 mm) – celkem bylo připraveno 18 vzorků drátkobetonu. Vzorky byly zhotoveny ve formách o rozměrech 300x300x150 mm. Tyto rozměry byly zvoleny proto, aby vzorky byly snadno manipulovatelné a současně dostatečně velké na to, aby u nich nedocházelo k „okrajovým jevům“ při zpracovávání drátkobetonu. Takto zvolené vzorky nebylo možno, vzhledem k jejich velké tloušťce, prozářit rentgenovým zářením, a byly proto rozřezány na menší části, které byly kromě rentgenografie podrobeny také dalším nedestructivním měřením. Pro rentgenografii byly z každého vzorku nařezány vždy dvě kontrolní desky o rozměrech 150x150x75 mm. Tyto rozměry kontrolních desek umožňují s dostatečnou přesností stanovit rozložení drátků ve vybraném úseku (o tloušťce 75 mm). Kontrolní desky, získané z jednotlivých vzorků, byly postupně snímkovány na rentgenové filmy. I když se rentgenografická kontrola drátkobetonu na vybraných vzorcích používala i dříve [2], při současném hodnocení se projevila nutnost nalezení objektivní metody, která by umožnila radiogramy lépe kvantitativně analyzovat co do množství a orientace drátků.

Jako vyhovující se jeví využití metod obrazové analýzy.

4. Analýza podílu a orientace drátků v drátkobetonu

Podíl a orientace drátků ve vybraných kontrolních deskách z drátkobetonu byly stanoveny metodami analýzy obrazu. Vybrané snímky byly

digitalizovány pomocí stolního skeneru EPSON 4990 s prosvětlovacím víkem umožňujícím skenování pozitivních i negativních filmů. Byly pořízeny obrazy s rozlišením 300 dpi ve formátu TIFF, které byly dále zpracovány pomocí softwaru pro zpracování a analýzu obrazu Matlab Image Processing Toolbox a NIS Elements.

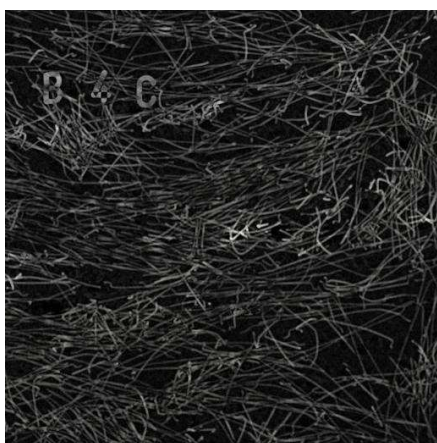
Analýzou obrazu byly stanoveny orientační hodnoty *objemového podílu drátků* v betonu a *přednostní orientace drátků*. Postup zpracování obrazu pro jeho kvantitativní vyhodnocení je zřejmý z ilustračních obrázků a jejich popisů na obr. 1 až 10.



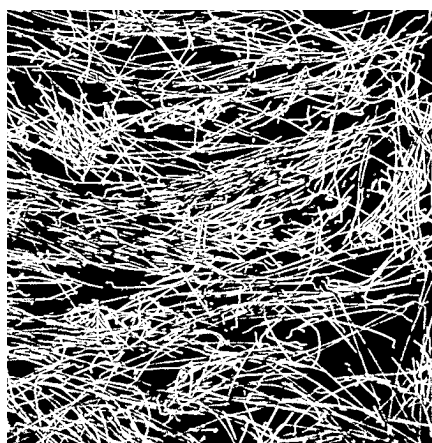
Obr. 1.: Výchozí obraz



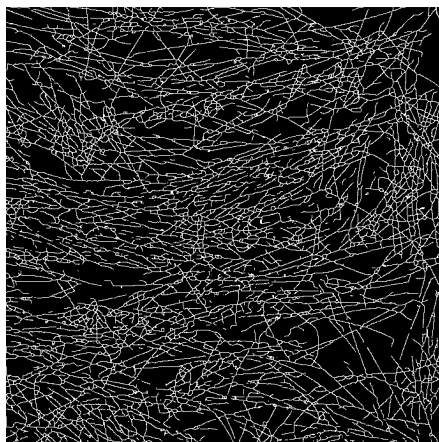
Obr. 2.: Zvýšení kontrastu



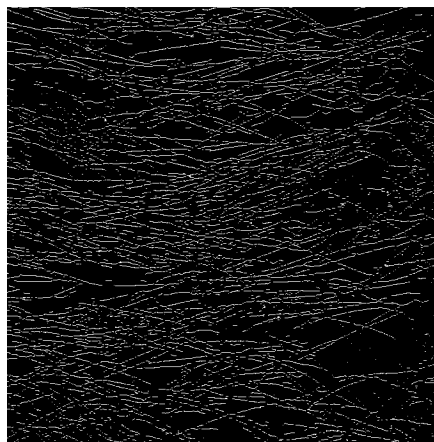
Obr. 3.: Detekce liniiových objektů



Obr. 4.: Obraz binarizovaný prahováním



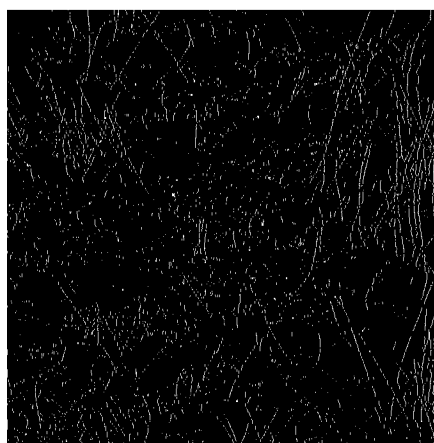
*Obr. 5.: Středové linie (osy) drátků
o tloušťce 1 pixel*



Obr. 6.: Linie ve směru 0°C



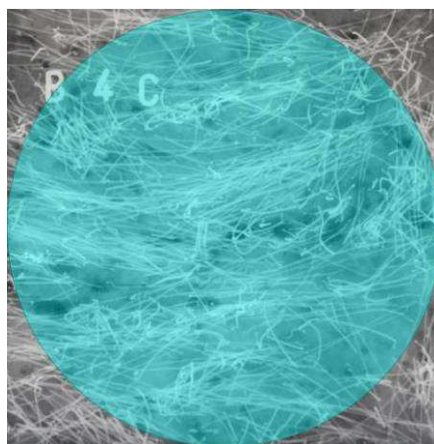
Obr. 7.: Linie ve směru 45°C



Obr. 8.: Linie ve směru 90°C



Obr. 9.: Linie ve směru 135°C



Obr. 10.: Kruhová měřicí maska

Objemový podíl drátků v betonu byl měřen na binárních obrazech drátků (příklad na obr. 4) jako procentuální podíl plochy zobrazených drátků v ploše obrazu. Přednostní orientace drátků byla stanovena měřením délky středových os drátků ve směru 0° (příklad na obr. 6), 45° (příklad na obr. 7), 90° (příklad na obr. 8) a 135° (příklad na obr. 9). Ve směrech 45° a 135° byla změřená hodnota vynásobena korekčním koeficientem 1,41. Stanovení orientace drátků bylo provedeno v ploše kruhové masky znázorněné na obr. 10.

5. Výsledky analýzy

Pro ilustraci zde budou uvedeny výsledky analýzy obrazu jedné z testovaných sérií vzorků - série B. Tato série byla vytvořena s použitím drátků Dramix, s hmotnostní koncentrací drátků ve vzorcích 0,0 %, 0,5 %, 0,75 %, 1,0 %, 1,25 % a 1,5 %. Konkrétní naměřené hodnoty objemového podílu drátků v betonu dané série uvádí tabulka 1.

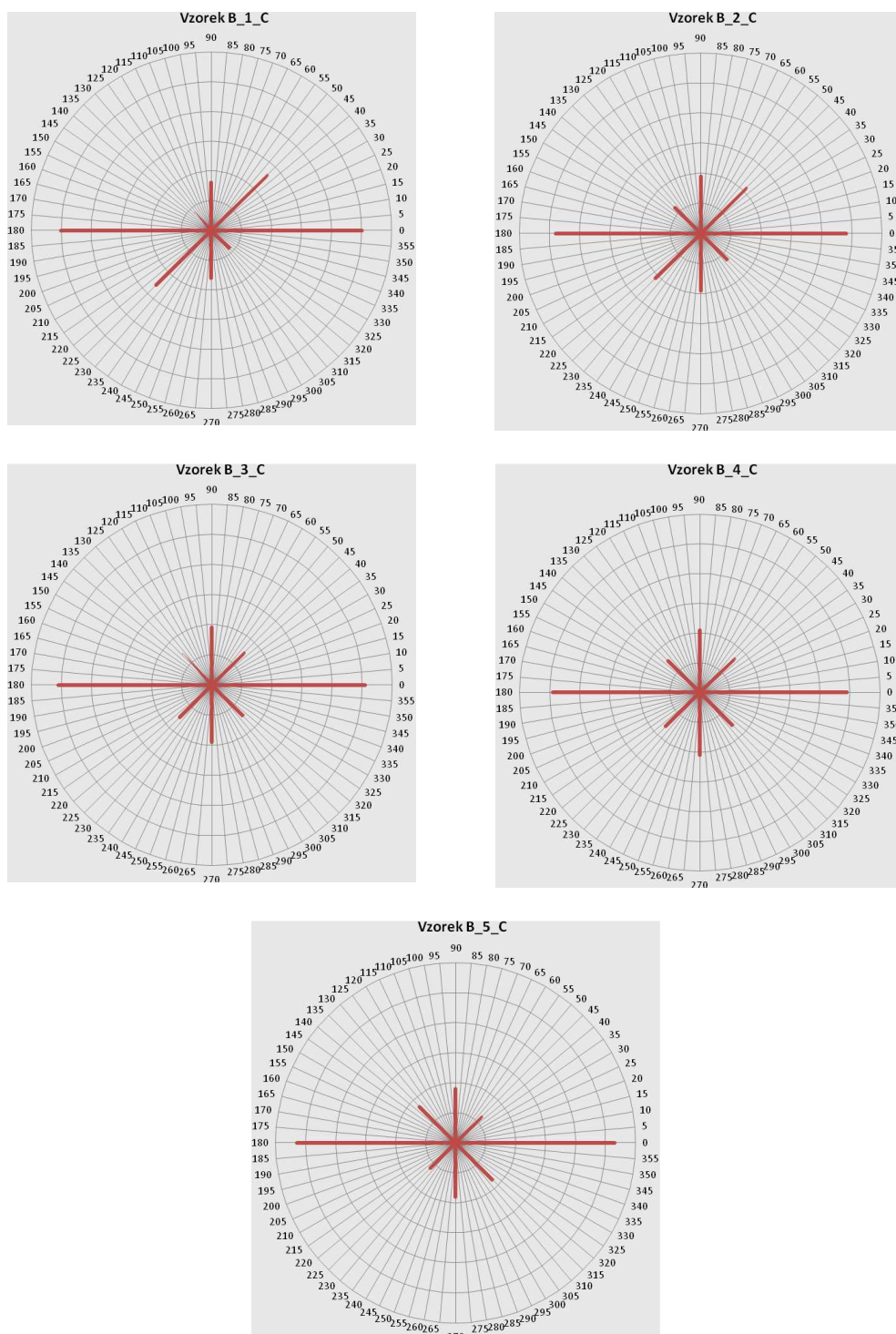
Tabulka 1.: Hodnoty objemového podílu drátků v betonu stanovené analýzou obrazu u série B (kontrolní deska C)

Vzorek	B-0-C	B-1-C	B-2-C	B-3-C	B-4-C	B-5-C
Podíl drátků [% obj.]	0	28	41	51	49	52

Objemový podíl drátků v betonu zde byl orientačně odhadován z plošného podílu drátků v dvourozměrném obraze, tedy v projekci všesměrně orientovaných drátků do roviny. Zjištěný podíl drátků (a také chyba měření) bude tedy vzrůstat s rostoucí tloušťkou prozařovaného vzorku. Pro zpřesnění měření se nabízí možnost vztáhnout měřený podíl drátků na jednotku tloušťky prozařovaného vzorku. Tento problém zatím řešen nebyl a autoři se jím budou zabývat v navazujících experimentech.

Výsledky stanovení přednostní orientace drátků ve vzorcích série B jsou graficky znázorněny v růžicových diagramech na obr. 11. Do diagramů byly, pro možnost srovnání analyzovaných vzorků, vynášeny poměrné hodnoty délek středových os drátků v jednotlivých směrech, tj. např. délka os drátků ve směru 45° byla vydělena celkovou sečtenou délkou os ve všech směrech.

Výsledky ukazují, že i při velmi pečlivém zpracování vzorků drátkobetonu, dochází při jejich výrobě k vodorovné orientaci drátků, která převažuje nad ostatními směry. Ukazuje se zde efektivnost a přínos použité metody analýzy obrazu, neboť subjektivními metodami k tomuto zjištění nedošlo.



Obr. 11.: Grafické znázornění přednostní orientace drátů ve vzorcích série B.

6. Závěr

V příspěvku je poukázáno na důležitost dosažení homogenity drátkobetonu v nosných drátkobetonových konstrukcích z hlediska jejich spolehlivosti. Podrobněji je popsána jedna z metod kontroly, která je v současnosti testována. V každém případě je třeba problematiku ověřování homogenity drátkobetonu v nosných konstrukcích dále studovat a vyvíjet nové přesnější a jednodušší metody, než jaké máme k dispozici v současnosti.

Poděkování

Grant GAČR číslo 103/09/1073, 103/09/1788 a výzkumný záměr MSM 0021630519.

Literatura

- [1] VODIČKA, Jan; VESELÝ, Vladimír; KRÁTKÝ, Jiří. Specifika z technologie vláknobetonu. *Beton TKS* . 2010, roč. 10, č. 2, s. 38-42. ISSN 1213-3136.
- [2] BROŽOVSKÝ, Jiří, HOBST, Leonard, KAPLAN, Věroslav. Posouzení vzniklých závad drátkobetonu podlahové desky. *Sanace betonových konstrukcí* . 1999, roč. 7, č. 2, s. 14-17. ISSN 1211-3786.

Kontakt

Prof. Ing. Leonard Hobst,CSc., tel.: 00420 54114 7836, e-mail: hobst.l@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 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.

Doc. Ing. Jan Vodička,CSc., tel.: 00420 224 354 622, e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, FAST ČVUT v Praze, Thákurova 7, 160 00 Praha

Doc. Ing. Jiří Ščučka, Ph.D., tel.: 00420 596 979 334, e-mail: jiri.scucka@ung.cas.cz, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, FAST VŠB-TU Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba

**PRŮKAZNÍ ZKOUŠKY BETONŮ
DLE ČSN EN 206-1/Z3
A DLE JEDNOTLIVÝCH RESORTNÍCH PŘEDPISŮ**

**CONFIRMATIVE TESTS ON CONCRETES
ACCORDING TO EN 206-1/Z3 AND INDIVIDUAL
DEPARTMENTAL RULES**

Adam Hubáček

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Článek je zaměřen na průkazní zkoušky betonů z hlediska ČSN EN 206-1, změna Z3 a jednotlivé resortní předpisy. V posledních letech dochází k vývoji nových technologií a zkušebních postupů. Proto dochází ke zpřísnění požadavků na kontrolní a obzvláště průkazní zkoušky betonu. V článku jsou shrnuty požadavky na průkazní a kontrolní zkoušky dle v současnosti nejpoužívanějších norem a technických kvalitativních předpisů.

Annotation:

The Paper focuses evidential test concretes in terms of CSN EN 206-1, Z3 and change individual departmental regulations. In recent years the development of new technologies and test procedures. Therefore, there is a tightening of requirements for inspection and testing of concrete particularly probative. The paper summarizes the requirements for supporting and monitoring tests according to the most widely used technical standards and quality regulations.

Klíčová slova: Průkazní zkouška, kontrolní zkouška, beton, vstupní suroviny, technické kvalitativní podmínky

Keywords: Evidential test, test, concrete, feedstock, the technical quality requirements

1. Úvod

V současnosti se klade velký důraz na to, aby stavební materiály měly co největší trvanlivost a dokázaly odolávat co nejvíce klimatickým vlivům. Vzhledem k tomu že je potřeba aby tyto požadavky byly naplněny, je nezbytné dodržování norem a jednotlivých technických předpisů, které by měly být v praxi uplatňovány. U betonových konstrukcí a prvků tyto požadavky popisuje základní norma ČSN EN 206-1, která hovoří o specifikaci, vlastnostech, výrobě a shodě betonu. Tato norma však nedokáže zahrnout některé specifické požadavky na všechny konstrukce, proto existují pro jednotlivé konstrukce dle způsobu používání tzv. technické kvalitativní podmínky, které upřesňují tyto požadavky. Technické kvalitativní podmínky (dále jen TKP) Ministerstva Dopravy České republiky nám upravují požadavky, které jsou kladeny na konstrukce, jako jsou silniční mosty, betonové povrchy silnic atd. TKP Českých drah upravují požadavky na konstrukce tykající se železniční dopravy, jako jsou železniční mosty, betonové pražce či betonové prvky které se používají na úpravu železničních koridorů. Jedním z používaných TKP u nás je také TKP Ředitelství vodních cest. Toto TKP se zaměřuje především na požadavky ohledně staveb vodních hrází a k nim příslušejících prvků.

2. Průkazní zkouška

V dnešní době dochází k rychlému rozvoji v oblasti vzniku nových druhů a složení betonu. Obrovského rozmachu zažívá také využívání druhotných odpadních surovin jako náhrada nebo doplnění jednotlivých vstupních složek betonu. Používáním druhotných odpadních surovin lze ušetřit jiné složky betonu, čímž klesnou náklady na výrobu betonu. S tímto zaváděním nových složek do betonu souvisí také to, že je potřeba zjistit jakých vlastností bude beton s těmito složkami dosahovat. Nejen z tohoto důvodu se u nově vznikajících betonu provádějí průkazní zkoušky. Průkazní zkoušky slouží k prokázání, zda je možné při zvoleném poměru mísení a technologickém postupu vyrobit beton požadované kvality. Přesná definice pojmu průkazní zkouška je popsána v normě ČSN EN 206-1/Z3 a zní: „Zkouška nebo zkoušky, kterými se před začátkem výroby ověřuje složení betonu nebo souborů betonu, zda vyhovuje všem specifickým požadavkům na čerstvý a ztvrdlý beton.“

Průkazní zkouška musí prokázat, že beton vyhoví všem specifickým požadavkům na čerstvý i ztvrdlý beton s přihlédnutím k podmínkám betonáže, konstrukce, dopravy betonu, klimatických vlivů, ošetřování apod. Provádí se před používáním nového betonu nebo souboru betonů. Je potřeba ji opakovat i v případě, nastane-li podstatná změna buď u složek betonu, nebo u specifických požadavků, které byly podkladem pro předchozí výsledky.

Za podstatnou změnu se nepovažuje změna frakcí používaného kameniva, pokud je použito kamenivo stejného druhu a ze stejného zdroje. Mezi zásadní změny se však dá považovat použití jiných přísad. Průkazní zkoušky betonu by měly být provedeny, dojde-li např. ke změně dodavatele cementu v procesu výroby betonu. V případě provádění průkazních zkoušek je potřeba vyrobit více záměsí s různou dávkou cementu, aby potom na základě zkoušek, které budou provedeny, bylo možno stanovit optimální složení betonu.

2.1. Součásti průkazní zkoušky

Součástí průkazní zkoušky, jsou i údaje, které je potřeba znát již před samotným návrhem receptury, na které budou jednotlivé zkoušky prováděny. Je potřeba znát vlastnosti vstupních složek betonu. Jedná se především o vlastnosti cementu, kameniva, vody a také jednotlivých přísad a příměsí. Tyto vlastnosti jsou buď doloženy dodavatelem na základě certifikátu pro jednotlivé složky, nebo jsou na jednotlivých složkách provedeny zkoušky, které jsou potřebné pro zjištění, zda může být daná složka použita do betonu při požadavcích na jeho vlastnosti. Při návrhu receptury je potřeba také znát jaké požadavky má splnit beton na základě jeho následného užívání. Jedná se především o to v jakém prostředí se beton bude nacházet, aby bylo možno podle jednotlivých zkoušek prokázat odolnost vůči danému prostředí, a vyhovění požadavkům, které jsou dané normou a technickými kvalitativními podmínkami pro danou stavbu. Dále se v průkazní zkoušce dokládá navržená receptura, protokoly s výsledky jednotlivých zkoušek, které byly prováděny a to jak na čerstvém tak i na ztvrdlém betonu. Na základě těchto zkoušek je popřípadě upravena navržená receptura tak, aby došlo ke splnění požadavků, které byly zadány zadavatelem. Jedním z dokumentů, který se dokládá jako součást průkazních zkoušek je i množství alkálií v betonu. Je potřeba jej znát z důvodu alkalicko-křemičité reakce.

2.2. Kritéria pro přijetí průkazní zkoušky

Chceme-li, aby byly průkazní zkoušky přijaty, je třeba vzít v úvahu několik faktorů. Jedním z nich je např. typ použitého mísíčního zařízení a způsob míchání, který byl použit při průkazní zkoušce a typ míchačky a způsob míchání při skutečné výrobě betonu. Pevnost v tlaku betonu daného složení, by měla být vyšší než hodnota, na kterou byla daná receptura navržena a zkoušena. Rezerva mezi zjištěnou pevností v tlaku a navrženou by měla být přibližně dvojnásobek očekávané směrodatné odchylky. Tato rezerva se většinou pohybuje v rozmezí od 6 do 12 N/mm². Velikost této odchylky závisí jak na třídě betonu, tak na vstupních surovinách a na jejich vlastnostech. Důležitým hlediskem ovlivňujícím odchylku může být i technická vybavenost betonárky, na které se posuzovaný beton bude vyrábět. Konzistence, stanovené při průkazních zkouškách, by měly

být zachovány v předepsaném rozsahu jak při transportu betonu tak i před jeho uložením do konstrukce. Totéž platí u množství vzduchu v čerstvém betonu, jehož přítomnost je v betonu požadována v případě, že je požadována odolnost betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek u stupňů vlivu prostředí XF2-XF4 (někdy je provzdušněn i beton třídy XF1).

3. Požadavky na složení betonu

Při návrhu složení betonu je potřeba brát v úvahu specifické požadavky na jednotlivé vstupní suroviny. Také je důležité, aby byly splněny požadavky, které musí být dodrženy u betonu v čerstvém i ztvrdlém stavu. V čerstvém stavu se jedná o dodržení konzistence, objemové hmotnosti a také třeba míry provzdušnění čerstvého betonu. Ve ztvrdlém stavu jde zejména o splnění požadavků, které jsou na beton kladeny dle jednotlivých navržených stupňů vlivu prostředí. Je potřeba přihlídnout i k výrobní technologii a ke zvolené metodě provádění betonářských prací. Množství záměsové vody se stanoví tak, aby bylo dosaženo požadované konzistence čerstvého betonu a maximálního vodního součinitele dle normy nebo jednotlivých technických kvalitativních podmínek. Přísady se dávkuje z hmotnosti cementu a v kg/m^3 , je důležité uvést, zda se jedná o dávku sušiny či vodného roztoku. Musí se uvést případné ředění přísady. Příměsi se dávkuje do betonu v takovém množství, aby nedošlo k překročení maximální hodnoty jemných podílů (velikost pod 0,125 mm) v betonu podle jednotlivých norem a TKP.

3.1. Vodní součinitel

Udává poměr účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvém betonu. Používá-li se i příměs je potřeba tuto příměs do vodního součinitele započítat. Příměs se započítá do vodního součinitele tak, že se vynásobí pomocí tzv. k-hodnoty zjištěné na základě typu cementu a příměsi. Maximální vodní součinitele pro jednotlivé pevnostní třídy a stupně vlivu prostředí můžeme najít v ČSN EN 206-1 a Technických kvalitativních podmínkách pro danou stavbu. Porovnání maximálních vodních součinitelů dle normy a jednotlivých technických kvalitativních podmínek je uvedeno v tabulce č. 1 na konci článku.

3.2. Množství cementu

Pro dosažení potřebné pevnosti je potřeba odpovídající množství cementu. Minimální množství je stanoveno normou a jednotlivými technickými kvalitativními podmínkami. Na základě vlivu agresivního prostředí a dané pevnosti zjistíme minimální množství cementu v dávce kg na m^3 .

3.3. Konzistence betonu

Ihned po zamíchání betonu je třeba zjistit jakou má beton zpracovatelnost. Nejčastěji se používají dvě základní zkoušky stanovení konzistence. Jedná se o zkoušky sednutím kužele dle ČSN EN 12350-2 a rozlitím kužele dle ČSN EN 12350-5.

3.4. Obsah vzduchu v čerstvém betonu

Tato zkouška se provádí u betonů, které jsou navrženy jako provzdušněné. Přidává se provzdušňovací přísada na zlepšení účinků proti mrazu. Tato zkouška se provádí podle ČSN EN 12350-7: Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody.

Minimální požadavky na míru provzdušnění čerstvého betonu pro jednotlivé vlivy prostředí jsou rozděleny podle velikosti maximálního zrna v betonu. Jedná se o zkoušku prováděnou v tlakové nádobě. Principem zkoušky je zjištění vzduchových bublin v betonu. Hodnoty pro minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu podle zrnitosti kameniva a stupně vlivu prostředí jsou uvedeny v tabulce č. 2.

3.5. Pevnost betonu v tlaku

Zkouší se na krychlích o hraně 150 mm nebo válcích požadovaných rozměrů. Zkouška se provádí po 28 dnech zrání v podmínkách, které byly zadány. Zkouška se provádí podle normy ČSN EN 12390-1: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy

Pro jednotlivé vlivy prostředí jsou dány minimální třídy pevnosti betonu v tlaku, ty jsou popsány v ČSN EN 206-1 a Technických kvalitativních podmínkách pro jednotlivé stavby.

Účelem zkoušky je zjistit maximální zatížení, kterému je beton schopen odolat. Zkušební těleso se umístí do zkušebního lisu kolmo na směr hutnění. Těleso je vystaveno zatěžování s plynulým náběhem síly až do meze porušení. Minimální pevnosti v tlaku pro jednotlivé stupně vlivu prostředí uvedeny v tabulce č. 3.

3.6. Hloubka průsaku tlakovou vodou

Odolnost vůči průsaku tlakovou vodou se určuje na zkušebních tělesech daných rozměrů. Zkouška se provádí podle ČSN EN 12390-8 : Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Hodnoty maximálního průsaku jsou dány na základě vlivu prostředí.

Principem zkoušky je schopnost vzorku odolávat tlaku vodního sloupce 500 kPa po dobu 72 hodin. Po ukončení působení tlaku se vzorek rozlomí a změří se hloubka průsaku. Podle technických kvalitativních podmínek ředitelství vodních cest se provádí tzv. zkouška vodotěsnosti podle normy ČSN 731321, která již není platná, ale více vystihuje požadavky na vodotěsnost tohoto resortu. Rozdíl mezi zkouškou vodotěsnosti a hloubkou průsaku tlakovou vodou je ve velikosti tlaku a čase, po který je vzorek vystaven působení vodního tlaku. Zkouška vodotěsnosti se provádí postupným zatěžováním tlakem vody. Stupně vodotěsnosti se značí HV. Hodnoty maximálních hloubek průsaku podle normy a TKP uvedeny v tabulce č. 4.

3.7. Odolnost povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Tato zkouška se provádí zejména u betonů, které jsou navrženy jako betony schopné odolávat vlivu prostředí s působením mrazu a rozmrazování. Tato zkouška se provádí dle normy

ČSN 73 1326: Stanovení povrchu cementového betonu proti působení vody a chemicky rozmrazovacích látek. Principem zkoušky je zmrazování a rozmrazování vzorku, který je ponořen v rozmrazovacím roztoku. Vždy po 25 cyklech je vzorek vyjmut a očištěn. Zjišťuje se hodnota odpadu po jednotlivých 25 cyklech, tyto hodnoty se po ukončení potřebných cyklů sečtou. Množství odpadu se přepočte na m^2 . Norma uvádí dva způsoby provedení zkoušky a to buď metodu A nebo metoda C. Maximální odpady po jednotlivých cyklech dle vlivu prostředí uvedeny v normě a jednotlivých kvalitativních podmínkách pro danou konstrukci.

3.8. Stanovení obsahu vzduchu ve ztvrdlém betonu

Tato zkouška se skládá se dvou dílčích postupů. Jedním z nich je součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů a druhý je obsah mikroskopického vzduchu A300. Zkouška se provádí u provzdušněných betonů. Jedná se o zjištění vzdálenosti mezi póry ve ztvrdlém betonu. Správné rozložení těchto pórů zajišťuje mrazuvzdornost betonu. Zkouška se provádí dle normy ČSN EN 480-11 : Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu. Zkouška popisuje procentuální zastoupení póru velikosti do 300 μ m.

Postup zkoušky: vzorek se rozřeže a vyleští do hladka, nanese se kontrastní barva, po zaschnutí barvy se nanese pasta do pórů. Poté se vzorek umístí pod mikroskop a pomocí přímkové metody se vyhodnotí. Maximální součinitel rozložení a minimální obsah mikroskopického vzduchu pro jednotlivé vlivy prostředí je stanoven normou ČSN EN 206-1 a jednotlivými kvalitativními podmínkami pro danou konstrukci. Požadované hodnoty výsledků kontrolních

zkoušek pro provzdušněné betony se pohybují v rozmezí od 1,0 % mikroskopického vzduchu pro betony specifikace XF2 a XF3 a 1,8 % pro betony XF4. Maximální hodnoty součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu jsou 0,24 mm pro betony XF2 a XF3 a 0,20 mm pro betony XF4. Při průkazných zkouškách jsou tyto požadavky ještě o 20 % zpřísněny.

4. Závěr

Cílem článku bylo shrnutí požadavků na kontrolní a průkazní zkoušky betonu podle v současnosti nepoužívanějších norem a technických kvalitativních podmínek. Vezmeme-li toto porovnání ihned od začátku výroby betonu, tzn. od dodávky vstupních surovin tak můžeme říci, že z hlediska požadavků na vstupní suroviny se kritéria u jednotlivých technických kvalitativních podmínek a normě nijak zásadně neliší. Jednou z odlišností, která se nachází u cementu, je kontrola teploty cementu při počátku míchání betonu. Tento požadavek je uveden v TKP Ředitelství silnic a dálnic a v TKP Českých drah, zatím co v normě ČSN EN 206-1/Z3 není uvedena žádný požadavek na teplotu cementu na vstupu do procesu míchání. Co se kameniva týče, TKP Ředitelství dálnic a silnic (TKP MD ČR) společně s TKP Českých drah prosazují přednostně plynulou křivku zrnitosti s použitím více frakcí, jelikož beton potom není tak náchylný na rozměšování kameniva v čerstvém betonu. Při porovnání požadavku na maximální vodní součinitel podle norem a TKP bylo zjištěno, že jediná odlišnost která se zde nachází je v TKP ŘVC tabulka životnost konstrukce na 100 let kde jsou vodní součinitele vyšší než podle jiných TKP. Hodnoty na minimální pevnostní třídy dle stupně vlivu prostředí jsou stejné u ČSN EN 206-1/Z3 tabulka F. 1 a u TKP ŘVC životnost konstrukce 50 let, v ostatních TKP jsou požadavky na minimální pevnostní třídy stejné, ale s tím rozdílem že pro stupeň vlivu prostředí XC1-XC4 jsou požadovány vyšší minimální pevnostní třídy. Z hlediska hloubky průsaku tlakovou vodou jsou hodnoty stejné pro všechny posuzované normy a TKP s odlišností na TKP ŘVC kde se zkouška provádí jiným způsobem než u předchozích TKP. Při provádění průkazných zkoušek je požadavek na hloubku průsaku tlakovou vodou zpřísněn o 20% než při kontrolní zkoušce. Odolnost betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek je nejpřísnější a to jak z hlediska průkazných i kontrolních zkoušek u TKP ŘSD. Naopak nejméně odolný je beton dle ČSN EN 206-1/Z3 životnost konstrukce 50let. Požadavky na maximální součinitel rozložení vzduchových pórů a množství mikroskopického vzduchu jsou v jednotlivých TKP vždy zpřísněny o 20% při průkazných zkouškách oproti kontrolním, avšak dle TKP ŘVC jsou hodnoty pro kontrolní i průkazní zkoušky stejné.

Tabulka 1.: Požadavky na maximální vodní součinitel v/c podle norem a TKP

Stupně vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1 I/Z3 F.1	Bez nebezpečí koroze nebo	Koroze způsobená karbonátem				Koroze způsobená chloridy jiné chloridy než z moře			Působení mrazu a rozmrazování					Chemicky agresivní prostředí			Koroze způsobena pohyblivým mechanickým zatížením (obrušením)		
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3	
ČSN EN 206-1 I/Z3 F.1	X0	0,65	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	---	---	---	---	
ČSN EN 206-1 I/Z3 F.2	---	0,65	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,45	0,55 a)	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	---	---	---	---	
TKP 18 ŘSD	---	0,65	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,45	0,55 a)	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	---	---	---	---	
TKP 17 ČD	---	0,65	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,45	0,55 a)	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	---	---	---	---	
TKP ŘVC životnost 50 let	---	0,65	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,45	0,55 a)	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,55	0,55	0,55	0,45	
TKP ŘVC životnost 100 let	---	0,7	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,55 a)	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45	0,55	0,55	0,55	0,45	
Výsvětlivky :																			
a) Pro nosné konstrukce mostů se vodní součinitel připouští max 0,50																			

Tabulka 2.: Požadavky na minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu podle norem a TKP

Stupně vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonátací	Koroze způsobená chloridy jiné než moře		Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí			
			XC1 - XC4	XD 1 - XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3	
ČSN EN 206-1/3 F.1	se zrnitostí do 8 mm	X0	XC1 - XC4	XD 1 - XD 3	---	4	4	4	4	---	---	---
	se zrnitostí do 16 mm	---			---	4	4	4	4	---	---	---
	se zrnitostí do 22-32 mm	---			---	4	4	4	4	---	---	---
ČSN EN 206-1/3 F.2	se zrnitostí do 8 mm	---			4	4,5	5	5,5	5,5	---	5,5	5,5
	se zrnitostí do 16 mm	---			3	3,5	4	4,5	4,5	---	4,5	4,5
	se zrnitostí do 22-32 mm	---			2,5	3	3,5	4	4	---	4	4
TKP 18 ŘSD	se zrnitostí do 8 mm	---			4	4,5	5	5,5	5,5	---	5,5	5,5
	se zrnitostí do 16 mm	---			3	3,5	4	4,5	4,5	---	4,5	4,5
	se zrnitostí do 22-32 mm	---			2,5	3	3,5	4	4	---	4	4
TKP 17 ČD	se zrnitostí do 8 mm	---			---	4	4	6	6	---	---	---
	se zrnitostí do 16 mm	---			---	3,5	3,5	4,5	4,5	---	---	---
	se zrnitostí do 22-32 mm	---			---	4	4	4	4	---	---	---
TKP ŘVC	se zrnitostí do 8 mm	---			4	4,5	5	5,5	5,5	---	5,5	5,5
	se zrnitostí do 16 mm	---			3	3,5	4	4,5	4,5	---	4,5	4,5
	se zrnitostí do 22-32 mm	---			2,5	3	3,5	4	4	---	4	4

a) Zkouška prováděna dle ČSN EN 12350-7 hodnoty

Tabulka 3.: Požadavky na minimální pevnostní třídy betonu podle norem a TKP

Stupně vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1	Bez nebezpečí koroze nebo namáčení	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chlortdy			Přicobení mrází a rozmrazování				Chemický agresivní prostředí			Koroze způsobená pohyblivým mechanickým zřícením (obrusem)		
		XC1	XC2	XC3	XC4	jiné chlortdy než z moře			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
						XD1	XD2	XD3										
CSN EN 206-1 Z3 F.1	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37 a)	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 b)	---	---	---	
CSN EN 206-1 Z3 F.2	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 c)	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 b)	---	---	---	
TKP 18 ŘSD	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 c)	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 b)	---	---	---	
TKP 17 ČD	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 b)	---	---	---	
TKP ŘTC životnost 50 let	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37 a)	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 b)	C30/37 d)	C30/37 d) - C35/45 d)e)	C35/45 d)e)	
TKP ŘTC životnost 100 let	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 b)	C30/37 d)	C30/37 d) - C35/45 d)e)	C35/45 d)e)	

Výsvětlivky :

a) Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a XF je vyloučen, lze použít minimální třídu betonu C25/30, pokud je beton provzdušněn dle požadavku pro XF2 až XF4.

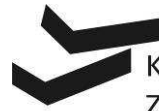
b) Pevnosti v tlaku odpovídající C30/37 a C35/45 lze přepsat v případě použití síramovzdušných cementů a směsných cementů až po 90 dnů tvrdnutí betonu.

c) Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a XF je vyloučen, lze použít minimální třídu betonu C25/30, pokud je beton provzdušněn dle požadavku-max. obsah vzduchu pro XF1, XF2, XF3, XF4

níže být nejvýše o 3% vyšší než stanovené minimum.

d) Při použití provzdušněného betonu je třída nižší

e) Úprava povrchů odobutými materiály



Tabulka 4.: Požadavky maximální průsaky podle norem a TKP

Stupně vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chloridy			Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí														
		XC1		XC2		XC3		XC4		jiné chloridy než z			XF1		XF2		XF3		XF4		XA1		XA2		XA3		
		---	---	---	---	---	---	---	---	---	XD1	XD2	XD3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ČSN EN 206-1/23 F.1																											
ČSN EN 206-1/23 F.2																											
TKP 18 ŘSD																											
TKP 17 ČD																											
TKP ŘVC a)	KZ																										
	PZ																										

Vysvětlivky :

KZ- kontrolní zkoušky

PZ- průkazní zkoušky

a) Provádí zkoušku Hloubku průsaku tlakovou vodou podle normy ČSN 731321 která není již platná

Tabulka 5.: Požadavky na odolnost betonu proti působení vody a CHRL podle norem a TKP

Stupně vlivu prostředí dle ČSN EN 206-1	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonátací				Koroze způsobená chlorky			Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí		
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
ČSN EN 206-1/23 F.1	KZ	---	---	---	---	---	---	---	---	A/75/1250 C/50/1500	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
	PZ	---	---	---	---	---	---	---	---	A/75/1250 C/50/1500	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
ČSN EN 206-1/23 F.2	KZ	---	---	---	---	---	---	---	A/67/1250 C/50/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
	PZ	---	---	---	---	---	---	---	A/67/1250 C/50/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
TKP 18 ŘSD	KZ	---	---	---	---	---	---	---	A/67/1250 C/50/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
	PZ	---	---	---	---	---	---	---	A/100/800 C/75/800	A/150/800 C/115/800	A/150/800 C/115/800	A/150/600 C/115/600	---	---	---
TKP 17 ČD	KZ	---	---	---	---	---	---	---	A/67/1250 C/50/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
	PZ	---	---	---	---	---	---	---	A/100/800 C/75/800	A/150/800 C/115/800	A/150/800 C/115/800	A/150/600 C/115/600	---	---	---
TKP ŘVC	KZ	---	---	---	---	---	---	---	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/125/1000 C/100/1000	---	---	---
	PZ	---	---	---	---	---	---	---	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/125/1000 C/100/1000	---	---	---

Vysvětlivky :

KZ- kontrolní zkoušky

PZ- průkazní zkoušky

a) Zkouška se provádí dle ČSN 731326-metoda počet cyklů/odpad [g/m³]

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS a projektu FAST-S-10-14 Problematika stanovení kalibračních vztahů pro výpočet pevnosti stříkaného betonu.

Literatura

- [1] *MCT spol.s r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-06-03]. Přísady do betonu. Dostupné z WWW: <http://www.mct.cz/funkce_prisad.html>.
- [2] ČSN EN 206-1/Z3. *Beton-Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha:Český normalizační institut, 2008. 40 stran
- [3] Technické podmínky MD ČR pro stavby pozemních komunikací: Kapitola 18 TKP- Beton pro konstrukce. Praha. 2005
- [4] Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah:Kapitola 17 TKP ČD- Beton pro konstrukce. Praha. 2002. 77 stran
- [5] Technické kvalitativní podmínky staveb Ředitelství vodních cest ČR: Kapitola 1-Provádění betonových a železobetonových konstrukcí. Praha. 2009. 93 stran
- [6] LIŠKA, MAREK.: Průkazní zkoušky betonů dle ČSN EN 206-1/Z3 a jednotlivých resortních předpisů: bakalářská práce. Brno, 2010

Kontakt

Ing. Adam Hubáček, Ph.D., tel: +420 541 147 518, e-mail: hubacek.a@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ PEVNOSTI
BETONU C45/55 XF2 PRO PREFABRIKOVANÉ
NOSNÍKY**

**STATISTICAL ANALYSIS OF COMPRESSIVE
STRENGTH OF CONCRETE C45/55
FOR PREFABRICATED BEAMS**

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

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

Anotace:

Náhodné chování betonu C45/55 XF2 používaného pro prefabrikované předpjaté mostní nosníky se popisuje na základě vyhodnocení rozsáhlého souboru měření. Podrobné statistické hodnocení je provedeno na souboru 100 válců o rozměrech 150×300 mm, vyrobených od června 2009 až do května 2010. Všechny zkušební tělesa byla odebírána po celé sledované období jedním pracovníkem a následně měření pevnosti betonu v tlaku bylo provedeno ve stáří 28 dnů v laboratoři Kloknerova ústavu na jednom zatěžovacím stroji při stejném způsobu koncování tlačných ploch. Vhodné teoretické modely rozdělení jsou stanoveny na základě testů dobré shody s využitím χ^2 a Bernšteinova kritéria.

Annotation:

Random behaviour of concrete C45/55 XF2 used for prefabricated prestressed bridge beams is described on the basis of evaluating of vast set of measurements. Detailed statistical analysis is carried out on 100 cylinders with sizes 150×300 mm, produced from June 2009 to May 2010. Only one worker took all specimens during the whole period and the following measuring of compressive strength of concrete was carried out in Klokner Institute laboratories. The measuring takes place at the age of 28 days, only one testing machine with the same capping method is used. Suitable theoretical models of division are determined on the basis of tests in good congruence, with the use of χ^2 and Bernstein's criterion.

Klíčová slova: *prefabrikace, mostní nosník, statistické vyhodnocení, pevnost v tlaku*

Keywords: *prefabrication, bridge beam, statistical analysis, concrete strength,*

1. Úvod

Statistický pohled na soubor dat – v našem případě válcových pevností betonu v tlaku může přinést zajímavé informace o vlastnostech betonu, případně jeho chování v čase. Pro účely kontrolních zkoušek při výrobě prefabrikovaných předpjatých mostních nosníků z betonu třídy C45/55 XF2 jsou mimo jiných vzorků vyráběny pro každý nosník i 2 válce průměru 150 mm a výšky 300 mm, které primárně slouží pro zkoušku stanovení statického modulu pružnosti betonu v tlaku a následně pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku. Zkoušky jsou prováděny v akreditované zkušební laboratoři Kloknerova ústavu ve stáří vzorků 28 dní. Pro statistické hodnocení pevnosti v tlaku bylo vzato 100 těles zkoušených v období od června 2009 do května 2010. Soubor získaných dat je zajímavý především „stálostí“ okrajových podmínek, kdy se samotný odběr ve výrobě provádí za velmi podobných podmínek tj. stejný pracovník, způsob hutnění, ocelové formy, uložení a ošetřování. Po odformování a několika dnech zrání ve vodním uložení jsou zkušební vzorky dodány do laboratoří Kloknerova ústavu, kde pokračuje vodní uložení až do stáří betonu 28 dní. V Kloknerově ústavu jsou zkoušky prováděny rovněž za velmi podobných okrajových podmínek tzn. stejný pracovník, zatěžovací stroj, přípravek, způsob koncování tlačných ploch, stejná rychlost zatěžování atd.

Velkou neznámou v soboru dat je potom míra proměnlivosti kameniva, cementu a přísad v čase, případně vliv ročního období. Vzhledem ke „stálosti“ okrajových podmínek zkoušky považujeme soubor 100 těles měřených v období od června 2009 do května 2010 za poměrně zajímavý pro statistické vyhodnocení, které může pomoci odhalit míru proměnlivosti složek betonu a vliv ročního období.

2. Rozbor výběru souboru měření pevnosti betonu

První kroky rozboru výběru jsou jeho grafické znázornění např. pomocí histogramu Obr. 1, popř. jiných grafů, prověření extrémních hodnot (odlehklých pozorování) a opravení (vyločení) chybných hodnot. Je to velmi důležitý, často náročný a pracný krok, který by měl však předcházet dalšímu numerickému zpracování výběru pro odhad vlastností základního souboru.

Celkem bylo odebráno a destruktivně vyzkoušeno 100 zkušebních vzorků. 10 zkušebních vzorků bylo z hodnocení vyloučeno. Celkový počet

vzorků zahrnutý do hodnocení je tady 90. Protože počet vzorků $n > 30$, jedná se o velký soubor. Tabulka 1 ukazuje přehled 90 získaných krychelných pevností betonu v tlaku f_{ci} .

Tabulka 1.: Pevnosti betonu v tlaku f_{ci} [MPa]

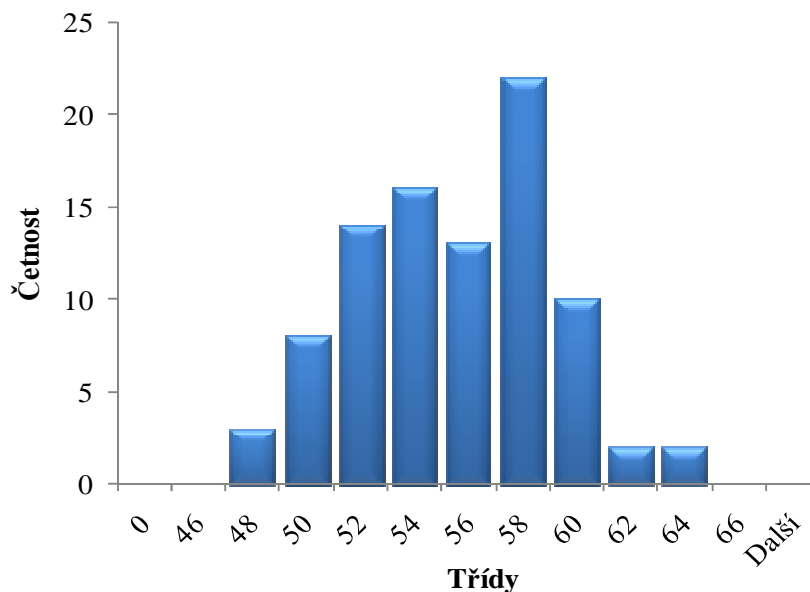
Číslo vzorku i	Pevnost f_{ci}									
1-10	53,5	51,0	50,5	54,0	54,5	57,5	51,0	51,5	59,0	59,0
11-20	58,0	57,0	53,5	52,0	56,5	53,5	57,5	57,0	59,5	57,0
21-30	55,0	57,0	57,5	58,5	51,0	51,5	50,5	47,5	50,5	63,0
32-40	52,5	55,0	57,5	47,0	53,5	50,0	49,5	47,0	48,5	58,0
41-50	59,0	58,0	56,0	53,5	59,0	55,5	58,5	58,0	56,0	52,0
51-60	56,0	56,0	54,5	53,5	57,5	58,5	56,5	50,5	50,0	56,0
61-70	55,5	58,0	52,5	52,5	56,5	58,0	58,0	49,5	48,5	55,5
71-80	53,5	53,5	60,5	59,5	59,5	53,0	54,5	57,0	62,0	49,5
81-90	53,0	57,0	56,5	48,5	51,0	53,0	51,5	63,0	53,0	52,0

Důležitá problematika odhadu parametrů základního souboru na základě informací získaných z výběru je velmi obsáhlá oblast matematické statistiky. Uvedeny budou charakteristiky výběru, které jsou tzv. nestrannými bodovými odhady („nejlepšími“ bodovými odhady) příslušných parametrů základního souboru. Přesnější význam pojmu "nestranný odhad" a ostatní statistické postupy (např. intervalové odhady pro zadanou konfidenci) jsou podrobně popsány ve skriptech [5] nebo v mezinárodním dokumentu ISO [7].

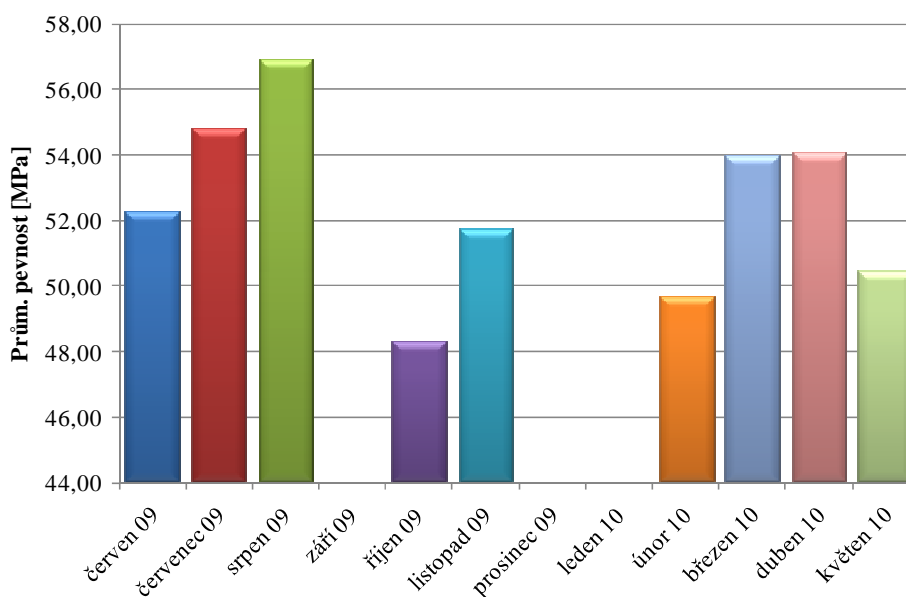
Průměr:	$m_{fc} = 53,46 \text{ MPa}$
Výběrová směrodatná odchylka	$s_{fc} = 3,685 \text{ MPa}$
Variační součinitel	$v_{fc} = 0,067$
Výběrová šikmost	$w_{fc} = -0,082$

Z výše uvedených charakteristik výběru je patrné, že se jedná o soubor dat s velmi malou, ale zápornou šikmostí. Výpočet charakteristik a histogram je proveden v programech Matlab a Excel. S využitím vypočtených statistických charakteristik lze získaná data popsat rozdělením pravděpodobností – teoretickým modelem.

Vedle statistického hodnocení dat uvedených v tabulce 1 byly sledovány i průměrné pevnosti betonu v jednotlivých měsících viz Obr. 2. Získané výsledky zatím neprokázali vliv nebo závislost na ročním období, případně míru proměnlivosti složek na výslednou pevnost betonu. Výroba nosníků z dané receptury betonu stále probíhá, proto budeme tyto vlivy i nadále sledovat a to především s ohledem na vnější teplotu.



Obr. 1.: Histogram pevnosti betonu



Obr. 2.: Průměrná pevnost betonu f_c [MPa] dle měsíců

Informaci o souladu empirických hodnot a teoretických křivek lze získat z histogramu, jak naznačuje Obr. 1. Přesnější porovnání lze získat prostřednictvím testů dobré shody. Porovnají se zjištěné četnosti n_i

s teoretickými hodnotami $n\Phi_i$. n značí počet prvků vyšetřovaného souboru a Φ_i je výsek z plochy omezené teoretickou křivkou v příslušném intervalu.

Nejčastěji se používá tzv. kritérium χ^2 [chí kvadrát]. Určíme hodnotu

$$\chi_0^2 = \sum_{i=0}^k \frac{(n_i - n\Phi_i)^2}{n\Phi_i} \quad (1)$$

Tato hodnota se porovná s hodnotou χ_p^2 uvedenou v Tabulce 2.

Tabulka 2.: Hodnoty χ_p^2 pro pravděpodobnost p výskytu $\chi^2 > \chi_p^2$.

Počet stupňů volnosti ν	Pravděpodobnost p								
	0,99	0,98	0,95	0,50	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,00	0,00	0,00	0,45	2,71	3,84	5,41	6,63	10,83
2	0,02	0,04	0,10	1,39	4,61	5,99	7,82	9,21	13,82
3	0,11	0,18	0,35	2,37	6,25	7,81	9,84	11,34	16,27
4	0,30	0,43	0,71	3,36	7,78	9,49	11,67	13,28	18,47
5	0,55	0,75	1,15	4,35	9,24	11,07	13,39	15,09	20,52
6	0,87	1,13	1,64	5,35	10,64	12,59	15,03	16,81	22,46
7	1,24	1,56	2,17	6,35	12,02	14,07	16,62	18,48	24,32
8	1,65	2,03	2,73	7,34	13,36	15,51	18,17	20,09	26,12
9	2,09	2,53	3,33	8,34	14,68	16,92	19,68	21,67	27,88
10	2,56	3,06	3,94	9,34	15,99	18,31	21,16	23,21	29,59
11	3,05	3,61	4,57	10,34	17,28	19,68	22,62	24,72	31,26
12	3,57	4,18	5,23	11,34	18,55	21,03	24,05	26,22	32,91
13	4,11	4,77	5,89	12,34	19,81	22,36	25,47	27,69	34,53
14	4,66	5,37	6,57	13,34	21,06	23,68	26,87	29,14	36,12
15	5,23	5,98	7,26	14,34	22,31	25,00	28,26	30,58	37,70
16	5,81	6,61	7,96	15,34	23,54	26,30	29,63	32,00	39,25
17	6,41	7,26	8,67	16,34	24,77	27,59	31,00	33,41	40,79
18	7,01	7,91	9,39	17,34	25,99	28,87	32,35	34,81	42,31
19	7,63	8,57	10,12	18,34	27,20	30,14	33,69	36,19	43,82
20	8,26	9,24	10,85	19,34	28,41	31,41	35,02	37,57	45,31
21	8,90	9,91	11,59	20,34	29,62	32,67	36,34	38,93	46,80
22	9,54	10,60	12,34	21,34	30,81	33,92	37,66	40,29	48,27
23	10,20	11,29	13,09	22,34	32,01	35,17	38,97	41,64	49,73
24	10,86	11,99	13,85	23,34	33,20	36,42	40,27	42,98	51,18
25	11,52	12,70	14,61	24,34	34,38	37,65	41,57	44,31	52,62
26	12,20	13,41	15,38	25,34	35,56	38,89	42,86	45,64	54,05
27	12,88	14,13	16,15	26,34	36,74	40,11	44,14	46,96	55,48
28	13,56	14,85	16,93	27,34	37,92	41,34	45,42	48,28	56,89
29	14,26	15,57	17,71	28,34	39,09	42,56	46,69	49,59	58,30
30	14,95	16,31	18,49	29,34	40,26	43,77	47,96	50,89	59,70

Pro výpočet dalších hodnot lze v programu Excel využít funkci $\text{CHIINV}(Prst, Volnost)$, kde $Prst$ je pravděpodobnost p výskytu $\chi^2 > \chi_p^2$, $Volnost$ je počet stupňů volnosti ν . Počet stupňů volnosti ν je určen vztahem

$$\nu = k - c - 1, \quad (2)$$

kde k je počet tříd skupinového rozdělení a c je počet charakteristik použitých pro proložení křivky $f(x)$ empirickými hodnotami. Při platnosti $\chi_0^2 < \chi_p^2$, pokládá se shoda empirických dat s teoretickým modelem za dostatečnou. K použití kritéria χ^2 je třeba splnit tyto podmínky:

- n je dostatečně velké,
- $n\Phi_i \geq 1$ pro všechna i ,
- $n\Phi_i \geq 5$ alespoň pro 4/5 hodnot $n\Phi_i$.

Vypočítané údaje lze s výhodou sestavit do tabulky. Tabulka 3 ukazuje hodnoty pro výpočet normálního rozdělení. Pro ověření vhodného rozdělení bylo použito celkem následujících 5 typů:

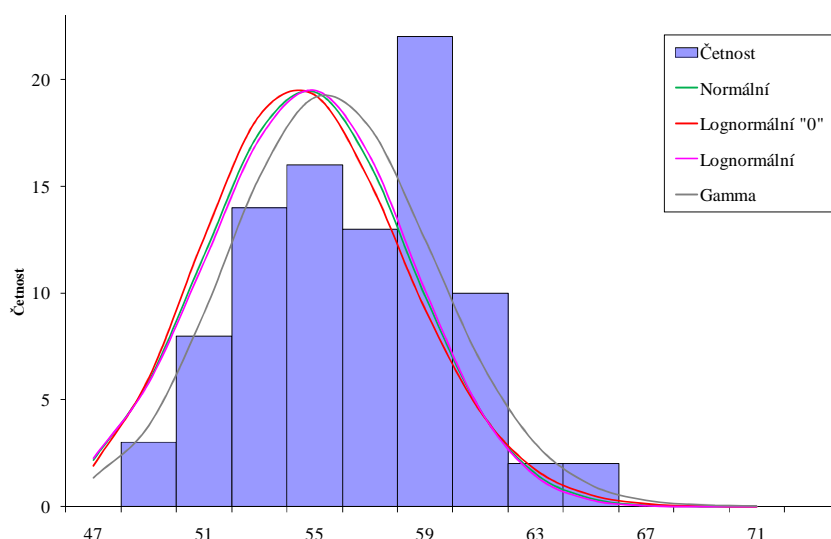
- normální,
- lognormální rozdělení,
- lognormální rozdělení s dolní mezí „0“,
- Gamma rozdělení.

Podrobný popis jednotlivých rozdělení je ve skriptech [2].

Tabulka 3.: Výpočet χ^2 pro normální rozdělení

Třída	n_i	$n\Phi(x_i)$	$n\Delta\Phi(x_i)$	$[n_i - n\Delta\Phi(x_i)]^2 / n\Delta\Phi(x_i)$
48	3	3,1	3,1	0,2
50	8	9,1	6,0	0,7
52	14	20,8	11,8	0,4
54	16	38,2	17,3	0,1
56	13	57,4	19,2	2,0
58	22	73,3	15,9	2,3
60	10	83,2	9,9	0,0
62	2	87,8	4,6	1,5
64	2	89,5	1,6	0,1
Σ	90		89,5	7,11

Tabulky pro test χ^2 pro další rozdělení jsou k dispozici např. ve skriptech [5]. Ke splnění podmínek b) a c) je možné sloučit dvě třídy (nebo i více tříd), obvykle na některém z okrajů rozdělení (pak se však zmenší celkový počet tříd k).



Obr. 3.: Histogram s proloženými teoretickými křivkami

Někdy se pro ověření dobré shody teoretických modelů používá tzv. Bernštejnovο kritérium (3), které je jednodušší než kritérium χ^2 . Soulad mezi empirickými a teoretickými hodnotami se pokládá za dostatečný, jestliže platí

$$\frac{1}{k-1} \sum_{i=0}^k \frac{(n_i - n\Phi_i)^2}{n\Phi_i} < 1 \quad (3)$$

Tabulka 4.: Výsledky χ^2 výpočtu pro jednotlivé teoretické modely.

Teoretické rozdělení	χ^2	χ_p^2	ν neznámé stupně volnosti	c počet charakteristik	Bernštejnovο kritérium
Normální rozdělení	7,113	14,1	5	2	0,7904
Lognormální rozdělení s dolní mezí v nule	7,600	14,1	5	2	0,8450
Lognormální rozdělení	7,114	12,6	4	3	0,7905
Gamma rozdělení	7,350	14,1	5	2	0,8167

3. Stanovení charakteristické pevnosti podle ČSN EN 1990

Pro ověřování spolehlivosti stavební konstrukce je nutné stanovit charakteristickou hodnotu pevnosti betonu v tlaku f_{ck} na základě výsledků

měření a provést zatřídění betonu. Charakteristická hodnota pevnosti je definována jako 5% dolní kvantil, $f_{ck} = f_{c0,05}$. Poznamenejme, že Eurokód 1990 [2] doporučuje stanovit kvantil předpovědní metodou [3]. Odhad kvantilu předpovědní metodou [3] je dále uveden ve zjednodušené formě. Předpokládáme, že směrodatná odchylka základního souboru σ_{fc} není známa z předchozí zkušenosti. V dalším výpočtu se proto uvažuje odhadnutá odchylka $s_{fc} = 6,7$ MPa. Odhad kvantilu předpovědní metodou se stanoví ze vztahu:

$$x_{p,\text{pred}} = m_{fc} - t_p(w_{fc}, p, \nu)(1+1/n)^{1/2} s_{fc} \quad (4)$$

kde $t_p = t(\omega_c, p, \nu)$ je p -kvantil zobecněného Studentova t -rozdělení pro $\nu = n - 1$ stupňů volnosti, které má šikmost ω_c . Podrobný popis určení charakteristické hodnoty je uveden např. ve skriptech [3]. Pro daný výběr je charakteristická hodnota f_{ck} odhadnutá z náhodného výběru předpovědní metodou je $x_{p,\text{pred}} = 48,5$ MPa. Charakteristická hodnota odhadnutá pokryvnou hodnotou je $x_{p,\text{pokr}} = 48,3$ MPa. V porovnání s odhadem, který byl stanoven jako kvantil normálního rozdělení $f_{ck} = 48,6$ MPa, se jedná o hodnotu nižší. Tento rozdíl je způsoben skutečností, že pokryvná metoda uvažuje rozsah náhodného výběru n .

4. Odhad charakteristické pevnosti podle ČSN EN 206-1

EN 206-1 [1] uvádí postupy pro zatřídění pevnosti betonu v konstrukcích. Rozlišuje postup pro 15 a více zkoušek (postup A) a pro 3 až 14 zkoušek (postup B). Podle postupu A se charakteristická pevnost betonu v konstrukci $f_{ck, is}$ stanoví jako menší z hodnot vyplývajících z následujících vztahů:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \times s, \quad f_{ck, is} = f_{is, \text{nejmenší}} + 4 \text{ MPa} \quad (5)$$

kde k_2 je koeficient podle národní přílohy EN 13791 [2] (pokud není stanoven, uvažuje se $k_2 = 1,48$) a $f_{is, \text{nejmenší}}$ je minimální hodnota získaná ze zkoušek. Výběrová směrodatná odchylka s nemá být menší než 2 MPa.

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \times s = 54,71 - 1,48 \times 3,69 = 49,25 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$f_{ck, is} = f_{is, \text{nejmenší}} + 4 \text{ MPa} = 47 + 4 = 51,0 \text{ MPa} \quad (7)$$

V daném případě rozhoduje výraz (6) a charakteristická hodnota se rovná $f_{ck, is} = 49,25$ MPa. Potvrzují se tedy výsledky získané simulacemi ve studii [10] a to, že odhady kvantilu stanovené na základě EN 206-1 jsou vyšší než odhady podle materiálově nezávislých postupů jako např. předpovědní nebo pokryvná metoda.

5. Závěr

Pevnost betonu má průměr $m_{fc} = 54,71$ MPa, nízkou variabilitu $v_{fc} = 6,7$ % a velmi malou, ale zápornou šikmost $w_{fc} = -0,082$. Provedené zkoušky a statistická hodnocení ukazují, že materiál vyhovuje třídě betonu C45/55 a to jak podle ČSN EN 1990, tak podle ČSN EN 206.

Z uvedených testů dobré shody vyplývá, že nejvhodnějším rozdělením pro popis pevnosti betonu testovaného souboru je normální rozdělení nebo lognormální rozdělení, pro která je $\chi^2 = 7,11$. Obecně se pro pevnosti materiálů doporučuje rozdělení tříparametrické lognormální. Dále lze s ohledem na malou šikmost doporučit gamma rozdělení $\chi^2 = 7,35$. Nejméně vhodné se ukazuje lognormální rozdělení s počátkem v nule, pro které je $\chi^2 = 7,60$. I toto rozdělení splňuje kritérium χ^2 . Lognormální rozdělení s počátkem v nule má vždy kladnou šikmost. Neuvážené aplikace tohoto rozdělení mohou vést k nereálným teoretickým modelům (zpravidla podceňujícím výskyt záporných a zveličujícím výskyt kladných odchylek od průměru zvláště při vyšších hodnotách variačního koeficientu).

Další výzkum se zaměří na statistické hodnocení statického modulu pružnosti, sledování závislosti mezi modulem pružnosti, pevností a objemovou tíhou.

Poděkování

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

Literatura

- [1] ČSN EN 206-1, Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČNI 2001
- [2] ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI 2004.
- [3] Holický M., Marková J., Základy teorie spolehlivost a hodnocení rizik, ČVUT v Praze, 2005.
- [4] HOLICKÝ M. a kol.: Zásady hodnocení existujících konstrukcí: sborník příspěvků semináře, Praha 12. dubna 2006. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 14 p., ISBN 80-01-03464-X, www.konstrukce.cvut.cz.
- [5] VORLÍČEK M., HOLICKÝ M., ŠPAČKOVÁ M., Pravděpodobnost a matematická statistika pro inženýry. ČVUT Praha 1984.
- [6] VORLÍČEK M., HOLICKÝ M., ŠPAČKOVÁ M., Matematická statistika v technice. ČVUT Praha 1974.

- [7] ISO 12491 Statistical methods for quality control of building materials and components. 1997.
- [8] ISO 2394, General principles on reliability for structures. 1998. Zavedená v ČR jako ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí, ČSNI, 2003.
- [9] ČSN ISO 138200 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí, ČNI 2005
- [10] HOLICKÝ M., JUNG J., SÝKORA M., Statistické postupy hodnocení pevnosti betonových konstrukcí podle nových evropských předpisů, Stavebnictví 2009

Kontakt

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

Ing. Karel Jung, Ph.d., tel: 00420 224 353 850, e-mail: jung@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, 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, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 08 Praha.

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

HODNOCENÍ BETONOVÝCH KVÁDRŮ Z HLEDISKA TRVANLIVOSTI

EVALUATION OF CONCRETE BLOCK FROM THE DURABILITY ASPECTS

Zlata Kadlecová, Jiří Adámek, Pavel Reiterman

VUT v Brně, Fakulta stavební
Experimentální centrum, FSv ČVUT v Praze

Anotace:

Vlastnosti povrchové vrstvy betonu výrazně ovlivňují jeho výslednou trvanlivost. Jednou z možností popisu stavu povrchové vrstvy betonu jsou zkoušky propustnosti pro vzduch a vodu. Příspěvek hodnotí vlastnosti povrchové vrstvy betonových bloků, které byly vyrobeny na ČVUT v Praze. Jsou zde zhodnoceny nejen výsledky měření vzduchové a vodní propustnosti, ale také výsledky odtrhových zkoušek, tvrdoměrných zkoušek a hodnocení hutnosti betonu po výšce betonového bloku.

Annotation:

The paper presents some results from the experimental tests of covercrete permeability both for air and water during methods TPT (Torrent Permeability Tester), GWT (Germanns Water Permeability Test) and ISAT (Initial Surface Absorption Test).

Klíčová slova: Trvanlivost, beton, TPT, ISAT, GWT, povrchová vrstva betonu.

Keywords: Durability, concrete, TPT, ISAT, GWT, covercrete.

1. Úvod

Hodnocení betonů z hlediska trvanlivosti je velmi aktuálním tématem a zabývá se jím mnoho vědeckých pracovišť. Existuje více pohledů, jak se beton z hlediska trvanlivosti může hodnotit. Jednou z možností jsou i zkoušky

propustnosti povrchové vrstvy betonu, jimiž lze hodnotit pórovitou strukturu betonu a tím i výslednou trvanlivost. Propustnost povrchové vrstvy betonu je ovlivněna mnoha aspekty – složením, ukládáním, zhutňováním, ale především způsobem ošetřování v počátku tvrdnutí i během něho. Při hydrataci se množství pórů v cementovém kameni zmenšuje a zmenšuje se i medián poloměru mikropórů následkem růstu objemu hydratačních produktů. Velikost pórů se pohybuje v širokém rozmezí 1 ~ 100 μm , ojediněle i póry větší a jejich zastoupení v betonu ovlivňuje výslednou propustnost betonu. Lze konstatovat, že trvanlivost je funkcí propustnosti.

2. Experimentální část

Experimentální měření, které proběhly ve spolupráci s ČVUT v Praze, byly zaměřeny na testování betonových bloků s různým složením betonové směsi a byl zkoumán vliv složení betonové směsi na propustnost povrchové vrstvy betonu.

2.1. Popis zkušebních vzorků a jejich receptury

Pro účely experimentálních měření byly na ČVUT v Praze vyrobeny čtyři betonové bloky (s označením 6, 12, 18 a 22) bez povrchové úpravy o rozměrech 690 x 400 x 150 mm, které byly postupně podrobeny šesti zkušebním metodám. Receptury jednotlivých betonů jsou patrné z následující tabulky.

Tabulka 1.: Složení čerstvé betonové směsi.

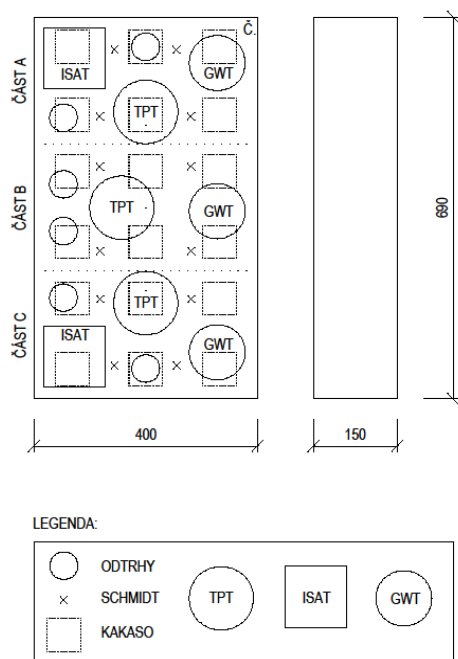
Směs	Plocha	Úprava povrchu	Složení betonové směsi na 1 m ³					
			CEM I 42,5 R Mokrý	Kamenivo			Voda	Plastifikátor
				0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm		
			[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
I.	6	bez	350	785	350	650	186	-
II.	12	bez	394	882	394	731	208	-
III.	18	bez	400	930	315	600	180	3
IV.	21	bez	400	930	315	600	180	2

Každá ze zkušebních ploch byla rozdělena na tři části (A, B a C) a na každé ploše byly postupně prováděny následující zkoušky:

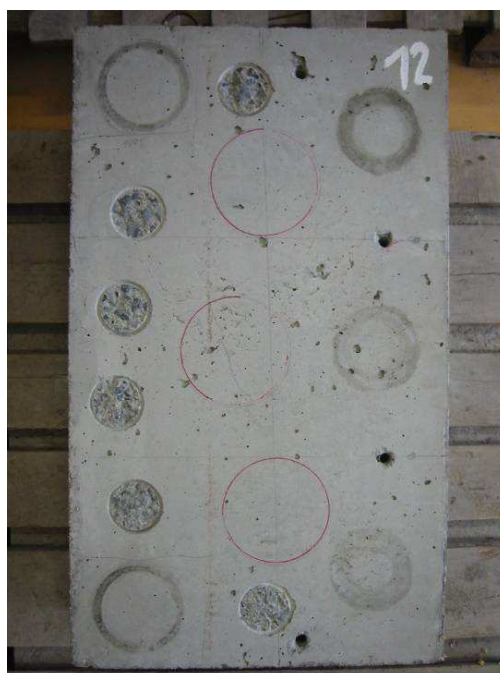
- stanovení povrchové vlhkosti kapacitním vlhkoměrem Kakaso,
- stanovení vzduchové propustnosti metodou TPT,

- stanovení propustnosti pro vodu metodou GWT,
- stanovení počáteční povrchové propustnosti pro vodu metodou ISAT,
- stanovení orientační pevnosti v tlaku Schmidtovým tvrdoměrem,
- stanovení odtrhové pevnosti.

Schéma betonového kvádrů s rozmístěním jednotlivých zkoušek je patrné z následujícího obrázku.



Obr. 1.: Rozmístění prováděných zkoušek



Obr. 2.: Betonový blok po všech zkouškách

2.2. Popis metodik prováděných zkoušek

Při hodnocení povrchových vrstev betonu hraje významnou roli jeho povrchová vlhkost a její měření je důležité provést před každou zkouškou propustnosti:

- Pro měření povrchové vlhkosti byl použit **kapacitní vlhkoměr Kakaso**, jímž bylo provedeno měření vždy před měřením vzduchové propustnosti. Z kalibrační křivky byla následně odečtena povrchová hmotnostní vlhkost v %.

Pro stanovení propustnosti povrchových vrstev betonových konstrukcí jsou na Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT Brno používány tyto tři profesionálně vyráběné přístroje:

- **TPT** (Torrent Permeability Tester) švýcarské firmy Proceq pro určení propustnosti betonu pro vzduch. Přístroj 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.

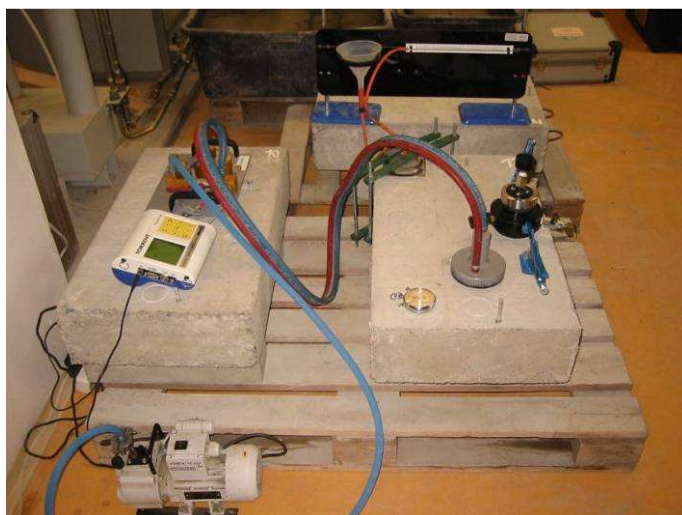
- **ISAT** (Initial Surface Absorption Test) je italské zařízení, které stanovuje propustnost betonu tlakovou vodu a je specifikováno britskou normou BS 1881/208. Metoda spočívá v měření množství tlakové vody (0,2 bar) vtékající do betonu přes akrylátovou komůrkou. Po naplnění komůrky vodou je přívod vody z nálevky uzavřen a probíhá měření pohybu vody po 10, 30 a 60 min. Počet dílků na měřítku po prvních pěti sekundách měření určuje interval měření a tím i v podstatě třídu kvality povrchu betonu.

- **GWT** (Germanns Water Permeability Test) dánské firmy Germann Instruments pro stanovení vodní propustnosti betonu se skládá z tlakové komůrky připevněné pomocí svorek na zkušební místo. Po naplnění komůrky vodou měříme čas a množství tlakové vody 0,2 bar vsáknuté do povrchu betonu pomocí mikrometrického šroubu.

Pro ověření vlastností betonu byly dále provedeny tyto zkoušky:

- Stanovení **tvrdosti pomocí Schmidtova tvrdoměru N** zjišťujeme hodnotu odrazu od zkoušeného povrchu a z hodnoty odrazu (a polohy tvrdoměru) lze z kalibračního diagramu určit pevnost v tlaku $f_{ck,cube}$ v $N.mm^{-2}$ s nezaručenou přesností.

- Stanovení **odtrhové pevnosti** přístrojem Dyna Z15, pomocí kterého se měří odtrhová pevnost. Zkušební kovový terčík se přilepí na povrch betonu prořízlý do hloubky 2 mm a 5 mm, osadí se ocelový hrot i přístroj a točením klikou vytváříme tahovou sílu nutnou k odtržení terčíku. Výsledná pevnost se vyjadřuje v $N.mm^{-2}$.



Obr. 3.: Vlevo přístroj TPT, vpravo GWT, nahoře ISAT.

3. Naměřená data

3.1. Přehled naměřených dat

Na zkušebních plochách 6, 12, 18 a 22 byly provedeny všechny výše uvedené metody a výsledky jednotlivých zkoušek jsou patrné z následujících tabulek:

- Tabulka 2: Souhrnné výsledky měření na plochách 6, 12, 18 a 22,
- Tabulka 3: TPT a stanovení tvrdosti Schmidovým tvrdoměrem N,
- Tabulka 4: ISAT,
- Tabulka 5: GWT a odtrhová pevnost.

Tabulka 2.: Souhrnné (průměrné) výsledky měření na plochách 6, 12, 18 a 22.

Směs	Plocha	Úprava povrchu	TPT				GWT			ISAT		SCHMIDT	ODTRH
			Kakaso	Součinitel propustnosti k_T	přepočet k_T na 3 % vlhkost	Kvalita krycí vrstvy betonu	Kakaso	Součinitel vnitřní permeability k_1	Trvanlivý beton?	Kakaso	10 min.	Pevnost v tlaku s nezaručenou přesností	Odrhová pevnost
			[%]	$\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$	$\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$		[%]	$[\text{m}^2]$		[%]	$[\text{ml}/\text{m}^2/\text{s}]$	[MPa]	[MPa]
I.	6	bez	2,8	0,090	0,092	2 - dobrá	2,7	1,606E-15	NE	2,6	0,27	39	3,1
II.	12	bez	2,5	0,434	0,265	3 - střední	2,5	1,777E-15	NE	2,5	0,24	34	2,2
III.	18	bez	4,0	0,021	0,039	2 - dobrá	4,0	2,272E-16	NE	4,0	0,11	39	3,2
IV.	22	bez	32,0	0,015	0,013	2 - dobrá	3,2	2,277E-16	NE	3,2	0,20	38	2,9

Tabulka 3.: Dílčí výsledky měření vzduchové propustnosti přístrojem TPT a pevnosti v tlaku s nezaručenou přesností pomocí Schmidova tvrdoměru N.

Plocha	Úprava povrchu	KAKASO				TPT				SCHMIDT				
		údaje vlhkoměru KAKASO digitální			odhad hmotnostní vlhkosti - digitální průměr	součinitel propustnosti k_T	hloubka vniknutí vakua L	přepočet $k_{T,3}$ na 3 % vlhkost	kvalita krycí vrstvy betonu	hodnota odrazu - Schmidt N		Pevnost v tlaku s nezaručenou přesností		
		jednotlivé	Ø		[%]	$\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$	[mm]	$\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$		jednotlivé	Ø	[MPa]		
6A	bez	120	119	120	125	2,5	0,087	20,3	0,055	2 - dobrá	33	44	39	38
6B		152	148	139	145	3,2	0,148	26,6	0,177	3 - střední	38	46	42	40
6C		142	146	145	146	3,3	0,036	13,0	0,045	2 - dobrá	47	38	39	38
Ø		150	154	152	146	3,3	0,036	13,0	0,045	2 - dobrá	38	42	39	38
Ø		138	139	141	146	3,3	0,036	13,0	0,045	2 - dobrá	32	42	39	38
Ø		139			3,0	0,090	20,0	0,092	2 - dobrá	40		39	39	
12A	bez	121	127	125	126	2,3	0,773	49,3	0,434	3 - střední	30	34	32	34
12B		130	133	121	129	2,4	0,006	5,2	0,004	1 - velmi dobrá	30	34	32	34
12C		121	125	131	129	2,4	0,006	5,2	0,004	1 - velmi dobrá	28	32	32	34
Ø		123	139	134	129	2,4	0,006	5,2	0,004	1 - velmi dobrá	34	34	32	34
Ø		121	145	143	134	2,6	0,523	45,4	0,358	3 - střední	28	36	34	35
Ø		136	118	139	134	2,6	0,523	45,4	0,358	3 - střední	32	38	34	35
Ø		130			2,4	0,434	33,3	0,265	3 - střední	33		35	35	
18A	bez	149	152	166	157	3,6	0,050	15,5	0,080	2 - dobrá	35	39	38	38
18B		158	159	155	165	4,0	0,004	4,3	0,009	1 - velmi dobrá	34	43	43	41
18C		166	165	166	165	4,0	0,004	4,3	0,009	1 - velmi dobrá	40	44	43	41
Ø		166	162	162	170	4,3	0,009	6,4	0,028	2 - dobrá	41	45	42	40
Ø		169	176	159	170	4,3	0,009	6,4	0,028	2 - dobrá	40	45	42	40
Ø		170	168	175	170	4,3	0,009	6,4	0,028	2 - dobrá	40	43	42	40
Ø		164			4,0	0,021	8,7	0,039	2 - dobrá	41		39	39	
22A	bez	133	144	151	148	2,5	0,012	2,8	0,008	1 - velmi dobrá	40	39	39	38
22B		145	154	159	151	2,6	0,019	2,6	0,014	2 - dobrá	39	38	40	39
22C		147	152	160	147	3,1	0,015	6,7	0,016	2 - dobrá	40	41	39	38
Ø		139	148	162	147	3,1	0,015	6,7	0,016	2 - dobrá	38	42	39	38
Ø		143	150	160	147	3,1	0,015	6,7	0,016	2 - dobrá	41	37	39	38
Ø		139	142	146	149	2,8	0,015	4,0	0,013	2 - dobrá	39	38	39	38

Tabulka 4.: Dílčí výsledky měření vodní propustnosti přístrojem GWT a odtrhové pevnosti.

Plocha	Úprava povrchu	KAKASO					GWT			ODTRHY		Ø
		údaje vlhkoměru KAKASO digitální			odhad hmotnostní vlhkosti	povrchová propustnost	součinitel vnitřní permeability	Dle DIN 1045 lze za TRVANLIVÝ BETON považovat beton - součinitel propustnosti $k_1 < 1,0 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$.	hloubka zářezu			
		jednotlivé		Ø	Ø				2 mm	5 mm		
		-	-	-	[%]	[mm/s]	[m ²]	[N.mm ⁻²]	[N.mm ⁻²]			
6A	bez	120	119	120	125	2,4				3,2	2,9	3,1
		132	124	133								
6B		152	148	139	145	3,1	6,46E-16	6,59E-16	NE	2,8	3,1	
		142	146	145								
6C		142	143	130	135	2,7	9,91E-07	2,55E-15	NE	2,5	4,1	
	135	135	126									
Ø					135	2,7	4,956E-07	1,606E-15	NE	2,8	3,4	
12A	bez	121	127	125	126	2,3	2,255E-08	2,300E-15	NE	2,0	2,6	2,2
		130	133	121								
12B		121	125	131	129	2,4	1,793E-08	1,829E-15	NE	2,3	1,8	
		123	139	134								
12C		121	145	143	134	2,6	5,242E-07	1,204E-15	NE	2,2	2,5	
	136	118	139									
Ø					130	2,4	2,711E-07	1,517E-15	NE	2,2	2,3	
18A	bez	149	152	166	157	3,6	1,305E-09	1,331E-16	NE	1,2	2,9	3,2
		158	159	155								
18B		166	165	166	165	4,0	4,480E-09	4,570E-16	NE	3,5	3,8	
		166	162	162								
18C		169	176	159	170	4,3	8,965E-10	9,144E-17	ANO	4,4	3,2	
	170	168	175									
Ø					164	4,0	2,227E-09	2,272E-16	NE	3,0	3,3	
22A	bez	133	144	151	148	3,2	2,827E-07	2,883E-16	NE	2,4	2,6	2,9
		145	154	159								
22B		147	152	160	151	3,3	2,121E-09	2,163E-16	NE	3,0	3,1	
		139	148	162								
22C		143	150	160	147	3,1	1,749E-09	1,784E-16	NE	3,2	3,0	
	139	142	146									
Ø					149	3,2	9,552E-08	2,277E-16	NE	2,9	2,9	

Tabulka 5.: Dílčí výsledky měření počáteční povrchové propustnosti přístrojem ISAT.

Plocha	Úprava povrchu	KAKASO				ISAT						
		údaje vlhkoměru KAKASO digitální			odhad hmotnostní vlhkosti	po 5 s	po 30 s	po 60 s	po 10 min.	po 30 min.	po 60 min.	
		jednotlivé		průměr	průměr							
		-	-	-	[%]	[ml/m ² /s]	[ml/m ² /s]	[ml/m ² /s]	[ml/m ² /s]	[ml/m ² /s]	[ml/m ² /s]	
6A	bez	138	128	130	132	2,6	1,08	0,98	0,91	0,27	0,16	0,12
		137	118	140								
Ø					132	2,6	1,08	0,98	0,91	0,27	0,16	0,12
12A	bez	121	127	125	126	2,4	1,56	1,46	1,32	0,23	0,15	0,11
		130	133	121								
12C		121	145	143	134	2,6	1,08	0,84	0,70	0,25	0,13	0,11
		136	118	139								
Ø					130	2,5	1,32	1,15	1,01	0,24	0,14	0,11
18A	bez	149	152	166	157	3,6	0,24	0,16	0,13	0,09	0,05	0,03
		158	159	155								
18C		169	176	159	170	4,3	0,48	0,40	0,37	0,12	0,05	0,04
		170	168	175								
Ø					163	3,9	0,36	0,28	0,25	0,11	0,05	0,04
22A	bez	133	144	151	148	3,2	0,84	0,64	0,60	0,19	0,10	0,06
		145	154	159								
22C		143	150	160	147	3,1	0,36	0,32	0,32	0,21	0,11	0,07
		139	142	146								
Ø					147	3,2	0,60	0,48	0,46	0,20	0,11	0,07

3.2. Diskuze výsledků

Z provedených zkoušek propustnosti betonu zaměřených na zkoumání vlivu různého složení betonové směsi lze formulovat následující závěry:

- Měření **vzduchové propustnosti metodou TPT** ukázalo, že povrchovou vrstvu betonových bloků u směsí I, III a IV lze hodnotit jako 2 – dobrou a u směsi II jako 3 – střední. Na výsledcích jsou patrné tendence nízkého součinitele vzduchové propustnosti v části C (oproti části A), což je způsobeno hutnějším betonem jako důsledek plnění a hutnění betonového bloku po výšce. Diskutabilní jsou výsledky měření na střední části bloku B, jejichž výkyvy jsou zřejmě způsobeny technologickou spárou či druhem vibrace.

- Při měření **propustnosti pro vodu metodou GWT** nelze považovat zkoušené betony za trvanlivé, jelikož součinitel vodní propustnosti dosahoval vždy hodnot vyšších než $1,0 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$. Lepších výsledků dosahovaly betony s vyšším obsahem cementu a nižším obsahem vody (směs III a IV).

- Měření **povrchové počáteční propustnosti metodou ISAT** bylo prováděno pouze na plochách A a C. Povrchové vrstvy betonových směsí III a IV opět dosahovaly lepších kvalit.

- Měření pevnosti v tlaku s nezaručenou přesností **Schmidtovým tvrdoměrem N** je zkouškou orientační a kromě bloku II (35 MPa) dosahovaly hodnot tlakových pevností kolem 39 MPa.

- **Zkouška stanovení odtrhové pevnosti** prokázala stejné závěry jako zkouška Schmidtovým tvrdoměrem, tj. betonová směs II. dosahovala horší výsledků (2,2 MPa), ostatní směsi jsou srovnatelné (3 MPa).

- **Vlhkost povrchové vrstvy betonu (Kakaso)** nebyla při měření dílčích ploch vždy stejná. Na tento aspekt je nutné, při vyhodnocování výsledků, brát zřetel, protože povrchová vlhkost hraje významnou roli při hodnocení povrchových vlastností betonu a ovlivňuje výslednou permeabilitu betonu.

4. Závěr

Výsledky experimentálního měření prokazují, že složením betonové směsi výrazným způsobem ovlivňuje vlastnosti povrchové vrstvy betonu. Vhodný poměr cementu a vody je klíčovým parametrem pro kvalitní povrchovou vrstvu betonu. Aby byly výsledky zkoušek mezi sebou srovnatelné, musí mít betonový povrch stejnou povrchovou vlhkost. Proto byly provedeny srovnávací zkoušky měření propustnosti a v současné době se na Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně dokončují kalibrační vztahy, které umožní přepočítání aktuální vlhkosti na střední hmotnostní vlhkost betonu 3 % a tím umožní i srovnatelnost výsledků obecně.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory GAČR č.103/09/0065, 130/08/1612 a HS 12962056.

Literatura

- [1] ADÁMEK, J.; JURÁNKOVÁ, A. Detection of Imperfection in Concrete Structure from Durability Viewpoint. XVI International Conference MCM - Mechanics of Composite Materials. Latvia. 2010. p. 20 - 20.
- [2] 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.
- [3] KADLECOVÁ, Z.; ADÁMEK, J. Porovnání vodní a vzduchové propustnosti povrchových vrstev betonu. In XIV. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky (id 18292). VUSTAH a.s. 2010. p. 364 - 367. ISBN 978-80-87397-02-2.
- [4] ADÁMEK, J.; JURÁNKOVÁ, V.; KUCHARCZYKOVÁ, B., Fibre Concrete And its Air Permeability, příspěvek na konferenci Proceedings of 5th International Conference Fibre Concrete 2009, ISBN 978-80-01-04381-3, CTU Prague, Praha, 2009.
- [5] KEPPERT, M.; VYTLAČILOVÁ, V.; DVORSKÝ, T.; REITERMAN, P.; ČERNÝ R.: Vodotěsnost a permeabilita vysokohodnotného betonu In: Stavební obzor. 2010, roč. 19, č. 5/2010, s. 145-148. ISSN 1210-4027.

Kontakt

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. 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.

MODUL PRUŽNOSTI BETONU PREFABRIKOVANÝCH MOSTNÍCH NOSNÍKŮ

MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE MEASURED OF PREFABRICATED BRIDGE GIRDERS

Dalibor Kocáb, Petr Cikrle

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Článek pojednává o zjišťování materiálových charakteristik betonu C 45/55 a jejich vývoji v čase. K experimentu byly zhotoveny normované hranoly z betonu určeného k výrobě prefabrikovaných mostních nosníků. Ty byly použity k výstavbě mostu u města Hulína. Na zkušebních tělesech se zjišťoval modul pružnosti betonu a pevnost betonu v tlaku. Tyto zkoušky byly provedeny na základě dlouhodobé spolupráce s firmou OHL ŽS a.s. Výstupem je grafický a tabulární nárůst materiálových charakteristik betonu v čase.

Annotation:

This article treats of determining material characteristics of concrete C 45/55 and development of these characteristics over time. Standard prisms made of concrete which is destined for manufacturing prefabricated girders were created for the purpose of the experiment. These prisms were used in construction of the bridge near the town of Hulín. What was elicited from the test specimens were modulus of elasticity of concrete and compressive strength of concrete. These tests were made on the basis of long lasting cooperation with the company OHL ŽS a.s. The output of the experiment has a form of graphic and tabular rise of the material characteristics of concrete in time.

Klíčová slova: Modul pružnosti, pevnost betonu v tlaku, beton, mostní nosník

Keywords: Modulus of elasticity, compressive strength of concrete, concrete, bridge girder

1. Úvod

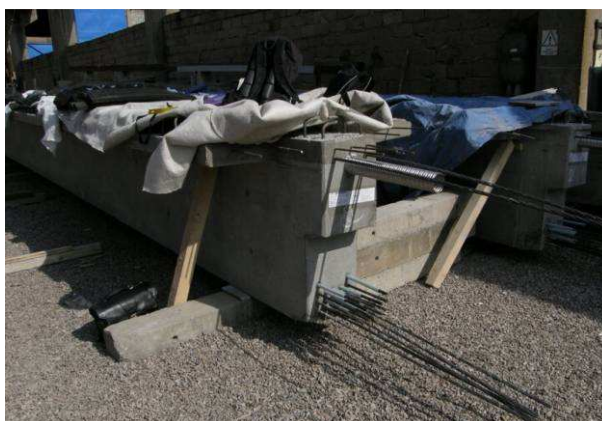
Cílem tohoto experimentu bylo zjistit vývoj materiálových charakteristik betonu v čase. Konkrétně se jednalo o beton C 45/55, z něhož byly vyráběny mostní nosníky délky min. 20 m. Určované charakteristiky byly pevnost betonu v tlaku a modul pružnosti betonu, a to jak dynamický, tak statický. Především se experiment snažil zachytit nárůst těchto vlastností v prvních dnech po betonáži, kdy se do nosníků vnáší předpětí a manipuluje se s nimi.

Práce byla naplánovaná a provedená ve spolupráci s firmou OHL ŽS, a.s., přičemž se navazovalo na předchozí společnou výzkumnou činnost. Co se týče metodiky prováděných zkoušek, byly využity normované metody pro určení dynamického modulu pružnosti betonu a statického modulu pružnosti v tlaku.

2. Všeobecné údaje

Během výroby mostních nosníků byla zhotovena zkušební tělesa. V každé etapě betonáže bylo vyrobeno 6 kusů normových hranolů nominálních rozměrů 100×100×400 mm a 3 kusy normových krychlí o rozměrech 150×150×150 mm. K popisovanému experimentu však nebyla určena všechna tělesa.

Betonáže jednotlivých nosníků byly zahájeny dne 6.3.2010 a poté vždy po třech dnech pokračovaly do 18.3.2010. K dispozici byla dále ještě zkušební tělesa ze dne 24.3.2010 a dne 3.4.2010. Zkušební hranoly zrály před i po odformování přímo na mostních nosnících, které byly umístěny na volném prostranství výrobního závodu a přikryty fóliemi či jutou - viz Obr. 1. Zkušební hranolová tělesa tedy byla uložena ve stejných podmínkách jako nosníky.



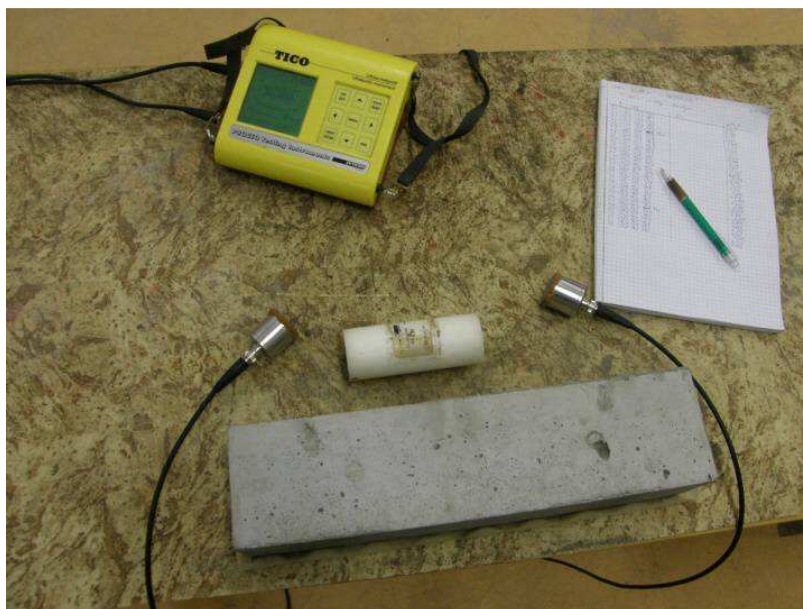
Obr. 1.: Zkušební tělesa byla uložena na přikrytých mostních nosnících

Hranoly byly po naplánované době zrání převezeny do laboratoře k odzkoušení. Označení každého hranolu sestávalo z údaje o délce zrání betonu, data výroby a pořadového čísla.

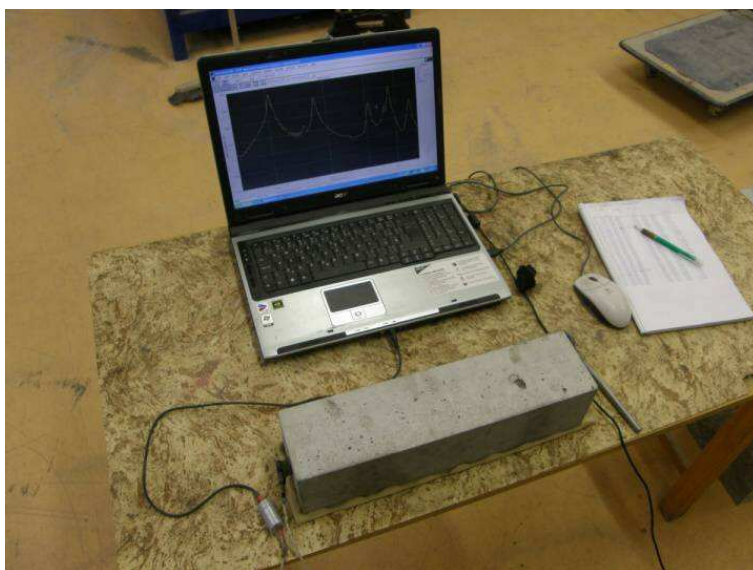
3. Metodika zkoušek

Aby bylo možné vyhodnotit nárůst pevnosti v tlaku a modulu pružnosti v čase, byly tyto zkoušky prováděny na tělesech různého stáří. Největší změny nastávají v prvních dnech po výrobě, proto bylo do 12. dne zrání betonu naplánováno 6 měření: po 1, 2, 3, 7, 10 a 12 dnech. Poté již není nárůst sledovaných charakteristik betonu tak výrazný, a proto se zkoušky dále prováděly již jen po 28 a 90 dnech.

Na zkušebních hranolech byl určen dynamický modul pružnosti pomocí obou normovaných metod. První byla ultrazvuková impulsová metoda, kdy se pomocí přístroje TICO s použitím sond o frekvenci 150 kHz zjišťovala doba průchodu ultrazvukového vlnění zkušebním tělesem, a následně se určil modul pružnosti (značený E_{bu}). Druhá metoda byla rezonanční, při níž se zjišťovaly vlastní frekvence kmitání tělesa. Z naměřených hodnot podélných frekvencí se vypočítal modul pružnosti E_{brL} a z příčných frekvencí modul pružnosti E_{brF} . Měření oběma metodami je zachyceno na Obr. 2, respektive Obr. 3.

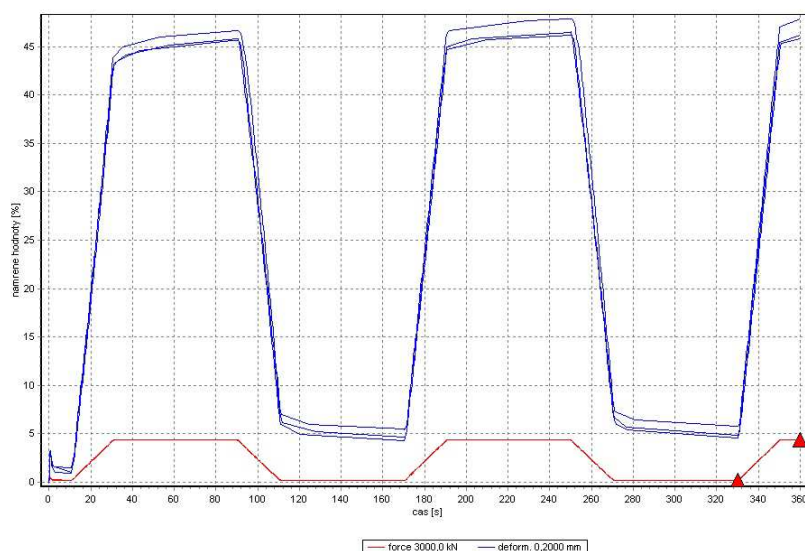


Obr. 2.: Měření dynamického modulu pružnosti pomocí ultrazvukové metody přístrojem TICO



Obr. 3.: Měření dynamického modulu pružnosti pomocí rezonanční metody

Po zkouškách dynamického modulu pružnosti byl na hranolech zjišťován statický modul pružnosti v tlaku/tahu E_c pomocí lisu FormTest, viz Obr. 5. Horní mez zatěžovacího cyklu byla odvozena z krychelné pevnosti. Grafický výstup měření statického modulu pružnosti je znázorněn na Obr. 4. Poté byly zkušební vzorky zatěžovány až do porušení, viz Obr. 6. Z maximální tlakové síly byla vypočtena pevnost betonu v tlaku.



Obr. 4.: Grafický výstup z lisu – průběh cyklického zatěžování při stanovení modulu pružnosti po 2 dnech zrání



Obr. 5.: Měření statického modulu pružnosti v lisu FormTest



Obr. 6.: Stanovení pevnosti betonu v tlaku – hranol po zkoušce

Ke zkouškám byla vždy použita trojice hranolů. Zbylá trojice byla ponechána buď ke zkouškám po delším časovém úseku.

Zkoušky byly prováděny dle norem [4, 5, 6]. Jednotlivé postupy při měření různých druhů modulu pružnosti jsou podrobněji popsány např. v [1, 2].

4. Souhrn dosažených výsledků

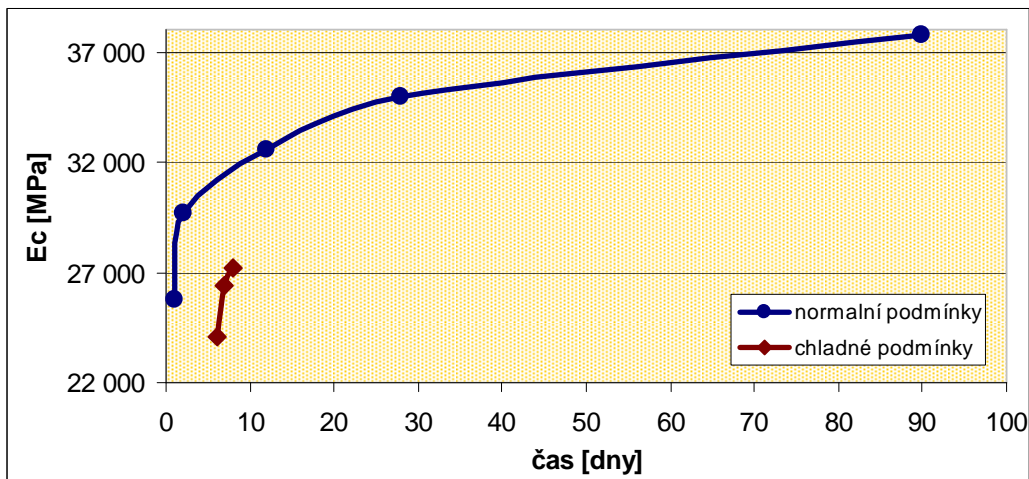
Jako první byla do laboratoře dopravena tělesa vyrobená od 6.3.2010 do 12.3.2010. Zkoušky se začaly provádět dne 15.3.2010, kdy byly odzkoušeny hranoly vyrobené dne 12.3.2010 – jednalo se tedy o 3-denní hodnoty pevnosti a modulu pružnosti. Následující den byly odzkoušeny hranoly ze dne 6.3.2010. a ze dne 9.3.2010 – v tomto případě šlo o 7-denní a 10-denní hodnoty. Po průběžném vyhodnocení se zjistilo, že naměřené hodnoty neodpovídají třídě betonu a po následném proměření nosníků, že neodpovídají ani skutečné kvalitě betonu. Ta byla výrazněji vyšší.

Nepoměr mezi naměřenými hodnotami na hranolech a na nosnících byl s největší pravděpodobností způsoben odlišným zráním betonu vlivem nízké teploty. V době výroby prvních nosníků byly měřeny ranní mrazíky. Vliv teploty na rychlost zpevňování betonu je popsán např. v [3]. Zatímco výrazněji větší

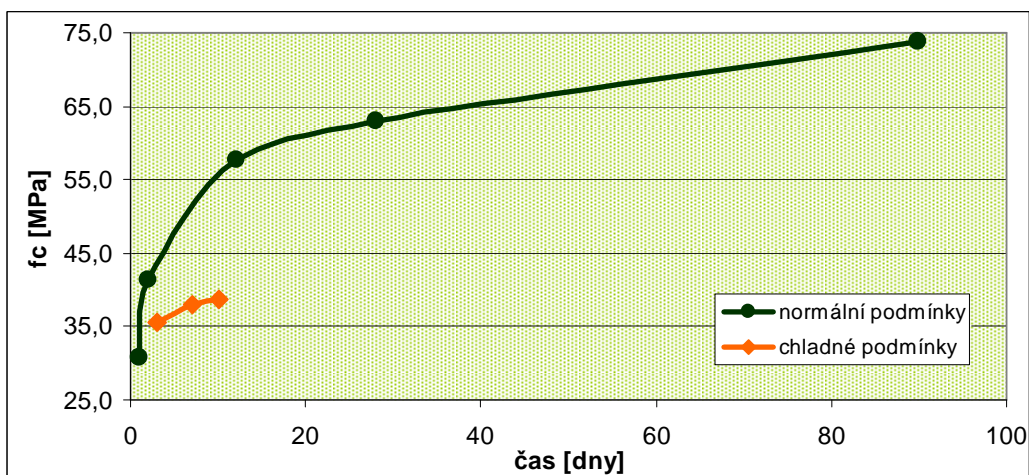
hmota betonu v nosnících dokázala i přes nízké teploty vyprodukovat dostatečné množství hydratačního tepla a zrání betonu nebylo negativně ovlivněno, u zkušebních hranolů tomu tak nebylo. Tímto se opět potvrdila skutečnost, že beton se v malém množství (což zkušební tělesa nepochybně jsou) chová jinak než v množství velkém. Poté již byla tělesa uložena v normálních laboratorních podmínkách a následně měřené hodnoty zjišťovaných charakteristik odpovídaly předpokladům. V Tabulce 1. jsou vypsány všechny naměřené hodnoty (šedě jsou označeny vzorky ovlivněné nízkou teplotou), na Obr. 7 je zobrazen nárůst statického modulu pružnosti betonu v čase a na Obr. 8 je znázorněn nárůst hranolové pevnosti betonu v tlaku.

Tabulka 1.: Naměřené hodnoty modulů pružnosti betonu v MPa a pevnosti betonu v tlaku v MPa (stáří betonu je značeno prvními číslicemi v názvu tělesa).

Hranol:	E_{bu}	E_{bfL}	E_{brF}	E_c	f_c
1D-24/03-1	33 200	31 800	31 500	25 800	31,7
1D-24/03-2	32 600	32 000	31 900	25 200	29,5
1D-24/03-3	33 100	32 700	32 100	26 400	30,9
průměr:	33 000	32 200	31 800	25 800	30,7
2D-24/03-4	37 600	37 500	37 300	29 700	43,1
2D-24/03-5	37 600	37 800	37 700	29 500	38,9
2D-24/03-6	37 500	37 900	37 900	30 000	41,9
průměr:	37 600	37 700	37 600	29 700	41,3
3D-12/03-1	35 000	34 600	33 900	24 100	35,5
3D-12/03-2	35 100	34 700	33 500	24 900	38,4
3D-12/03-3	33 800	33 300	32 400	23 400	32,7
průměr:	34 600	34 200	33 300	24 100	35,5
7D-09/03-1	36 300	35 400	35 400	26 200	35,3
7D-09/03-2	35 600	35 400	35 300	26 600	40,4
7D-09/03-3	36 300	35 800	35 400	26 400	37,9
průměr:	36 100	35 500	35 400	26 400	37,9
10D-06/03-1	37 400	36 600	35 000	26 800	38,4
10D-06/03-2	36 900	36 200	36 100	25 700	39,3
10D-06/03-3	37 200	36 700	37 100	29 100	38,5
průměr:	37 200	36 500	36 100	27 200	38,7
12D-03/04-4	40 000	40 300	39 400	32 700	56,3
12D-03/04-5	39 800	39 800	39 400	32 600	62,0
12D-03/04-6	39 400	40 100	38 600	32 600	55,1
průměr:	39 700	40 100	39 100	32 600	57,8
28D-18/03-1	41 400	41 800	40 000	35400	64,1
28D-18/03-2	41 200	41 900	40 300	35700	60,0
28D-18/03-3	41 700	41 900	41 300	34000	65,0
průměr:	41 400	41 900	40 500	35 000	63,0
90D-15/03-1	42 600	42 100	41 500	38 500	75,1
90D-15/03-2	42 100	41 700	41 000	38 000	73,7
90D-15/03-3	42 700	42 700	42 300	37 000	72,4
průměr:	42 500	42 200	41 600	37 800	73,7



Obr. 7.: Nárůst statického modulu pružnosti betonu v čase



Obr. 8.: Nárůst hranolové pevnosti betonu v tlaku v čase

5. Závěr

Výsledky experimentu jsou graficky zpracované nárůsty pevnosti betonu v tlaku a modulu pružnosti betonu měřené v čase. Podařilo se potvrdit, že zkoušený beton C 45/55 má již po dvou dnech vysokou pevnost i modul pružnosti. Hranolová pevnost po dvou dnech dosahovala průměrné hodnoty 41,3 MPa, což je 66 % pevnosti po 28 dnech. Statický modul pružnosti měřený po dvou dnech měl průměrnou hodnotu 29,7 GPa, což představuje 85 % hodnoty modulu pružnosti po 28 dnech.

Značná shoda se projevila i u výsledných dynamických modulů pružnosti. Všechny hodnoty, jak z ultrazvukové metody, tak z obou frekvencí rezonanční metody, odpovídaly statickému modulu pružnosti v tlaku E_c . Zmenšovací součinitel pro přepočítání dynamických modulů pružnosti na statický modul vycházel obdobně pro ultrazvuk i pro rezonanční metodu, lišil se vzájemně maximálně o 0,03. Po jednom dni nabýval hodnot přibližně 0,80 a postupně se zvyšoval až na hodnotu přibližně 0,85 po 28 dnech zrání betonu. Díky této poměrně těsné shodě bylo možné zcela nedestruktivně stanovit hodnotu statického modulu pružnosti betonu přímo na nosnících.

Jako neplánovaný výsledek experimentu lze označit potvrzení faktu, že se betonové zkušební těleso chová jinak než velký betonový dílec. Nízké teploty, které ovlivnily začátek tohoto experimentu, se projevily přibrzděním růstu pevností i modulů pružnosti, což je velmi dobře patrné na Obr. 7 a Obr. 8.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl ve spolupráci s firmou OHL ŽS, a.s. a za podpory výzkumného záměru MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životní prostředí“.

Literatura

- [1] CIKRLE, P., Porovnání statických a dynamických modulů pružnosti, ISBN 978-80-01-04123-9, Kloknerův ústav ČVUT, Praha, 2008.
- [2] CIKRLE, P.; HUŇKA, P., Porovnání metodik zkoušení modulu pružnosti betonu, ISBN 80-903502-4-0, Česká betonářská společnost ČSSI, Praha, 2006.
- [3] ŠTĚRBA, A.; ŠTĚRBA, T., Vliv doby ošetřování a teploty betonu na rychlost jeho zpevnování, ISSN 12133116, časopis Beton, 5/2007
- [4] ČSN 73 1371:1981 Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu.
- [5] ČSN 73 1372:1981 Rezanční metoda zkoušení betonu.
- [6] ČSN ISO 6784: Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku.

Kontakt

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. 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.

**STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI
NA VÁLCOVÝCH TĚLESECH VYROBENÝCH
Z MOSTNÍHO BETONU**

**DETERMINATION OF ELASTIC MODULUS
OF CYLINDRICAL SPECIMENS MADE
OF CONCRETE USED IN BRIDGE CONSTRUCTION**

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

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Cílem této práce bylo porovnání hodnot modulu pružnosti betonu a také pevnosti betonu v tlaku. Zjištěné hodnoty byly naměřeny jednak na normových válcových tělesech a také na tělesech získaných z jádrových vývrtů. K experimentu byly použity dva druhy betonu – provzdušněný mostní beton C 30/37 a neprovzdušněný mostní beton C 30/37. Porovnávány byly výsledky provzdušněného betonu s výsledky naměřenými na neprovzdušněném betonu. Byly také porovnány hodnoty zjištěné na jádrových vývrtech s hodnotami normových válců.

Annotation:

The aim of this work was to compare the values of modulus of elasticity of concrete and of compressive strength of concrete. The values were observed by measuring standard cylindrical specimens as well as specimens obtained by core-drilling. Two kinds of concrete were used for the experiment: air-entrained bridge concrete C 30/37 and non-air-entrained bridge concrete C 30/37. The findings gained by measuring of the values of the air-entrained concrete were then compared with the findings of the non-air-entrained concrete. Subsequently, the values observed by measuring the test cores were compared with the values observed by measuring the standard cylindrical specimen.

Klíčová slova: Modul pružnosti, provzdušnění, beton, normový válec, jádrový vývrt

Keywords: Modulus of elasticity, entrained air, concrete, standard cylindrical specimen, test core

1. Úvod

Příspěvek se zabývá zjišťováním statického a dynamického modulu pružnosti provzdušněného a neprovzdušněného betonu. Oba druhy betonu jsou určeny pro mostní konstrukce. Tento experiment byl naplánován a proveden v rámci výzkumné spolupráce s firmou OHL ŽS, a.s.

Modul pružnosti byl stanoven na vyrobených normových válcových tělesech a také na tělesech získaných pomocí jádrového vrtání. Pro určení dynamických modulů pružnosti byly využity obě normované metody. Statický modul pružnosti byl zjištěn pomocí tlakového namáhání.

2. Všeobecné údaje

Pro zkoušení byly vybetonovány dvě sady zkušebních těles. Jednalo se o normové válce nominálních rozměrů 150×300 mm, normové krychle 150×150×150 mm a poté o jeden větší kvádr (Obr. 1.), ze kterého byly pomocí jádrového vrtání odebrány válce o průměru 100 mm.



Obr. 1.: Výroba kvádrů určeného k odebrání jádrových vývrtů

První sada těles byla vyrobena dne 29.10.2010 z provzdušněného konstrukčního betonu C 30/37 XF4. Druhá sada zkušebních vzorků byla vyrobena o den později z konstrukčního betonu C 30/37 XF1 – de facto se jednalo o stejný beton, jen bez provzdušnění. Oba betony byly objednány s konzistencí S3.

Vzorky zhotovené z provzdušněného betonu byly popsány písmenem **P** a tělesa z obyčejného betonu písmenem **O**. Aby byla zajištěna co největší stejnorodost betonu, byly všechny zkušební vzorky každé série vyrobeny z jediného domíchávače (objem betonu v mixu 2 m³).

U obou druhů betonu byly v jeho čerstvém stavu laboratorně ověřeny tyto charakteristiky: objemová hmotnost, sednutí kužele a procentuální množství vzduchu (Obr. 3., Obr. 4.). Hodnoty provzdušněného betonu byly:

- sednutí kužele: 115 mm (konzistence S3);
- objemová hmotnost: 2190 kg·m⁻³;
- procentuální množství vzduchu: 9,5 ~ 10,0 % (záměrně co největší provzdušnění – Obr. 2.).

Zjištěné hodnoty obyčejného (neprovzdušněného) betonu:

- sednutí kužele: 200 mm (konzistence S4);
- objemová hmotnost: 2340 kg·m⁻³;
- procentuální množství vzduchu: 2,2 ~ 2,3 %.



Obr. 2.: Co největší provzdušnění bylo záměrné – detail povrchu kvádrů z provzdušněného betonu po setření zednickou lžící

Zkušební tělesa a kvádr určený k jádrovému vrtání byly po vyrobení přikryty polyethylenovou fólií. Druhý den po betonáži byly odformovány a uloženy do prostředí s relativní vlhkostí 100 %.



Obr. 3.: Zjišťování sednutí kužele



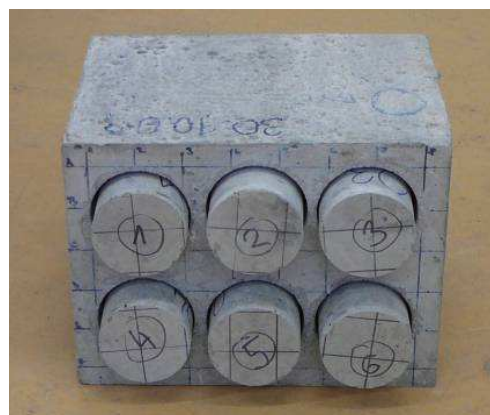
Obr. 4.: Zjišťování procent. množství vzduchu v čerstvém betonu

3. Metodika zkoušek

Po 27 dnech zrání betonu byly z kvádrů odebrány jádrové vývrty, viz Obr. 5. Na nich a na válcích byly ve stáří betonu 28 dní nejdříve provedeny zkoušky na zjištění dynamického modulu pružnosti. Dynamický modul pružnosti byl určen ultrazvukovou metodou pomocí přístroje TICO (modul pružnosti E_{bu}) a také rezonanční metodou z naměřených hodnot podélných frekvencí (modul pružnosti E_{brL}) a příčných frekvencí (modul pružnosti E_{brF}). Zkoušky dynamického modulu pružnosti jsou zachyceny na Obr. 6. a Obr. 7.

Následně byl na všech zkušebních válcových tělesech určen statický modul pružnosti betonu v tlaku/tahu E_c (Obr. 8., Obr. 9.). Horní mez zatěžovacího cyklu byla odvozena z krychelné pevnosti betonu v tlaku. K tomu posloužily trojice krychlí od každého druhu betonu (P1 až P3, O1 až O3).

Veškeré zkoušky byly prováděny dle norem [3, 4, 5]. Zkoušky modulu pružnosti betonu jsou podrobněji popsány např. v [1, 2].



Obr. 5.: Z betonového kvádru byla jádrovým vrtáním odebrána válcová zkušební tělesa; vlevo provzdušněný beton, vpravo neprovzdušněný beton



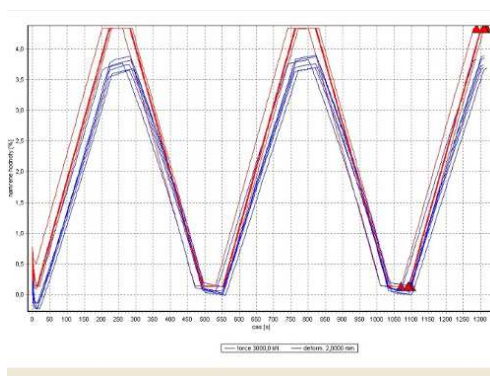
Obr. 6.: Měření modulu pružnosti ultrazvukovou metodou



Obr. 7.: Měření modulu pružnosti rezonanční metodou



Obr. 8.: Měření modulu pružnosti v lisu FormTest



Obr. 9.: Grafický výstup z lisu – statický modul pružnosti vývrtů O

4. Souhrn dosažených výsledků

Ze získaných výsledků jednoznačně vyplynulo, že hodnoty všech měřených modulů pružnosti obyčejného betonu poměrně výrazně převyšují odpovídající hodnoty modulů pružnosti provzdušněného betonu.

4.1. Pevnost betonu v tlaku

Přestože byly oba betony vyrobeny v pevnostní třídě C 30/37, jejich krychelné pevnosti dosahovaly rozdílných hodnot, jak je patrné z Tabulky 1. Vyšších pevností dle očekávání dosahovaly krychle zhotovené z obyčejného neprovzdušněného betonu. Krychelná pevnost provzdušněného betonu nabyla pouze 70,3 % z krychelné pevnosti neprovzdušněného betonu.

Tento výrazný nepoměr v pevnostech obou směsí je pravděpodobně z velké míry způsoben vysokým provzdušněním, čemuž odpovídá i relativně vysoký rozdíl objemových hmotností betonů. Ten činí $170 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabulka 1.: Krychelné pevnosti a objemové hmotnosti obou druhů betonu

krychle:	D [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	max. F [kN]	$f_{c,cube}$ [MPa]
P1	2180	958,5	42,9
P2	2240	1020,1	45,3
P3	2200	981,1	44,5
průměr:	2210	-	44,2
sm. odch.:	27	-	1,21
O1	2370	1448,5	64,5
O2	2390	1434,9	63,8
O3	2370	1352,4	60,3
průměr:	2380	-	62,9
sm. odch.:	12	-	2,23

4.2. Modul pružnosti betonu

Modul pružnosti neprovzdušněného betonu nabýval ve všech případech vyšších hodnot než modul pružnosti provzdušněného betonu, viz Tabulka 2., Tabulka 3., Obr. 10. a Obr. 11.

Tabulka 2.: Hodnoty modulu pružnosti na normových válcích

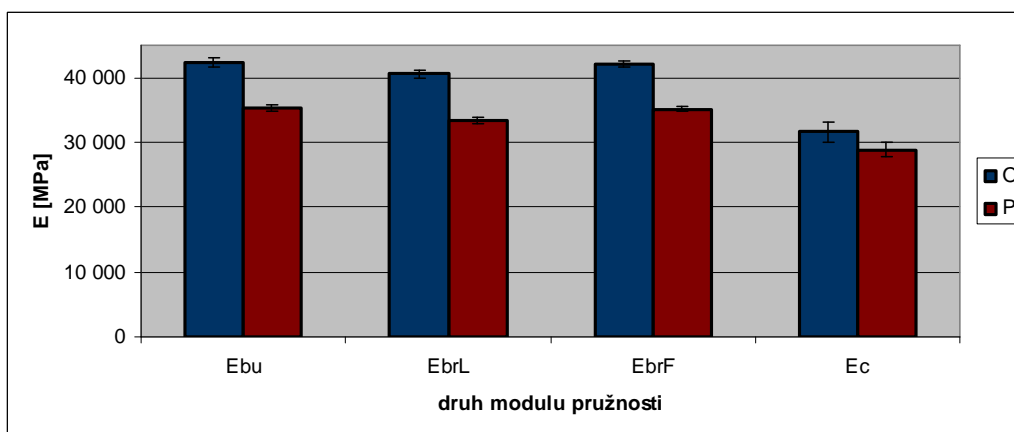
Válec:	E_{bu}	E_{brL}	E_{brF}	E_c
O1	43300	41200	42600	31800
O2	42000	40700	42200	30700
O3	42900	41100	42600	30900
O4	41000	39500	41200	34500
O5	42100	40500	42000	29900
O6	42300	40600	42100	32000
Průměr:	42 300	40 600	42 100	31 600
P1	35200	32900	34700	29800
P2	36400	34200	35600	29100
P3	35000	33500	35800	30300
P4	35400	33400	35000	27300
P5	35400	33400	35200	29000
P6	35100	33000	34700	27700
Průměr:	35 400	33 400	35 200	28 900

U válcových těles odebraných z provzdušněného betonu se projevil problém nesterodnosti betonového kvádrů po výšce. Potvrdil se fakt, na který upozorňuje [6], tedy velmi problematické hutnění těles z provzdušněného betonu ponorným vibrátorem. U neprovzdušněného betonu bylo jedno, zda byly jádrové vývrty odebrány v horní polovině kvádrů (vývrty O1, O2 a O3), či ve spodní části (O4 až O6). U provzdušněného betonu byly rozdíly ve vrstvách markantní, což je zřejmé z Tabulky 3. a Obr. 11.

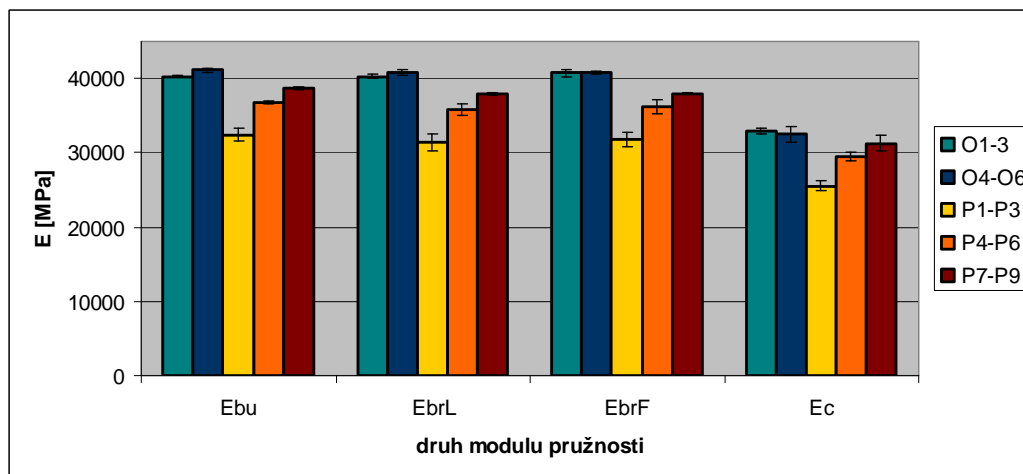
Kvádr z provzdušněného betonu byl vyšší, proto se daly vývrty zhotovit ve třech vrstvách. Z horní vrstvy byly odebrány vývrty P1 až P3, ze střední vrstvy jsou to vzorky P4, P5 a P6 a ze spodní vrstvy kvádrů byla odvrtna tělesa P7 až P9. Vývrty z horní vrstvy, kam při hutnění vystoupalo provzdušnění, vykazují jednoznačně nejhorší vlastnosti. Střední vrstva svými hodnotami modulu pružnosti nejvíce odpovídá normovým válcům z provzdušněného betonu. Naopak spodní vrstva, ze které při vibrování zmizelo téměř všechno provzdušnění, se nejvíce blíží hodnotám obyčejného betonu. Z Obr. 11. je zcela jasně patrné, že čím níž v betonovém kvádrů modul pružnosti zjišťujeme, tím vyšší jeho hodnoty získáme.

Tabulka 3.: Hodnoty modulu pružnosti na tělesech z jádrového vrtání

Vývrt:	E_{bu}	E_{brL}	E_{brF}	E_c
O1	40100	40000	40200	32500
O2	40300	40400	41200	33100
O3	40400	40500	40800	33100
Průměr:	40 300	40 300	40 700	32 900
O4	41300	40700	40800	32800
O5	40800	40500	40600	31300
O6	41300	41200	41000	33400
Průměr:	41 100	40 800	40 800	32 500
P1	33400	32100	32200	26000
P2	31800	30000	30600	24700
P3	31900	32000	32300	25800
Průměr:	32 400	31 400	31 700	25 500
P4	37000	36500	37300	29000
P5	36600	35000	35600	29200
P6	36900	35800	35800	30200
Průměr:	36 800	35 800	36 200	29 500
P7	38700	38100	38200	31500
P8	38400	37600	38000	30200
P9	38900	37900	37900	32200
Průměr:	38 700	37 900	38 000	31 300



Obr. 10.: Porovnání hodnot modulů pružnosti zjištěných na normových válciích



Obr. 11.: Porovnání hodnot modulů pružnosti zjištěných na válcových tělesech odebraných jádrovým vrtáním z různých výškových vrstev betonových kvádrů

5. Závěr

Výsledky experimentu dle očekávání prokázaly pokles modulu pružnosti provzdušněného betonu oproti betonu neprovzdušněnému. U statického modulu pružnosti měřeného na normových válcových tělesech byl tento pokles 9,1 % (2,7 GPa). Tento pokles by mohl být ještě větší, při tuhnutí betonu však došlo k úniku vzduchu a plastickému sednutí betonu, což je zvláště u válců nejvíce zřejmé. Značná shoda se ukázala při měření hodnot modulu pružnosti na normových válcích a na válcových tělesech z jádrových vývrtů. U neprovzdušněného betonu jsou výsledky srovnatelné. U provzdušněného betonu se zcela jasně potvrdil problém s hutněním pomocí ponorného vibrátoru (viz odst. 4.2.), proto není porovnání válců s vývrty snadno aplikovatelné. Statický modul pružnosti stanovený na vývrtech odebraných z horní části kvádrů dosahoval 81,5 % hodnoty na vývrtech ze spodní části kvádrů (rozdíl 5,8 GPa).

Poděkování

Tento příspěvek vznikl ve spolupráci s firmou OHL ŽS, a.s., za podpory projektu GAČR 103/09/0065 „Omezení vzniku a rozvoje trhlin v betonových mostech“, dále za podpory výzkumného záměru MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životní prostředí“ a vnitřního grantu Fakulty stavební VUT v Brně č. BD129900139.

Literatura

- [1] CIKRLE, P., Porovnání statických a dynamických modulů pružnosti, ISBN 978-80-01-04123-9, Kloknerův ústav ČVUT, Praha, 2008.
- [2] CIKRLE, P.; HUŇKA, P., Porovnání metodik zkoušení modulu pružnosti betonu, ISBN 80-903502-4-0, Česká betonářská společnost ČSSI, Praha, 2006.
- [3] ČSN 73 1371:1981 Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu.
- [4] ČSN 73 1372:1981 Rezonančná metoda skúšania betónu.
- [5] ČSN ISO 6784: Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku.
- [6] ČSN EN 12350-6 (731301) Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost

Kontakt

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. 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. 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.

prof. Ing. Jiří Adánek, CSc., tel: 541 147 800, e-mail: adamek.j@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.

STANOVENÍ STEJNORODOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ POMOCÍ ELEKTROAKUSTICKÝCH METOD

DETERMINATION OF HOMOGENEITY OF COMPOSITE MATERIALS THROUGH THE USE OF ELECTRO-ACOUSTIC METHODS

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

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Tato práce pojednává o zjišťování dynamických charakteristik a stejnorodosti extrudovaných materiálů. K experimentu byla k dispozici zkušební tělesa různých příčných průřezů. Jednalo se o plný čtvercový průřez, dutý čtvercový průřez a dutý kruhový průřez. Pro stanovení stejnorodosti byly použity nedestruktivní metody – ultrazvuková impulsní metoda (přímá i nepřímá metoda) a dále rezonanční metoda. Výsledkem jsou grafické a tabelární výstupy naměřených hodnot u jednotlivých typů průřezů.

Annotation:

This work deals with determining dynamic characteristics and homogeneity of extruded materials. Specimens of various cross-sections were at hand for the means of this experiment; namely, solid square cross-section, hollow square cross section and hollow circular cross-section.

After determining homogeneity non-destructive methods - ultrasonic impulse method (direct as well as indirect method) and resonance method - were used. The outcome has form of graphic and tabular outputs showing the observed values of each type of cross-section.

Klíčová slova: *Extruze, stejnorodost, ultrazvuková metoda, rezonanční metoda*

Keywords: *Extrusion, homogeneity, ultrasonic impulse method, resonance method*

1. Úvod

Tento příspěvek se zabývá stanovením stejnorodosti a dynamických modulů pružnosti extrudovaných materiálů. Pro tyto zkoušky byly použity extrudované kompozity různých příčných průřezů – plného čtvercového průřezu, dutého čtvercového průřezu a průřezu dutého kruhového.

Pro zjištění stejnorodosti a stanovení dynamických modulů pružnosti byla použita jednak ultrazvuková impulsní metoda (přímé či povrchové prozvučování) a také metoda rezonanční.

2. Všeobecné údaje

Ke zjištění výše uvedených charakteristik byla použita zkušební tělesa z extrudovaného materiálu vyrobená a dodaná společností VUSTAH Brno. Jednalo se o cementový extrudovaný materiál s vlákny Cem-FIL 70/30 – 12mm.

Zkoušeny byly tři sady zkušebních vzorků o různém příčném průřezu, každá sada obsahovala 6 zkušebních těles. Příčný průřez plný čtvercový (označení sady P) byl nominálních rozměrů 40×40 mm (viz Obr. 1.), dutý čtvercový průřez (sada D) měl nominální vnější rozměry taktéž 40×40 mm s tloušťkou stěny 5,5 mm, dutý kruhový průřez (sada K) měl nominální vnější průměr 40 mm s tloušťkou stěny 5,5 mm (viz Obr. 1.). Délky zkušebních těles sady P se pohybovaly okolo 380 mm, sad D a K mezi 450 a 500 mm.



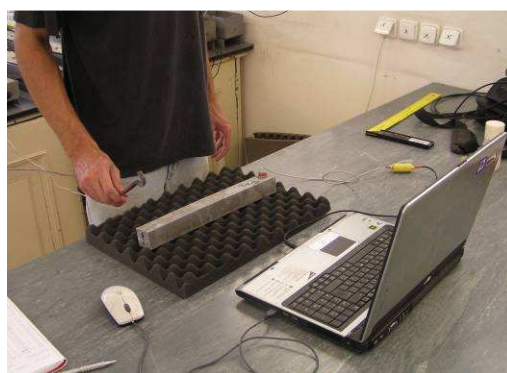
Obr. 1.: Zkušební vzorky extruzí s plným čtvercovým příčným průřezem (vlevo) a dutým kruhovým průřezem (vpravo)

3. Metodika zkoušek

Dynamický modul pružnosti byl stanovován na sadě P ultrazvukovou metodou (modul pružnosti E_{bu}), a to pomocí přístroje TICO přímým prozvučováním přes celou délku zkušebních těles (viz Obr. 2.). A na téže sadě byl také stanovován dynamický modul pružnosti metodou rezonanční – z naměřených hodnot podélných frekvencí (modul pružnosti E_{brL}) a příčných frekvencí (modul pružnosti E_{brF}). Toto měření je zobrazeno na Obr. 3.



Obr. 2.: Měření modulu pružnosti ultrazvukovou metodou



Obr. 3.: Měření modulu pružnosti rezonanční metodou

Následně bylo na všech zkušebních vzorcích všech tří sad provedeno měření ultrazvukovou metodou – povrchovým prozvučováním (viz Obr. 4.).



Obr. 4.: Povrchové prozvučování ultrazvukovou impulsní metodou

Každý zkušební vzorek byl po délce opatřen rastrem měřených bodů, a to na všech čtyřech stěnách u obou sad se čtvercovým příčným průřezem a u sady s kruhovým příčným průřezem byly tyto rastry dva – přímo „proti sobě“ na povrchu zkušebního tělesa, pomyslná rovina proložená měřeními body obou rastrů prochází teoretickým středem příčného průřezu. Vzdálenosti měřených bodů po délce zkušebního tělesa byly u plného čtvercového příčného průřezu 80 mm, u obou dutých příčných průřezů 100 mm.

Zkoušky byly prováděny dle norem [1, 2].

4. Vyhodnocení měření a dosažené výsledky

Zde uvádíme výsledky zjištěné jednotlivými nedestruktivními měřeními. Nejprve je popsán postup při vyhodnocení povrchového prozvučování ultrazvukovou impulsní metodou, dále jsou uvedeny výsledky zjištěné přímým prozvučováním a metodou rezonanční, následuje stanovení stejnorodosti.

Ta je hodnocena dle normy [3], kde jsou uvedena kritéria pro její stanovení pomocí rychlosti šíření impulsních podélných ultrazvukových vln. Zde je uvedeno, že pro beton třídy B 35 až 60 (naše zkušební vzorky nejsou sice z betonu, ale pevnostně se pohybují někde v tomto rozmezí) je beton konstrukce, konstrukčního prvku nebo jeho části stejnorodý tehdy, pokud variační součinitel vyhodnocovaného souboru znaků není větší než 3 % a rozdíl znaků stanovených na zkušebních místech vedle sebe a nad sebou ležících (na jednom povrchu) není větší než 7,5 %.

V našem případě budeme stejnorodost hodnotit dle variačního součinitele ze statistického souboru rychlostí šíření ultrazvukových vln jednotlivými zkušebními vzorky.

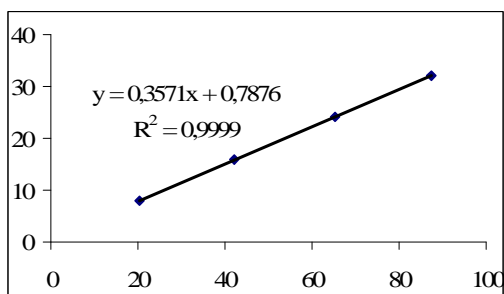
4.1. Vyhodnocení povrchového prozvučování ultrazvukovou metodou

Jako příklad pro vyhodnocení povrchového prozvučování ultrazvukovou metodou zde uvádíme měření na zkušebním vzorku P2, kde na všech jeho čtyřech stěnách (A – D) bylo pět měřených bodů (označení 1 – 5) vzdálených 80 mm od sebe.

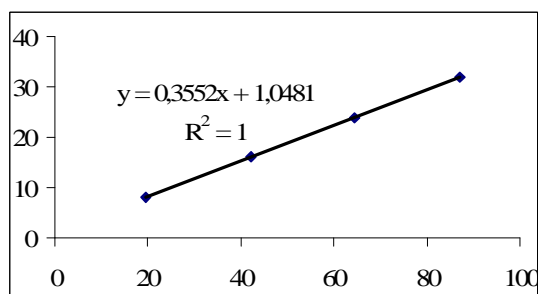
Měření bylo prováděno tak, že na každé stěně byl umístěn budič do měřeného bodu 1 a snímač postupně do měřených bodů 2, 3, 4 a 5. Tak byly vymezeny čtyři vzdálenosti, na nichž byly měřeny doby průchodu ultrazvukového vlnění a následně stanovena rychlost šíření ultrazvukových impulsů. Ten samý postup byl na stejné stěně opakován i s umístěním budiče do

polohy 5 a následným umístěním snímače do bodů 4, 3, 2, 1. Tak byly zjištěny doby průchodu a rychlosti šíření „v opačném směru“. Z hodnot rychlostí šíření stanovených v obou směrech na jedné stěně byl stanoven jejich aritmetický průměr a následně zjišťováno, zda se jedná o stejnorodý materiál či nikoliv.

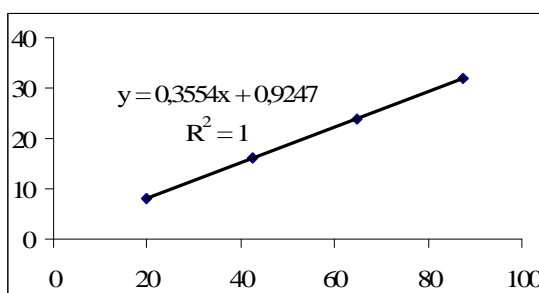
Na Obr. 5. až Obr. 8. jsou zobrazeny grafy znázorňující stanovení rychlosti šíření ultrazvukových impulsů na stěnách A – D prvku P2 s umístěním budiče v měřeném bodě 5. Na vodorovné ose je vždy doba průchodu ultrazvukového impulsu, na svislé ose je vynesena vzdálenost, kterou se impuls šíří. Průměrnou rychlost šíření je tedy možno vyčíslit jako směrnici přímky, která je proložena grafem funkce. Skutečné naměřené hodnoty doby průchodu ultrazvukových impulsů mezi jednotlivými měřenými body zkušebního tělesa P2, ze kterých byly grafy sestaveny, jsou uvedeny v Tabulce 1.



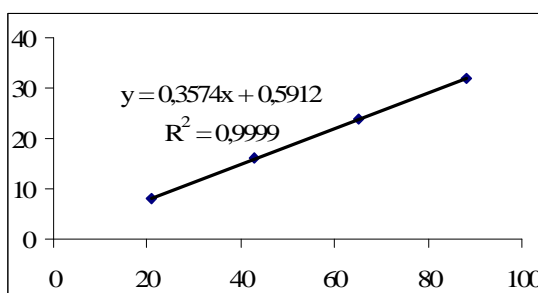
Obr. 5.: Graf pro stanovení rychlosti UZ vlnění na stěně A prvku P2 (budič umístěný v měřeném bodě 5)



Obr. 6.: Graf pro stanovení rychlosti UZ vlnění na stěně B prvku P2 (budič umístěný v měřeném bodě 5)



Obr. 7.: Graf pro stanovení rychlosti UZ vlnění na stěně C prvku P2 (budič umístěný v měřeném bodě 5)



Obr. 8.: Graf pro stanovení rychlosti UZ vlnění na stěně D prvku P2 (budič umístěný v měřeném bodě 5)

Tabulka 1.: Naměřené hodnoty doby průchodu ultrazvukových impulsů při povrchovém prozvučování zkušebního prvku P2

	5 → 4 (80 mm)	5 → 3 (160 mm)	5 → 2 (240 mm)	5 → 1 (320 mm)
A	20,4	42,2	65,2	87,4
B	19,6	42,1	64,5	87,2
C	20,0	42,4	64,7	87,6
D	20,9	43,0	65,2	88,1

4.2. Stanovení dynamických modulů pružnosti a stejnorodosti

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty modulů pružnosti pro jednotlivé sady zkušebních těles a také to, zda jsou prvky stejnorodé.

Tabulka 2. uvádí výsledné hodnoty dynamických modulů pružnosti stanovené na zkušebních tělesech sady P.

Tabulky 3. a 4. uvádějí průměrné rychlosti šíření ultrazvukových impulsů na jednotlivých stěnách zkušebních vzorků sady P a D, v Tabulce 5. jsou vyhodnocena dvě protilehlá měření na sadě K a následně vždy vyčíslen variační součinitel.

Tabulky 3., 4. a 5. sledují stejnorodost v rámci jednotlivých zkušebních těles, v Tabulce 6. jsou uvedeny výsledné průměrné rychlosti šíření pro celé zkušební těleso a stejnorodost je hodnocena vždy pro celou sadu zkušebních těles stejného příčného průřezu.

Tabulka 2.: Dynamické moduly pružnosti zkušebních těles sady P stanovené z rychlosti šíření ultrazvukových impulsů (E_{bu}), z podélné rezonanční frekvence (E_{brL}) a z příčné rezonanční frekvence (E_{brF})

Modul pružnosti	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Průměr
E_{bu} [MPa]	20900	21000	20700	20900	21000	20900	20900
E_{brL} [MPa]	19600	19300	18700	19600	19500	19400	19400
E_{brF} [MPa]	19400	19300	18000	19200	19000	19200	19000

Tabulka 3.: Průměrné rychlosti šíření ultrazvukových impulsů stanovené povrchovým prozvučováním na jednotlivých stěnách zkušebních vzorků sady P

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
stěna A	3706	3561	3478	3609	3606	3604
stěna B	3591	3561	3498	3637	3573	3566
stěna C	3620	3593	3476	3627	3567	3547
stěna D	3569	3631	3484	3602	3631	3615
průměr	3621	3586	3484	3619	3594	3583
směr. odchylka	60,31	33,38	9,94	16,11	29,97	31,97
var. součinitel	1,67	0,93	0,29	0,45	0,83	0,89
stejnorodost	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Tabulka 4.: Průměrné rychlosti šíření ultrazvukových impulsů stanovené povrchovým prozvučováním na jednotlivých stěnách zkušebních vzorků sady D

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
stěna A	3562	3581	3520	3498	3494	3608
stěna B	3565	3538	3599	3659	3576	3649
stěna C	3595	3523	3536	3659	3567	3584
stěna D	3578	3509	3602	3609	3536	3592
průměr	3575	3537	3564	3606	3543	3608
směr. odchylka	14,81	31,17	42,67	75,80	36,92	28,94
var. součinitel	0,41	0,88	1,20	2,10	1,04	0,80
stejnorodost	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Tabulka 5.: Průměrné rychlosti šíření ultrazvukových impulsů stanovené povrchovým prozvučováním na protilehlých liniích zkušebních vzorků sady K

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
měření 1	3641	3491	3460	3437	3476	3554
měření 2	3657	3443	3447	3494	3510	3567
průměr	3649	3467	3453	3466	3493	3560
směr. odchylka	10,96	33,94	9,55	40,31	24,40	9,55
var. součinitel	0,30	0,98	0,28	1,16	0,70	0,27
stejnorodost	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Tabulka 6.: Výsledné průměrné rychlosti šíření ultrazvukových impulsů stanovené povrchovým prozvučováním pro jednotlivá zkušební tělesa všech sad

	sada vzorků P	sada vzorků D	sada vzorků K
vzorek č. 1	3621	3575	3649
vzorek č. 2	3586	3537	3467
vzorek č. 3	3484	3564	3453
vzorek č. 4	3619	3606	3466
vzorek č. 5	3594	3543	3493
vzorek č. 6	3583	3608	3560
průměr	3581	3572	3515
směr. odchylka	55,82	47,15	74,93
var. součinitel	1,56	1,32	2,13
stejnorodost	ano	ano	ano

5. Závěr

Povrchovým prozvučováním ultrazvukovou impulsovou metodou na výše specifikovaných sadách zkušebních těles bylo zjištěno, že dodaný extrudovaný materiál je stejnorodý. Tento závěr byl potvrzen jak při měření stejnorodosti jednotlivých zkušebních těles, tak při jejich vzájemném porovnání v rámci celých zkušebních sad.

Toto měření se jeví jako vhodné především u čtvercových příčných průřezů, u kruhových průřezů se doby průchodu ultrazvukových impulsů hůře měří, velmi záleží na pravidelnosti tvaru těles z výroby a kruhový tvar průřezu sám o sobě vyžaduje pozornost, aby budič a snímač při měření na povrch vzorku dobře dolehly a ultrazvukový impuls zkušebním tělesem správně prošel.

Rychlosti průchodu impulsu stanovené povrchovým prozvučováním jsou o něco nižší než při prozvučování přímém, pokud bychom například i u dutých průřezů chtěli vyčíslit absolutní hodnoty dynamických modulů pružnosti, je třeba nejprve naměřené hodnoty vynásobit opravným koeficientem stanoveným ze známých hodnot přímého prozvučování těles s plným příčným průřezem.

Také je třeba zmínit, že povrchové prozvučování dobře koresponduje s hodnotami dynamických modulů pružnosti zjištěnými rezonanční metodou.

Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. 1M06005 – projektu CIVAK.

Literatura

- [1] ČSN 73 1371:1981 Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu.
- [2] ČSN 73 1372:1981 Rezonančná metoda skúšania betónu.
- [3] ČSN 73 2011:1986 Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií.

Kontakt

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. Barbara Kucharczykova, 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. 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.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

STATICKÝ MODUL PRUŽNOSTI BETONU V TLAKU

STATIC MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE IN COMPRESSION

Klára Křížová, Rudolf Hela

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Příspěvek se zabývá otázkou návrhu složení betonu, zejména z hlediska souvislostí mezi použitými typy kameniv, složení betonů a výsledných hodnot statických modulů pružnosti betonu v tlaku. Posuzováno bylo 6 receptur, jejichž vstupní složky jsou konstantní pro každou sadu vzorků, pouze s obměnou typu kameniva a jednotlivého dávkování složek. Stanovována byla pevnost v tlaku a následně hodnoty statického modulu pružnosti v tlaku. Doplňující část tvoří porovnání reálných hodnot s hodnotami uváděnými v Eurokódu ČSN EN 1992-1-1.

Annotation:

The contribution deals with the design of concrete composition particularly in terms of the types of aggregates, composition of concrete and the resulting values of static modulus of elasticity of concrete in compression. There were assessed 6 mixtures with identical components for each set of samples only with a variation of the type of aggregate and individual dose of the components. The compressive strength and the static modulus of elasticity in compression were determined. Additional part will consist of comparing of the real values with the values reported in Eurocode CSN EN 1992-1-1.

Klíčová slova: *kamenivo, pevnost v tlaku, modul pružnosti betonu v tlaku, Eurokód ČSN EN 1992-1-1*

Keywords: *aggregate, compressive strength, modulus of elasticity of concrete in compression, Eurocode CSN EN 1992-1-1*

1. Závislost pevnosti betonu v tlaku a modulu pružnosti

Modul pružnosti betonu je důležitým parametrem z hlediska návrhu únosnosti a dotvarování betonových konstrukcí [1]. Stanovení modulu pružnosti betonu je možné provádět klasickou metodou zaměřenou na míře deformace v závislosti na velikosti zatížení, avšak existují další možné způsoby vyjádření modulu pružnosti z pohledu empirických výpočtových modelů a odvození hodnot na základě směrných hodnot národních norem. Statický modul pružnosti betonu je nejčastěji vztahován v závislosti na jeho pevnost v tlaku [1]. Současné zkušenosti s návrhem složení betonů ovšem ukazují, že tyto empirické vztahy platí pouze pro oblast tradičních betonů do pevností cca 50 MPa, bez masivního užití superplastifikačních přísad a příměsí do betonu. Tradičním betonem je myšlen beton, v jehož návrhu jsou zahrnuty klasické složky v kombinaci cement, kamenivo, voda a případně klasické plastifikační přísady. Hlavní roli tudíž v takovém betonu hraje ztvrdlá cementová pasta [1]. Empirické modely mezi modulem pružnosti a pevností v tlaku jsou platné pouze pro betony s podobným složením [2]. V případě jiného složení betonů s odlišnými křivkami zrnitosti (tradičně jsou používány EMPA I a Fuller) či odlišnými typy cementů od běžně používaného CEM I, typech a dávkách přísad a příměsí se mohou tyto závislosti podstatně lišit. Závislost mezi modulem pružnosti betonu a jeho pevností v tlaku je definována např. v ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby [3]. Pevnostní třídě, tak automaticky empiricky odpovídá i modul pružnosti. Uvedena jsou taktéž procentuální snížení uvedených hodnot v závislosti na jiném druhu kameniv. ČSN EN 1992-1-1 zohledňuje pouze materiálovou podstatu použitého kameniva, nikoliv však druh či množství použité přísady a příměsí, vodní součinitel způsob dopravy, ukládání apod. [4].

Tabulka 1.: Základní pevnostní charakteristiky a modul pružnosti betonu podle ČSN EN 1992-1-1 (část tabulky představující posuzované pevnostní třídy) [3].

Třída betonu	Charakteristická válcová pevnost f_{ck} (MPa)	Charakteristická krychelná pevnost $f_{ck, cube}$ (MPa)	Střední hodnota pevnosti v tlaku f_{cm} (MPa)	Modul pružnosti E_{cm} (GPa)
C 50/60	50	60	58	37
C 55/67	55	67	63	38

2. Posouzení reálných hodnot modulu pružnosti betonu

V experimentální práci bylo posuzováno 6 receptur, jejichž složení bylo shodné pro každou z nich, pouze docházelo k odlišnosti v hmotnostním

dávkování jednotlivých složek. Receptury byly navrženy s pojivem CEM I 42,5 R, kamenivem frakce 0/4, 4/8 a 8/16 dvou lokalit „A“ a „B“ a superplastifikační přísadou. Dávka pojiva 400 - 470 kg/m³, vodní součinitel w v rozmezí hodnot 0,31 - 0,37.

Vyrobena byla zkušební tělesa pro stanovení pevnosti v tlaku (krychle 150x150x150 mm) a stanovení statického modulu pružnosti betonu v tlaku (trámce 100x100x400 mm). Statický modul pružnosti byl stanoven standardní zkušební metodou, jejíž postup odpovídal ČSN ISO 6784 [5].

Tabulka 2.: Porovnání reálných dosažených hodnot modulů pružnosti betonu v tlaku a hodnot odvozených dle doporučení ČSN EN 1992-1-1 [3].

Charakteristika	„A“			„B“		
Vodní součinitel	0,34	0,35	0,37	0,31	0,32	0,33
Reálná pevnost v tlaku (MPa)	74,0	73,5	70,5	64,5	63,6	66,5
Pevnostní třída dle ČSN EN 206-1 [6]	C 55/67			C 50/60		
Reálná hodnota modulu pružnosti (MPa)	33,5	32,0	34,5	41,5	41,0	43,0
Odvozená hodnota modulu pružnosti dle ČSN EN 1992-1-1 [3]	38,0			37,0		

3. Závěr

Výsledky zkoušek týkajících se pevnosti v tlaku a statického modulu pružnosti betonu v tlaku dosáhly poměrně překvapivých hodnot. Již v případě pevnost v tlaku je patrný výrazný rozdíl mezi výslednými hodnotami v porovnání dvou lokalit původu kameniva. I v případě vyššího vodního součinitele dosáhl beton s prvním typem kameniva přibližně o 10 MPa vyšších hodnot a po 28 dnech zrání dosáhl pevností okolo 70 - 74 MPa. Překvapivě se pak hodnoty statického modulu pružnosti betonu s tímto kamenivem snížily přibližně o 10 GPa oproti betonu dosahující původně nižších pevností v tlaku v rozmezí 63 - 67 MPa. Zde je patrné, že vyšší pevnosti v tlaku zákonitě neznamenají vyšší dosažené hodnoty modulu pružnosti. Informativně byly dosažené výsledky modulů pružnosti porovnány se směrnými hodnotami uváděnými v Eurokódu 2. Pevnosti v tlaku obou typů betonů s rozdílným kamenivem byly kategorizovány do příslušných pevnostních tříd betonů. Následně byla podle krychelných pevností z příslušné tabulky Eurokódu 2 převzata teoretická hodnota statického modulu pružnosti. Zde bylo dosaženo

opět rozdílných výsledků, kdy betonu odpovídajícímu pevnostní třídě C 55/67 je předkládána hodnota 38 GPa a reálná naměřená hodnota byla stanovena na cca 33 GPa. U druhého typu betonu zatříděného do pevnostní třídy C 50/60 Eurokód 2 stanovuje hodnotu 37 GPa a reálná naměřená hodnota odpovídá modulu pružnosti cca 42 GPa. I když se nejedná o rozsáhlý soubor vzorků, je zde patrné, že je nutné při návrhu betonu přihlížet ke kvalitě vstupních surovin zejména původu a typu hrubého kameniva. Z hlediska modulů pružnosti betonu není možné vycházet z doporučených tabulek odvolávajících se na směrodatné hodnoty, které jak se v praxi ukazuje, mohou být zcela odlišné od reálných hodnot na současně prováděných betonových konstrukcích.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory MŠMT ČR, projekt 1M0579 v rámci činnosti výzkumného centra CIDES a projektu FAST-J-10-18 „Hodnocení pevnostně-deformačních charakteristik moderních druhů betonů“.

Literatura

- [1] AĪCTIN, P. C.: Vysokohodnotný beton. 1. vyd., edice Betonové stavitelství. Praha. 2005. ISBN 80-86769-39-9.
- [2] UNČÍK, S., ŠEVČÍK, P.: Modul pružnosti betonu. Edice Betón Racio, Trnava 2008, p. 1-15. ISBN 978-80-969182-3-2.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby.
- [4] HUBERTO VÁ, M.: Statický modul pružnosti lehkých konstrukčních betonů. In Beton TKS. Praha, Beton TKS, s.r.o. 4 (10)/2010. p. 50 -53. ISSN 1213-3116.
- [5] ČSN EN 206-1/Z3 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.
- [6] ČSN ISO 6784 Beton - Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku.

Kontakt

Doc. Ing. Rudolf Hela, CSc., tel: 00420 541 147 508, e-mail: hela.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Klára Křížová, tel: 00420 541 147 468, e-mail: krizova.k@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM KONSTRUKCÍ Z PŘEDPJATÉHO BETONU

STRUCTURAL TECHNICAL INSPECTION OF PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES

Vojtěch Mencl

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

Anotace:

Konstrukce z předpjatého betonu od šedesátých let minulého století tvoří významný podíl na výstavbě průmyslových a mostních objektů. Pro diagnostiku konstrukcí je důležité znát nejen materiálové podmínky, ale i technologii výstavby. Promyšlená metodika stavebně technického průzkumu je nezbytným předpokladem pro jeho spolehlivost.

Annotation:

Since the 1960s, prestressed concrete structures represent a significant segment of new construction of industrial buildings and bridges. For the structural diagnostics it is important to distinguish not only the material conditions, but also the technology of construction. In order to achieve dependable results of structural technical investigation, sophisticated methods of survey must be deployed.

Klíčová slova: konstrukce z předpjatého betonu, stavebně technický průzkum,
Keywords: prestressed concrete structures, structural technical investigation,

1. Úvod

Idea předpětí ve stavebních konstrukcích otevřela inženýrům nové možnosti v projektování a provádění dokonale funkčních a architektonicky pozoruhodných staveb [1]. Pokud sledujeme historický vývoj konstrukcí

z předpjatého betonu nalézáme, v dějinách techniky charakteristický, časový odstup od zrodu myšlenky koncem 19.století (přesněji v roce 1886 v USA, v roce 1888 v Německu) k jejímu plnému uplatnění (v roce 1928 ve Francii)[2]. V oboru předpjatého betonu epoše plného využití předcházeli výzkum vlastností konstrukčního betonu a nových výrobních postupů výroby ocelí vysokých pevností. Obdobně jako v dlouhé historii vývoje stavebních slohů rovněž éra betonových konstrukcí vyvolala nové požadavky na odbornou úroveň projektantů a pracovníků na stavbách, včetně vývoje kotevních a napínacích zařízení. Ne vždy je tato souhra ve vzájemném optimálním souladu a vzniklé disproporce se projeví na kvalitě staveb. Rychlý rozvoj předpjatého betonu v Československu v druhé polovině minulého století probíhal často v kritických společenských a ekonomických poměrech , které zejména ovlivnily technologickou kázeň a zájem o kvalitu. Nelze opomenout výrazné změny v prostředí a zatížení staveb (solení vozovek v roce 1969, nedostatečná údržba, růst těžké dopravy po roce 1990).

Tyto skutečnosti je vhodné brát v úvahu při stavebně technickém průzkumu jednotlivých staveb z předpjatého betonu . Cílem příspěvku je upozornit na některé specifické problémy kvality konstrukcí z předpjatého betonu.

2. Doporučené postupy stavebně technického průzkumu

Záměrem stavebně technického průzkumu je poskytnout spolehlivé a pokud možno úplné informace pro hodnocení konstrukce. Nezbytným doplňkem jsou informace získané specializovanými průzkumy jako jsou geotechnický průzkum, stavebně historický průzkum, geodetické zaměření apod. U většiny staveb postrádáme soustavné monitorování jejich stavu v rámci údržby a oprav.

Pro stavebně technický průzkum a následné hodnocení existujících konstrukcí byla osvědčeným podkladem norma ČSN 73 0038, která je dnes v soustavě Eurokódů nahrazena ČSN ISO 13822. Její zásady jsou rozpracovány a demonstrovány v publikaci [3]. V praxi je kladen důraz na získání spolehlivých údajů o skutečných vlastnostech materiálů, dílců a konstrukcí ekonomicky dostupnými metodami bez významného narušení konstrukcí. Osvědčeným postupem je rozvaha o pravděpodobném výskytu **kritických materiálů, dílců a konstrukcí** a následných navazujících poruchách, které v podmínkách stavby výrazně snižují její životnost. Příkladem je porucha vozovky u mostního závěru, následná porucha hydroizolace a zatékání agresivních roztoků rozmrazovacích prostředků na kotevní oblast předpjatých nosníků. K tomu lze přiřadit znalosti o **technologii výstavby** a podmínkách jejího uplatnění při výstavbě sledované

konstrukce [4]. Tyto poznatky je účelné uplatnit při zpracování **metodiky průzkumu** konkrétní konstrukce.

V soustavě Eurokódů je presentován zajímavý postup pro hodnocení odolnosti existujících konstrukcí proti zemětřesení v normě ČSN EN 1998-3. Stav znalostí o konstrukci je hodnocen na základě geometrie konstrukce, konstrukčního uspořádání a mechanických vlastností materiálů. Pro hodnocení odolnosti konstrukce jsou definovány tři úrovně znalostí : omezená, obvyklá a úplná. Na základě dosažené úrovně znalostí o konstrukci je doporučena metoda analýzy a hodnota součinitele znalosti.

3. Metodika průzkumu

Metodika průzkumu zahrnuje postup přezkoumání projektové dokumentace, hodnocení informací získaných při předběžné a podrobné prohlídce konstrukce, s cílem stanovení pravděpodobné příčiny poruch. Jako výchozí stav bereme v úvahu , že existující konstrukce odráží stav znalostí při návrhu atecnologických postupů v době výstavby, může být ohrožena skrytými vadami a výskytem poruch vlivem působení zatížení a prostředí. Při zpracování metodiky průzkumu stavbu je obecný postup modifikován dle konkrétních podmínek s přihlédnutím k využití jednotlivých diagnostických metod a jejich případnému ovlivnění klimatickými podmínkami.

V rámci metodiky průzkumu konstrukce z předpjatého betonu stanovujeme postup průzkumu následujících parametrů konstrukce:

- Stanovení velikosti napětí v předpínací výztuži.

Pro drátové kabely byla s úspěchem využita metoda jednotkové deformace (Zapletal , VUT v Brně) , která stanovuje sílu potřebnou k příčné deformaci jednoho drátu kabelu na vymezené základně. Prakticky nevyužívaná je magnetoelastická metoda (Jaroševič, UK Bratislava), která při použití děleného snímače a znalostech magnetoelastických vlastností výztuže byla užita při průzkumu napětí lan v mostních závěsech [5]. Současným trendem je stanovení velikosti předpětí z odezvy konstrukce na dynamické zatížení (metoda Brimos). Nezbytná je kontrola počtu drátů a lan v kotvách pro stanovení počtu prokluzů výztuže v kotvení.

- Stav ochrany předpínací výztuže a úroveň korozního napadení.

Mezi tradiční spolehlivé metody kontroly stavu vyplnění kabelových kanálků injektážní maltou lze zařadit metody radiografické [6]. Úspěšně byly použity metody mikrovlnné [7]. Vizualní kontrolu stavu výztuže a vyplnění kanálku umožňuje endoskop vložený do vrtané sondy průměru cca 15 mm. Stav korozního napadení zaznamenáme digitálním snímkováním nebo videozáznamem s možností analýzy obrazu [8]. U starších objektů často nalzáme u plně zainjektovaných kabelů prvotní povrchovou korozi předpínací

výztuže vzniklou např. při výstavbě na skládce nebo při dlouhodobém uložení v kabelovém kanálku nedodržením termínu injektáže např. v důsledku montáže v zimním období. Místa pravděpodobných dutin jako důsledek sednutím injektážní malty jsou u zvedaných kabelů v oblasti pod kotvou, pravděpodobná místa výtoky malty při injektování jsou v lepených styčných sparách dělených konstrukcí a v kotevní oblasti vodorovných kabelů. Málo užívané vakuační metody umožňují stanovit spojitost dutin v kabelových kanálcích částečně vyplněných injektážní maltou. Koroze betonářské výztuže může být zdrojem poruch postupujících až k předpínací výztuži. Časté je přímé mechanické poškození krycí vrstvy nárazy vozidel, uchycením elektrických instalací, neodbornou údržbou.

- Stav kotev a spojek, způsob jejich ochrany proti korozi.

Vazníky montovaných konstrukcí průmyslových hal a mostní nosníky typu KA, I s kotevními oblastmi v čelech nosníků vyžadují průzkum v místech zatékání u žlabů, v případě mostů u závěrů. Ochrana kotev dobetonováním na stavbě bez přikotvení betonářskou výztuží je dlouhodobě zcela nedostatečná.

- Průzkum trhlin v předpjeté konstrukci.

Z tohoto hlediska je nutno prozkoumat stav podkotevní oblasti, stav v oblasti nedokonale vyplněných lepených spár. U prefabrikovaných dílců je častý výskyt trhlin technologických po délce kabelových kanálků. Jednou z příčin jejich vzniku jsou objemové změny při tepelném urychlování tvrdnutí betonu, případně otřesy při vyjímání tuhých vložek z tvrdnoucího betonu, kterými byly vytvářeny vodorovné přímé kabely.

Průkazné potvrzení předpokladů zpracované metodiky lze získat při demolici staveb. Zajímavé výsledky z demoličního průzkumu mostních staveb prokazují výrazný vliv agresivity prostředí na stav konstrukcí z předpjetého betonu [9] [10]. Z tohoto hlediska jsou silniční mosty více ohroženy korozi.

4. Závěr

Důkladné propracování metodiky průzkumu sledované konstrukce je dobrým předpokladem pro dosažení spolehlivých podkladů pro hodnocení konstrukce. U jednotlivých konstrukčních systémů lze definovat charakteristické poruchy vyvolané mimo jiné též technologickými postupy při výstavbě, změnou podmínek prostředí a zatížení, nedodržením podmínek řádné údržby a specifickými problémy jednotlivých staveb. Z hlediska spolehlivosti a hospodárnosti stavebně technických průzkumů možno doporučit zpracování souhrnné metodiky průzkumů jednotlivých konstrukčních systémů konstrukcí z předpjetého betonu v definovaných podmínkách působení zatížení a prostředí.

Průkazné potvrzení výchozích předpokladů lze získat metodami soustavného monitorování staveb v provozu a průzkumy při demolicích.

Literatura

- [1] STRÁSKÝ, J : The power of prestressing. Přednáška na 1.kongresu fib,Ósaka,2002. In, Sborník 8. Mezinárodní symposium Mosty, 2003, Brno
- [2] NAVRÁTIL,J. Předpjaté betonové konstrukce. Akademické vydavatelství CERM, s.r.o.,2004, ISBN 80-214-2649-7
- [3] HOLICKÝ, M. a kolektiv autorů : Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí, Projekt CZ.14.3.07/4.2.01.1/0005, 2007, www.konstrukce.cvut.cz
- [4] VOVES, B. Série článků o historii předpjatého betonu v ČR. Beton TKS, roč. 2003- 2010.
- [5] FABO,P., JAROŠEVIČ,A., CHANDOGA,M., WANG,M.. KOONTZ,S. : Nové možnosti magnetoelastické metody . Čas. Inžinierske stavby ,roč.47,1999, č.8-9, p. 290-292,
- [6] ANTON,O.: Radiografie CO60- identifikace dutin, možnost ověření správnosti zainjektování předpínací výztuže.In Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2009,Brno, Fakulta stavební VUT v Brně, p. 39-47,ISBN 978-80-214-3951-1, p.39-47.
- [7] HRUŠKA, J.,VILČ,M. Průzkum kabelových kanálků za použití georadaru, In 9. Mezinárodní symposium Mosty 2004, Brno, ISBN 80-86604-10-1
- [8] MENCL,V., ŽÍDEK,L., ŠOUKALOVÁ,G:, VILČ,M: Poznatky z průzkumu předpínacích kabelů betonových mostů, IN 10.symposium Mosty 2005, ISBN 80-86604-17-9.p.283-285.
- [9] MENCL,V. Průzkum mostu v Lipníku nad Bečvou – souhrnná zpráva o řešení výzkumného úkolu VUIS Bratislava , 1987
- [10] PAVLICA, J.,MÍČKA,T.,NĚMEC,P., PEŘINA,J., ŠIMLER,M. Diagnostika prefabrikovaného železničního mostu na trati Plzeň –Cheb po 50 letech provozu. In. Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2009, Fakulta stavební VUT v Brně, ISBN 978-80-214-3951-1, p.155-162.

Kontakt

Doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc. tel. 00420 596 991 952, e – mail: vojtech.mencl@vsb.cz Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB TU Ostrava, I. Podestě 1875, 708033 Ostrava-Poruba

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

VLIV POLYPROPYLENOVÝCH VLÁKEN NA ŠÍŘKU TRHLIN V RANÉM VĚKU BETONU

INFLUENCE OF PP FIBRES ON CRACKING IN EARLY AGE OF CONCRETE

Petra Odehnalová, Jiří Adámek

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Článek se zabývá vznikem a rozvojem trhlin v betonu v raném věku. Jsou popisovány různé vlivy na vznik trhlin a použítá metodika. V experimentální části je porovnávána šířka trhlin referenční receptury a dalších receptur s přidanými polypropylenovými vlákny.

Annotation:

The article deals with crazing in hardening concrete. The effects on cracking and used methodology are described. Finally, cracks' width of referential mixture without fibres and two mixtures with PP fibres of different length are compared.

Klíčová slova: *Objemové změny, smršťování, raný věk betonu, tvorba a rozvoj trhlin, vlákna, vláknobeton*

Keywords: *Volume changes, shrinkage, early age of concrete, cracking, fibres, fibre reinforced concrete*

1. Raný věk betonu

Beton je stavební materiál, který je citlivý na vznik trhlin. Betonové konstrukce musí být navrženy tak, aby v nich trhliny vznikaly jen v omezené míře nebo měly jen omezenou šířku, popřípadě aby nevznikaly vůbec. Trhliny vznikají v konstrukcích nejen od působících zatížení, ale i od objemových změn, které v betonu probíhají už od jeho vzniku. Nesmí se tedy opomíjet chování betonu v období raného věku [1]. V tomto období vznikají trhlinky většinou u povrchu, ale při působení zatížení, případně dalších objemových změn, se tyto

trhlinky prohlubují, případně rozšiřují, a tím ovlivňují jak průřezové charakteristiky, tak celkové chování konstrukce.

Beton v raném věku teprve získává své pevnostní a deformační charakteristiky. V tomto období jsou velice výrazná napětí, která jsou vyvolávána objemovými změnami betonu od teploty při hydrataci a od vlhkosti. Tato napětí přesahují okamžité tahové pevnosti betonu, což má za následek vznik trhlin. V tomto období navíc ke vzniku trhlin přispívá i pohyb vody a kameniva v nezdužené směsi.

Raný věk betonu můžeme rozdělit na několik fází [1]:

1. první údobí

- beton po ztuhnutí je zcela tvárný (čerstvý beton)
- následně dochází k tuhnutí betonu (tuhnoucí beton)

2. druhé údobí

- první a druhá část – beton tvrdne (tvrdnoucí beton)
- třetí část – beton dosahuje svých plných přetvárných a pevnostních charakteristik, na konci této fáze dosahuje beton plné zralosti (zralý beton)

V případě čerstvého betonu mají na vznik trhlin největší vliv pohyb a odpařování volné vody (plastické smršťování) a pohyb těžšího kameniva, které může klesat ke dnu bednění (plastické sedání).

U tuhnoucího betonu dochází k samovolnému vysychání a k hydrataci a tím k uvolňování hydratačního tepla, což má za následek autogenní smršťování. Navíc pokračuje plastické smršťování a sedání.

Pokud už je beton ve fázi tvrdnutí, narůstají jeho deformační a pevnostní parametry a pokračuje nárůst autogenního smršťování. Ve druhé fázi druhého údobí navíc dochází ke smršťování vysycháním (Obr. 1).

V období zrání betonu se ustalují deformační a pevnostní parametry betonu.



Obr. 1.: Typické smršťovací trhlinky nad výztuží v železobetonu (převzato z [4])

2. Experimentální část

Experimentální práce v laboratoři byly zaměřeny na sledování vzniku a rozvoje trhlin v období tuhnutí a tvrdnutí betonu. Hlavním cílem experimentů bylo stanovení počtu a šířky trhlin pro jednotlivé záměsi.

2.1. Výroba čerstvého betonu

Pro výrobu referenční čerstvé betonové směsi bylo použito hrubé kamenivo frakce 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. Pro výrobu směsí s vlákny byl upraven vodní součinitel tak, aby bylo vždy dosaženo konzistence S4 podle zkoušky sednutí kužele.

Betony byly míchány v míchačce s nuceným oběhem. Při výrobě bylo do míchačky nejdříve nadávkováno hrubé kamenivo frakce 8-16 mm, drobné těžené kamenivo a polovina dávky vody. Po krátkém promíchání kameniva s vodou byl nadávkován cement a druhá polovina dávky vody, která byla dále upravena vzhledem k požadované konzistenci směsi. Pro záměsi, kde byla použita vlákna, se vlákna přidávala ke hrubému kamenivu hned na počátku míchání. Po důkladném promísení všech složek byla stanovena konzistence čerstvého betonu zkouškou sednutí kužele na stupeň S4.

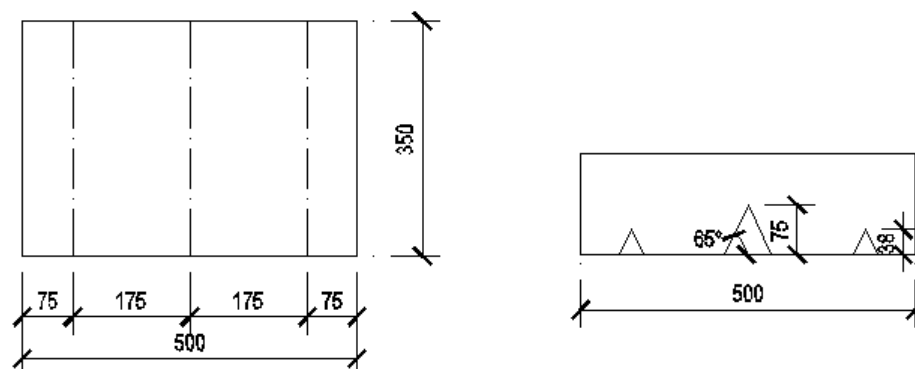
Byla vyrobena jedna referenční směs bez vláken. Dále byla vyrobena směs, která obsahovala vlákna Econo-Net délky 19 mm. Vlákna byla dávkována v poměru 0,9 kg vláken na 1 m³ čerstvého betonu. Poslední zkoumaná směs obsahovala vlákna Econo-Net délky 38 mm v poměru 0,9 kg vláken na 1 m³ betonu.

Tabulka 1.: Receptura betonové směsi

Použité hmoty	jednotka	na 1 m ³ čerstvého betonu
HTK 8-16	kg	905
DTK 0-4	kg	827
CEM I/42,5 R	kg	334
Voda	l	227
Vodní součinitel	-	0,68

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) a hodnoty modulu pružnosti v tlaku (hranoly 100x100x400mm). Pro stanovení šířky a délky trhlin byla čerstvá směs uložena do forem s umělými vruby (Obr. 2).

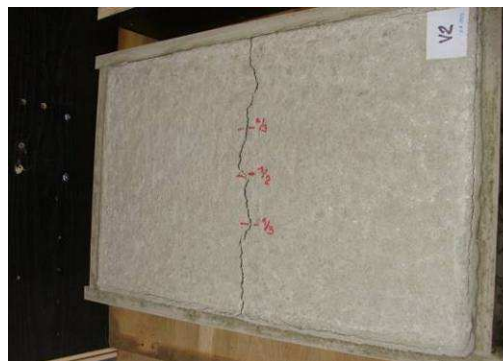


Obr. 2.: Schematické znázornění forem

Tělesa určená ke sledování vzniku a rozvoje trhlin na povrchu betonu byla uložena tak, že jeden vzorek zůstal na vzduchu v laboratoři a další dva byly umístěny ve větrném tunelu. Tento tunel byl vytvořen tak, že na jedno jeho čelo byl umístěn ventilátor, který foukal vzduch stejné teploty, jaká byla v laboratoři, druhé čelo bylo otevřené, aby bylo umožněné proudění vzduchu. Horní část tunelu byla opatřena odklopným víkem, aby byl umožněn snadný přístup k tělesům a měření trhlin.



Obr. 3.: Otevřený tunel s pohledem na ventilátor

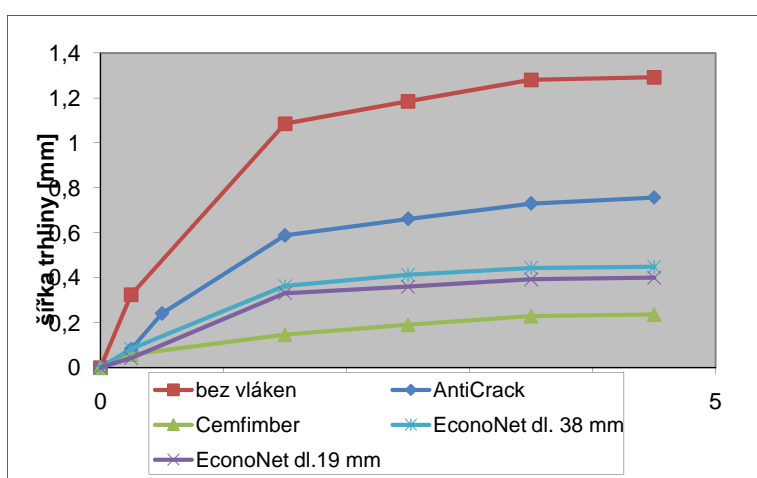


Obr. 4.: Vzorek s naznačenými místy měření

3. Vyhodnocení účinnosti vláken

Šířka trhliny byla měřena ve fázi čerstvého a tuhnoucího betonu pomocí příložné šablony s přesností 0,05 mm. Ve fázi tvrdnoucího betonu byly trhliny měřeny mikroskopem s přesností 0,01 mm.

Účinnost vláken byla hodnocena podle průměrné šířky trhliny vzorků umístěných ve větrném tunelu. Ta byla získána prostým aritmetickým průměrem všech naměřených hodnot. Výsledky přehledně ilustruje Graf 1.



Obr. 5.: Graf závislosti šířky trhliny na čase

Jak je z grafu zřejmé, použitím vláken klesla šířka trhlin minimálně o 50%. Nejvyšší účinnost vykazovala vlákna Cemfimer, u vláken EconoNet téměř nezáleželo na délce vláken, měla takřka stejné hodnoty.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován díky podpoře projektu GAČR 103/09/0065 Omezení vzniku a rozvoje trhlin v betonových mostech.

Literatura

- [1] ŠMERDA, Zdeněk. Trhliny v raném věku betonu. Článek v rámci grantu 103/96/1023 „Metody predikce a omezení nepříznivých projevů objemových změn“
- [2] ŠMERDA, ZDENĚK. Objemové změny betonu a jejich účinky na konstrukci, Beton a zdivo 1997/2
- [3] PROCHÁZKA, Jaroslav. Definice, názvosloví, trhliny v nosných a nenosných konstrukcích, Sborník ze semináře CONCON 98, Vydáno 1998
- [4] http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/5tlv/TL08CZ_2231-8.pdf

Kontakt

Ing. Petra Odehnalová tel: 00420 541 147 829, e-mail: odehnalova.p@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.

MODIFIKACE BETONU Z BETONOVÉHO RECYKLÁTU VARIANTNÍ KOMBINACÍ PŘÍRAD A PŘÍMĚSÍ

MODIFICATION OF CONCRETE FROM CONCRETE RECYCLATE WITH VARIANT COMBINATIONS OF ADDITIVES AND ADMIXTURES

**Michal Stehlík, Ondřej Anton,
Věra Heřmánková, Lubomír Vítek**

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Jakostní požadavky na druhotné suroviny jsou velmi těžko splnitelné v konkurenci dostupných a cenově příznivých přírodních materiálů. Avšak z důvodu redukce skládek stavebního odpadu je kvalitní zhodnocení betonového recyklátu z odpadu více než žádoucí. Pouhá adice chemických přísad pevnostní charakteristiky betonů z betonového recyklátu příliš nezvyšší. Otázkou zůstává, nakolik vzroste pevnost betonu po adici samotných i kombinovaných latentně hydraulických příměsí. Variantně je možno uvažovat o kombinaci minerálních odpadních příměsí s moderní epoxidovou disperzí. Samotné disperze, přidávané do záměsi betonů, modifikují převážně tahové pevnosti, adhezi a moduly. Otázkou zůstává společný vliv minerálních příměsí a disperzních přísad na zvýšení tlakové pevnosti betonů z betonového recyklátu.

Annotation:

It is extremely difficult to meet the quality requirements for secondary raw materials in the competition of available and cost-effective natural materials. For the sake of reducing the building waste dump, however, it is more than desirable to increase the quality value of concrete recyclate from waste. A mere addition of chemical additives to concrete recyclate will not increase the strength characteristics of concrete too much. The question remains then, how

will the concrete strength increase after adding latent hydraulic additives alone or in mutual combinations. As a variant, it is possible to consider the combination of mineral waste additives with a modern epoxy dispersion. The dispersion alone added to the mixing water of concretes modifies, according to the previous research, mainly tensile strengths, adhesion and moduli, but the question of common influence of mineral additives and dispersion additives on the increase of compression strength of concretes from concrete recycle remains to be solved.

Klíčová slova: *Recyklace, betonový recyklát, epoxidová disperze, popílek, struska, mikrosilika.*

Keywords: *Recyclation, concrete recycle, epoxy dispersion, fly ash, slag, microsilica.*

1. Úvod

Práce navazuje na dosavadní publikované výzkumy v oblasti aplikace recyklovaných materiálů ve stavebnictví a zároveň se snaží přispět k obohacení dosavadních poznatků o nově vzniklé zkušenosti s užitím odpadních příměsí prostých či v kombinaci s moderní vodou ředitelnou epoxidovou disperzí při výrobě betonu s částečnou náhradou přírodního kameniva betonovým recyklátem. Dnes je již zřejmé, že prosté betony z recyklovaného betonu velmi těžko dosahují vlastností původních betonů. Adice popílku, strusky, mikrosiliky i v kombinaci s epoxidovou disperzí, zlepšující vlastnosti cementového tmele spojujícího betonový recyklát, by mohla být jednou z variant možného zlepšení kvalitativních vlastností betonu z betonového recyklátu. Předpokládaným cílem práce je prověření očekávaných změn mechanických vlastností betonových vzorků při rozdílné adici přísad a příměsí do suché záměsi i záměsové vody. Na normových betonových krychlích o rozměrech 150x150x150 mm bude prioritně zkoušena pevnost v tlaku po 28 dnech zrání ve vlhkém uložení. Výsledné hodnoty pevností 6 sad vzorků o 6 kusech budou porovnány převážně s ohledem na sledované změny pevností betonů po adici rozdílné příměsi bez nebo s přísadou polymerní disperze vzhledem k sadě referenční. Stanovení tlakové pevnosti betonu z betonového recyklátu bylo vybráno záměrně, neboť velká část pracovišť se dosud zaměřila na úpravu převážně fyzikálních vlastností betonu z betonového recyklátu, tedy smrštitelnosti, mrazuvzdornosti, vodního součinitele, vyluhovatelnosti a pod. Přitom zvýšení pevnostní třídy betonu z betonového recyklátu je podmínkou pro efektivnější znovuužití betonového recyklátu, např. do konstrukčních betonů.

2. Návrh receptur betonových směsí

Tabulka 1. obsahuje přehled a značení záměsí betonu referenčního (hutné kamenivo) a betonů z betonového recyklátu včetně adice přísad a příměsí.

Tabulka 1.: Druhy a označení betonů 6 sad zkušebních krychlí 150x150x150 mm

Základní složení betonové směsi	Příměs	Počet krychlí	Označení	Sednutí kužele	Přísada	Počet krychlí	Označení	Sednutí kužele
referenční	žádná	3	R1	S1	12%	3	R1E	S3
z betonového recyklátu	žádná	3	R2	S1	epox. disperze	3	R2E	S3
	30% struska	3	R3	S1		3	R3E	S3
	30% popílek	3	R4	S1		3	R4E	S3
	10% silika	3	R5	S1		3	R5E	S3
	30% popílek + 10% silika	3	R6	S1		3	R6E	S3

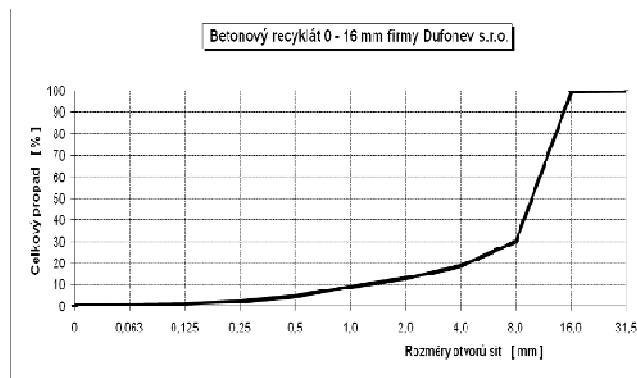
Tabulka 2. obsahuje receptury referenčního betonu z hrubého kameniva (rec. R1) a základního betonu z prostého (neupravovaného) betonového recyklátu frakce 0-16 mm (rec. R2 a základ receptur R3-R6).

Tabulka 2.: Složení betonových směsí – referenční a s recyklovaným betonem

Receptura R1		Receptura R2 + základ R3-R6	
Referenční receptura, použito přírodní hrubé kamenivo Olbramovice frakce 8-16 mm		100% hrubého kameniva 8-16 mm nahrazeno přírodním recyklátem 0-16 mm	
CEM I 42,5 R	300 kg/m ³	CEM I 42,5 R	300 kg/m ³
0-4 Bratčice	760 kg/m ³	0-4 Bratčice	760 kg/m ³
4-8 Tovačov	228 kg/m ³	4-8 Tovačov	228 kg/m ³
8-16 Olbramovice	912 kg/m ³	0-16 recyklát	690 kg/m ³
Voda	136 kg/m ³	voda	159 kg/m ³

Beton dle receptury R3 obsahuje navíc příměs 30% mleté vysokopecní strusky z hmotnosti cementu, R4 obsahuje 30% popílku, R5 10% průmyslové mikrosiliky a R6 směsnou příměs 30% popílku a 10% mikrosiliky. Každá z betonových záměsí pod označením R1-R6 byla připravena ve dvou variantách, a sice bez adice disperze a s 12% adicí vodou ředitelné epoxidové disperze, dávkované do původní betonové směsi. Skladba betonové směsi receptury R1 (hutné kamenivo) byla navržena na pevnostní třídu C 35/45, receptury R2-R6

(recyklovaný beton) na pevnostní třídu C 25/30, obojí při konzistenci S1 (10-40 mm sednutí kužele dle ČSN ISO 4103). Dle každé receptury (s i bez adice epoxidové disperze) bylo vyrobeno 6 kusů zkušebních krychlí rozměrů 150x150x150 mm, tedy celkem 36 krychlí. Vždy první tři krychle ze záměsí R1-R6 byly vyrobeny z betonu bez adice epoxidové disperze, poté byla vždy přidána disperze v množství 12% z hmotnosti cementu a zbylá záměs byla znovu homogenizována. Přídavek disperze způsobil pokles konzistence z S1 na stupeň S3 sednutí kužele (100-150 mm). Množství 12% disperze z hmotnosti cementu je limitní dávka disperze, která dle předchozích výzkumů [1] ještě výrazně nesníží tlakovou pevnost PCC betonů. Vodou ředitelná epoxidová disperze nové generace skladby EP ChS Epoxy 160V55 a příslušné tvrdidlo Telalit 1261 byly dodány firmou Synpo Pardubice, a.s. Poměr mísení složek je výrobcem stanoven na 100:11,5 hmotnostně. Disperze splňuje požadavky Směrnice evropského parlamentu a rady 2004/42/EC z roku 2004 o omezování emisí VOC (volatile organic components). V tabulce 2. jsou uvedeny tři základní frakce hrubého kameniva pro přípravu referenčního betonu. Pro přípravu betonu z recyklovaného betonu bylo hrubé kamenivo frakce 8-16 mm Olbramovice nahrazeno betonovým recyklátem frakce 0-16 mm firmy Dufonev. Křivka zrnitosti na obr. 1. dokumentuje složení betonového recyklátu, zajímavé je dodržení limitního 20% obsahu nevhodné jemné frakce do 4 mm.



Obr. 1.: Křivka zrnitosti recyklátu

Obr. 2.: Detail recykláži 0-16 mm



Záměsi pod označením R3 a R3E až R6 a R6E byly modifikovány příměsemi strusky, popílku a mikrosiliky v množství a kvalitě dle tabulky 3.

Tabulka 3.: Přehled přísad a příměsí do betonu z recyklovaného betonu

Označení receptury	Typ příměsí	Typ přísady	Výrobce	Sypná hmotnost [kg/m ³]	Množství na výrobu 6 krychlí [kg]	Dávka z hmotnosti cementu [%]
R1	-	-			-	-
R1E	-	ChS Epoxy 160V55 + Telalit	SYNPO Pardubice a.s.	-	0,792	12
R2	-	-			-	-
R2E	-	ChS Epoxy 160V55 + Telalit	SYNPO Pardubice a.s.	-	0,792	12
R3	Mletá granulovaná vysokopecní struska	-	Dětmárovice, dod. CEMEX ČR	1 100,0	1,98	30
R3E = R3+ →		ChS Epoxy 160V55 + Telalit	SYNPO Pardubice a.s.	-	0,792	12 $\Sigma=42$
R4	Popílek do betonu		Elektrárna Chvaletice, dod. CEMEX ČR	840,0	1,98	30
R4E = R4+ →		ChS Epoxy 160V55 + Telalit	SYNPO Pardubice a.s.	-	0,792	12 $\Sigma=42$
R5	Mikrosilika		ROMEX Rumunsko	260,0	0,66	10
R5E = R5+ →		ChS Epoxy 160V55 + Telalit	SYNPO Pardubice a.s.	-	0,792	12 $\Sigma=22$
R6	Popílek + mikrosilika		Chvaletice + ROMEX	840,0 + 260,0	1,98 + 0,66	40
R6E = R6+ →		ChS Epoxy 160V55 + Telalit	SYNPO Pardubice a.s.	-	0,792	12 $\Sigma=52$

3. Vyhodnocení měření

Tabulka 4. shrnuje dosažené 28 denní tlakové pevnosti betonů šesti receptur včetně modifikací epoxidovou disperzí. Je nutno poznamenat, že betonové krychle rozměru 150x150x150 mm byly po doformování uloženy 27 dní ve vlhkém uložení – 12% obsah epoxidové disperze vylučuje vodní uložení z důvodu možného výluhu.

Tabulka 4.: 28 denní tlakové pevnosti betonů referenčních a betonů z betonového recyklátu

Receptura	Počet vzorků	Ø pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost vztažená k R1 [%]
R1	3	48,0	100
R1E	3	34,7	73
R2	3	35,8	75
R2E	3	32,6	68
R3	3	41,6	87
R3E	3	38,1	79
R4	3	34,9	73
R4E	3	35,5	74
R5	3	47,9	100
R5E	3	39,2	82
R6	3	41,8	87
R6E	3	40,0	83

Změnu tlakových pevností betonů z betonového recyklátu po adici různých příměsí a variantně epoxidové disperze graficky dokumentuje obrázek 3.

4. Závěr

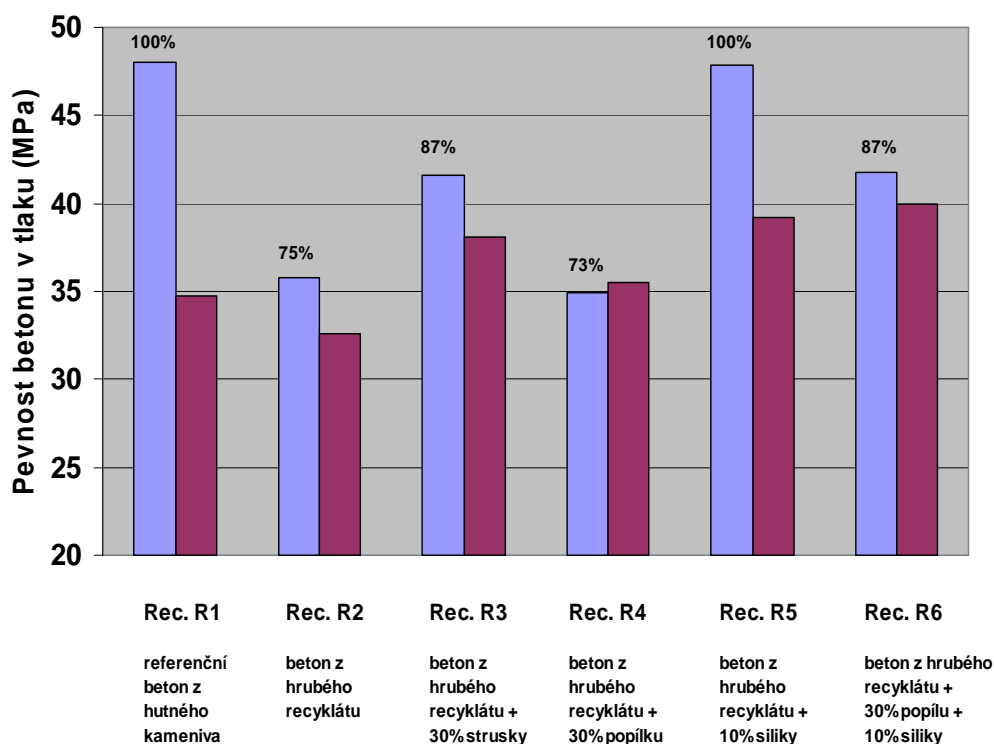
Porovnáním dosažených 28 denních tlakových pevností betonů referenčních a betonů vyrobených z betonového recyklátu lze přijmout tyto závěry:

1. Tlakové pevnosti betonu ze surového betonového recyklátu (rec. R2) referenčnímu betonu (rec. R1) jsou v poměru 0,75/1. Tento poměr je dlouhodobě znám a fakticky omezuje použití recyklovaného betonu jako kameniva do konstrukčních betonů.

2. 10% příměs mikrosiliky výrazně zvýší pevnosti betonu z recyklovaného betonu (rec. R5) až na úroveň pevnosti referenčního betonu (rec. R1).

3. 30% příměs vysokopecní strusky zvýší pevnost betonu z recyklovaného betonu (rec. R3), nárůst ale není tak výrazný v porovnání s mikrosilikou (rec. R5).

Pevnosti betonů z recyklovaného betonu po 28 dnech vlhkého uložení



■ Betony bez přísady epoxidové disperze CHS Epoxy 160V55

■ Betony s přísadou epoxidové disperze v množství 12% hmotnosti cementu

Obr. 3.: Změna tlakových pevností betonů z recyklovaného betonu po adici přísad a příměsí

4. Vliv 30% adice popílku je negativní (rec. R4), tlaková pevnost poklesla na 75% pevnosti referenčního betonu (rec. R1).

5. Kombinovaná příměs 30% popílku a 10% mikrosiliky (rec. R6) nesplnila očekávání, 28 denní pevnosti jsou nižší ve srovnání s adicí jen 10% mikrosiliky (rec. R5).

6. Přísada 12% epoxidové disperze (rec. R...E) snížila 28 denní pevnost betonu referenčního i betonů z recyklovaného betonu. Na vině je zvýšení tekutosti betonové směsi po adici disperze pro výrobu druhé trojice betonových krychlí, kdy sednutí kužele vzrostlo ze třídy S1 na třídu S3. V případě oddělené přípravy záměsí bez a s epoxidovou disperzí a při dodržení třídy sednutí kužele S1 by byl pozorován pravděpodobně nulový efekt adice disperze na vylepšení tlakové pevnosti betonu z recyklovaného betonu.

Na základě naměřených výsledků i zkušeností z minulých výzkumů lze říci, že vylepšení tlakové pevnosti betonů z recyklovaného betonu je možno docílit vhodnou příměsí na minerální bázi – osvědčila se 10% adice mikrosiliky. Otazník zůstává nad cenou, která mikrosiliku částečně diskvalifikuje již při první úvaze. Lze také konstatovat, že disperzní přísady včetně epoxidových vylepší adhezni, přetvárné vlastnosti, u betonů urychlí náběh počátečních pevností, zlepšují zpracovatelnost betonových směsí, ale nezvýší tlakovou pevnost zrajících betonů. Dosažené výsledky se zdají být velmi povzbudivé a vybízí k dalším testům příměsí, které by mohly zvýšit pevnosti betonů z recyklovaného betonu na úroveň betonů konstrukčních.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory VVZ MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“ a MPO ČR FT-TA3/056 „Vodou ředitelná disperze nové generace“.

Literatura

- [1] NOVÁK, J. a kol.: Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace, Zpráva o stavu řešení projektu FT-TA3/056, prosinec 2008
- [2] PÝTLÍK, P.: Recyklace betonu, sborník konference „Speciální betony“, Beroun, únor 2009
- [3] ČSN EN 12 620 Kamenivo do betonu, listopad 2008
- [4] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba, shoda, září 2001

Kontakt

Ing. Michal Stehlík, Ph.D., tel: 00420 541 147 820, e-mail: stehlik.m@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 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.

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

Ing. Lubomír Vítek, Ph.D., tel: 00420 541 147 825, e-mail: vitek.l@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**NOVÉ POSTUPY HODNOCENÍ
RÁZOVÉ ODOLNOSTI
CEMENTOVLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ**

**NEW PROCEDURES FOR EVALUATING
SHOCK RESISTANCE OF FIBRE
CEMENTITIOUS COMPOSITES**

Ivo Šimůnek, Stanislav Řeháček, Petr Huňka

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, nicméně posouzení zvýšení této odolnosti není dostatečně prověřeno. Prezentována je první fáze projektu. Laboratorní zkoušky směřující ke stanovení vhodného tvaru zkušebních těles, výběru způsobů podepření těles a uspořádání celého experimentu.

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 shock loads during their lifespan. It is clear that concrete reinforcement fibers has a positive impact on increasing resistance to shock loads, however, the assessment of the increase of this resistance has not been sufficiently verified experimentally. The first phase of the project, namely laboratory load tests, seeking only to determine the appropriate shape of test pieces, selecting appropriate ways to support the test piece and the arrangement of the whole experiment, was presented.

Klíčová slova: Cementovláknové kompozity, rázová odolnost, zkoušení těles

Keywords: Fibre cementitious composites, shock resistance, specimens testing

1. Úvod

Kompozitní materiály, vyztužené vlákny, zastávají významnou pozici v mnoha oblastech technického použití. V oblasti betonových stavebních konstrukcí se významným způsobem rozvíjí použití betonů, vyztužených různými druhy vláken (FRC), s použitím vláken ocelových (SFRC), plastových, skleněných (GFRC) a jiných vláken. Vlákny vyztužené betony nalézají své použití v oblasti průmyslových podlah, letištních ploch, betonových vozovek, mostovek, jako stříkaný beton primárního ostění podzemních staveb, betony do agresivního prostředí, bariérové konstrukce, tenkostěnné skořepiny pro fasádní prvky nebo skořepiny použité jako staticky spolupůsobící ztracené bednění. Kromě statického zatížení mohou být tyto stavební konstrukce během své životnosti namáhány i krátkodobým dynamickým zatížením nebo dokonce dynamickým rázovým zatížením, které může být vyvoláno nárazy nebo pády těles na konstrukci, výbuchy, nárazovým větrem, technologickými haváriemi v průmyslových objektech, základy namáhané rázovým zatížením od technologických zařízení apod. Dynamické účinky mohou být významné zvláště u tenkostěnných skořepinových konstrukcí a u bariérových konstrukcí. Je zřejmé, že vyztužení betonu vlákny má příznivý vliv na zvýšení odolnosti proti rázovému zatížení, nicméně posouzení zvýšení této odolnosti není dostatečně experimentálně prověřeno.

2. Vlastní zkouška

2.1. Cíle projektu a postup

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.

2.2. Výběr vzorku

Na základě literární rešerše byly pro zkoušky vybrány dva typy vzorků. Jedná se o vzorky tvaru čtvercové desky o straně 500 mm, nebo o desky kruhové o průměru 500 mm. V obou případech je tloušťka desky 50 mm. Výsledky zkoušky byly následně ověřeny i statickým výpočtem. Uspořádání zkoušky je patrné z obr. 1 a obr 2.



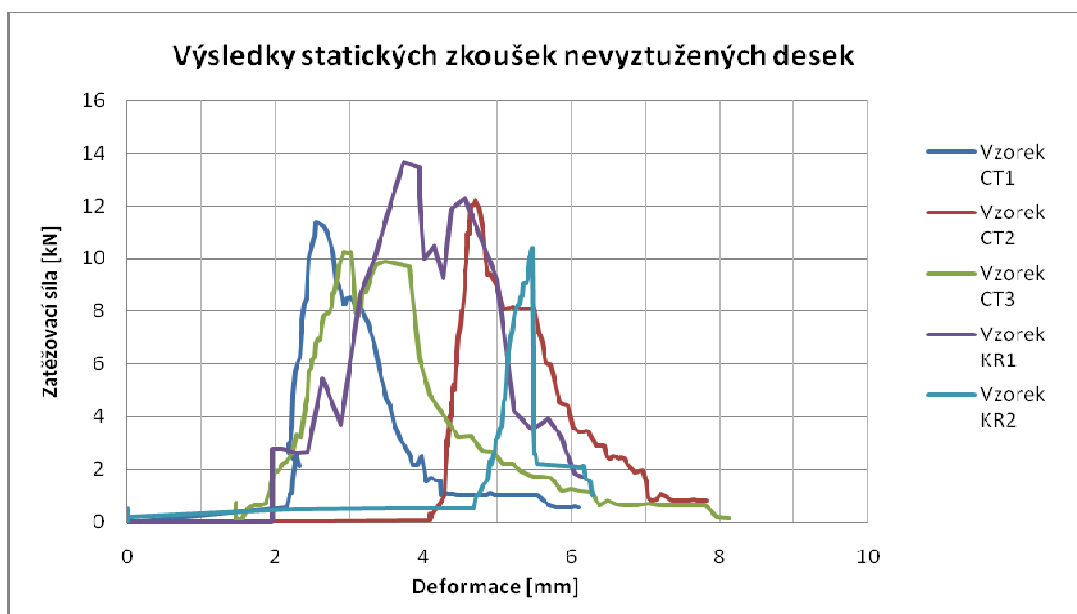
Obr. 1.: Uspořádání zkoušky čtvercové desky o straně 500 mm.



Obr. 2.: Uspořádání zkoušky kruhové desky o průměru 500 mm.

Výsledky zkoušek ve formě grafu závislosti mezi deformací a působící silou jsou uvedeny v obr. 3.

Na základě výsledků zkoušek byl pro další zkoumání vybrán vzorek ve tvaru kruhové desky o průměru 500 mm a tloušťce 50 mm.



Obr. 3.: Výsledek zatěžovací zkoušky nevyztužených desek.

2.3. Statická zkoušky vyztuženého vzorku

Dalším krokem bylo stanovení statické únosnosti desek s různým množstvím výztuže. Jednotlivé receptury, lišící se množstvím výztuže, jsou uvedeny v tab. 1 – tab. 3.

Tabulka 1.: Receptura betonu A – minimální množství vláken (20 kg/m³)

CEM II/A-S 42,5 R – Čížkovice	Kg	350
DTK 0/4 Zálezlice	Kg	1195
HTK 4/8 Zálezlice	Kg	644
Chysofluid Optima 208	L	8,75
Vlákná Krampe Harex DE50/1,0 N	Kg	20
voda	L	157,5

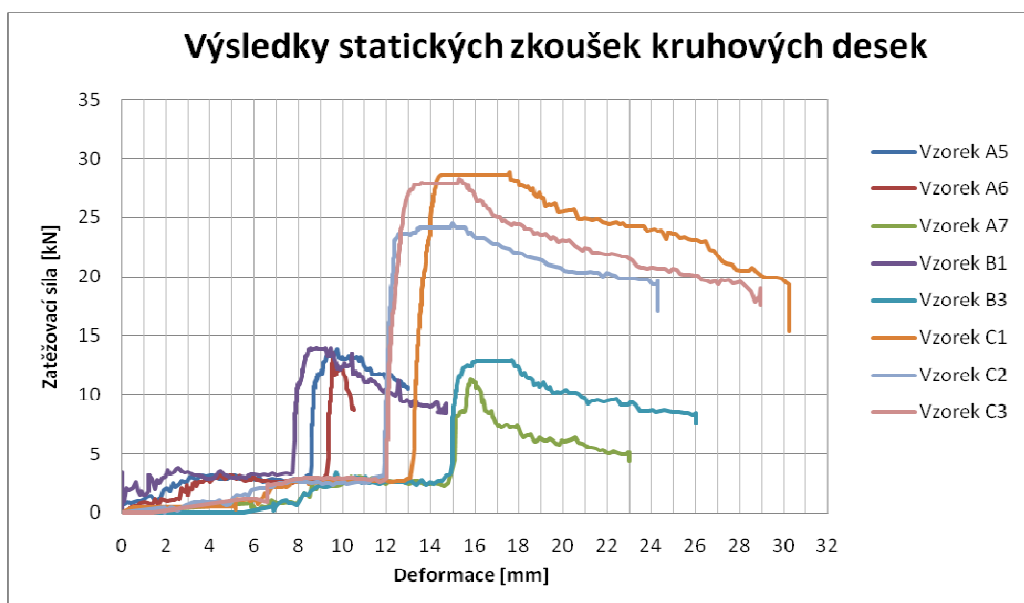
Tabulka 2.: Receptura betonu B – střední množství vláken (40 kg/m³)

CEM II/A-S 42,5 R – Čížkovice	Kg	350
DTK 0/4 Zálezlice	Kg	1189
HTK 4/8 Zálezlice	Kg	641
Chysofluid Optima 208	L	8,75
Vlákná Krampe Harex DE50/1,0 N	Kg	40
voda	L	157,5

Tabulka 3.: Receptura betonu B – maximální množství vláken (80 kg/m³)

CEM II/A-S 42,5 R – Čížkovice	Kg	350
CDTK 0/4 Zálezlice	Kg	1181
HTK 4/8 Zálezlice	Kg	636
Chysofluid Optima 208	L	8,75
Vlákna Krampe Harex DE50/1,0 N	Kg	80
voda	L	157,5

Výsledky zkoušky vyztužených vzorků, opět ve formě grafu závislosti mezi deformací a působící síly, jsou uvedeny v obr. 4. Označení jednotlivých vzorků A, B, C odpovídá receptuře dle tab. 1 - tab. 3.



Obr. 4.: Výsledek zatěžovací zkoušky vyztužených desek.

3. Závěr

Z dosud dosažených výsledků lze shrnout:

- Jako optimální tvar vzorku byla stanovena kruhová deska o průměru 500 mm a tloušťkou 50 mm, s podepřením po obvodu.

- minimální obsah rozptýlené výztuže 20 kg/m³ betonu nemá vliv na statickou únosnost, nicméně umožňuje dosažení větší deformace
- zvýšení obsahu rozptýlené výztuže 40 kg/m³ betonu nemá vliv na zvýšení statické únosnosti, nicméně umožňuje další nárůst deformací
- zvýšení obsahu rozptýlené výztuže 80 kg/m³ betonu vede ke zvýšení statické únosnosti i mezní deformace při porušení.

Na základě provedených statických zkoušek budou navazovat rázové zkoušky vybraných vzorků. Odolnost betonu s různým stupněm vyztužením bude hodnocena stanovením rázové energie při porušení vzorků. Předpokládá se porovnání výsledků, získaných na kruhových vzorcích, s výsledky získanými dosud používanými postupy, tedy zkouškami na trámci.

Poděkování

Příspěvek je vypracován za přispění grantu GAČR: 103/09/0055.

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

Kontakt

Ing. Ivo Šimůnek, CSc., tel: 00420 224353574, e-mail: simun@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. Stanislav Řeháček, tel: 00420 224353521, e-mail: stanislav.rehacek@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.

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK VZDUCHOVÉ PERMEABILITY BETONU PŘÍSTROJEM TPT A METODOU CEMBUREAU

EXPERIMENTAL DATA OF THE CONCRETE AIR PERMEABILITY BY USING METHODS TPT AND CEMBUREAU COMPARING

**Tomáš Vymazal, Petr Misák,
Barbara Kucharczyková, Petr Daněk**

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Příspěvek je věnován porovnání dvou metod pro stanovení vzduchové permeability betonu. Jedná se o měření přístrojem TPT (Torrent Permeability Tester) a metodu Cembureau. Experiment spočívá v přímém srovnání těchto metod na souboru vzorků obyčejného a lehkého betonu. Výsledky zkoušek jsou dále porovnány s dříve publikovanými vztahy.

Annotation:

The paper deals with the concrete air permeability. Two different methods are compared: TPT and Cembureau. Experiment rests in the direct alignment of these methods on the set of specimens of ordinary concrete and lightweight concrete.

Klíčová slova: vzduchová permeabilita, beton, TPT, Cembureau

Keywords: Air permeability, Concrete, TPT, Cembureau

1. Úvod

Permeabilita látek je definována několika vlastnostmi, které charakterizují pronikání vody a plynů a také tepelnou a elektrickou vodivost. Permeabilita betonu je především závislá na pórovitosti struktury cementového

kamene a má bezesporu významný vliv na kvalitu betonu a jeho trvanlivost. Pórovitost betonu (resp. cementového kamene) je ovlivněna ([1] a [2]):

- množstvím vody, která není potřebná k hydrataci cementu (vodní součinitel $> 0,23$),
- vzduchovými póry, které vznikly nedokonalým zhutněním čerstvého betonu,
- provzdušněním betonu použitím provzdušňovacích přísad,
- trhlinkami o větší šířce než 10^{-4} m vznikajících při tvrdnutí betonu.

Betonové konstrukce jsou nejvíce vystavovány vnějším vlivům na jejich povrchu. Pro stanovení vzduchové permeability betonu existuje několik metod. V tomto příspěvku budou diskutovány a porovnávány výsledky zkoušek dvou asi nejznámějších metod, a to TPT a Cembureau. Více o těchto metodách lze nalézt např. v [2], [3] a [4].

2. Výsledky zkoušek

V červenci roku 2009 bylo provedeno srovnání výsledků zkoušek vzduchové propustnosti povrchové vrstvy betonu metod TPT a Cembureau ve spolupráci s Technickou univerzitou Krakow. Experiment spočíval v přímém srovnání těchto metod na souboru jedenácti vzorků obyčejného a tří vzorků lehkého betonu. Zkušební tělesa byly ve tvaru válců o průměru 150 mm a výšce 50 mm. Po stanovení koeficientu vzduchové propustnosti k_T byly tělesa převezeny do polského Krakova, kde byly provedeny zkoušky metodou Cembureau. Dále byly výsledky zkoušek porovnány s převodním vztahem publikovaným R. Torrentem a G. Frenzerem [5]:

$$kO(T) = 2,5 \cdot k_T^{0,7},$$

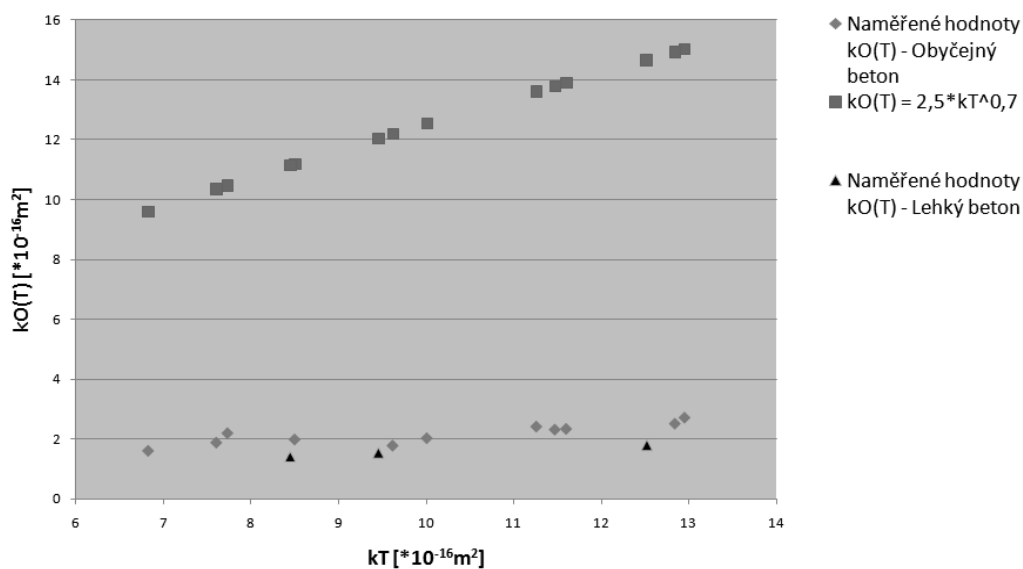
kde $kO(T)$ je výsledek zkoušky metodou Cembureau a k_T je koeficient vzduchové propustnosti určený metodou TPT.

Výsledky zkoušek a hodnoty stanovené z výše uvedeného vztahu jsou uvedeny v tabulce 1 a znázorněny na obrázku 1.

Tabulka 1.: Výsledky zkoušek

$kO(T)$ [10^{-16} m^2]	k_T [10^{-16} m^2]	$kO(T) = 2,5 * k_T^{0,7}$ [10^{-16} m^2]
1,983	8,502	11,184
2,333	11,600	13,901
1,878	7,608	10,347
2,710	12,950	15,015

1,778	9,620	12,194
2,310	11,470	13,792
2,192	7,736	10,469
2,509	12,840	14,926
2,411	11,260	13,615
2,025	10,010	12,538
1,605	6,830	9,595
1,528	9,456	12,049
1,789	12,510	14,656
1,391	8,452	11,138



Obr. 1.: Srovnání výsledků zkoušek metodou TPT a Cembureau s převodním vztahem

3. Závěr

Z výsledků zkoušek a z převodního vztahu uvedeného v [5] vyplývá několik závěrů:

- Převodní vztah výrazně nadhodnocuje hodnoty $kO(T)$ oproti skutečným výsledkům zkoušek.

▪ Dále je možné z naměřených hodnot usoudit vyšší citlivost metody TPT oproti Cembureau, což se v tomto experimentu projevilo výrazně vyšší variabilitou výsledků.

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] PYTLÍK P. Technologie betonu. VUT v Brně. 1997. ISBN 80-214-0779-4.
- [2] MISÁK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; VYMAZAL, T. Stanovení vlivu vlhkosti na hodnotu součinitele vzduchové propustnosti metodou TPT. In *Stavební obzor*. 2010. 19(2). p. 49 - 52. ISSN 1210-4027.
- [3] TORRENT R. J.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, In *Materials and Structures*, 1992, 25, p. 358–365.
- [4] KOLLEK, J.J. The Determination of the Permeability to Oxygen by the Cembureau Method – A Recommendation. In *Materials and Structures*, 22, p. 225-230. 1989.
- [5] TORRENT R., FRENZER G. A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the "covercrete". *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering*. 1995.

Kontakt

Ing. Petr Misák, e-mail: misak.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Barbara Kucharczykova, Ph.D., e-mail: kucharczykova.b@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D., e-mail: vymazal.t@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petr Daněk, Ph.D., e-mail: danek.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

MONITORING NÁDRŽÍ V LOUKOVĚ BĚHEM ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

MONITORING OF TANKS IN LOUKOV DURING THE LOAD TEST

**Miloš Zich, Petr Daněk,
Jaromír Láník, Ladislav Michálek**

VUT v Brně, Fakulta stavební,
Metrostav a.s.

Anotace:

Příspěvek představuje návrh a realizaci sledování konstrukce nádrží na naftu během zatěžovací zkoušky. Jedná se o čtyři stejné nádrže o objemu $4 \times 35\,000\text{ m}^3$, realizované v Loukově u Bystřice pod Hostýnem. Nádrže jsou kruhového půdorysu a jsou zastřešeny betonovou skořepinou. Vnitřní průměr nádrží je 47,8 m, max. výška hladiny náplně od základové desky je 20,40 m. Nádrže jsou navrženy z předpjatého betonu. Po dokončení budou všechny zasypány zeminou.

Annotation:

The paper presents a design and realization of a monitoring of tanks during the load test. Four identical tanks were erected in the Czech Republic (Loukov near Bystřice pod Hostýnem). Each tank has a capacity of $35\,000\text{ m}^3$ of oil. The tanks have cylindrical shapes and they are covered with a dome concrete spherical shell. The internal diameter of each tank is 47,8 m and the height of the oil level is 20,4 m above the foundation slab. The tanks are made of prestressed concrete. After completion, the group of four tanks will be covered with earth.

Klíčová slova: nádrže, předpjatý beton, sledování, zatěžovací zkouška

Keywords: tanks, prestressed concrete, monitoring, load test

1. Stručný popis nádrží

Nádrže jsou navrženy jako dvouplášťové z předpjaté betonové nosné části a z vnitřní laminátové vystýlky, která zajišťuje vlastní těsnost nádrže. Jsou cca z poloviny výšky zapuštěny do stávajícího terénu a z druhé poloviny budou přesypány. Na střeše bude překrytí zeminou v tloušťce 600 mm.

Základové poměry jsou tvořeny rajony pískovců a písčitým eluvem charakteru písků a rajony, kde dochází ke střídání neobtnavých jílovců, prachovců a pískovců.

Založení je provedeno plošné na základové desce, půdorysně ve tvaru pravidelného osmiúhelníku průměru 51,4 m. Deska má proměnnou tloušťku min. 0,6 m (u kalníku) až 0,82 m u stěn s vyspádováním horního povrchu do středu nádrže. Pod stěnami je deska skokově zesílena na 1,2 m. Je dodatečně předepnuta 12-ti lanovými přímými kabely, vedenými cca v těžišti desky v osové vzdálenosti 1,5 m. Pod základovou deskou je proveden šterkopískový polštář výšky 0,8 m.



Obr. 1.: Pohled na stavbu nádrží

Stěny nádrží tl. 0,6 m jsou navrženy jako dodatečně předepnuté horizontálními a vertikálními kabely, *obr. 1.* Horizontální kabely jsou 19-ti lanové. Pro kotvení vodorovných kabelů jsou po vnějším obvodu rozmístěny čtyři svislá žebra (cca 0,7/4,0 m). Celkem je navrženo 2x30 vodorovných kabelů. Stěny jsou dále po 1,25 m předepnuty svislými 12-ti lanovými kabely, tzn. vlásenkami kotvenými v základové desce, umožňujícími tak předepnutí spáry mezi základovou deskou a stěnou. Stěny byly prováděny za pomoci taženého bednění.

Vlastní kopule je navržena jako monolitická železobetonová skořepina tl. 250 mm; po obvodě je proveden předpjatý věnec. Skořepina o tíže 1500kN byla vybetonována dole na základové desce a následně vyzvednuta do finální polohy. Podrobněji je o konstrukci nádrží uvedeno např. v [1], [2] a [3].

2. Zatěžovací zkouška

2.1. Popis zatěžovací zkoušky

Hlavním cílem zatěžovací zkoušky bylo ověřit sedání nádrží před aplikací laminátové vystýlky tak, aby došlo k dosednutí nádrže a vystýlka nebyla již namáhána účinky nerovnoměrného poklesu konstrukce od náplně. Bylo tedy třeba dosáhnout stejného přetížení základové spáry jako ve finálním stavu nádrží při maximální havarijní hladině nafty (20,4 m). To odpovídá max. hydrostatickému tlaku nafty $20,4 \times 8,3 = 169 \text{ kN/m}^2$. Pro zatěžovací zkoušku byla použita voda, která vyvodí stejný tlak při výšce sloupce 16,9 m. Při provádění zatěžovací zkoušky navíc nebyl proveden horní zásyp (tl. cca 0,6m zeminy) nad skořepinou. Z toho důvodu byla výška vody při zatěžovací zkoušce zvýšena o 1,23 m. Celková výška hladiny vody při zatěžovací zkoušce byla stanovena na 18,2 m, tj. 2,2 m pod havarijní hladinu nafty, *obr. 2*.



Obr. 2.: Voda v nádrži při zatěžovací zkoušce se zatopeným lešením

Zkouška probíhala v době, kdy ještě nebyla provedena vnitřní laminátová vystýlka, zajišťující těsnost nádrže ve finálním stavu. Zkouška tak vlastně

ověřovala i únosnost a těsnost předpjatých stěn a základové desky ačkoliv to nebylo jejím primárním cílem (jistý průsak stěnou šlo připustit).

Pro zajištění zkoušky bylo třeba celkem cca 33 000 m³ vody, voda se do první nádrže navážela z řeky Bečvy cisternami do mezizásobníku, odkud se čerpala do nádrže. Navážení vody trvalo cca 1 měsíc. Zkoušky dalších nádrží probíhaly cca s jednoměsíčním odstupem. Voda se do nich již přečerpávala z předchozí nádrže. Vlastní přečerpání trvalo cca 7-10 dní.

Naplňování a vyprazdňování nádrží probíhalo rovnoměrně vždy po cca jedné třetině celkového objemu náplně. Po každé třetině probíhalo měření chování nádrže a jeho vyhodnocení.

2.2. Provedené sledování

Během zatěžovací zkoušky bylo zajišťováno podrobné sledování chování nádrže:

1. Byl vytvořen systém geodetických bodů pro sledování sedání a naklonění celé nádrže. Osm geodetických bodů bylo umístěno po obvodě osmiúhelníkové základové desky, osm po obvodě stěn v úrovni střechy a dalších osm bodů bylo umístěno na stěnách cca 5 m nad základovou spárou pro sledování vodorovné deformace nádrží. U každého bodu byly vždy sledovány změny prostorových souřadnic x , y , z .
2. Sledování sedání nádrží pomocí hydronivelace, umístěné v chrániče pod základovou deskou ve středu nádrží, čímž bylo možné sledovat rozdíl sedání středu základové desky a jejich okrajů.
3. Po dosažení maximální hladiny byl s přesností na desetiny mm sledován úbytek vody v nádrži pomocí radaru, umístěného na střeše.
4. Bylo prováděno podrobné sledování namáhání stěn pomocí zabudovaných strunových tenzometrů, zejména ve stěnách a v základové desce.

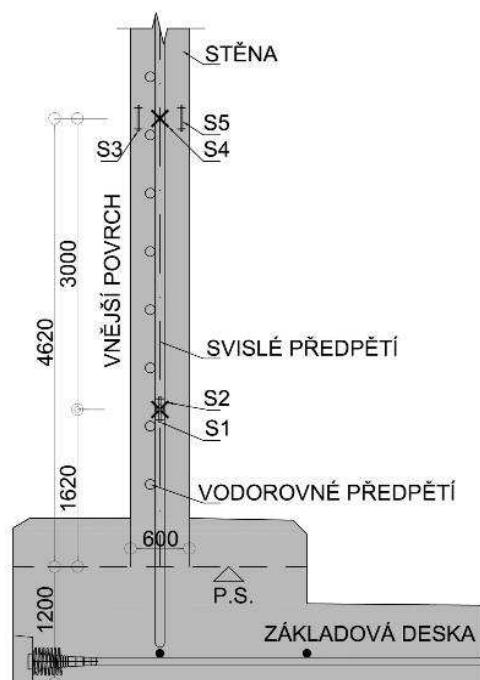
Monitoring nádrží strunovými tenzometry byl realizován Ústavem betonových a zděných konstrukcí a Ústavem stavebního zkušebnictví VUT FAST Brno ve spolupráci s projektantem statické části firmou Stráský, Hustý a partneři spol. s r.o. Brno. Měření hydronivelací prováděla firma Arcadis Geotechnika a. s. Ostatní body sledování zajišťoval generální dodavatel stavby firma Metrostav a. s.

2.3. Vybavení nádrží tenzometry

Do konstrukce nádrží byly během výstavby osazeny strunové tenzometry GT TES/5.5/TR od firmy Gage Technique, které je možno připojit k měřicí ústředně DataTaker DT, umožňující automaticky se zvolenou periodou ukládat hodnoty frekvencí jednotlivých strunových tenzometrů a také teplotu betonu.

Frekvence kmitání struny tenzometru je poté převáděna na odpovídající hodnotu poměrného přetvoření. Tenzometry byly osazovány do všech konstrukčně důležitých a nejvíce namáhaných částí: základové desky, stěn, konzol pro zvedání, věnce skořepiny a vlastní skořepiny. Celkem bylo osazeno 179 ks strunových tenzometrů. Umožnilo to sledovat úroveň napjatosti (poměrného přetvoření) betonu v různých stádiích výstavby, během zatěžovací zkoušky i v budoucnu během provozu nádrží.

V rámci tohoto článku se věnujeme popisu umístění tenzometrů důležitých pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky. Jednalo se zejména o tenzometry ve stěnách, o osazení ostatních tenzometrů je pojednáno v [4].



Obr. 3.: Umístění tenzometrů ve stěnách –
příčný řez

Ve stěnách nádrží bylo provedeno osazení tenzometrů ve čtyřech půdorysných místech (označených +X,-Y,-X,+Y, tj. cca ve 1/4 obvodu). Vždy ve dvou výškových úrovních bylo na jednu nádrž umístěno 4 x (2+3)=20 tenzometrů. V úrovni cca 1,6 m nad pracovní spárou mezi stěnou a základovou deskou byl připevněn jeden tenzometr ve svislém směru (S1) a druhý ve vodorovném směru (S2), obr. 3 a 4. Ve výšce cca 4-5 m nad pracovní spárou byl umístěn jeden tenzometr ve vodorovném směru (S4 - v ose stěny) a dva ve svislém směru (blíže k povrchům stěny, S3 a S5). Poloha tenzometrů odpovídá místům s max. vodorovnou tahovou silou a maximálním svislým momentem od zatížení náplní. Montáž tenzometrů v dolní úrovni byla provedena před spuštěním betonáže stěn do taženého bednění, v horní úrovni se montovaly během vlastní betonáže do taženého bednění. Přívodní kabely od tenzometrů byly vyvedeny v chráničkách na vnější stranu nádrží.

Teplota a vlhkost vzduchu v okolí nádrže je zaznamenávána automaticky pomocí registračního vlhkoměru a teploměru S3120 od firmy Comet systém s r. o. Rožnov pod Radhoštěm umístěných na stěnách nádrže N1 a N4.

Během zatěžovací zkoušky byl vždy jeden řez v nádrži (+X a základová deska) měřen kontinuálně po celou dobu zkoušky v intervalu 1 hodiny, ostatní řezy byly měřeny jednorázově po třetinách celkového objemu vody v nádrži.



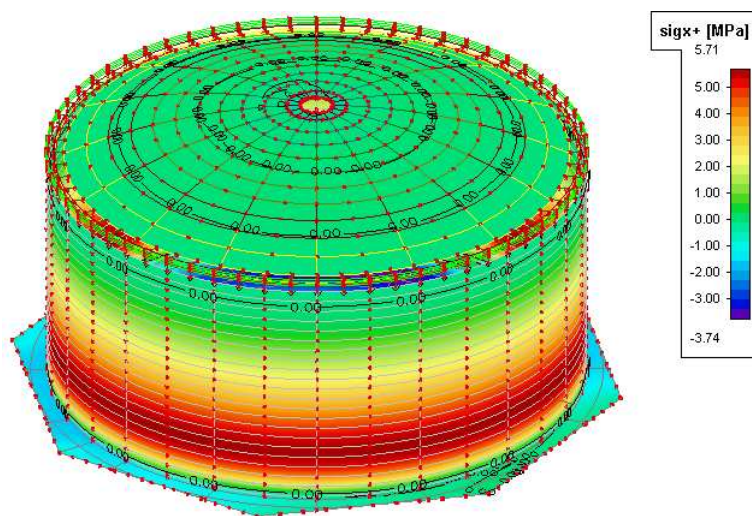
Obr. 4.: Umístění tenzometrů S1 a S2 v armokoši stěny

3. Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Vyhodnocování naměřených výsledků, zejména poměrného přetvoření, probíhalo v součinnosti s projektantem nádrží firmou Stráský, Hustý a partneři Brno. Sedání nádrží bylo vyhodnocováno ve spolupráci s projektantem založení a zásypů firmou Arcadis Geotechnika a. s.

Sedání nádrží od vody měřené hydronivelací bylo u všech nádrží okolo 18-20 mm. Geodetickým měřením po obvodě základové desky byl stanoveno sedání nádrží cca 5 mm. Jednalo se o velmi malé hodnoty sedání. Nádrže nevykazovaly ani nerovnoměrný pokles, ani naklonění. Všechny hodnoty byly v souladu s projektem a normou daných mezích pro celkové sedání i nerovnoměrný pokles.

Vyhodnocení poměrného přetvoření ve stěnách nádrže bylo provedeno pomocí deskostěnového výpočetního modelu finálního stavu nádrží s kloubovým uložením stěn na základové desce. *obr. 5.* Výpočetní model je vytvořen v programu Scia Engineer. Od zatížení vodou byly porovnávány naměřené a vypočtené hodnoty změn poměrného přetvoření a normálového napětí.



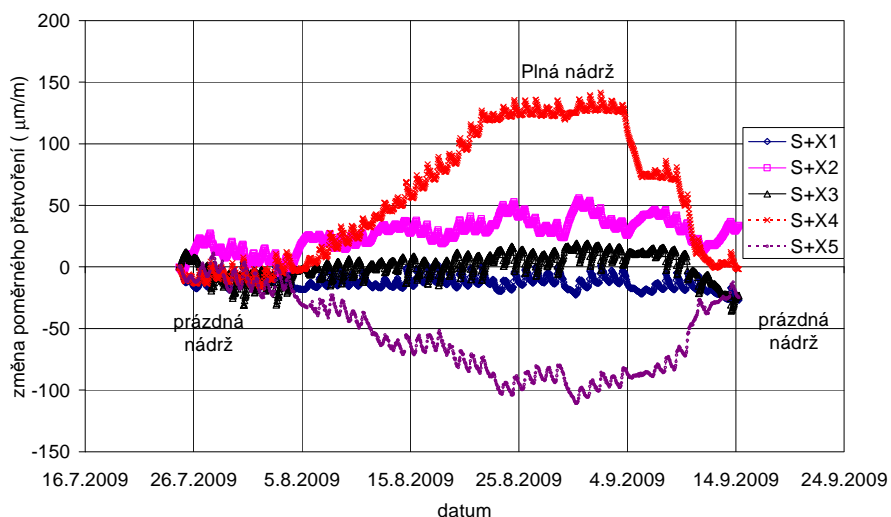
Obr. 5.: Průběh normálového napětí ve stěnách ve vodorovném směru od náplně vodou.

Na obr. 6 je vynesena průběh změny poměrného přetvoření od zatížení vodou na tenzometrech, umístěných ve stěně první nádrže. Zobrazena je vždy změna poměrného přetvoření od stavu před napouštěním vody do nádrže. Podle předpokladů největší změny (tahů) přetvoření jsou patrné na tenzometru S4, které sleduje roztažení nádrže ve vodorovném směru. Čidla S3 a S5 ukazují průběh namáhání ve svislém směru nádrže, zachytávají ohybové namáhání stěn, S3 u taženého vnějšího okraje a S5 u tláčeného vnitřního okraje. Čidla S1 a S2 jsou umístěná blíže k základové desce, která brání roztažení stěn ve vodorovném směru, a tak hodnoty přetvoření naměřené čidlem S2 jsou v souladu s projektem menší než u S4.

Tab. 1 uvádí srovnání vypočtených změn normálového napětí pomocí deskostěnového modelu v místech čidel S4, umístěných cca ve čtvrtinách půdorysu nádrže. Naměřené změny napětí byly stanoveny jako rozdíl přetvoření při dosažení maximální hladiny a při prázdné nádrži před zkouškou, vynásobené modulem pružnosti použitého betonu 33GPa. Z tabulky je zřejmá velmi dobrá shoda naměřených a vypočtených hodnot.

Tabulka 1.: Srovnání vypočtených a naměřených změn normálového napětí - čidla S4 v nádrži N1

řez	výpočet [MPa]	měření [MPa]
+X	4.96	4.22
-Y	4.95	4.09
-X	4.95	4.56
+Y	4.96	4.61

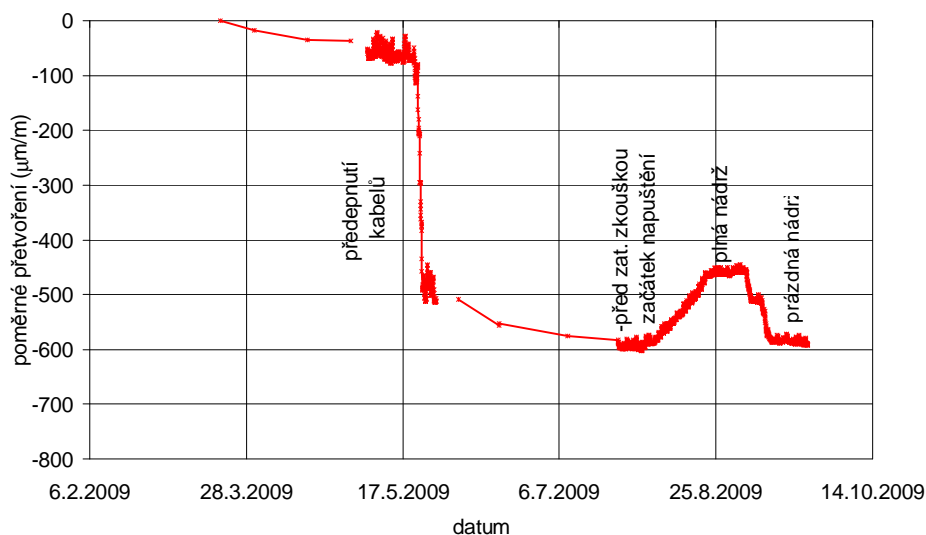


Obr. 6.: Změna poměrného přetvoření betonu ve stěně nádrže N1 – čidla S1 až S5 – řez +X

Při srovnání naměřených a vypočtených hodnot je třeba si uvědomit, že naplnění nádrží probíhalo delší dobu, tedy docházelo ke změnám teplot betonu. To může mít za následek nepřesnosti měření. Také výpočetní model má svá zjednodušení, zejména v uvažování statického působení v detailu stěna - základová deska. Proto nelze nikdy očekávat zcela totožné výsledky výpočtu a měření.

Na obr. 7 je uveden naměřený průběh celkového poměrného přetvoření betonu v čase naměřený u první nádrže na čidlo S4 v řezu X4. Jedná se o čidlo umístěné ve vodorovném směru v nejvíce namáhané části stěn. Na obrázku je vyneseno poměrné přetvoření již od betonáže stěn, je zde dále patrný vliv vodorovného předpětí stěn a vytvoření tlakové rezervy ve stěnách a následně průběh přetvoření během plnění nádrže vodou. Dochází ke zmenšování tlakové rezervy v betonu. Po vypuštění došlo opět k zvětšení přetvoření na přibližně původní hodnotu.

Geodeticky naměřené vodorovné deformace stěn se pohybovaly v řádu mm (cca od 3 do 8 mm), přičemž vypočtené hodnoty deformací na deskostěnovém modelu, byly ve výšce 5 m nad základovou spárou rovny 4,0 mm. Je zde opět patrná dobrá shoda. Deformace byly poměrně malé a jejich změna se blížila chybě geodetického měření; proto jsou zde takové velké procentuální rozdíly naměřených a vypočtených hodnot.



Obr. 7.: Průběh poměrného přetvoření ve stěně – čidlo S+X4 (vodorovný směr)

Po dosažení maximální hladiny byly po dobu cca 10 -14 dnů měřeny úbytky hladiny vody. Úbytky se pohybovaly cca 5 -10 mm za 7 dní. Ve srovnání z celkovou výškou 18,2 m jsou to úbytky velmi malé. Značná část vody se odpařila a část se projevila drobnými průsaky u základové desky. Průsaky vody ve stěnách nebyly u žádné nádrže pozorovány.

4. Závěr

Výsledky monitoringu během zatěžovací zkoušky potvrdily předpoklady projektovaného stavu.

- Nejdůležitější bylo ověření celkového sedání nádrží, hodnoty byly malé a v mezích daných projektem.
- Měřením namáhání stěn bylo potvrzeno lineárně pružné chování stěn. Po zatížení nádrže a jejím odtížení došlo k návratu hodnot před zatěžovací zkouškou. Nezůstává trvalá deformace.
- Přírůstky poměrného přetvoření (napětí) odpovídají projektovanému stavu.
- I při plném zatížení vodou zůstala nádrž v obou směrech přetlačena, s dostatečnou tlakovou rezervou.
- Konstrukce stěn a dna nevykazuje trhliny, pozorovatelné pouhým okem. Je možné konstatovat, že je splněna podmínka návrhu konstrukce pro aplikaci laminátu s max. šířkou trhlin do 0,2 mm.

- Z hlediska předpokladů statického chování splňovala nádrž požadavky pro aplikaci laminátové vystýlky.
- Všechny čtyři nádrže se chovaly v podstatě stejně, nebyl patrný výraznější rozdíl v sedání nádrží ani v namáhání stěn.

Poděkování

Uvedené výsledky byly získány za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím MPO ČR v rámci projektu FI-IM5/128 „Progresivní konstrukce z vysokohodnotného betonu“ a za finančního přispění MŠMT ČR, v rámci výzkumného záměru MSM 0021630519 „Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce“. Autoři děkují investoru stavby společnosti ČEPRO, a. s. za spolupráci.

Literatura

- [1] SHP s.r.o. Brno, Nádrže Loukov - projekt statické části nádrží, 9/2008.
- [2] VÍTEK J.L., STRASKY J., ZICH, M., KASAL. P., Prestressed concrete oil tanks, 3rd FIB International Congress – 2010, Washington DC.
- [3] ZICH. M, VÍTEK J. L., KOLEČNÍK P., SLIWKA P., Předjaté nádrže Loukov, str. 233-240 sborníku konference Betonářské dny 2009, ISBN 978-80-87158-20-3.
- [4] ZICH. M, DANĚK P., LÁNÍK J., Monitoring chování nádrží Loukov, str. 487-491 konference Betonářské dny 2009, ISBN 978-80-87158-20-3.

Kontakt

Ing. Miloš Zich, Ph.D., tel: 00420 541 147 860, e-mail: zich.m@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. Jaromír Láník, tel: 00420 541 147 528, e-mail: lanik.j@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Ladislav Michálek, tel: 00420 606626154 e-mail: michalek@metrostav.cz, Metrostav a.s. D7, Bystrá 2243, Praha.

**VLIV ZKUŠEBNÍCH FOREM A OŠETŘOVÁNÍ
ČERSTVÉHO BETONU VE FORMÁCH
NA PEVNOST BETONU V TLAKU**

**THE EFFECT OF THE TEST MOLDS
AND THE WAY FRESH CONCRETE IS CURED
IN THE MOLDS ON COMPRESSIVE
STRENGTH OF CONCRETE**

Oldřich Žalud

BETOTECH, s.r.o., Zkušební laboratoř Brno

Anotace:

Pro kontrolu kvality betonu se ve výrobnách betonu a na stavbách používají zkušební tělesa, která se vyrábí za pomoci zkušebních forem. Nejvíce používané jsou plastové zkušební formy. V příspěvku je prezentován vliv plastových zkušebních forem na pevnosti betonu v tlaku a vliv ošetřování čerstvého betonu ve formách na pevnosti betonu v tlaku.

Annotation:

Test specimens that are produced with the help of test molds are used for checking the quality of concrete at concrete plants and construction sites. Plastic molds are the most popular. This paper presents the effect of test molds on the compressive strength of concrete and the effect of the way fresh concrete is cured in the test molds on compressive strength of concrete.

Klíčová slova: zkušební tělesa, plastová forma, ošetřování čerstvého betonu, vliv, pevnost v tlaku

Keywords: test, specimen, plastic, mold, fresh concrete, curing, effect, compressive strength

1. Zkušební formy pro zkoušení pevnosti betonu v tlaku

Zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku podle ČSN EN 12390-3 musí být krychle, válce anebo vývrty různých jmenovitých rozměrů (100mm, 113mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm). Pro výrobu zkušebních těles z běžného betonu se ve výrobnách betonu a na stavbách používají nejčastěji plastové zkušební formy ve tvaru krychle o hraně 150mm. Pro vysokopevnostní beton byly a v současné době ještě často jsou, z důvodu špatné rovinnosti zatěžovaných ploch zastaralých plastových forem, používány formy ocelové.

Na zkušební formy jsou kladeny 2 základní požadavky a to rozměrová přesnost a jejich životnost. Zcela zásadní pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku je rovinnost zatěžovaných ploch, která musí být menší než $\pm 0,0006$ *jmenovitý rozměr tělesa. V případě, že rovinnost zatěžovaných ploch není vyhovující, dochází k nerovnoměrnému rozložení napětí ve zkoušeném vzorku a naměřená pevnost betonu v tlaku je zpravidla nižší, než v případě tělesa s dobrou rovinností zatěžovaných ploch. Rovinnost zatěžovaných ploch lze kontrolovat pomocí ocelového úhelníku a sady spárových měrek. Je v zájmu zkušebních laboratoří a výrobců betonu, aby používali zkušební formy s vyhovující rovinností tlačných ploch.

V současné době jsou na trhu zkušební formy od mnoha výrobců z různých materiálů a různě konstrukčně řešené. Formy jsou konstruovány jako rozebíratelné nebo jako nerozebíratelné. Nerozebíratelné formy mají stěny mírně zkosené, aby bylo možné vzorek vytlačit z formy stlačeným vzduchem nebo vodou. Materiály použité pro výrobu forem mají různou tvarovou stabilitu a různé tepelně technické vlastnosti. Běžně se používá ocel, polypropylen, polyuretan a případně další plasty.. Formy z polypropylenu jsou velmi trvanlivé, nicméně ve většině případů nevyhovují z hlediska rovinnosti tlačných ploch. Polyuretanové formy mají rovinnost tlačných ploch většinou vyhovující a jsou tvarově stálé. Nevýhodou toho materiálu je nižší houževnatost, a proto je třeba s nimi zacházet opatrněji. Oproti formám z polypropylenu a kovu mají podstatně lepší tepelně-izolační vlastnosti a tuto vlastnost oceníme především při uložení těles na stavbách při nízkých teplotách.

1.1. Vliv zkušební formy na pevnost betonu v tlaku

V první polovině tohoto roku byly v naší laboratoři testovány plastové zkušební formy o hraně 150 mm od 4 různých výrobců, abychom získali přehled o tom, jaký je vliv samotné formy na výsledek pevnosti betonu v tlaku. Kovové formy byly z testování vyloučeny z důvodu vysoké ceny forem a špatné manipulovatelnosti s formou.

Pro tyto testy bylo odebráno 22 zkušebních vzorků betonu C 30/37 XF2(CZ,F.1) S5 D16mm C10,2, beton by ve formě zhutněn na vibračním stolku, tělesa s formami byla 1-2 dny ponechána na stavbě, položena na polystyrenovou desku tl. 40mm a překryta PE fólií a polystyrenovou deskou tl. 40mm. Po odformování byla zkušební tělesa uložena ve vlhkém prostředí termínu zkoušení. Pevnost betonu v tlaku byla stanovena po 28 dnech. V tabulce č. 1 jsou uvedeny výsledky pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech.

Tabulka 1.: 28denní pevnosti betonu

Datum výroby	Druh zkušební formy - pevnost betonu v tlaku v N/mm ²			
	N	I	Ř	S
29.1.2010	54,6	51,4	50,3	55,0
4.2.2010	53,4	52,6	51,4	53,3
10.2.2010	57,8	55,7	56,1	54,9
16.2.2010	61,6	61,7	54,6	61,1
22.2.2010	57,2	56,9	53,8	55,5
28.2.2010	47,2	46,2	44,9	46,6
6.3.2010	50,5	49,2	47,6	49,9
17.3.2010	53,4	50,8	50,5	51,4
7.4.2010	47,0	46,7	45,2	48,6
13.4.2010	53,3	51,0	48,9	50,8
18.4.2010	54,5	52,2	50,2	52,2
28.4.2010	54,3	52,6	51,0	53,7
4.5.2010	49,3	50,5	50,6	51,3
7.5.2010	50,0	49,5	48,2	50,4
13.5.2010	53,0	53,6	50,0	55,7
19..5.2010	60,7	61,4	58,2	61,7
25.5.2010	62,2	63,6	59,6	61,9
31.5.2010	59,6	56,3	56,9	56,3
12.6.2010	47,7	44,7	45,0	45,2
18.6.2010	55,8	51,9	52,3	55,1
30.6.2010	50,0	46,5	48,3	47,5
15.7.2010	53,3	48,3	49,3	47,5
Průměr	53,9	52,4	51,0	53,0

1.2. Vliv zkušebních forem a způsobu ošetřování čerstvého betonu tvrdnoucího ve zkušební formě na pevnost v tlaku

V určitých případech je třeba stanovit krátkodobé pevnosti betonu v tlaku zrajícího na stavbě nebo v laboratorních podmínkách. Vzhledem k tomu,

že výsledky těchto zkoušek bývají velmi často rozporuplné, bylo provedeno několik pokusů, jejichž cílem bylo porovnat, jaký vliv má forma (její materiál) a způsob ošetření povrchu betonu ve formě na krátkodobé pevnosti betonu v tlaku. Povrch betonu byl ponechán volný, překrytý PE fólií a v posledním případě byla forma zakryta víkem, které má snížit ztráty tepla uvolněného při hydrataci, snížit odpařování vody z povrchu betonu, chránit povrch betonu vůči působení okolní teploty, srážek a mechanickému poškození. Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v Tabulce č. 2, 3, 4 a 5. Způsob uložení těles je uveden na Obrázku č. 1, 3 a 4,. Vliv zakrytí povrchu betonu čerstvého betonu na zamezení odpařování vody je patrný z Obrázku č.2.

Tabulka 2.: Pokus č. 1 - tělesa uložena 2 dny na zemi v exteriéru za větrného počasí

Označení formy	Teplota uložení °C	Druh formy	Ošetření povrchu betonu ve formě	Ztráta hmotnosti v gramech po 2 dnech	Pevnost v tlaku po 2 dnech N/mm ²	Pevnost v tlaku po 28 dnech N/mm ²
3	12	Ř	PE fólie	20	25,6	
1	12	Ř	PE fólie	10		63,8
2	12	Ř	PE fólie	13		62,5
B13	12	S	PE fólie	12	29,4	
B8	12	S	PE fólie	21		66,9
B20	12	S	PE fólie	16		66,9
4	12	Ř	Nezakrytá	101	25,8	
5	12	Ř	Nezakrytá	97		
B16	12	S	Nezakrytá	103	27,4	
B1	12	S	Nezakrytá	101		
B11	12	S	Víko Smartest	19	31,4	
B18	12	S	Víko Smartest	13	32,2	
B12	12	S	Víko Smartest	23		65,6
B10	12	S	Víko Smartest	14		66,9
B18Č	12	S	Víko Smartest	16		

V případě, že povrch čerstvého betonu ve formě není zakryt fólií nebo víkem, dochází k odpaření 4-5násobně vyššího množství vody z povrchu betonu.



Obr. 1.: Uložení těles při pokusu č. 1



Obr. 2.: Pohled na krychle, vlevo nezakrytá, vpravo zakrytá víkem, na levé je patrný pruh u povrchu způsobený vyschnutím

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

Tabulka 3.: Pokus č. 2 - tělesa uložena 1-3 dny 30cm nad zemí v exteriéru za větrného počasí

Teplota uložení °C	Druh formy	Způsob ošetřování	Objemová hmotnost betonu kg/m ³	Povrchová teplota betonu 1den °C	Pevnost betonu v tlaku 1 den N/mm ²	Pevnost betonu v tlaku 2 dny N/mm ²	Pevnost betonu v tlaku 3 dny N/mm ²
12	S	Víko Smartest	2310	29,5	15,4	31,8	39,8
12	S	Nezakryté	2288	21	8,6	27,6	35,9



Obr. 3.: Uložení těles při pokusu č. 2

Tabulka 4.: Pokus č. 3 - tělesa uložena 3-5 dní na zemi v laboratoři

Teplota uložení	Druh formy	Způsob ošetřování	Povrchová teplota betonu 1den °C	Povrchová teplota betonu 3 dny °C	Pevnost betonu v tlaku 3 dny	Pevnost betonu v tlaku 4 dny	Pevnost betonu v tlaku 5 dní
21	S	Víko Smartest	35	26	40,6	44,2	47,2
21	S	Nezakryté	26	26	37,5	42	43,5



Obr. 4.: Uložení těles při pokusu č. 3

Tabulka 5.: Pokus č. 4 - tělesa uložena na zemi v laboratoři

Teplota uložení	Druh formy	Způsob ošetřování	Povrchová teplota betonu 20 hodin °C	Povrchová teplota betonu 24 hodin °C	Pevnost betonu v tlaku 16 hodin	Pevnost betonu v tlaku 20 hodin	Pevnost betonu v tlaku 24 hodin
20	Krychle PUR	Fólie	26	24	10,4	17,0	22,4
20	Válec PUR	Fólie	34	32	*11,3	*17,8	*22,4

*válcová pevnost



Obr. 5.: Formy použité při pokusu č. 4

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

Tabulka 6.: Pokus č. 5 - tělesa uložena na zemi v laboratoři

Teplota uložení	Stáří betonu hodiny	Způsob ošetřování	Pevnost betonu v tlaku forma krychle PUR N/mm ²	Pevnost betonu v tlaku forma válec PUR N/mm ²	Pevnost betonu v tlaku forma válec KOV N/mm ²
18	14,5	Fólie	6	*8,8	-
18	16,5	Fólie	9	*11,5	-
18	18	Fólie	11	-	*11,7
18	20	Fólie	14,0	-	*12,3
18	22	Fólie	16,5	-	*12,7

*válcová pevnost



Obr. 6.: Formy použité při pokusu č. 5

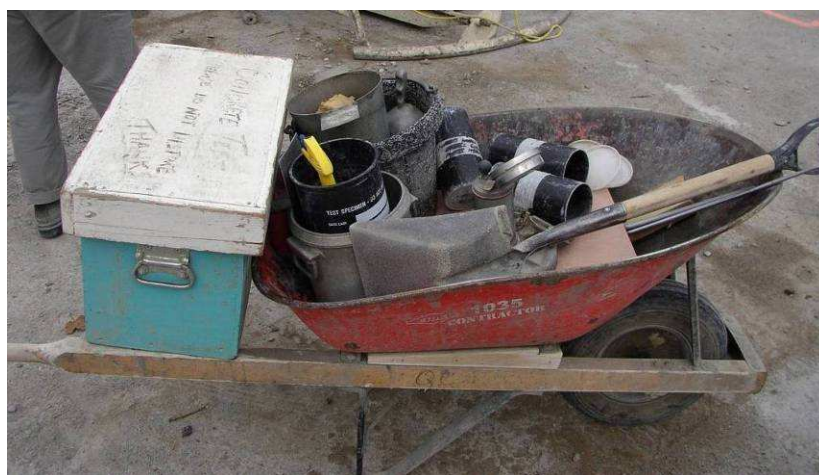
1.3. Příklady uložení zkušních těles na stavbách



Obr. 7.: Příklad nevhodného uložení těles na stavbě při nízké teplotě



Obr. 8.: Příklad vhodnějšího uložení těles na stavbě při nízké teplotě



Obr. 9.: Plastové válce s víkem a termobox zajišťující ošetření čerstvého betonu ve formě na stavbě – obrázek pořízen v Kanadě

2. Závěr

Výsledky zkoušek pevnosti betonu v tlaku slouží převážně k hodnocení shody s požadavky technických specifikací (normy, statické výpočty, ...)

V některých případech mohou být výsledky těchto zkoušek nepatrně nižší (např. 1-3 N/mm²) než je požadováno a dochází ke sporným situacím.

Na základě těchto výsledků jsou také upravována složení betonu ve výrobnách betonu, což může vést ke zvyšování materiálových nákladů na výrobu betonu, mnohdy i v řádech statisíců až milionů Kč.

Je velmi důležité, aby celému procesu zkoušení (odběr, zhotovení a ošetřování vzorků, zkouška) byla věnována náležitá pozornost. Především vybavení laboratoří musí splňovat požadavky norem a prováděné zkoušky musí být předem promyšleny do nejmenších detailů.

Literatura

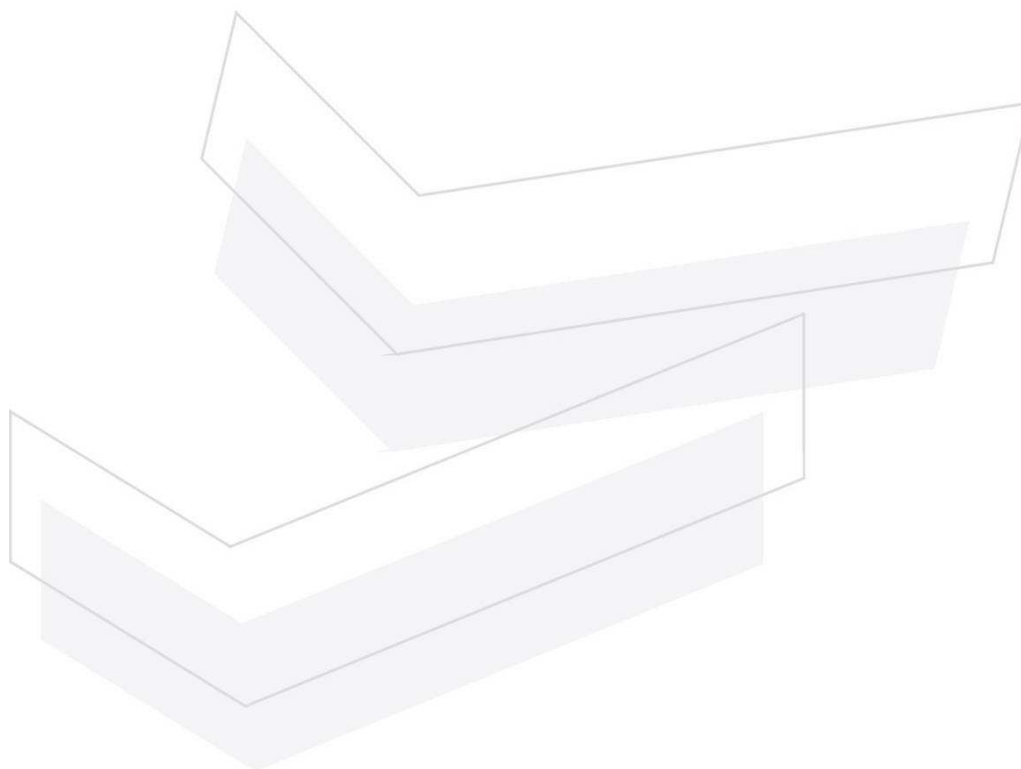
- [1] ČSN EN 12350-1 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy
- [2] ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti
- [3] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles

Kontakt

Ing. Oldřich Žalud, tel: 00420 547 427560, e-mail: oldrich.zalud@betotech.cz, BETOTECH, s.r.o., akreditovaná zkušební laboratoř Brno, Jihlavská 709/51, 642 00 Brno

II.

ZKOUŠENÍ KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ



5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

DIAGNOSTIKA PORÚCH A SKÚŠKY MATERIÁLU NOSNEJ OCEĽOVEJ KONŠTRUKCIE POŠKODENEJ ÚČINKAMI POŽIARU

FAILURE DIAGNOSIS AND EXAMINATION OF BEARING STEEL STRUCTURES MATERIAL EFFECTS OF FIRE DAMAGE

Stanislav Kmet', Michal Tomko, Ivo Demjan

Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach

Anotácia:

Pre potreby statického posúdenia nosnej ocelovej konštrukcie po požiari bola realizovaná experimentálna diagnostika porúch a skúšky materiálu ocelovej konštrukcie poškodenej účinkami požiaru. Výsledky sú prezentované v článku.

Annotation:

For the static assessment of the steel structure after the fire an experimental diagnostics of failures and tests of materials of the steel structure damaged by fire effects have been carried out. Results are presented in this paper.

Kľúčové slová: ocelová konštrukcia, požiar, diagnostika, experiment, statická skúška v ťahu

Keywords: steel structure, fire, diagnostics, experiment, tensile test

1. Úvod

Príspevok je zameraný na aplikáciu relevantných metód pre diagnostiku a experimentálne overenie aktuálneho stavu nosnej ocelovej konštrukcie halového objektu poškodeného účinkami požiaru. Požiar s teplotou nad 1000°C a dĺžkou trvania cca do 1 hod. sa rozšíril po celej výške objektu, teda dosiahol úroveň strešnej konštrukcie vo výške 23,70 m a pôsobil na ňu cca 20 min.

Poznanie aktuálneho stavu nosnej ocelevej konštrukcie objektu a relevantných fyzikálno-mechanických charakteristík ocele je potrebné pre statický posudok požiarom zasiahnutej konštrukcie a následný návrh sanačných opatrení.

2. Navrhovanie ocelových konštrukcií na účinky požiaru

Požiarne odolnosť stavebných objektov s nosnou oceľovou konštrukciou môže byť zvýšená niekoľkými spôsobmi: ochrannými požiarovými nátermi, aplikáciou kombinovaných oceľovo-betónových prvkov, zväčšením prierezu alebo použitím ocelí odolných proti požiaru.

2.1. Požiarne odolnosť ocelových konštrukcií

Požiarne odolnosť ocelových konštrukcií sa určuje podľa STN EN 1993-1-2 [2] a súvisiacich noriem a predpisov a vyjadruje sa časom, počas ktorého je garantované zachovanie stability a únosnosti konštrukcie. Počas požiaru dochádza k intenzívnemu zohriatiu oceľového konštrukčného prvku a tým k poklesu jeho pevnostných charakteristík, najmä medze klzu, medze pevnosti a tiež Youngovho modulu. Ak je pokles medze klzu v dôsledku požiaru vysoký, to znamená, že jeho hodnota je menšia ako okamžité pracovné napätie, tak sa konštrukčný prvok zdeformuje, alebo poruší. Teplota pri ktorej dochádza k deformáciám, resp. k porušeniu, je kritickou teplotou, ktorá sa dosahuje pri bežných typoch konštrukčných ocelí pri teplote cca 550 °C, ale môže byť aj iná, v závislosti od dimenzií konštrukčného prvku. Pri uvedenej teplote si ocel zachová len asi 60 % hodnoty pôvodnej medze klzu, v porovnaní s bežnou teplotou.

Pre výpočet odolnosti konštrukcií vystavených účinkom požiaru sú v [2] definované jednotlivé materiálové charakteristiky ($X_{d,fi}$):

$$X_{d,fi} = \frac{k_{\theta} \cdot X_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (1)$$

kde X_k je príslušná materiálová charakteristika pri bežnej teplote, k_{θ} je redukčný faktor platný pre túto charakteristiku a teplotu materiálu pri požiaru a $\gamma_{M,fi}$ je faktor bezpečnosti pre danú materiálovú charakteristiku a požiarne situáciu.

Pre jednotlivé pevnostné charakteristiky pri zvýšených teplotách sú v [2] k dispozícii redukčné faktory, ktoré charakterizujú pokles príslušnej materiálovej charakteristiky:

- redukčný faktor pre medzu klzu:

$$k_{y,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{f_y} \quad (2)$$

- redukčný faktor pre medzu úmernosti:

$$k_{p,\theta} = \frac{f_{p,\theta}}{f_p} \quad (3)$$

- redukčný faktor pre Youngov modul:

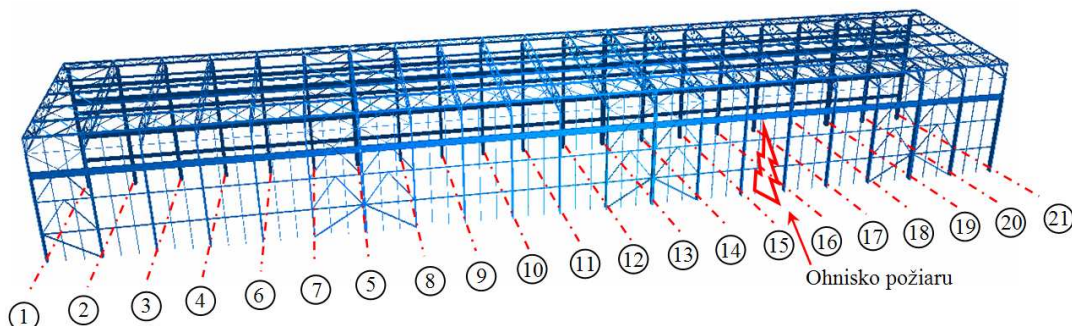
$$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a} \quad (3)$$

Hodnoty uvedených súčiniteľov sú uvedené v tab. 3.1 normy [2], a sú platné pre nízko uhlíkovú konštrukčnú oceľ. Uvedené parametre predstavujú tiež minimálny rozsah skúšanej a preukázanej vlastnosti, ktorú musí každý nový materiál spĺňať, aby mohol byť včlenený do skupiny konštrukčných ocelí so zvýšenou odolnosťou proti požiaru.

V norme [2] sa uvádzajú dve skupiny materiálov, to znamená uhlíková konštrukčná oceľ a tri značky austenitických ocelí. V norme uvedená uhlíková konštrukčná oceľ P 235 (S 235) je oceľ s minimálnou medzou klzu 235 MPa, čo spôsobuje, že výpočty môžu byť konzervatívne a ignorujú rôzne - zvýšené materiálové charakteristiky a pevnostné úrovne ocelí. Napríklad oceľ P 235 (S 235) s charakteristickou medzou klzu 235 MPa pri bežnej teplote, môže dosiahnuť (vo všeobecnosti aj dosahuje) až hodnotu cca 300 MPa (aktuálna medza klzu použitého materiálu). Uvedené zvýšenie pevnosti môže spôsobiť zvýšenie kritickej teploty až o 75 °C.

Charakteristika objektu

Predmetný halový objekt bol postavený a daný do užívania pred 45 rokmi, teda pri predpokladanej životnosti cca 70 rokov, sa hala nachádza približne v polovici svojej životnosti. Nosný systém haly je tvorený kombináciou oceľových zvarovaných stĺpov z profilov I-1100 s výstuhami na jednej strane objektu a ŽB stĺpmi na strane druhej. Hlavný nosník žeriavovej dráhy tvorí oceľový zvarovaný profil I-1200. Nosnú konštrukciu zastrešenia tvoria oceľové priehradové väzníky (obr. 1), [1]. Po obhliadke objektu a porovnaní s projektovou dokumentáciou bolo možné konštatovať, že počas užívania objektu neboli realizované zmeny, ktoré by významne zmenili statickú schému objektu oproti pôvodnému návrhu. Technický stav konštrukcie zodpovedá dĺžke používania a miere vykonávanej údržbe.



Obr. 1.: Model nosného systému haly s vyznačenými osami jednotlivých polí a ohniskom požiaru

3. Diagnostika nosnej ocelevej konštrukcie poškodenej požiarom

Pri obhliadke ocelevej konštrukcie budovy (obr. 1) boli zistené viaceré rozsiahle poškodenia a poruchy [3]. V danom prípade sú uvedené niektoré relevantné skutočnosti, ktoré boli významné pre potreby statického posúdenia objektu:

- nosné stĺpy a priečniky pre uchytyvanie opláštenia haly medzi osami 14-15, 15-16 a 16-17 sú zdeformované (obr. 2);



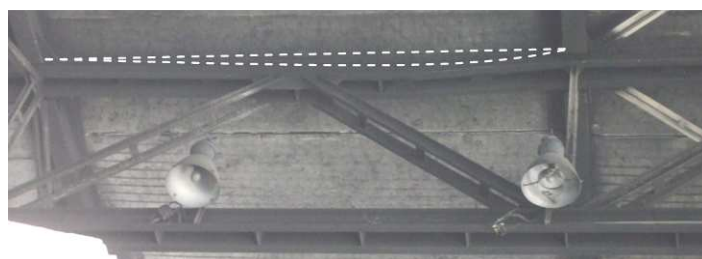
Obr. 2.: Zdeformované stĺpy a priečniky na uchytyvanie opláštenia haly

▪ boli poškodené vetrové stužidlá (brzdne stužidlá), t.j. boli zaznamenané deformácie pozdĺžnych vertikálnych stužidiel nielen nad ohniskom požiaru, ale aj v poliach priamo nezasiahnutých požiarom (obr. 3);



Obr. 3.: Zdeformované pozdĺžne vertikálne strešné diagonálne stužidlá haly

▪ plastické deformácie horných pásov väzníkov v osi 15 a 16 a ich priestorové vybočenie, teda posuny v horizontálnom smere (cca 200 mm) (obr. 4);



Obr. 4.: Zdeformovaný horný pás väzníka (nad ohniskom požiaru)

▪ v spodných pásoch väzníkov v osiach 15 a 16 boli lokálne plastické deformácie prierezov pri podperách (pri oceľových stĺpoch) (obr. 5);



Obr. 5.: Zdeformovaný dolný pás väzníka (nad ohniskom požiaru)

▪ na nosných stĺpoch žeriavovej dráhy neboli pozorované deformácie, až na stĺp v osi 16, kde bola vydutá stena (cca 50 mm) na dĺžke 1500 mm.

4. Experimentálne vyšetovanie „in situ“ a „in labo“

Na zistenie miery poškodenia nosnej ocelevej konštrukcie stavebného objektu bolo realizované nedeštruktívne vyšetovanie „in situ“ a deštruktívne skúšky „in situ“ a „in labo“:

- zisťovanie mechanických vlastností materiálu nosnej ocelevej konštrukcie stavebného objektu, to znamená, že boli odobraté vzorky z vybraných prvkov ocelevej konštrukcie (stĺpy, strešná konštrukcia a nosníky žeriavovej dráhy);

- magnetodefektoskopická kontrola zvarov;
- meranie hrúbok prierezov vybraných prvkov ocelevej konštrukcie;
- geodetické meranie pretvorenia oceleových strešných priehradových väzníkov a meranie deformácie osi koľajnice žeriavovej dráhy.

4.1. Zisťovanie mechanických vlastností materiálu nosnej ocelevej konštrukcie

Na zistenie mechanických vlastností materiálu nosnej ocelevej konštrukcie stavebného objektu boli odobraté z vybraných prvkov ocelevej konštrukcie vzorky ocele, ktoré boli následne skúšané v akreditovaných skúšobniach a laboratóriách.

Na porovnanie mechanických vlastností materiálov vybraných prvkov ocelevej konštrukcie sa odobrili vzorky:

- z oblasti priamo zasiahnutej požiarom (v ohnisku) – medzi osami 15-16;
- z oblasti nepriamo zasiahnutej požiarom (v blízkosti ohniska) – medzi osami 13-14-15;
- z oblasti nezasiahutej požiarom (mimo ohniska) – medzi osami 1 až 13.

Odoberanie vzoriek sa realizovalo:

1.) zo stĺpov ocelevej nosnej konštrukcie objektu bolo odobratých:

- 5 vzoriek z pásnic (označené „1“, „6“, „7“, „8“ a „9“);

- 4 vzorky z výstuh (označené „2“, „3“, „4“ a „5“).

Vzorka „1“ – stĺp v osi 16, vo výškovej úrovni cca 4,5 m;

Vzorka „2“ – stĺp v osi 16, vo výškovej úrovni cca 3 m;

Vzorka „3“ – stĺp v osi 15, vo výškovej úrovni cca 11 m;

Vzorka „4“ – stĺp v osi 14, vo výškovej úrovni cca 11 m;

Vzorka „5“ – stĺp v osi 13, vo výškovej úrovni cca 11 m;

Vzorka „6“ – stĺp v osi 14, vo výškovej úrovni cca 10 m;

Vzorka „7“ – stĺp v osi 15, vo výškovej úrovni cca 10 m;

Vzorka „8“ – stĺp v osi 6, vo výškovej úrovni cca 10 m;

Vzorka „9“ – stĺp v osi 16, vo výškovej úrovni cca 10 m.

2.) z oceleového nosníka žeriavovej dráhy boli odobraté:

- 4 vzorky z výstuh (označené „Z1“, „Z2“, „Z3“ a „Z4“).

Vzorka „Z1“ – medzi osami 15-16, vo výškovej úrovni 16,74 m (spodná hrana výstuhu nosníka žeriavovej dráhy);

Vzorka „Z2“ – medzi osami 15-16, vo výškovej úrovni 16,74 m (spodná hrana výstuhu nosníka žeriavovej dráhy);

Vzorka „Z3“ – medzi osami 11-12, vo výškovej úrovni 16,74 m (spodná hrana výstuhu nosníka žeriavovej dráhy);

Vzorka „Z4“ – medzi osami 10-11, vo výškovej úrovni 16,74 m (spodná hrana výstuhu nosníka žeriavovej dráhy).

3.) z oceleovej konštrukcie strechy boli odobraté:

- 3 vzorky z horizontálneho strešného stužidla (označené „A“, „B“ a „C“).

Vzorka „A“ – medzi osami 15-16, vo výškovej úrovni 23,7 m;

Vzorka „B“ – medzi osami 14-15, vo výškovej úrovni 23,7 m;

Vzorka „C“ – medzi osami 7-8, vo výškovej úrovni 23,7 m.

Na vzorkách sa vykonala:

- statická skúška ťahom s určením medze klzu f_y , medze pevnosti f_u , ťažnosti A_5 a kontrakcie Z ;

- na vybraných vzorkách bol stanovený modul pružnosti v ťahu E ;

- na vybraných vzorkách sa realizovala skúška vrubovej húževnatosti.

Na skúšky sa použili 3 kusy skúšobných telies pre jednu vzorku. Postupným delením vzoriek a štandardným postupom obrábania boli vyrobené normalizované skúšobné telesá na statickú skúšku v ťahu:

a) ploché skúšobné telesá s hrúbkou totožnou s hrúbkou profilu zo vzoriek:

„2“, „3“, „4“, „5“, „Z1“, „Z2“, „Z3“, „Z4“, „A“, „B“ a „C“;

$L_0 = 90\text{mm}$ tak, aby sa dala stanoviť ťažnosť A_5 ;

šírka telesa: $b_0 = 25\text{mm}$ (vzorky „2“, „3“, „4“, „5“, „Z1“, „Z2“, „Z3“ a „Z4“);

$b_0 = 22\text{mm}$ (vzorky „A“, „B“ a „C“).

b) valcové skúšobné telesá so závitovou hlavou $M16$, $d_0 = 10\text{mm}$, $L_0 = 60\text{mm}$.

Skúšobné telesá boli odobraté zo vzoriek takým spôsobom, že boli rovnobežné s dlhším rozmerom (dĺžkou) dodaných vzoriek, resp. boli odobraté v smere dĺžky L -profilu.

Statická skúška v ťahu bola robená normovaným spôsobom na trhacom stroji ZWICK 1387 – Hegewald & Peschke, Meß- und Prüftechnik GmbH (inspekt retrofit), Nossen. Na meranie modulu pružnosti E bol použitý špeciálny vysoko presný snímač deformácie ZWICK 7852. Ovládanie a vyhodnocovanie skúšky bolo realizované pomocou softvéru Labmaster.

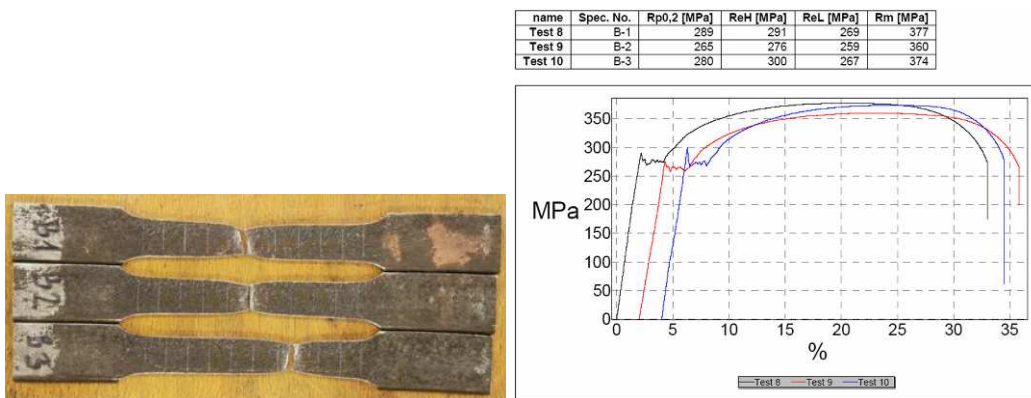
Skúšobné telesá na skúšku vrubovej húževnatosti s vrubom V (Charpy V , hl. 2 mm) boli odobraté a vyrobené v rovnakom smere ako telesá na skúšku v ťahu. Orientácia vrubu a skúšobného telesa bola $L-T$ podľa *ASTM* odporúčenia na označovanie (os vrubu pri všetkých telesách bola orientovaná kolmo na povrch vzorky). Skúška vrubovej húževnatosti sa realizovala pri teplote okolia cca 20 °C na kyvadlovom kladive *PS 30*.

4.2. Výsledky statickej skúšky v ťahu a vrubovej húževnatosti

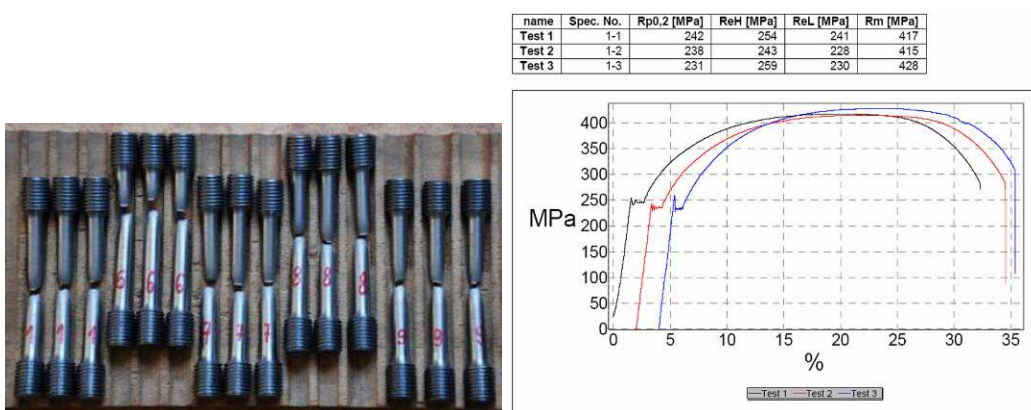
Ťahové diagramy všetkých odskúšaných telies sú uvedené v skúšobných protokoloch. Program Labmaster počíta vždy všetky hodnoty medze klzu, teda v tabuľke každého protokolu sú uvedené hodnoty medze klzu $f_{y0,2}$, hornej medze klzu f_{yH} , dolnej medze klzu f_{yL} a hodnota medze pevnosti f_u .

Niektoré roztrhnuté skúšobné telesá a ťahové diagramy z protokolov o ťahovej skúške sú uvedené na obr. 6, obr. 7 a obr. 8.

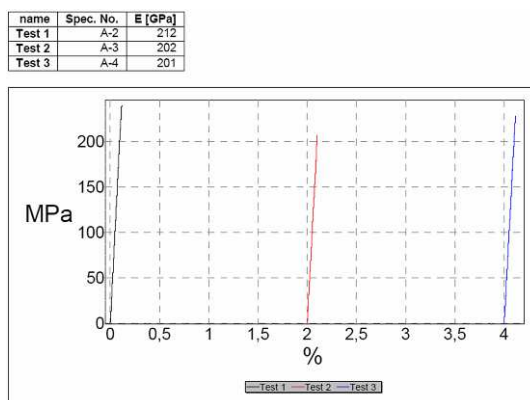
Charakter lomov jednotlivých skúšobných telies odpovedá ich stanoveným mechanickým vlastnostiam, nevyskytli sa žiadne anomálie. Ťahové diagramy odpovedajú nespevnenej nízkouhlíkovej konštrukčnej oceli používanej na zvárané konštrukcie.



Obr. 6.: Ploché skúšobné telesá (vzorka „B“, skúšobné telesá „1“, „2“ a „3“) a ťahový diagram - vzorka „B“ ($R_{p0,2} \rightarrow f_{y0,2}$, $R_{eH} \rightarrow f_{yH}$, $R_{eL} \rightarrow f_{yL}$, $R_m \rightarrow f_u$)



Obr. 7.: Valcové skúšobné telesá (vzorky „1“, „6“, „7“, „8“ a „9“, skúšobné telesá „1“, „2“ a „3“) a ťahový diagram - vzorka „1“ ($R_{p0,2} \rightarrow f_{y0,2}$, $R_{eH} \rightarrow f_{yH}$, $R_{eL} \rightarrow f_{yL}$, $R_m \rightarrow f_u$)



Obr. 8.: Ťahový diagram pre stanovenie modulu pružnosti v ťahu E - vzorka „A“

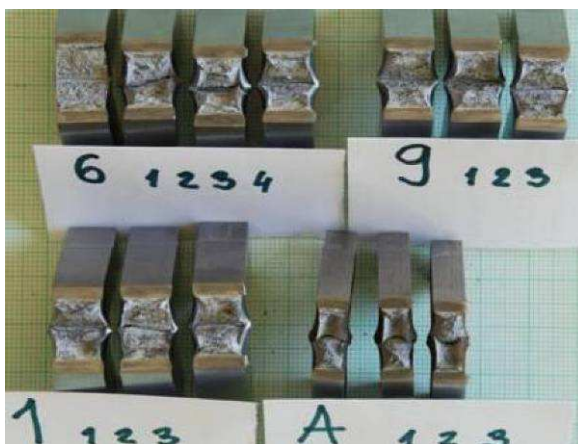
Priemerné hodnoty výsledkov zo statickej skúšky ťahom pre všetky skúšané telesá sú uvedené v tabuľke. 1.

Tabuľka 1.: Výsledky ťahovej skúšky – priemerné hodnoty (f_y – medza klzu, f_u – medza pevnosti, A_5 – ťažnosť, Z – kontrakcia, E – modul pružnosti v ťahu)

vzorka	f_y [MPa]	f_u [MPa]	A_5 [%]	Z [%]	E [GPa]
1	252,0	420,0	36,0	67,0	–
2	292	424	29,7	57,2	–
3	253,5	429,3	31,9	59,0	–
4	274	415	35,7	55,1	–
5	289	424	29,7	53,1	–
6	254	417	29,0	69,0	–
7	243	415	36,1	67,3	–
8	247	407	36,8	69,7	–
9	244	423	36,1	64,9	–
Z1	239	393	33,3	60,4	–
Z2	265	391	31,7	56,1	–
Z3	260	408	34,8	59,0	–
Z4	305	443	24,4	51,4	–
A	281	365	34,7	55,2	205
B	289	370	36,2	61,5	–
C	283	353	33,0	57,4	204

4.3. Výsledky skúšky vrubovej húževnatosti

Lomy odskúšaných telies pri skúške vrubovej húževnatosti (skúška rázom v ohybe) sú na obr. 9.



Obr. 9.: Zlomené telesá zo skúšky vrubovej húževnatosti (skúška rázom v ohybe)

Výsledky skúšky sú uvedené v tabuľke. 2.

Tabuľka 2.: Výsledky skúšky vrubovej húževnatosti – V-vrub (b – šírkový rozmer vzorky, h – výškový rozmer vzorky, S_0 – prierezová plocha vzorky, K – rázová práca, KCV – vrubová húževnatosť)

vzorka	b [mm]	h [mm]	S_0 [cm ²]	K [J]	KCV [Jcm ⁻²]	priemer
1-1	10,02	8,53	0,85	142,0	166	159
1-2	10,01	8,34	0,83	116,0	139	
1-3	10,04	8,05	0,81	138,0	171	
6-1	10,02	8,15	0,82	59,5	73	176
6-2	9,99	8,04	0,80	186,5	232	
6-3	10,00	8,06	0,81	179,0	222	
6-4	10,00	8,00	0,80	140,0	175	
9-1	10,01	7,99	0,80	131,0	164	170
9-2	9,99	7,98	0,80	145,5	183	
9-3	10,00	8,04	0,80	132,0	164	
A-1	6,53	8,01	0,52	81,5	156	154
A-2	6,54	8,97	0,52	80,0	153	
A-3	6,53	8,02	0,52	80,0	153	

Pretože vrubová húževnatosť KCV telesa „6.1“ bola cca 1/3 z ostatných dvoch hodnôt (73/232; 222, tabuľka 2) a aj jeho lom bol krehkejší, vyrobilo a odskúšalo sa ďalšie teleso „6.4“. Získaná hodnota z tohto telesa je blízka priemernej hodnote zo všetkých telies vzorky „6“. Na tejto vzorke bolo uskutočnené aj meranie tvrdosti, ktoré potvrdilo heterogenitu vlastností tejto

vzorky. Hodnoty tvrdosti $HV1$ merané na priečnom reze vzorky „6“ sa pohybovali v rozsahu $HV1 = 134$ až 186 . Nižšia nameraná hodnota vrubovej húževnatosti nie je v tomto prípade z hľadiska odolnosti proti krehkému lomu nebezpečná

4.4. Výsledky geodetických meraní

Priebežné geodetické merania vybraných bodov horných a dolných pásov priehradových strešných väzníkov v osiach 15 a 16 ukázali na progresívny nárast posunov (deformácií) v horizontálnom priečnom smere v priebehu štyroch dní. V mieste horného zdeformovaného pásu (väzník v osi 16) predstavoval prírastok horizontálneho posunu cca 35 mm. V strede rozpätia dolného pásu väzníka v osi 15 predstavoval prírastok horizontálneho posunu cca 70 mm [4].

4.5. Výsledky magnetodefektoskopickej kontroly zvarov

Magnetodefektoskopická kontrola zvarov dolného a horného pásu väzníka v osi 15 a 16, na stĺpe v osi 16 a nosníka žeriavovej dráhy medzi osami 15-16 potvrdila, že zvary nie sú porušené [4].

4.6. Výsledky merania hrúbok vybraných prvkov ocelevej konštrukcie

Meraním hrúbok kovov vybraných prierezov prvkov neboli zistené výrazné odchýlky od hodnôt uvedených v projektovej dokumentácii [4].

5. Diskusia k získaným výsledkom

Na základe obhliadky, prieskumu a diagnostiky nosnej ocelevej konštrukcie haly, vykonaných skúšok na odobraných vzorkách (skúška ťahom, skúška rázom v ohybe), kontroly zvarov, merania hrúbok a geodetických meraní je možné konštatovať nasledujúce skutočnosti:

- výsledky ťahových skúšok vzoriek materiálu (ocele) odobratých zo stĺpov v mieste požiaru (v osi 15 a 16), v miestach v blízkosti požiaru (v osi 13 a 14) a v miestach vzdialených od požiaru (v osi 6) nepreukázali zmeny v mechanických vlastnostiach ocele, teda získané priemerné hodnoty: medza klzu, medza pevnosti, ťažnosť a modul pružnosti sú v prípustných toleranciách a nevykazujú výrazný pokles v dôsledku ovplyvnenia zvýšenou teplotou pri požiaru;

- výsledky ťahových skúšok vzoriek materiálu (ocele) odobratých zo strešných horizontálnych stužidiel v mieste požiaru (medzi osami 16-15), v miestach v blízkosti požiaru (medzi osami 14-15) vykazujú v priemere do

10 % pokles mechanických vlastností ocele v porovnaní s vlastnosťami vzoriek v miestach vzdialených od požiaru (medzi osami 7-8);

- výsledky ťahových skúšok vzoriek materiálu (oceli) odobratých z priečnych výstuh nosníka žeriavovej dráhy v mieste požiaru (medzi osami 15-16) vykazujú v priemere do 10 % pokles mechanických vlastností ocele v porovnaní s vlastnosťami vzoriek v miestach vzdialených od požiaru (medzi osami 10-11 a 11-12);

- výsledky skúšok vrubovej húževnatosti vzoriek ocele odobratých zo stĺpa v mieste požiaru (os 16) nepreukázali pokles húževnatosti;

- výsledky skúšok vrubovej húževnatosti vzorky ocele odobratej zo strešného horizontálneho stužidla v mieste požiaru (medzi osami 15-16) nepreukázali pokles húževnatosti;

- magnetodefektoskopická kontrola zvarov dolného a horného pásu väzníka v osi 15 a 16, na stĺpe v osi 16 a nosníka žeriavovej dráhy medzi osami 15-16 potvrdila, že zvary neboli porušené;

- meraním hrúbok kovov vybraných prierezov prvkov neboli zistené výrazné odchýlky od hodnôt uvedených v projektovej dokumentácii;

- priebežné geodetické merania vybraných bodov horných a dolných pásov priehradových strešných väzníkov v osiach 15 a 16 ukázali na progresívny nárast posunov (deformácií) v horizontálnom priečnom smere v priebehu štyroch dní, to znamená, že v mieste horného zdeformovaného pásu (väzník v osi 16) predstavoval prírastok horizontálneho posunu cca 35 mm a v strede rozpätia dolného pásu väzníka v osi 15 predstavoval prírastok horizontálneho posunu cca 70 mm;

- hlavný nosník žeriavovej dráhy nie je zdeformovaný (odklonenie priamosti osi koľajníc, ktoré boli získané meraním bolo kompenzované pomocou rektifikácie).

6. Záver

V súčasnej dobe existuje rozsiahly veľmi sofistikovaný výpočtový aparát pre statickú analýzu konštrukcií. Jednoduchšia situácia je v prípade analýzy a navrhovania nových konštrukcií, kde na základe normatívnych postupov možno vystihnúť reálne správanie konkrétnej konštrukcie a uskutočniť posúdenie jej spoľahlivosti s vysokou mierou presnosti a s dostatočne vysokou mierou pravdepodobnosti predpovede. Rozdielny, často komplikovanejší a obtiažnejší prípad predstavuje analýza a posúdenie spoľahlivosti už existujúcej nosnej konštrukcie, ktorá prešla možným degradačným procesom, resp. bola zaťažená mimoriadnou situáciou.

Základným predpokladom realistického statického zhodnotenia stavebného objektu poškodeného požiarom je poznanie fyzikálno-mechanických

vlastností materiálov jednotlivých prvkov konštrukcie a ich vzájomného statického pôsobenia v nosnom systéme. Uvedené aktuálne parametre je potrebné implementovať do teoretického výpočtového modelu, aby bolo možné dosiahnuť optimálnu zhodu medzi reálnym správaním sa stavebnej konštrukcie a teoretickou odozvou jej statického výpočtového modelu.

Pri prieskume stavieb a diagnostike konštrukčných prvkov a stavebných objektov používajú inžinieri rôzne metódy, aby zistili potrebné skutočnosti a potvrdili svoje poznatky a predstavy o charaktere skúmaného prostredia, konštrukčného prvku, konštrukcie ako celku. Niekedy samotné experimentálne vyšetrenie a meranie nemusí objaviť defekt konštrukcie a následne objasniť skutočný stav, to znamená, že len komplexné vyhodnotenie experimentálnych výsledkov, prehliadky, prepočtov a ďalších hľadísk môže definovať reálny stav konštrukcie.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého projektu s registračným číslom 1/0400/2009 finančne podporeného VEGA MŠ SR a SAV a v rámci projektu Podpora Centra excelentného integrovaného výskumu progresívnych stavebných konštrukcií, materiálov a technológií, podporeného zo štrukturálnych fondov Európskej únie.

Literatúra

- [1] Projektová dokumentácia ocelevej konštrukcie, 1964
- [2] EN STN 1993-1-2: Eurokód 3: Navrhovanie oceľových konštrukcií, Časť 1-2: Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru, SÚTN, 2007
- [3] KMEŤ, S.; PEŠEK, L.; TOMKO, M.; DEMJAN, I.; ZUBKO, P.: Diagnostika, skúšky materiálu a posúdenie aktuálneho stavu nosnej ocelevej konštrukcie po požiaru, In: *New Trends in Static and Dynamics of Buildings*: Bratislava, Slovenská republika, 22.-23. október 2009, Bratislava: STU, 2009, in CD. ISBN 978-80-227-3170-6
- [4] Protokoly o skúškach:
 - Mechanické vlastnosti konštrukčných oceľí
 - Protokol o magnetodefektoskopickej kontrole zvarov
 - Meranie hrúbok vybraných prvkov ocelevej konštrukcie
 - Protokol z geodetického merania priehradových väzníkov v osi 15 a 16
 - Správa o výsledkoch z merania koľajníc žeriavovej dráhy

Kontakt

prof. Ing. Stanislav Kmeť, PhD., tel: 00421 55 602 4290, e-mail: stanislav.kmet'@tuke.sk, Ústav inžinierskeho staviteľstva, SvF TU v Košiciach, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, SR

doc. Ing. Michal Tomko, PhD., tel: 00421 55 602 4249, e-mail: michal.tomko@tuke.sk, Ústav inžinierskeho staviteľstva, SvF TU v Košiciach, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, SR

Ing. Ivo Demjan, PhD., tel: 00421 55 602 4249, e-mail: ivo.demjan@tuke.sk, Ústav inžinierskeho staviteľstva, SvF TU v Košiciach, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, SR

PROTIKOROZNÍ OCHRANA KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ VE STAVEBNICTVÍ

CORROSION PROTECTION OF STEEL STRUCTURES IN CIVIL ENGINEERING

Lubomír Mindoš, Kateřina Kreislová, Hana Geiplová

SVÚOM s.r.o., Praha

Anotace:

Vhodná protikorozní ochrana je tvořena řadou opatření, od výběru konstrukčních materiálů, přes vhodnou úpravu povrchu až k aplikaci dostatečně účinné povrchové úpravy. Posouzení korozní agresivity ve specifických provozních podmínkách je základním kritériem pro volbu protikorozních opatření. Kontrola kvality každého technologického kroku je podmínkou pro dosažení dlouhodobé životnosti ocelové konstrukce v daných provozních podmínkách.

Annotation:

The suitable corrosion protection is covered by few measures from the choice of structure materials, through surface preliminary treatment to the application of effective final treatments. The determination of atmospheric corrosivity in specific service conditions is basic criterium for corrosion protection choice. The control of quality of each technological step is requirement for achievement of long-term durability of steel structure in given service conditions.

Klíčová slova: protikorozní ochrana, korozní agresivita, konstrukční materiál, povrchové úpravy, kontrola kvality

Keywords: corrosion protection, corrosivity, structure materials, surface treatments, quality control

1. Základní opatření protikorozi ochrany

Pod pojmem předpokládaná životnost je třeba rozumět dobu od začátku užívání stavby až do doby, kdy působením přiměřených vnějších podmínek ztratí stavba schopnost plnit svou funkci. Je jedním z parametrů, který je možné charakterizovat spolehlivost stavebního díla. Předpokládaná životnost staveb závisí na jejich konstrukčním řešení, použitých stavebních materiálech a technologiích. Určení limitujících hledisek pro stanovení předpokládané životnosti staveb proto ve značné míře závisí na předpokládané životnosti konstrukčních prvků.

Nejzávažnější problémy se selháním předpokládané životnosti protikorozi ochrany vznikají nepřesným určením korozní agresivity ve specifických mikroklimatech [1, 2], a tedy výrazně vyšší korozní rychlosti materiálů a povrchových úprav, nebo v důsledku nevhodného konstrukčního řešení, které také významně zvyšuje korozní namáhání. Velmi často jsou takovými místy kotvení konstrukcí a/nebo spojování různých prvků a materiálů, kdy je nutné vždy vzít v úvahu vznik bimetalické koroze.



Obr. 1.: Příklady nevhodného konstrukčního a materiálového řešení

Kvalita stavby se dá hodnotit podle kvality prvků dlouhodobé životnosti (nosné prvky), ale i podle kvality prvků krátkodobé životnosti (např. spojovací prvky). Vliv prvků krátkodobé životnosti se může projevit v sekundárním znehodnocení hlavních nosných konstrukčních prvků a následně ve snížení životnosti celé stavby.

2. Kvalita konstrukčních materiálů

2.1. Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli patří mezi konstrukční materiály a i spojovací materiály s vysokou korozní odolností. Korozní odolnost těchto druhů ocelí je podmíněna pasivní vrstvou na povrchu. Skupina korozivzdorných ocelí zahrnuje cca 180 typů ocelí, které lze na základě obsahu legujících prvků rozdělit do několika skupin: chromové, chromniklové, manganové a manganchromniklové oceli. Další dělení korozivzdorných ocelí vychází z jejich struktury: austenitické, martenzitické, feritické a austeniticko-feritické (duplexní) oceli.

V posledních letech se rozšířilo použití základní austenitické oceli typu 18% Cr a 10% Ni jako esteticky vhodného materiálu pro různé architektonické aplikace. Z korozního hlediska patří tato ocel mezi korozivzdorné ocele s nejnižší korozní odolností a mohou se u tohoto materiálu projevit esteticky nepřijatelné defekty. Korozní rychlost oceli je v běžném atmosférickém prostředí bez znečištění chloridy velmi nízká a životnost materiálu se pohybuje v řádu stalet. Korozní napadení se může projevit v konstrukčně ovlivněných místech, kde dojde k porušení samovolně vznikající ochranné pasivní vrstvičky, jako jsou šterbiny, okolí svarů a šroubovaných nebo nýtovaných spojů, apod. [3]. V případě, že je požadována vyšší korozní odolnost je obvykle používána korozivzdorná ocel legovaná molybdenem – obvyklé použití pro dopravní infrastrukturu, bazény, apod. Základní typy této korozivzdorné oceli obsahují 2,0 – 2,5 % Mo.

V posledních 2 až 3 letech se lze stále častěji setkat s tím, že kvalita oceli z hlediska chemického složení neodpovídá normovaným hodnotám. Z testovaných 8 vzorků měl normované složení pouze jeden materiál (Tabulka 1). Dodací listy korozivzdorných ocelí uvádějí složení, které ale ve skutečnosti materiál nemá. U oceli 316 byly zjištěny žádné nebo nedostatečné koncentrace molybdenu, u oceli 304 pak nízké koncentrace niklu a ojedinele i chromu.

Tabulka 1.: Složení hodnocených vzorků korozivzdorných ocelí

vzorek	materiálové číslo	Cr	Ni	Mn	Mo	vyhovuje
příložka	304	19,03	7,32	1,34	0,18	NE
U profil	304	19,30	7,47	1,30	0,19	NE
plech	316L	14,10	11,80	1,20	-	NE
matka M10	316L	17,82	10,23	1,94	2,27	ANO
šroub M10	316L	17,52	10,45	1,26	1,86	NE
podložka	316L	19,17	7,44	1,37	-	NE
trubka	316Ti	16,70	10,35	1,72	1,27	NE
tyčovina	316Ti	17,06	9,92	1,05	1,02	NE

2.2. Nízkolegovaná ocel se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi

Patinující oceli se pro realizaci různých typů venkovních nosných konstrukcí ve stavu bez protikorozní povrchové ochrany používají ve světě (USA, Japonsko, Německo, Francie aj.) i v České republice již asi 40 let [4-6]. Tento typ oceli (patinující ocel, Atmosfix, Corten, apod.) se používá jak pro rozsáhlé konstrukce (mosty, stožáry), tak i jako opláštění objektů. Patinující ocel je charakterizována schopností vytvořit na svém povrchu za vhodných atmosférických podmínek, především při dlouhodobě se opakujících cyklech smáčení a vysychání, souvislou, přilnavou a velmi nepropustnou vrstvu rzi-patiny. Tato patina velmi účinně brzdí další korozní proces, takže korozní rychlost dosahuje technicky přijatelných hodnot.

Použití patinujících ocelí je ekonomickým i ekologickým řešením pro některé typy ocelových konstrukcí s dobrými předpoklady pro dlouhodobou životnost, ale tyto konstrukce stejně jako jiné vyžadují pravidelné kontroly a údržbu, především doplňujících konstrukčních prvků, které jsou často zhotoveny z jiných materiálů [7, 8].



Obr. 2.: Příklady použití patinujících ocelí

2.3. Hliníkové slitiny

Hliníkové materiály se používají jako materiál pro obklady budova a klempířské prvky (plechy, pásy), konstrukční materiál pro řadu stavebních prvků (rámy oken, rámy solárních panelů, apod.) a dopravních prostředků (železničních vozů), nebo jako materiál součástí - odlitků - pro celou řadu konečných výrobků.

Hliník a hliníkové slitiny mají relativně dobrou odolnost v atmosférických podmínkách, ale při dlouhodobé expozici i u těchto materiálů dojde ke koroznímu napadení. V atmosférických prostředích koroduje hliník a jeho slitiny přednostně rovnoměrnou korozi, ale v některých podmínkách jsou hliník a jeho slitiny náchylné k nerovnoměrným typům korozního napadení.

Významnou úlohu při korozi hliníku má způsob spojování, které musí být provedeno tak, aby nevznikly spáry a štěrbiny. V případě, že nelze prvek konstrukčně vyřešit tak, aby nevznikaly spáry a štěrbiny, je nutné počítat s nižší předpokládanou životností, vhodná by byla vyšší frekvence kontrol nebo předepsat zvýšené nároky na protikorozní ochranu a častější údržbu.

Vzhledem k elektrochemickému koroznímu potenciálu hliníku je styk s řadou kovů příčinou bimetalické koroze – např. styk hliníkových slitin s korozivzdornou nebo uhlíkovou ocelí.

3. Kvalita povrchových úprav - povlaků

Povrchové úpravy ve formě kovových, anorganických nebo organických povlaků se používají pro celou řadu konstrukcí nebo spojovacích prvků.

V současné době kladené požadavky na protikorozní ochranu ocelových konstrukcí jsou spojeny s dlouhodobou životností. Jedním ze způsobů zajištění tohoto požadavku je použití kombinovaných povlaků (kovové a organické povlaky, tzv. duplexních povlaků), použití nátěrových systémů se základními nátěry, které využívají inhibičních vlastností různých sloučenin, případně nátěrových systémů o vysoké tloušťce. Životnost kovových povlaků nebo jejich slitin je možné poměrně přesně určit. Složitější situace nastávají při hodnocení životnosti organických povlaků. Na životnost nátěrových systémů má významný vliv nejen základní formulace nátěrové hmoty, ale také expoziční podmínky, konstrukční uspořádání, čistota povrchu, na něž se aplikuje nátěr, aplikační technika a technologické podmínky při jejich aplikaci, atd.. Samotná ochranná účinnost nátěrových systémů se ověřuje řadou urychlených laboratorních zkoušek, avšak interpretace jejich výsledků do reálných podmínek pro přesnou predikci životnosti je značně obtížná.



Obr. 3.: Příklady povrchových úprav ocelových konstrukcí

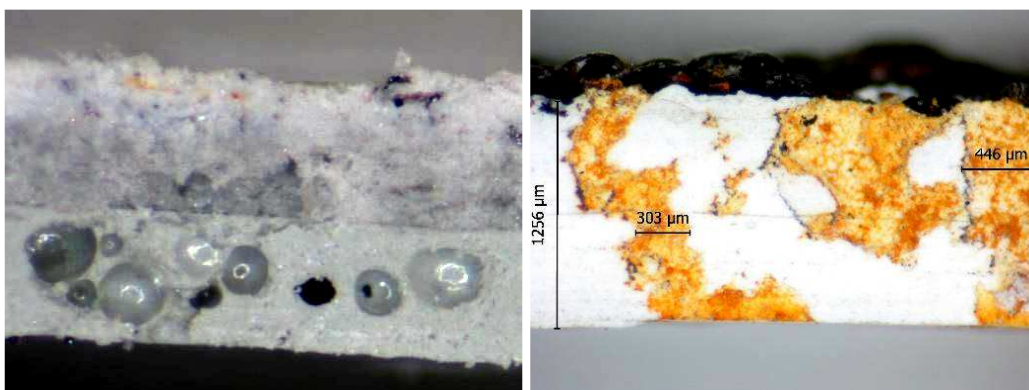
Při hodnocení kvality povlaků zhotovených na konstrukcích exponovaných v reálných provozních a klimatických podmínkách často nastává situace, kdy je velmi problematické stanovit příčinu urychlené degradace povlaku, např. praskáním, delaminací, a následně korozního napadení podkladového materiálu. Obvykle se u nátěrových systémů hodnotí jejich fyzikální a ochranné vlastnosti.

Parametr tloušťky je základní veličinou, která se stanovuje velmi jednoznačně a má rozhodující význam pro celkovou životnost ochranných systémů a k selhání protikorozní ochrany většinou dochází právě v místech, kde je tloušťka nízká a nedostačující, přičemž právě ostré hrany a výstupky bývají prvotně napadány korozí. Přilnavost nátěru k chráněnému kovovému povrchu je jedním z nejvýznamnějších faktorů, které rozhodují o dlouhodobé životnosti a průběhu koroze na rozhraní nátěr-povrch kovu. Značný význam pro ochrannou účinnost a životnost nátěrů má také jejich přilnavost za mokra (wet adhesion), možnosti jejího ovlivnění a s tím související vznik a průběh delaminace nátěrů [8].



Obr.4: Korozní napadení na hranách

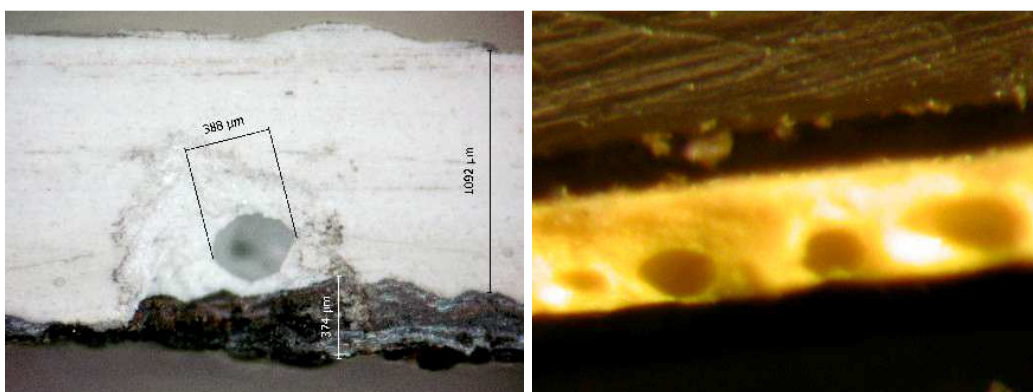
Důležitá je z pohledu dlouhodobé životnosti také celistvost povlaku. Na tuto veličinu má vliv celá řada faktorů. Formulační faktory, kdy je nutné dodržování objemových koncentrací pigmentů a plniv – tuto veličinu v žádném případě již nemůže ovlivnit uživatel a je plně v moci výrobců. Aplikační faktory, jsou již závislé na technologické kázni a na schopnostech aplikátora a je bezpodmínečně nutné, aby byly dodrženy všechny doporučené technologie. V některých podmínkách je téměř nemožné vytvořit povlak, který by byl celistvý, bez vnitřní pórezity, kterou proniká vlhkost a atmosférické znečištění k povrchu kovu.



Obr.5: Defekty v povlaku nátěrové hmoty v důsledku nedodržení aplikačních podmínek (50x zvětšeno)

Základní parametry používané pro hodnocení kvality aplikovaných nátěrových systémů – tloušťka povlaku a přílnavost povlaku – nemusí odhalit defekty v celistvosti povlaku, které se následně projeví a způsobí řadu defektů při expozici povlaků v provozních podmínkách. Z prováděných prací na

povlacích zhotovených z vysokosušivých epoxidových nátěrových hmot, které chrání pouze bariérovým mechanismem, se jeví jako jeden z nejdůležitějších parametrů permeabilita povlaku, neboť pokud pronikne vlhkost k podkladovému kovu, začíná nevratně degradace aplikovaného povlaku. Tento jev se ještě prohlubuje pokud jsou na povrchu přítomné různé nečistoty a zejména rozpustné sole.



Obr.6: Defekty v povlaku nátěrové hmoty v důsledku nedodržení aplikačních podmínek (50x zvětšeno)

4. Závěr

Korozní odolnost konstrukčních materiálů a povrchových protikorozních úprav je ovlivněna celou řadou faktorů a uživatelé by si jich měli být dobře vědomi, aby nedocházelo k snížení estetických i užitných hodnot těchto materiálů nevhodnou aplikací, konstrukčním řešením nebo zpracováním. Vliv kvality provedení konstrukčních prvků se projeví jako rozdíl mezi předpokládanou a technickou životností staveb v rozsahu +20 až -50 %.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci VZ MŠT 2579478701 „Výzkum metod ke zpřesnění predikce životnosti kovových materiálů a jejich ochranných vrstev s ohledem na vliv znečišťujících látek v prostředí“.

Literatura

- [1] KNOTKOVÁ, D., KREISLOVÁ, K., SKOŘEPOVÁ, I., Korozní agresivita atmosféry jako podklad pro odvození životnosti konstrukčních materiálů

- a povrchových úprav, In sborník X. konference OCELOVÉ KONSTRUKCE 2008, 29. – 30. 4. 2008, Karlova Studánka, ISBN 978-80-86604-37-4, p. 124-133
- [2] KREISLOVÁ K., KOUKALOVÁ, A., KNOTKOVÁ, D., Trendy korozní agresivity atmosféry a korozních úbytků uhlíkové oceli v atmosférických podmínkách, In Korozie a ochrana materiálů, ISSN 1804-1213, 54 (1), 2010, p. 3 – 6
- [3] KREISLOVÁ, K., GEIPLOVÁ, H., MINDOŠ, L., KOUKALOVÁ, A.: Protikorozní ochrana konstrukce mýtných bran v ČR, sborník přednášek 52. Medzinárodnej galvanickej konferencii, 15. - 16. 6. 2010, Kočovce, SR, ISBN 978-80-227-3315-1, p. 39-45
- [4] ROZLÍVKA, L.: Nosné konstrukce z patinujících a vysokopevnostních ocelí. In Technický zpravodaj Ocelové Konstrukce, 1988, roč. 24, č. 5, ISSN 0322-7871, p. 3-29,
- [5] ALBRECHT, P., NAEM, A. R.: Performance of weathering steel in bridges. Cooperative highway research program, Report 272, 1984.
- [6] KŘIVÝ, V., ROZLÍVKA, L., KREISLOVÁ, K.: Zkušenosti a poznatky z chování dlouhodobě exponovaných mostů z patinujících ocelí v České republice. In Sborník příspěvků 22. České a Slovenské konference Ocelové konstrukce a mosty 2009. Brno: CERM, 2009, ISBN 978-80-7204-635-5, p. 151-156
- [7] KREISLOVÁ, K. et al.: Vliv environmentálních a konstrukčních podmínek na korozní rychlost patinujících ocelí a tvorbu ochranné patiny. In Sborník příspěvků konference OCELOVÉ KONSTRUKCE 2010, 29. – 30. 4. 2010, Karlova Studánka, ISBN 978-80-86604-49-7, p. 37 - 45
- [8] NEGELE, O., FUNKEE, W.: Progress in Organic Coatings, 1996, 28, p. 285-289

Kontakt

Ing. Lubomír Mindoš, tel: 00420 220 801 506, e-mail: mindos@svuom.cz, SVÚOM s.r.o., U měšťanského pivovaru 934/4, 170 00 Praha.

Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D., tel: 00420 220 809 996, e-mail: kreislova@svuom.cz, SVÚOM s.r.o., U měšťanského pivovaru 934/4, 170 00 Praha.

Ing. Hana Geiplová, tel: 00420 220 801 297, e-mail: geiplova@svuom.cz, SVÚOM s.r.o., U měšťanského pivovaru 934/4, 170 00 Praha.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

SPŘAHOVACÍ TRNY MALÝCH PRŮMĚRŮ PRO OCELOBETONOVÉ KONSTRUKCE

WELDED STUDS OF SMALL DIAMETERS FOR COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES

Thi Huong Giang Nguyen, Josef Macháček

Fakulta stavební ČVUT v Praze,

Anotace:

Popisuje se výzkum vedoucí k rozšíření používání trnů s hlavou jako smykových zarážek podle Eurokódu ČSN EN 1994-1-1 (2006), který však omezuje průměr trnů na 16-25 mm. Témata článku jsou nové technologie a zařízení umožňující přivařování trnů malých průměrů, výsledky protlačovacích zkoušek s trny o průměrech 10 a 13 mm v betonu různé kvality. Výsledky mají formu návrhových charakteristik. Výstupy mohou mít zásadní význam ohledně dostupnosti smykového spojení pro ocelobetonové spřažené konstrukce, neboť spřahovací trny malých průměrů vyžadují malý svařovací proud a jišťení.

Annotation:

The investigation on enlargement of current restricted use of welded studs as shear connectors in accordance with Eurocode CSN EN 1994-1-1 (2006) which, limits the describes diameters of the studs to 16-25 mm. Topics of the paper are survey of new technologies for welding of small diameter studs, the experimental investigation commented with results of push-out tests having studs with 10 and 13 mm diameter and various quality of concrete part. The results have a form of design characteristics. They may have big impact on availability of shear connection in composite steel and concrete structures, as the headed studs of small diameters require welding devices with low electric input and protection.

Klíčová slova: smykové spojení, ocelobetonové spřažené konstrukce, trny malých průměrů

Keywords: shear connection, composite steel and concrete structures, small diameter studs

1. Úvod

Eurokód 4 [1] uvádí návrhové únosnosti přivařovaných trnů s hlavou pro sprážené konstrukce o průměru 16-25 mm. Předběžný Eurokód ENV 1994-1-1 omezoval vztahy na průměry do 22 mm a rozšíření do 25 mm umožnil rozsáhlý výzkum, který probíhá i s trny mnohem větších průměrů [2]. Přivařování trnů těchto průměrů [3] obvykle vyžaduje zvláštní vybavení staveniště, zejména s ohledem na svařovací proud (1800 A) a jištění (63 A). Současné kvalitní svařovací zdroje [4] pro přivařování zdvihovým zážehem (obloukem) jsou signalizovány LED diodami a svařovací čas displejem, mají nastavitelný svařovací čas, konstantní svařovací proud a parametry jsou optimalizovány pro daný rozsah průměrů trnů, včetně menších průměrů než předpokládá Eurokód. Např. zdroj LBH 910 lze použít do $\varnothing 14$ mm (MR 16), svařovací proud je do 1000 A, připojení 400/50 V/Hz a jištění 32 A. Vhodná svařovací pistole s označením PHM – 161 se svařovacím časem 5 - 990 msec používá zdokonalený mechanismus vyrovnávání délkových tolerancí a automatické nastavení zdvihu (obr. 1). Výkonnější je svařovací zdroj LBH 1400, vhodný pro trny do $\varnothing 16$ mm (MR 20), se svařovacím proudem až 1400 A a jištěním 63 A. Zdroje pro běžné trny větších rozměrů (do 25 mm) a odpovídající vhodné svařovací pistole lze nalézt na webové stránce dodavatele [4].



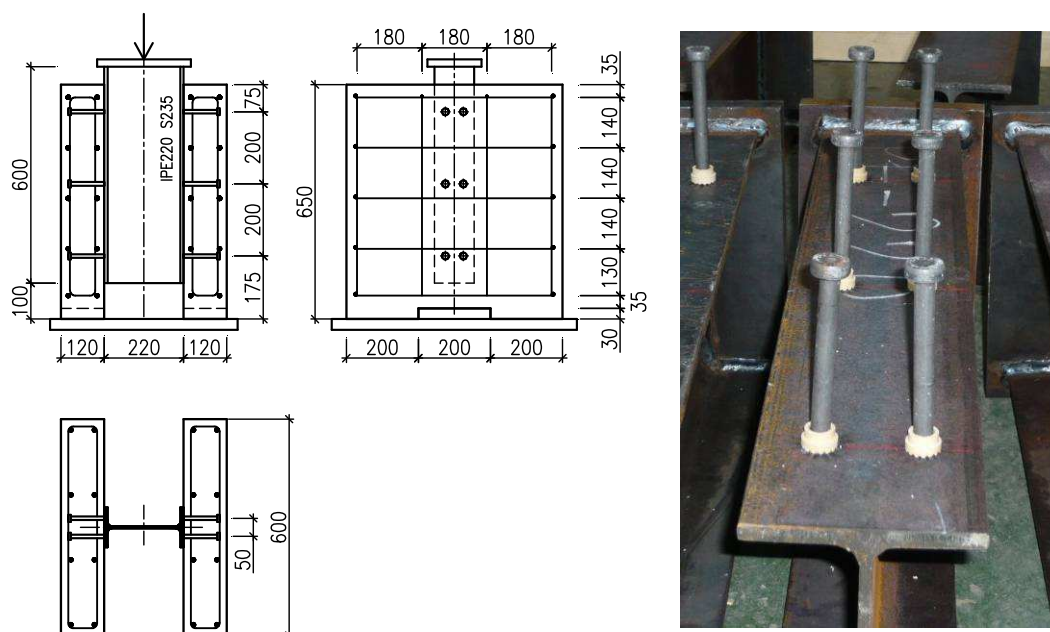
Obr. 1.: Svařovací stroj LBH 910 a svařovací pistole PHM - 161

2. Protlačovací zkoušky s trny malých průměrů

2.1. Program experimentů a použité materiály

Protlačovací zkoušky ke zjištění charakteristických a návrhových únosností trnů s malými průměry byly realizovány podle Eurokódu 4 [1], přílohy B. Každá betonová deska měla tloušťku 120 mm a 6 trnů., obr. 2.

Program zahrnoval celkem 12 zkoušek podle tab. 1. Použity byly trny dvou průměrů běžně dostupných na trhu [4], typu SD (KB - Kopfbolzen), z oceli S235J2G3+C450 (podle EN ISO 13918 (DIN 32500 Teil 3)). Aplikace na ocelovou část byla provedena strojem LBH 1400 a pistolí PHM – 161, s běžnou kontrolou kvality provedení jako u trnů velkých průměrů.



Obr. 2.: Uspořádání protlačovacích těles a foto jejich ocelové části .

Tabulka 2.: Program experimentů .

Série	Ø trnů [mm]	Těleso	Značka betonu
T1	10	T1S1	C20/25
		T1S2	C20/25
		T1S3	C20/25
T2	13	T2S1	C20/25
		T2S2	C20/25
		T2S3	C20/25
T3	13	T3S1	C30/37
		T3S2	C30/37
		T3S3	C30/37
T4	10	T4S1	C30/37
		T4S2	C30/37
		T4S3	C30/37

Materiál trnů byl zkoušen vždy na sérii 5 tahových těles s průměrem tahového tělíska 6 mm. Průměr trnu d představuje jmenovitou hodnotu podle výrobce. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tabulka 3.: Materiál trnů (typ SD – DIN 32500)

Číslo vzorku	d = 10 mm		d = 13 mm	
	pevnost v tahu f_u [MPa]	tažnost δ_5 [%]	pevnost v tahu f_u [MPa]	tažnost δ_5 [%]
1	537,6	11,4	507,5	18,4
2	551,7	14,1	498,7	17,0
3	576,5	14,1	489,8	17,6
4	546,4	13,0	502,2	16,2
5	524,2	14,6	477,5	15,7
Průměr	547,3	13,4	495,2	17,0

Betonové desky byly požadovány ze dvou pevností betonů (běžné C20/25 a vyšší C30/37), které laboratoř dodržela jen zčásti, viz tab. 3. Byla měřena krychelná pevnost σ_{cube} a modul pružnosti E_{cm} . Válcová pevnost byla získána ze vztahu:

$$\sigma_{ck} \approx 0,8 \sigma_{cube} \quad (1)$$

Tabulka 4.: Pevnosti betonu v tlaku

Série	Průměr trnů d [mm]	Počet těles	Zkouška po čase t [dny]	Pevnost betonu		Sečnový modul pružnosti E_{cm} [MPa]
				σ_{cube} [MPa]	σ_{ck} [MPa]	
T1	10	3	32	26,7	21,4	29 510
T2	13	3	32	32,6	26,1	31 057
T3	13	3	32	39,1	31,3	34 600
T4	13	3	32	35,5	28,4	31 500

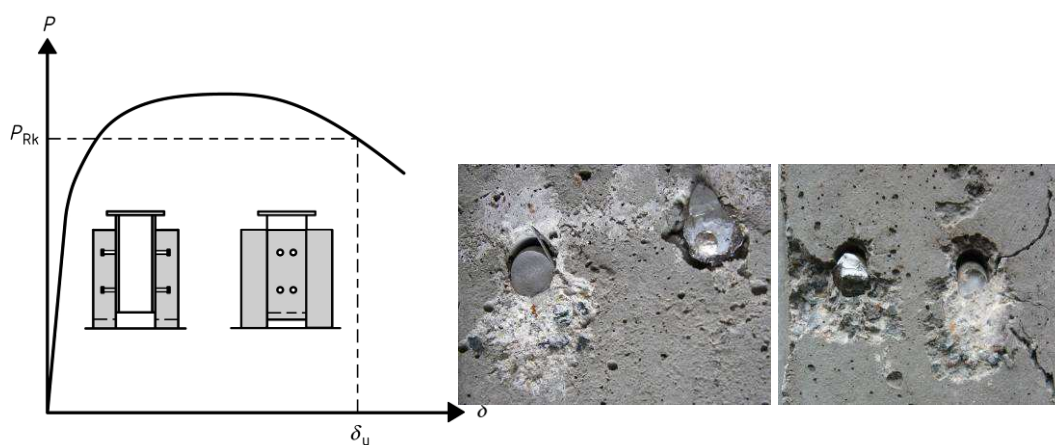
2.2. Výsledky protlačovacích zkoušek

Zatěžování i vyhodnocení výsledků proběhlo podle Eurokódu 4 [1]. Při každé protlačovací zkoušce bylo odhadnuto mezní zatížení (podle normových vztahů pro trny velkých průměrů) a zatěžování probíhalo ve 25 cyklech mezi 5% a 40% odhadnuté hodnoty a poté do porušení, obr. 3.

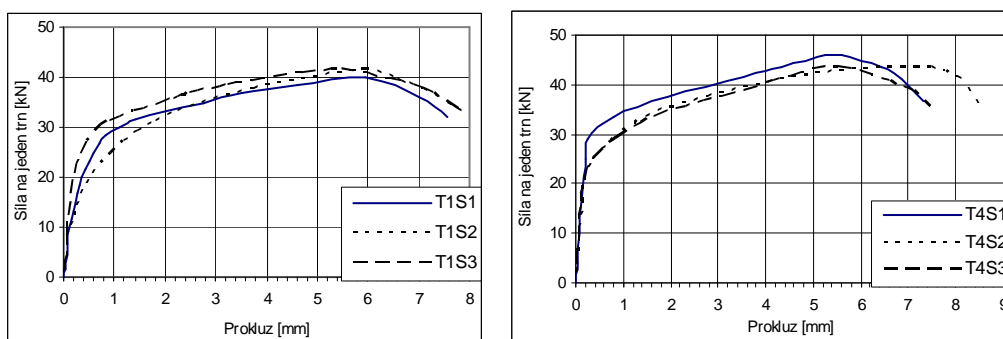
Vzhledem k omezenému počtu těles nebylo vyhodnocení provedeno statisticky, ale v souladu s [1] byla charakteristická únosnost P_{Rk} (jako $0,9 P_{u,min}$) a kapacita prokluzu δ_{uk} stanovena vždy ze tří identických vzorků v tab. 4. Princip určení kapacity prokluzu jednotlivého vzorku je na obr. 4, hodnota δ_{uk} je dána nejmenší zkušební hodnotou δ_u zmenšenou o 10 %.



Obr. 3.: Protlačované těleso při zkoušce a měřící aparatura pro prokluz.

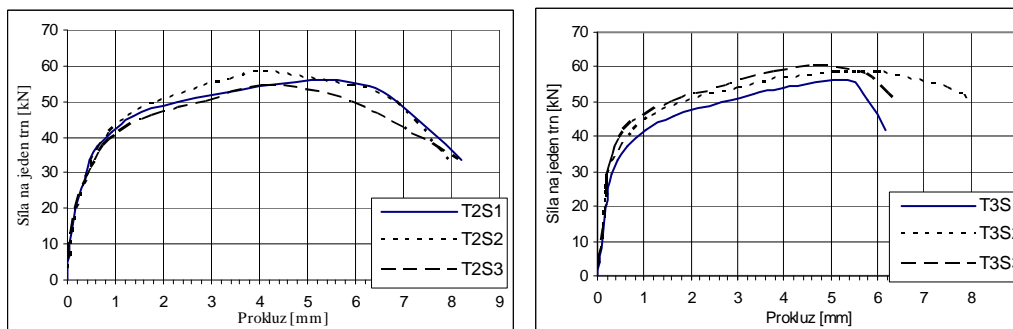


Obr. 4.: Určení kapacity prokluzu a detail porušení paty trnů.



Obr. 5.: Pracovní diagramy spřažení trnů $\varnothing 10$ mm, pro sérii T1 a T4.

Pracovní diagramy pro jednotlivé série jsou uvedeny na obr. 5 a obr. 6. Z datového a grafického vyjádření byly získány hodnoty tuhosti spřažení (potřebné pro numerické studie spřažení) a hodnoty kapacity prokluzů.



Obr. 6.: Pracovní diagramy spřažení trnů $\varnothing 10$ mm, pro sérii T1 a T4.

Výsledné hodnoty charakteristických únosností P_{RK} a charakteristických kapacit prokluzu δ_{uk} jsou uvedeny v tab. 4. Je zřejmé, že trny $\varnothing 10$ mm lze považovat ve smyslu Eurokódu 4 [1] za tažné ($\delta_{uk} \geq 6$ mm), zatímco trny $\varnothing 13$ mm za netažné.

Tabulka 5.: Výsledky protlačovacích zkoušek

Série	Těleso	Únosnost [kN]			Prokluz [mm]		
		P_u	$P_{u,min}$	$P_{RK,exp}$	δ_u	$\delta_{u,min}$	δ_{uk}
T1	T1S1	40,00	40,00	36,0	7,00	7,00	6,3
	T1S2	41,67			7,08		
	T1S3	41,67			7,14		
T2	T2S1	56,25	54,17	48,8	6,88	6,09	5,5
	T2S2	58,33			6,27		
	T2S3	54,17			6,09		
T3	T3S1	56,25	56,25	50,6	5,79	5,79	5,2
	T3S2	58,33			7,78		
	T3S3	60,42			6,05		
T4	T4S1	45,83	43,75	39,4	6,84	6,84	6,2
	T4S2	43,75			8,23		
	T4S3	43,75			6,90		

Tuhost spřažení trny malých průměrů byla odvozena z databáze zatěžování. V tab. 5 jsou uvedeny odhady pružných prokluzů a tuhostí všech těles, včetně průměrů u všech sérií.

Tabulka 6.: Tuhosti spřažení

Série	Průměr trnů [mm]	Těleso	Pružný prokluz [mm]	Tuhost [kN/mm]
T1	10	T1S1	0,151	77,5
		T1S2	0,146	71,3
		T1S3	0,221	94,2
T2	13	T2S1	0,150	133,1
		T2S2	0,205	97,6
		T2S3	0,176	114,0
T3	13	T3S1	0,204	122,9
		T3S2	0,231	126,5
		T3S3	0,280	119,3
T4	13	T4S1	0,264	110,5
		T4S2	0,213	97,7
		T4S3	0,191	109,4

2.3. Návrhové únosnosti trnů malých průměrů a doporučení pro návrh

Eurokód 4 [1] uvádí pro trny průměrů 16÷25 mm dva vztahy pro jejich návrhovou únosnost (odpovídající porušení trnu stříhem a betonu otlacením), s dílčím součinitelem $\gamma_c = 1,25$. Pro charakteristickou únosnost v případě dlouhých trnů (vyšších než čtyřnásobek průměru) platí:

$$P_{Rk,1} = 0,8 f_u \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} \quad (3)$$

Pro vyhodnocení zkoušek podle Přílohy B [1] se má provést redukce zjištěné únosnosti s ohledem na specifikovanou mez pevnosti materiálu trnů podle vztahu:

$$P_{Rk,3} = \frac{f_{u,min}}{f_{ut}} P_{Rk,exp} \quad (4)$$

kde $f_{u,min} = 450$ MPa je minimální specifikovaná mez pevnosti materiálu trnů (S235J2G3+C450, tvarované za studena) a f_{ut} mez pevnosti zjištěná při zkoušce (tab. 2). Porovnání těchto hodnot je uvedeno v tab. 6.

Tabulka 7.: Tuhosti spřažení

Série	Průměr trnů d [mm]	f_u [MPa]	f_{ck} [MPa]	E_{cm} [MPa]	$P_{Rk,1}$ [kN]	$P_{Rk,2}$ [kN]	$P_{Rk,3}$ [kN]	$P_{Rk,exp}$ [kN]
T1	10	547,3	21,4	29 510	34,4	23,0	29,6	36,0
T2	13	495,2	26,1	31 057	52,6	44,1	44,3	48,8
T3	13	495,2	31,3	34 600	52,6	51,0	46,0	50,6
T4	10	547,3	28,4	31 500	34,4	27,4	32,4	39,4

Z tabulky po porovnání hodnot $P_{Rk,exp}$ a ($P_{Rk,1}$; $P_{Rk,2}$) je zřejmé, že pevnost spřažení u trnů \varnothing 10 mm ve smyslu Eurokódu určuje porušení trnu stříhem, zatímco u trnů \varnothing 13 mm rozhoduje otláčení betonu. Hodnoty pro trny \varnothing 13 mm byly proto konzervativně lineárně sníženy pro beton kvality $f_{ck} = 20$ MPa, odkud plyne:

$$P_{Rk,3} = P_{Rk,3,C26,1} \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{f_{ck,C26,1} E_{cm,C26,1}}} = 44,3 \sqrt{\frac{20,0 \cdot 29000}{26,1 \cdot 31057}} = 37,5 \text{ MPa}$$

Z výsledků tak lze odvodit pro betony jmenovité kvality C20/25 až C30/37 konzervativní **charakteristickou únosnost trnů** podle nižších změřených hodnot následovně:

- a. trny \varnothing 10 mm: $P_{Rk} = 29,6$ kN;
- b. trny \varnothing 13 mm: $P_{Rk} = 37,5$ kN

Dílní součinitel pro stanovení návrhové únosnosti lze brát podle Eurokódu 4 [1] $\gamma_v = 1,25$.

3. Závěr

Na základě 12 protlačovacích vzorků se spřahovacími trny průměru 10 a 13 mm specifikace SD (DIN 32500), běžně dostupných na trhu ČR, byla stanovena jejich konzervativní charakteristická únosnost P_{Rk} , vhodná pro návrh konstrukcí. Pro výpočty podle Eurokódu 4 [1] je důležitá klasifikace z hlediska tažnosti prvků. Z experimentů vyplývá, že tažnost je dostatečná u trnů \varnothing 10 mm (> 6 mm), u trnů \varnothing 13 mm tomu tak není (je menší než 6 mm). Charakteristika porušení těles s oběma průměry trnů je však obdobná a tažnost se pohybuje okolo normové hodnoty 6 mm. Autoři proto doporučují **považovat trny obou průměrů za tažné**. Návrh spřažení lze proto provádět s předpokladem plastického rozdělení smykové síly ve spřažení (tj. rovnoměrného rozdělení podélného smyku na trny mezi podporou a místem maximálního momentu), jsou-li splněny další podmínky podle [1].

Pro podrobné numerické výpočty byly u obou průměrů trnů stanoveny též odhady pružných prokluzů a počáteční tuhosti spřažení, platné do dosažení pružných prokluzů.

Poděkování

Příspěvek byl připraven v rámci doktorského grantu GAČR 103-08-H066 a výzkumného záměru ministerstva školství MSM 6840770001. Autoři děkují firmě Proweld s.r.o. (Ing. D. Pospíšilovi) za štědré sponzorování výzkumu a pracovníkům laboratoře Fakulty stavební ČVUT v Praze za spolupráci při realizaci všech zkoušek.

Literatura

- [1] ČSN EN 1994-1-1: Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.
- [2] SHIM, S. C.: Experiments on limit state design of large stud shear connectors. J. Structural Engineering, Vol. 8, No. 3, 2004, s. 313-318.
- [3] ČSN EN ISO 14555: Svařování - Obloukové přivařování svorníků z kovových materiálů, ČNI, 2007.
- [4] PROWELD HANA POSPÍŠILOVÁ, Ostrava-Moravská Ostrava
<http://www.proweld.cz/>

Kontakt

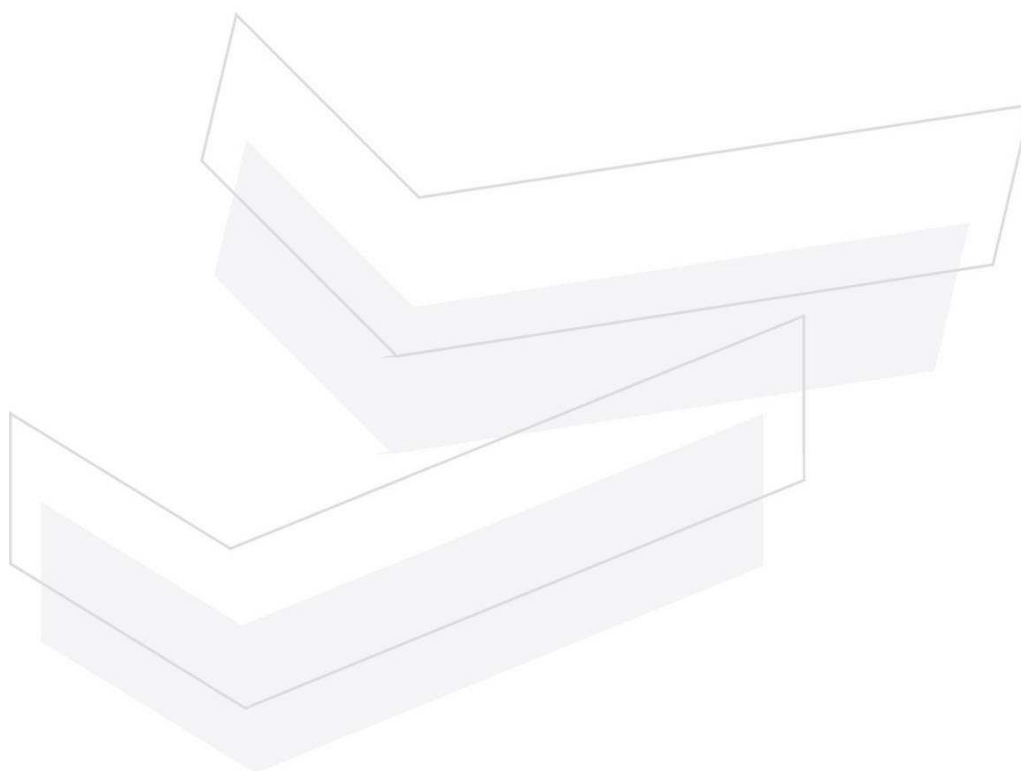
Ing. Thi Huong Giang Nguyen, tel: 00420 224 354 828, e-mail: thi.huong.giang.nguyen@fsv.cvut.cz, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29.

Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc., tel: 00420 224 354 916, e-mail: Machacek@fsv.cvut.cz, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Thákurova 7, 166.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

III.

PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA



5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

KVALITATIVNÍ ANALÝZA STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ POMOCÍ INFRAČERVENÉ SPEKTROSKOPIE

QUALITATIVE ANALYSES OF BUILDING MATERIALS USING INFRARED SPECTROSCOPY

Anna Benešová, Jan Vaněrek

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Tento článek pojednává o způsobu použití infračervené spektroskopie pro stavební materiály. Popisuje její teoretický základ a typy měřících metod použitelné ve stavebnictví. Dále zhodnocuje praktické stanovení dosažitelné přesnosti této analytické metody a uvádí příklad analýzy neznámého vzorku v praxi a stanovení míry degradace polymeru.

Annotation:

This paper deals with the possibilities of use of Infrared spectroscopy for building materials. There will be described its theoretical base and several types of measuring methods, that are suitable for needs of Civil engineering. Withal there will be evaluated practical determination of achievable accuracy of measurement and showed an example analysis of unknown sample and determination of polymer degradation.

Klíčová slova: *infračervená spektroskopie, spektrogram, ATR, transmisní metoda, kvalitativní analýza*

Keywords: *infrared spectroscopy, spektrogram, ATR, transmission method, qualitative analysis*

1. Úvod

Základy infračervené spektroskopie položil již v roce 1905 William Coblentz svou prací *Investigation of Infrared spectra*. Od té doby nachází tato

analytická metoda široké uplatnění v oblasti chemického průmyslu a kriminalistice, a to proto, že je vhodná zejména pro organické materiály.

Infračervená spektroskopie je metoda porovnávací, proto je prvním krokem pro její zavedení jako standardní analytické metody stavebních materiálů, sestavení dostatečně široké databáze spekter. Pokud bude tato podmínka splněna, může být využívána jak pro organické tak pro anorganické látky, pro potřeby stanovení jejich chemického složení nebo míry degradace.

2. Aspekty analýzy pomocí infračervené spektroskopie

2.1. Spektroskopické metody

Spektroskopické metody se v současné době využívají pro kvalitativní a kvantitativní analýzu složení látek všech skupenství v celém jejich objemu nebo v povrchové vrstvě. Podle způsobu, kterým působí na zkoumanou látku, se dělí na metody atomové a molekulové spektroskopie.

Dále je lze rozdělit dle typu interakce mezi látkou a zářením na absorpční (látko záření absorbuje, tedy intenzita záření na detektoru je nižší než intenzita záření zdroje), emisní (látko záření emituje, tedy intenzita záření na detektoru je vyšší než intenzita záření zdroje) a luminiscenční, kdy látko záření nejdříve absorbuje a poté emituje záření nižší intenzity.

Metody atomové spektroskopie užívají oblasti záření s vlnovými délkami viditelné oblasti (400-700nm) a nižšími, tedy ultrafialového, rentgenového a gama záření. Působí na atomy, které se absorpcí nebo emisí energie dostávají do excitovaného stavu. Patří sem tyto spektroskopické metody: Atomová absorpční spektroskopie (AAS), Atomová emisní spektroskopie (OES), Atomová fluorescenční spektroskopie, Atomová spektroskopie subvalenčních elektronů (Rentgenová a elektronová spektroskopie) a Mösbauerova spektrometrie.

Metody molekulové spektroskopie užívají oblasti záření s vlnovými délkami vyššími než je délka viditelného světla. Jedná se o infračervené záření, mikrovlny a rádiové vlny. Záření působí na meziatomové vazby nebo celé molekuly. Mezi metody molekulové spektroskopie patří: Absorpční spektroskopie, Luminiscenční spektroskopie, Magnetická rezonanční spektroskopie (NMR a EPR), Hmotnostní spektrometrie a Rotačně-vibrační spektroskopie.

Každá z metod má své typické rysy a většina z nich je nadmnožinou několika dílčích metod založených na stejném principu nebo na shodných fyzikálních podmínkách. Do poslední jmenované – Rotačně-vibrační spektroskopie – patří všechny typy spektroskopických metod, při kterých látko při interakci s daným elektromagnetickým zářením reaguje změnami uvnitř molekuly a to rotací atomů kolem některé z os otáčení, nebo vibrací způsobenou

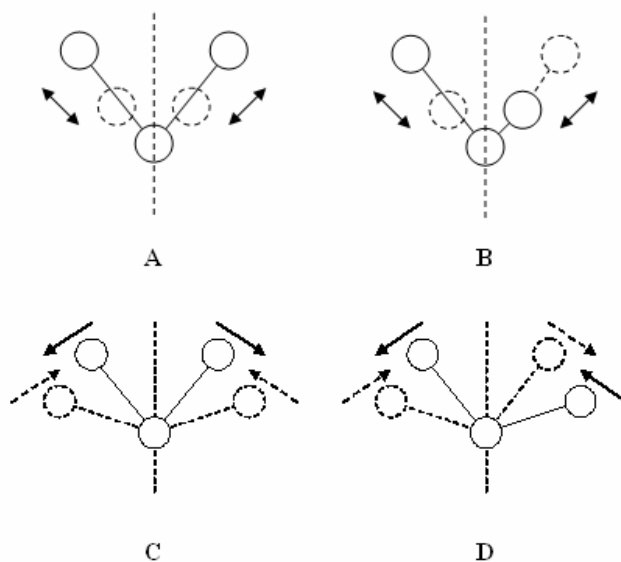
natahováním, zkracováním, nebo odklonem meziatomových vazeb. Patří sem: Mikrovlnná spektroskopie plynů, Infračervená a Ramanova spektroskopie. [1]

2.2. Analýza pomocí infračervené spektroskopie

Výstupem měření infračerveným spektrometrem je spektrogram. Spektrogram vyjadřuje závislost intenzity záření na detektoru na *vlnočet*. Vlnočť je veličina vyjadřující vlnovou délku záření a odpovídá její obrácené hodnotě. Pro infračervené spektrum nabývá hodnot $4000\text{-}400\text{cm}^{-1}$. Intenzita bývá vyjádřena dvěma veličinami, a to *transmisivitou* anebo *absorbancí*.

Aby bylo možné změřit infračervené spektrum látky, je nutné, aby měla nenulový dipólový moment, jinak bude pro tuto oblast záření inaktivní. Dipólový moment popisuje nerovnoměrné rozložení elektrického náboje v chemické vazbě. [1] Je-li nenulový, pak interakce s infračerveným zářením způsobí valenční nebo deformační vibraci, která se projeví náhlým zvýšením absorbance, nebo snížením transmisivity.

Spektrogram látky lze rozdělit na dvě pásma. Pásmo mezi $4000\text{-}1400\text{cm}^{-1}$ je typické pro valenční vibrace organických sloučenin, pásmo $1400\text{-}400\text{cm}^{-1}$ se nazývá oblastí otisku palce a je typické projevem deformačních vibrací organických a valenčních i deformačních vibrací anorganických látek.



Obr. 1.:Vibrace molekul: A-valenční symetrická, B-valenční asymetrická, C-deformační stříhavá, D-deformační houpavá.

Valenční vibrace jsou takové, při kterých dochází ke změnám délek vazeb, tedy k jejich zkracování a prodlužování a mohou být symetrické (změna délky probíhá současně) nebo asymetrické (změna délky probíhá střídavě).

Deformační vibrace jsou takové, při kterých dochází k ohybu vazby. Těchto je několik druhů a jejich názvy jsou odvozeny od způsobu, jakým se vazby ohýbají. Příklady některých typů vibrací jsou na obr.1.

Dle polohy píku na spektrogramu (náhlý nárůst absorpance nebo snížení transmisivity) lze identifikovat vazbu mezi atomy a jeho intenzita vyjadřuje poměr množství dané funkční skupiny k množství ostatních funkčních skupin.[1]

2.3. Principy měření

Měření se provádí na infračerveném spektrometru. Užívá se dvou základních metod, jejichž výběr závisí na fyzikálních aspektech zkoumaného materiálu. Jedná se o metody transmisní a odrazové.

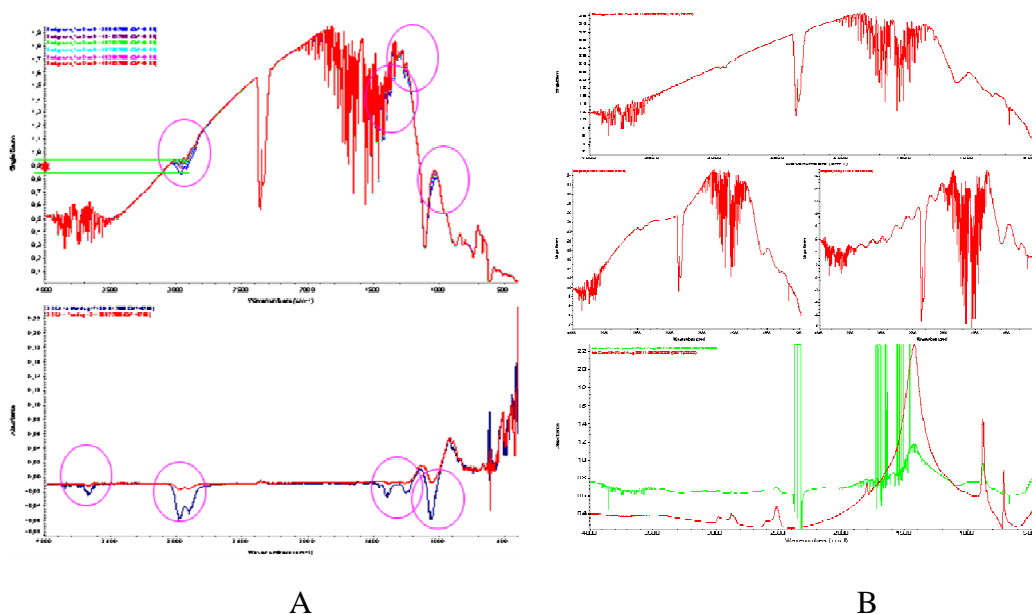
Pomocí transmisní metody se měří vzorky všech skupenství. Tekuté vzorky se uzavírají do kyvet z inaktivního materiálu, pevné vzorky se lisují do tablet s bromidem draselným. Makromolekulové látky jsou nejčastěji měřeny jako samonosné fólie.

Nejpoužívanější odrazovou metodou je tzv. ATR metoda (Attenuated Total Reflectance), tedy metoda zeslabené totální reflexe. Je vhodná pro silně absorbující kapaliny, pasty, gely, polymerní vrstvy, práškové materiály, ale i úlomky vzorků s hladkým měrným povrchem.

Před vlastním měřením je nutné změřit pozadí, které odpovídá podmínkám okolního prostředí. Od spektrogramu vzorku se pak pozadí automaticky odečítá a tím se eliminují rušivé vlivy. Tvar křivky pozadí je nutné pečlivě sledovat, protože dochází k její deformaci, ať už chybou přístroje nebo jeho nedostatečným očištěním.

Pokud je vzorek měřen transmisní metodou, dochází k deformaci pozadí náhodně, změna je však tak výrazná, že je možné ji hned odhalit. Většinou k deformaci křivky dochází, je-li za sebou měřen větší počet vzorků a úprava se provádí přeměřením pozadí.

Metoda ATR je méně náročná na přípravu vzorků než transmisní metody. Jsou-li vzorky práškové nebo pevné, vloží se přímo na krystal, ze kterého vychází svazek infračerveného záření, jsou-li kapalné, jednoduše se na krystal kápnou. Po naměření je ovšem nutné povrch krystalu vyčistit. Čištění se provádí adekvátními chemikáliemi, například pro práškové vzorky je to většinou technický líh. Po očištění krystalu je vždy nutné pozadí přeměřovat do ustálení, jinak dochází ke zkreslení křivky vzorku píky lihu a znehodnocení výsledků měření.



Obr. 2.: Příklady naměření špatného pozadí: A-metoda ATR, spektrogram stejného vzorku při správném a špatném pozadí, B-správné pozadí, dva příklady špatného pozadí, spektrogram stejného vzorku při správném a špatném pozadí

3. Řešené problémy

3.1. Stanovení meze detekce

Mez detekce vyjadřuje omezení analytické metody z hlediska její přesnosti. Vzorky namíchané pro tento účel byly směsí cementu nebo cementového mléka s polymerními aditivami od firmy Stomix, s.r.o. Jednalo se o tři přísady (Alfafx S1 – aditivum lepicího tmele pro zateplování, Betafix SF – přísada lepicího tmele pro obkladové dlaždice a Alfaform SCE – přísada pro samonivelační stěrku) a jejich bázi – kopolymer EVA, v přidávku 1-10%. Vzorky byly odzkoušeny jak transmisí metodou, tak metodou ATR a to i v suché i ve zhydratované směsi.

Pro suché vzorky se adekvátnější ukázala metoda ATR, nejspíše z důvodu nedokonalé homogenizace směsi, protože množství vzorku, které se lisuje do tablety pro transmisí metodou je velmi malé a je zde tedy možnost, že nebylo dosaženo správného poměru mísení. Metodou ATR bylo možno rozoznat u všech čtyř typů směsí 5% přidavek aditiva. Budou-li ovšem měřeny suché směsi materiálů se zajištěnou víceméně dokonalou homogenitou, je možné, že výsledky transmisí metody budou lepší.

Pro hydratované směsi se jako jednoznačně přesnější ukázala transmisní metoda, která dokázala zachytit již 1% přídavek aditiva.

3.2. Analýza neznámého vzorku

Neznámý vzorek byl odebrán z povrchu keramické dlaždice. Jednalo se o skvrny bílé barvy. Zároveň byl odebrán i vzorek čisté dlaždice pro eliminaci znečištění neznámého vzorku.

Předpokládalo se, že skvrny způsobily kapky silikonového tmele či jiných polymerních látek, které byly použity při úpravě svislých konstrukcí nebo výplní otvorů.

Podle tvaru křivky po odečtení nečistot byl neznámý vzorek označen jako anorganický a porovnáním spektra vzorku s knihovnou vytvořenou v softwaru infračerveného spektrometru vyšlo najevo, že se jedná s největší pravděpodobností o vápenec, který se z dlaždice odloučil kvůli nesprávné manipulaci.

3.3. Stanovení míry degradace PVC UV-zářením

Vzorek hydroizolační fólie z PVC byl vystaven UV záření a v 500 hodinových intervalech byla pomocí ATR naměřena jeho spektra. Z časových důvodů byl vzorek ozařován pouze 1000 hodin.

Po třech měřeních křivky na spektrogramech vykazovali jen malé změny, což se vzhledem k délce experimentu předpokládalo.

4. Závěr

Přednostmi analytické metody infračervené spektroskopie jsou její rychlost a nízká náročnost měření a přípravy vzorků. Proto se využívá jako částečná náhrada chemické analýzy a to zejména pro makromolekulové látky. Pro anorganické sloučeniny lze tuto metodu ovšem také využít a to pro rychlé srovnání chemického složení dvou vzorků nebo pro stanovení chemického složení neznámého vzorku, nachází-li se spektrogram podobného nebo shodného materiálu v databázi softwaru měřicího přístroje. Rozdíl ve složení dokáže v závislosti na použité technice měření odhalit s mezí detekce 1-5%.

Pro stanovení degradačních změn je nutné delšího zkoušení vybraného vzorku, proto se v ozařování a testování nadále pokračuje.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen za finanční podpory výzkumného záměru VVZ MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.

Literatura

- [1] BENEŠOVÁ, A.: Infračervená spektroskopie v materiálovém inženýrství: diplomová práce. Brno, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců 2010

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.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

VLIV OPRACOVÁNÍ POVRCHU VÝZTUŽE NA ROZPTYL VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ JEJÍ PEVNOSTI TVRDOMĚREM PROCEQ

INFLUENCE OF THE MACHINED SURFACE OF REINFORCEMENT ON THE RESULTS DISPERSION OF THE MEASURING OF ITS STRENGTH WITH HARDNESS TESTER PROCEQ

Jaroslav Čambula

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební,

Anotace:

Mechanické vlastnosti betonářských výztuží zásadně ovlivňují únosnost konstrukce nebo její části. Pomocí tvrdoměrných zkoušek je možné určit charakteristiky betonářské výztuže nedestruktivní metodou, tedy bez jejího vyjmutí z konstrukce. Vzhledem k možnému ovlivnění výsledků měření tvrdosti v závislosti na drsnosti povrchu, je třeba ověřit vliv této drsnosti a popřípadě definovat potřebnou drsnost pro získání hodnověrných výsledků měření a následného odvození pevnosti betonářské výztuže. Při posouzení konstrukce je pak možné do výpočtu únosnosti zahrnout správné charakteristiky zabudované výztuže.

Annotation:

As results of hardness measuring could be influenced by the roughness machined surface. The influence of roughness was studied. And the suitable machined surface for the retrieval of the reliable results of measuring hardness was defined.

Klíčová slova: Tvrdost, pevnost, drsnost povrchu, spolehlivost, železobeton

Keywords: Hardness, strength, surface roughness, reliability, reinforced concrete

1. Motivace a oblast využití

Pro odbornou diagnostiku betonových konstrukcí je důležité znát materiálové charakteristiky použitých materiálů, především vlastnosti betonářské výztuže. V případě, že při odkrytí betonářské výztuže nejsme schopni podle tvaru určit její druh a provedením destruktivní trhací zkoušky výztuže bychom výrazně oslabili zkoumanou konstrukci, je třeba použít zkoušky nedestruktivní, případně pro hodnocení kvality výztuže použít tabulkové hodnoty uvedené v různých příručkách, přičemž druh výztuže nelze předem spolehlivě odhadnout. Pomocí přenosného tvrdoměru lze zjistit tvrdost měřené výztuže a pomocí převodního součinitele z ní přibližně určit její pevnost a případně druh použité výztuže. Získané výsledky nám pak pomohou při správném hodnocení odolnosti (únosnosti) konstrukce a případném rozhodování o její rekonstrukci a zesilování.

Konstrukce stavěné před rokem 1950 byly převážně vyztužovány hladkou ocelí kruhového průřezu (viz. tabulka 1), kdy byly používány různé druhy kruhové betonářské výztuže s odlišnými mechanickými vlastnostmi. Výztuže nebyly vzájemně tvarově nijak rozlišeny.

Tabulka 1.: Přehled betonářských výztuží podle českých norem dříve používaných

Druh oceli	Průtažnost [MPa]	Pevnost [MPa]	Tažnost [%]	Dovolené namáhání při zatížení		Podle předpisu
				hlavním [MPa]	celk. [MPa]	
Cc	-	< 500	-	120	140	ČSN 1090-1931
Cb	-	350-480	min 20	120	140	ČSN 1091-1935
C 34	-	340-400	min 25	120	140	ČSN 1016-1926
C 37	min 230	370-450	min 22	120	140	ČSN 1230-1937
C 38	-	380-450	min 22	120	140	ČSN 1090-1931
C 52	min 360	520-640	min 20	150	170	ČSN 1230-1937
Jakostní	min 340	-	-	150	170	ČSN 1090-1931
Beton-special	370-430	520-550	-	150	170	-

Oblastí použití jsou tedy konstrukce ze železového betonu postavené a projektované podle platných předpisů až do roku 1971, protože v současné době se kruhová výztuž používá jen jako výztuž pomocná. Postup lze použít i

pro jiné druhy výztuže (čtvercového nebo obdélníkového průřezu), které byly v minulosti také na některých objektech použity, pokud tyto nejsou jednoznačně identifikovatelné podle úpravy povrchu, např. žebírkováním.

2. Metodický a koncepční přístup

Pro stanovení tvrdosti oceli (pro strojní oceli se běžně užívá) je k dispozici několik tvrdoměrů, z kterých byl pro stanovení tvrdosti betonářské výztuže vybrán jako vhodný tvrdoměr EQUOTIP 2 firmy PROCEQ. Tvrdost tímto tvrdoměrem byla zkoušena v laboratoři na vzorcích výztuže, které byly získány při demolici konstrukce a také na výztuži zabudované ve stávající mostní konstrukci.

Vzhledem k nejistotě ovlivnění výsledků měření tvrdosti v závislosti na drsnosti povrchu, bylo na výztuži, získané při demolici konstrukce, provedeno odfrézování a následné výbrusy povrchu různými dostupnými prostředky při práci in-situ. U jednotlivých druhů povrchů byla jejich drsnost změřena drsnoměrem a následně změřena i tvrdost výše zmíněným tvrdoměrem. Byl vyhodnocen vliv opracování povrchu na výsledky měření a na jeho základě bylo stanoveno vhodné opracování povrchu při měření tvrdosti. Dále byly provedeny trhací zkoušky výztuže v laboratořích, pro kalibraci výsledků získaných tvrdoměrem, na jejichž základě byl stanoven převodní součinitel. Cílem bylo definovat ze zkoušek pevnost betonářských ocelí především kruhového průřezu.

Zkoušky byly provedeny díky možnosti získání vzorků hladké kruhové výztuže Ø36mm z demolované konstrukce trémového mostu přes řeku Nežárku v obci Lásenice. Tento trémový most se čtyřmi podélnými trámy, byl postaven již v roce 1908.

3. Zkoušku drsnosti

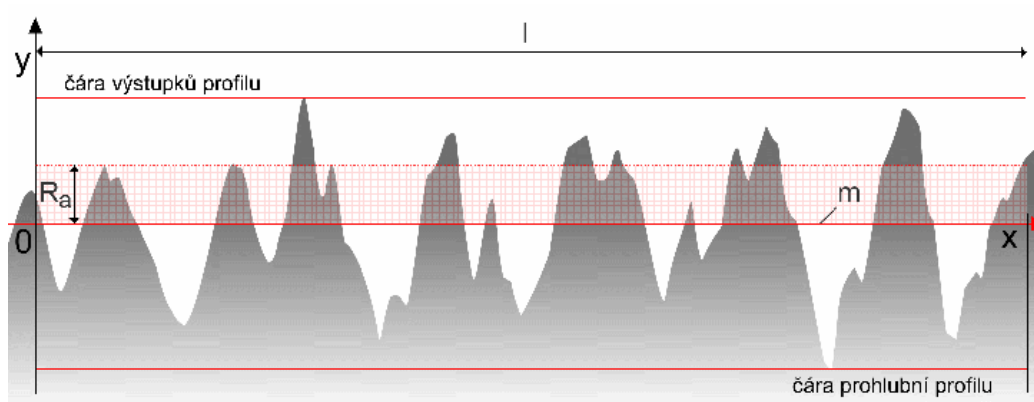
3.1. Popis drsnoměru SURFTEST SJ-201

SURFTEST SJ-201 je velmi lehký, přenosný přístroj pro mobilní měření drsnosti kovových materiálů. Je kompaktní, takže je možno ho držet a měřit s ním v jedné ruce. Přístroj pracuje na principu indukční metody, vyhodnocuje drsnost na širokém spektru různých povrchů. Posuvnou jednotku je možné vyjmout z vyhodnocovací jednotky a zajistit tak měření i v úzkém prostoru. Přístroj může pracovat jak se síťovým adaptérem, tak i na akumulátory. Standardně je vybaven sériovým rozhraním RS 232 C a výstupem DIGIMATIC. Díky tomu je možné pracovat s počítačem i bez něj nebo také s přímým napojením na hardware nabízený firmou Mitutoyo. Snímací hrot je diamantový,

rozsah zdvihu měření je 350 μm , rozsah posuvu měření je 12.5mm. Přístroj dokáže měřit celkem 19 parametrů, mimo jiné R_a , R_y a R_z . Přístroj umožňuje měření i směrem vzhůru.

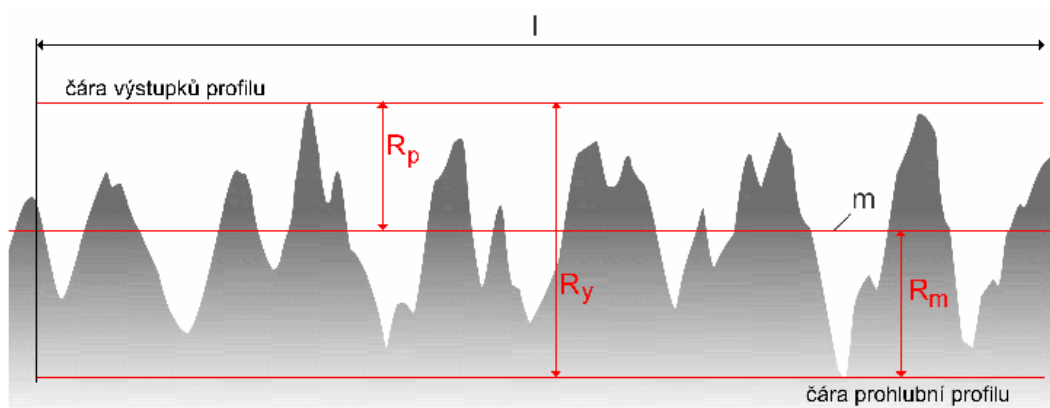
3.2. Popis měřených parametrů

- Parametr R_a – Je to průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu (aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky)



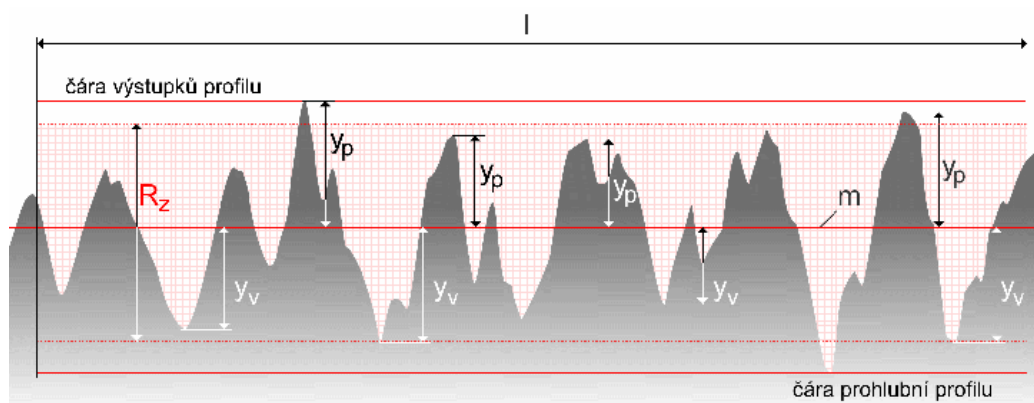
Obr. 1.: Parametr R_a

- Parametr R_y – Největší výška nerovnosti profilu



Obr. 2.: Parametr R_y

- Parametr R_z – Největší výška profilu (součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky).



Obr. 3.: Parametr R_z

3.3. Zkoušky drsnosti

Zkoušky drsnosti byly provedeny Technickým a zkušebním ústavem Praha, s.p., drsnoměrem SURFTEST SJ-201. Zkoušky byly provedeny na výše zmíněné kruhové výztuži $\varnothing 36\text{mm}$.

Na prutu $\varnothing 36\text{mm}$ bylo provedeno podélné odfrézování zakulacení v celkové délce 600mm a šířce 16 až 22mm (viz obr. 4), aby se získala plocha pro měření. Na této ploše byla provedena povrchová úprava zbrúšením tří ploch třemi různými nástroji. Jednotlivé plochy byly upraveny a označeny (uvažováno zleva od začátku prutu):

- pilník - ve vzdálenosti 180 - 280mm
- flexa - ve vzdálenosti 350 - 450mm
- bruska - ve vzdálenosti 525 - 640mm



Obr. 4.: Upravená a označená výztuž

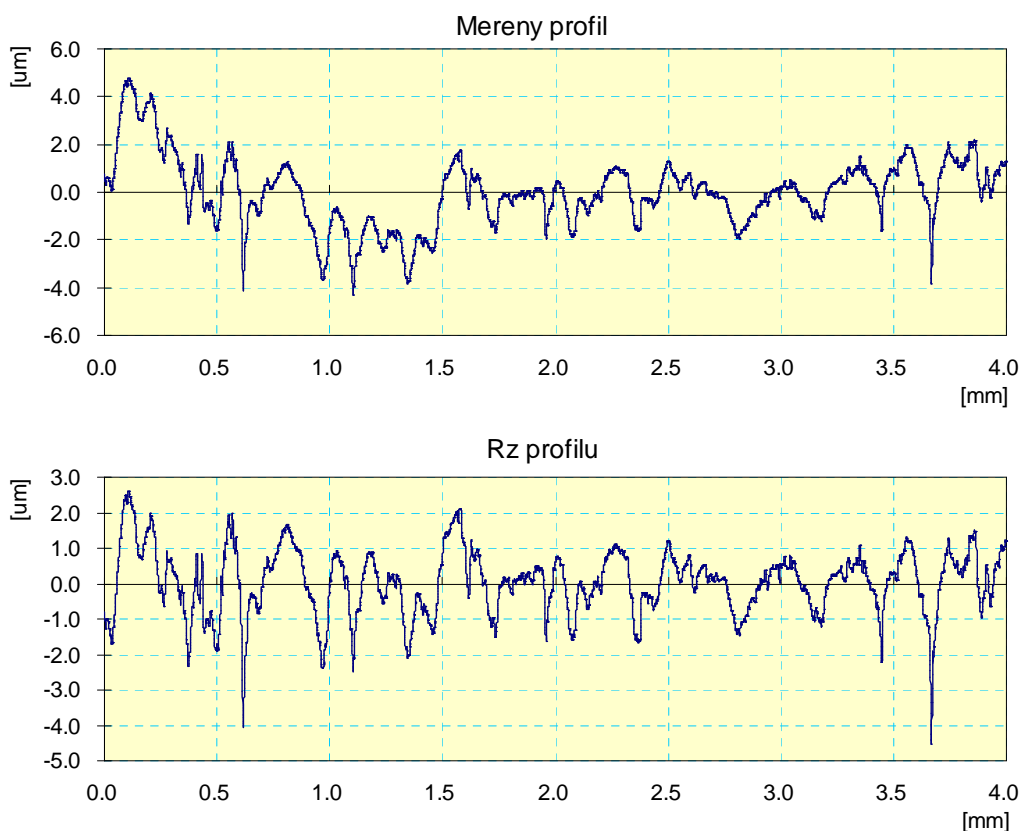
Poznámky:

- Mezi upravenými plochami jsou plochy neupravené, označené křížem.

- Na všech třech plochách upravených dle výše uvedeného popisu byla zároveň provedena tři měření tvrdosti (viz část 4.3).
- Před zhotovením snímků byla upravená vyztuž vystavena atmosférické vlhkosti, což se projevilo mírnou korozí výztuže (nejvíce je to patrné u povrchu upraveného flexou).

Tabulka 2.: Výpis naměřených hodnot drsnosti.

opracování plochy	změřené hodnoty drsnosti								
	měření č. 1			měření č. 2			měření č. 3		
	Ra	Ry	Rz	Ra	Ry	Rz	Ra	Ry	Rz
pilník	2.2	23.0	18.4	2.5	24.4	17.9	2.5	26.8	17.3
flexa	5.3	41.9	35.2	5.9	65.1	46.8	5.7	51.0	37.0
bruska	0.7	6.6	4.6	0.7	5.5	4.7	0.7	5.3	4.6



Obr. 5.: Výstupní graf drsnosti (Bruska – měření č. 1)

4. Zkoušky tvrdosti

4.1. Popis tvrdoměru EQUOTIP 2 s rázovou jednotkou „D

EQUOTIP je velmi lehký, přenosný přístroj pro měření tvrdosti kovových materiálů. Je založen na dynamické metodě měření. Přístroj vyrábí švýcarská firma PROCEQ, v České republice zastoupena Technickým a zkušebním ústavem Praha, a.s.

Přístroj EQUOTIP 2 je vybaven LCD displejem, který podává okamžitý přehled o naměřených hodnotách tvrdosti. Přístroj přímo měří hodnotu tvrdosti „L“ (1000 násobek podílu odrazové a nárazové rychlosti), ze které se dá pro běžné materiály pomocí porovnávacích křivek odečítat přímo hodnoty pro tvrdosti podle Brinella, popř. Vickerse, Rockwella a Shoreho. Pro samotné měření jsou možné různé polohy rázové měřící jednotky (svisle, vodorovně, pod úhlem 45°). U měřících jednotek je možnost pro tvarově složitě povrchy nasadit tzv. nárazové hlavice, které umožňují lepší umístění jednotky na zkoušeném vzorku a dodržení směru rázu. Přístroj lze použít při pracovní teplotě 0° - 50°C.

4.2. Požadavky na přípravu vzorku

U měření betonářské výztuže se požaduje zbroušená a čistá ploška dostatečné velikosti pro požadovaný počet měření v jednom cyklu (vhodná šířka plošky je minimálně 10mm).

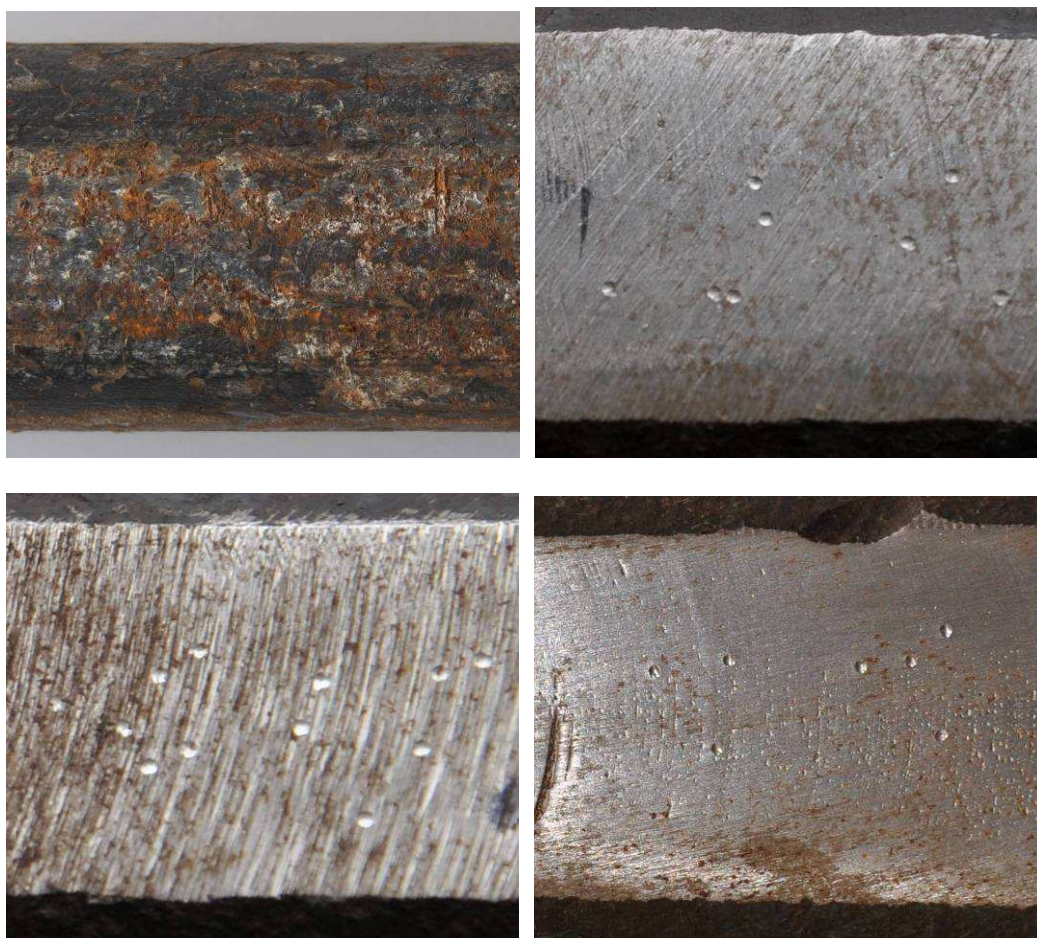
Měřená výztuž by měla být pevně uchycena. Toto je ve stávající konstrukci téměř vždy dodrženo. V případě, že okolí výztuže je již natolik porušeno, že nelze předpokládat dokonalé ukotvení prutu v betonu, je třeba jeho ukotvení zajistit jiným způsobem.

4.3. Zkoušky tvrdosti

Zkoušky tvrdosti byly provedeny ve spolupráci s Technickým a zkušebním ústavem Praha, s.p., který vlastní tvrdoměr EQUOTIP 2. Zkoušky byly provedeny na výše zmíněné kruhové výztuži Ø36mm. Povrchová úprava vzorku viz část 3.3.

Na všech třech upravených plochách (viz část 3.3) byla provedena měření tvrdosti při následujících upnutích výztuže:

- prut byl upevněn ve vodorovné poloze ve svěráku tak, že měřená plocha byla vždy sevřena pevně čelistmi
- prut byl upevněn ve vodorovné poloze ve svěráku tak, že měřená plocha byla vždy cca 200mm od čelistí (letmo)
- prut byl po celé rovné délce dvěma ocelovými svorkami pevně přitisknut k tlusté rovné ocelové desce.



Obr. 6.: Detaily povrchů - vlevo nahoře neupravený povrch výztuž; vpravo nahoře upravený pilníkem; vlevo dole upravený flexou; vpravo dole upravený bruskou (na upravených plochách jsou viditelné vtisky od tvrdoměru)

Tabulka 3.: Výpis naměřených hodnot tvrdosti – měřená plocha mezi čelistmi svěráku.

číslo měření	opracování plochy	změřené hodnoty tvrdosti [HB]					průměr měření	průměrná odchylka	
		1	2	3	4	5			
1	pilník	152	142	155	151	155	151	3.6	2.4%
2	flexa	154	144	145	137	146	145	3.8	2.6%
3	bruska	157	160	156	160	152	157	2.4	1.5%

Tabulka 4.: Výpis naměřených hodnot tvrdosti – měřená plocha 200mm za čelistmi svěráku.

číslo měření	opracování plochy	změřené hodnoty tvrdosti [H _B]					průměr měření	průměrná odchylka	
		1	2	3	4	5			
4	pilník	143	146	145	143	148	145	1.6	1.1%
5	flexa	120	148	154	145	151	144	9.4	6.6%
6	bruska	161	163	160	153	154	158	3.8	2.4%

Tabulka 5.: Výpis naměřených hodnot tvrdosti – výztuž přitisknuta o ocelové plotně.

číslo měření	opracování plochy	změřené hodnoty tvrdosti [H _B]					průměr měření	průměrná odchylka	
		1	2	3	4	5			
7	pilník	152	154	142	144	138	146	5.6	3.8%
8	flexa	154	148	127	146	148	145	7.0	4.9%
9	bruska	152	154	153	151	158	154	1.9	1.3%

5. Tahové zkoušky

5.1. Tahové zkoušky výztuže

Pro korelaci mezi tvrdostí a pevností výztuže, byly provedeny tahové zkoušky. Zkoušky byly provedeny v Kloknerově ústavu ČVUT v Praze, na výše zmíněné kruhové výztuži Ø36mm. Zkoušky byly provedeny na zkušebním stroji MTS 500 kN.

Z naměřených dat tahové zkoušky byly sestaveny pracovní diagramy a následně odvozeny jednotlivé meze pevnosti a meze kluzu zkoušené výztuže.

Podle [1] (NA.2.6.) byly stanoveny charakteristické materiálové vlastnosti zkoušených výztuží za předpokladu normálního rozdělení těchto vlastností (viz. tabulka 6).

Návrhovou hodnotu meze kluzu zkoušené výztuže tedy získáme ze vztahu:

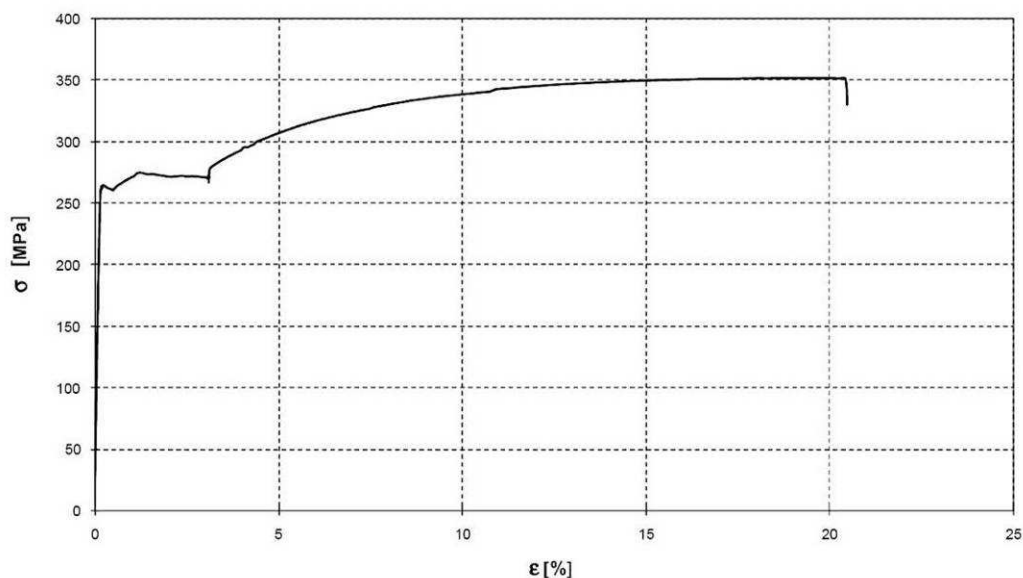
$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m = 246.5 / 1.15 = 214.3 \text{ MPa} \quad (1)$$

Pokud bychom chtěli uvažovat dovolené namáhání výztuže, potom při uvažování míry bezpečnosti proti dosažení meze kluzu rovného 1,67 podle [2] (9.13.), vychází dovolené namáhání:

$$\sigma_{\text{dov}} = \sigma_k / 1.67 = 214.3 / 1.67 = 147.1 \text{ MPa} \quad (2)$$

Tabulka 6.: Mechanické vlastnosti oceli.

číslo měření	průměr	pevnost v tahu	mez kluzu	tažnost
	[mm]	[MPa]	[MPa]	[%]
1	36	350.8	261.6	40
2	36	354.4	271.3	33.3
3	36	355.7	274.5	36.1
průměr m_x		353.6	269.1	36.5
směrodatná odchylka s_x		2.538	6.717	3.365
variační koeficient V_x		0.0072	0.0250	0.0923
součinitel k_n		3.37	3.37	3.37
dolní 5% kvantil X_k		345.1	246.5	25.1



Obr. 7.: Pracovní diagram výztuže Ø36mm

6. Vyhodnocení pevnosti výztuže

Na základě výše uvedených výsledků vyplývá, že na výsledky měření má opracování výztuže nezanedbatelný vliv. Pokud je provedeno základní zbroušení výztuže k vytvoření potřebné plošky pro měření tvrdosti pouze např. flexou, je vhodné upravit plošku před měřením ještě pilníkem. Potom je rozptyl hodnot již v rozumné toleranci. Hodnoty naměřené na povrchu zbroušeném bruskou mají rozptyl nejmenší a jsou v každém měření nejvyšší, tzn. měly by tím pádem být nejbližší skutečným hodnotám.

Prut výztuže, na kterém bylo provedeno měření, byl díky svému průměru ($\varnothing 36\text{mm}$) dostatečně tuhý, z čehož vyplynul i minimální rozdíl při porovnání výsledků měření tvrdosti při různém jejím upevnění. U slabších prutů je třeba počítat s významnějšími rozdíly výsledků měření v závislosti na způsobu upevnění (ukotvení v betonu).

Z provedených trhacích zkoušek výztuže, byl pro kalibraci výsledků získaných tvrdoměrem, stanoven převodní součinitel. Pro tvrdost změřenou tvrdoměrem EQUOTIP 2, převedenou do stupnice tvrdosti podle Brinella je převodní součinitel z tvrdosti na pevnost stanoven dle tabulky 7.

Tabulka 7.: Převodní součinitel z tvrdosti na pevnost.

Tvrdost	[H _B]	151	145	146
		157	158	154
průměr		151.8		
Pevnost	[MPa]	345.1		
Převodní součinitel	K	2.27		

Výpočet pevnosti z tvrdosti se tedy provede dle vztahu:

$$f_t = K \cdot H_B = 2.27 \cdot H_B \quad (3)$$

kde:

f_t je pevnost betonářské výztuže v tahu v MPa

H_B je tvrdost podle Brinella určená tvrdoměrem EQUOTIP 2

K je převodní součinitel

Podle tabelizovaných převodů tvrdosti podle Brinella (stacionární tvrdoměr) na pevnost (pro běžné oceli bez zušlechťování) se uvažuje převodní součinitel jako konstantní (podle [3]).

7. Závěr

Z provedených zkoušek vyplývá, že při určování tvrdosti betonářské výztuže pomocí tvrdoměru EQUOTIP 2, je třeba zkoušenou plošku na měřené výztuži po jejím základním opracování zbrousit minimálně pilníkem na přijatelnou drsnost. Pro převod tvrdosti na pevnost je doporučena hodnota násobku tvrdosti 2.27.

Je vhodné dalšími zkouškami kruhové betonářské výztuže doplnit potřebná data pro zpřesnění převodního součinitele, popřípadě jej definovat pro jiné přenosné tvrdoměry.

Správné stanovení mechanických vlastností výztuže má zásadní význam pro stanovení zatížitelnosti (odolnosti) konstrukce a má vliv na rozhodnutí o potřebě jejího zesílení.

Poděkování

Centru integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí – CIDEAS, za jehož podpory byl projekt řešen, TZÚS Praha s.p., a KÚ ČVUT v Praze, v jejichž spolupráci byly zkoušky provedeny. Doc. Ing. Vladislavu Hrdouškovi CSc. za jeho pomoc při realizaci projektu.

Literatura

- [1] ČSN ISO 13822 (73 0038): Zásady navrhování konstrukcí – hodnocení existujících konstrukcí. Praha, ČNI. 2005.
- [2] Směrnice pro navrhování mostů. Praha, VTN. 1951.
- [3] DOBROVOLNÝ, B.: Kapesní strojnická příručka. Praha, SNTL. 1956.
- [4] ČERVENÝ; ŘEHOŘOVSKÝ: Statika stavebních konstrukcí, 4. opravené vydání. Praha, ČMT. 1931.
- [5] TP 24 Železový beton. ČMT. 1947.
- [6] KLOKNER, F.; HRUBAN, K.: Železový beton I, II. TP 24. Praha, SNTL. 1959.

Kontakt

Ing. Jaroslav Čambula, tel: 00420 224 354 624, e-mail: jaroslav.cambula@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

VLIV ÚPRAVY POVRCHŮ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ NA SPACING FACTOR

INFLUENCE OF ADAPTATION OF THE TEST SAMPLE SURFACES TO THE SPACING FACTOR

Michaela Dudíková, Petr Huňka, Jiří Kolísko

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

Anotace:

Příspěvek pojednává o měření spacing factoru na čtyřech zkušebních vzorcích, měřených pomocí dvou odlišných mikroskopů. Rovněž byl sledován vliv povrchové úpravy na hodnotu spacing factoru.

Annotation:

The article describes measurement of spacing factor of four test samples by two different microscopes. The influence of two types of surface treatment to the spacing factor value is also study.

Klíčová slova: mikroskop, spacing factor, povrchová úprava

Keywords: microscope, spacing factor, surface treatment

1. Úvod

Hodnota spacing factoru výrazně ovlivňuje mrazuvzdornost materiálů. Spacing factor se určuje na základě normy ČSN EN 480 – 11 [1], která předepisuje zkušební metodu pro stanovení struktury vzduchových pórů ve vzorku ztvrdlého betonu, který je provzdušněný. Struktura vzduchových pórů je popisována následujícími parametry: celkový obsah vzduchu, měrný povrch systému vzduchových pórů, součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů, rozdělení velikostí vzduchových pórů a obsah mikroskopického vzduchu.

Článek se zabývá porovnáním výsledků spacing factoru na leštěné a neleštěné ploše vzorků, měřených pomocí konfokálního a běžného optického mikroskopu.

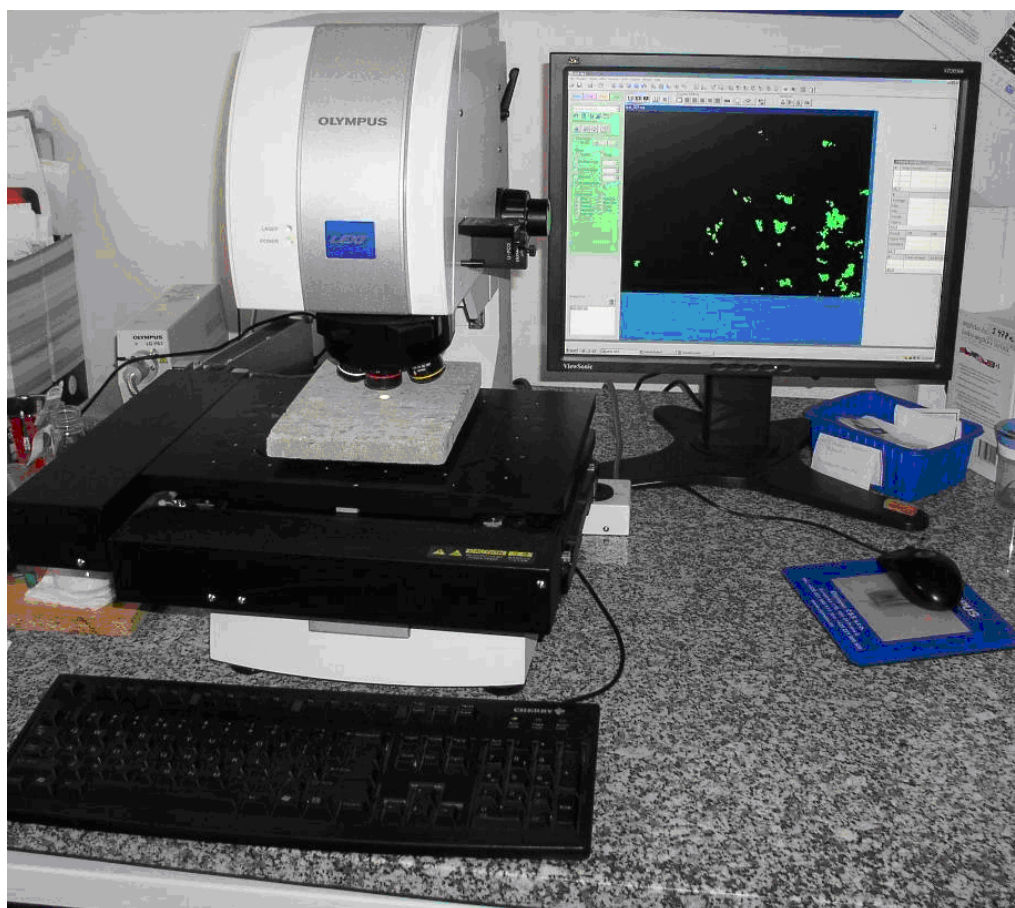
2. Měřicí zařízení

Pro stanovení charakteristiky vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu byly použity dva odlišné mikroskopy:

- konfokální laserový rastrovací mikroskop Lext OLS3000,
- optický stereo mikroskop.

Lext OLS3000 viz *Obr. 1* s maximálním zvětšením 14 400x umožňuje měření v reálném čase s vysokou přesností zobrazování v 3D. Základním principem mikroskopu je, že netvoří obraz vcelku, najednou, ale bod po bodu, řádkováním. Pomocí řádkování jsou tedy snímány optické řezy v rovině X-Y a díky přesnému definovanému posuvu objektivu v ose Z i jednotlivé prostorové fotosnímky.

Optický stereo mikroskop pracuje na principu běžných optických mikroskopů.



Obr. 1.: Uspořádání zkoušky

3. Metoda měření

Pro měření byla použita tělesa vyříznutá z opěrných prvků vyrobených vibrolisováním, maximální zrno kameniva 16 mm. Rozměry zkušebních vzorků jsou uvedeny v *Tabulka 1*.

Celkem byly provedeny tři sady měření na stejných vzorcích. Rozdíl byl v povrchové úpravě (leštěný a neleštěný povrch) a použitých mikroskopech.

Prvním bylo měření neleštěného povrchu zkušebních vzorků na mikroskopu Lext OLS3000, zkušební povrch byl získán odříznutím z prvku diamantovou pilou.

Druhá sada měření byla provedena na vzorcích první sady, s tím rozdílem, že povrchy zkušebních vzorků byly broušeny za mokra. Následně byly povrchy očištěné kartáčkem a poté proběhlo leštění dle ČSN EN 480 – 11 [1]. Vlastní měření proběhlo optickým stereo mikroskopem.

Vzorky třetí sady jsou shodné se vzorky sady druhé, s tím rozdílem, že měření bylo provedeno pomocí mikroskopu Lext OLS3000, tzn. na leštěné ploše.

Vlastní měření spacing factoru proběhlo tak, že na měřených vzorcích se vyznačila soustava měřících přímek (přímky byly umístěny rovnoběžně s rozstupem přibližně 6 mm) tak, aby byla zajištěná celková minimální délka měřených přímek 2400 mm. Z těchto přímek se stanovily výchozí hodnoty pro výpočty – celková délka tětv přes vzduchové póry a celková délka protínající pevnou fázi. Součet těchto přímek protínajících póry a pevnou fázi představuje celkovou délku soustavy měřících přímek (2400 mm).

Tabulka 1.: Rozměry vzorků a objemová hmotnost.

Označení vzorku	Rozměry			Hmotnost vzorku [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	d [mm]	š [mm]	t [mm]		
1	190	150	22	146,7	2340
2	192	149	21	138,6	2310
3	190	150	23	148,1	2260
4	191	151	22	135,8	2140

4. Výsledky měření

Výsledky měření jsou uvedeny v *Tabulce 2*. V prvním sloupci jsou naměřené hodnoty součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů

na neleštěném povrchu vzorků, pomocí mikroskopu Lext. Druhý sloupec tvoří hodnoty měřené na stereo mikroskopu na leštěném povrchu vzorků. V posledním sloupci jsou uvedeny hodnoty leštěného povrchu vzorků, měřené na mikroskopu Lext.

Tabulka 2.: Porovnání součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů.

Označení vzorků	Neleštěný povrch Lext [mm]	Leštěný povrch Stereo [mm]	Leštěný povrch Lext [mm]
1	0,23	0,10	0,23
2	0,14	0,12	0,13
3	0,17	0,12	0,21
4	0,16	0,15	0,16

5. Závěr

V článku bylo presentováno měření spacing factoru na čtyřech zkušebních vzorcích, měřených pomocí dvou odlišných mikroskopů, přičemž byl sledován vliv povrchové úpravy na hodnotu spacing factoru.

Výsledky naměřené pomocí konfokálního mikroskopu Lext na vzorcích s neleštěným a leštěným povrchem jsou velice blízké. Rozdíl ve výsledku je pouze u vzorku 3 viz Tabulka 2. Důvodem rozdílného výsledku může být nerovnoměrnost rozložení vzduchových pórů ve vzorku 3, kdy následné měření na leštěném povrchu nebylo provedeno na přesně stejném místě. Zdá se, že u mikroskopu Lext není potřeba leštit zkušební vzorek, což je dáno tím, že při určování hodnoty spacing factoru se pracuje s plošnými a ne s objemovými póry. Nicméně norma [1] požaduje v kapitole 6.2 úpravu povrchu vzorku broušením a leštěním. Mikroskop Lext pracuje na principu scanování tzn. nejvyšší a nejnižší scanované místo se rozdělí na několik optických řezů, které se poté spojí v jeden celek. Čím je povrch zkušebního tělesa hladší, tím je potřeba méně optických řezů, tudíž je celý proces scanování výrazně rychlejší, což je další důvod proč je výhodné zkušební vzorky leštit.

Výsledky naměřené optickým a konfokálním mikroskopem na leštěném povrchu (respektive konfokálním mikroskopem na neleštěném povrchu) jsou shodné pouze u vzorků 2 a 4. U vzorků 1 a 3 se naměřené hodnoty liší o cca 50% viz Tabulka 2. Důvodem odlišných výsledků může být opět nerovnoměrnost rozložení vzduchových pórů ve vzorcích, kdy pravděpodobně nedošlo k měření na stejných měřících přímkách.

Zkušební vzorky byly odříznuty z prvků určených pro opěrné zdi. Prvky byly vyrobeny vibrolisováním, nejedná se tedy o běžný provzdušněný beton. Prezentované výsledky tak mohou být touto skutečností ovlivněny. Proto bude provedeno další srovnávací měření a to na vzorcích provzdušněného betonu. Další zajímavé srovnání by mohlo přinést uspořádání mezilaboratorních testů.

Mikroskopický obsah vzduchu, celkový počet měřených tětív a další parametry určující výslednou hodnotu spacing faktoru budou prezentovány na konferenci.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu č. SGS10/227/OHK1/2T/31 a grantu č. SGS10/228/OHK1/2T/31.

Literatura

- [1] ČSN EN 480 – 11: Přísady do betonu, malty a injektáží malty – Zkušební metody – Část 11: Stanovení charakteristiky vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu.
- [2] DUDÍKOVÁ, M.; KOLÍSKO, J.: Aplikace konfokálního rastrovacího mikroskopu Lext OLS3000 pro stanovení pórovitosti materiálů. In XIV. Mezinárodní konference Construmat 2008. Brno, FAST VUT. 2008. p. 121 - CD. ISBN 978-80-214-3660-2.

Kontakt

Ing. Michaela Dudíková, tel: 00420 224 353 522, e-mail: dudikova@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínová 7, 166 08 Praha.

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

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., tel: 00420 224 353 537, e-mail: kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínová 7, 166 08 Praha.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**POROVNÁNÍ RŮZNÝCH VYHODNOCOVACÍCH
POSTUPŮ NAMĚŘENÝCH DAT
METODOU GPR V RÁMCI DIAGNOSTIKY
BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ**

**COMPARISON OF DIFFERENT EVALUATION
TECHNIQUES OF GAINED DATA USING GPR
TECHNIQUE WITHIN A FRAMEWORK
OF DIAGNOSTIC OF CONCRETE CONSTRUCTION**

Tomáš Kordina, Ondřej Anton

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Na vytvořeném fyzikálním modelu byly provedeny jedny z prvních dílčích experimentálních měření pomocí nedestruktivní diagnostické metody GPR/WPR (Ground Penetrating Radar/ Wall penetrating radar) se zaměřením na diagnostiku konstrukcí. Z hlediska jedinečnosti každé stavební konstrukce a věrohodné interpretace naměřených dat, je důležité zvolit adekvátní vyhodnocovací postup. Tento příspěvek se zabývá porovnáním výsledné kvality GPR snímků skenované oblasti anténou o střední vysílací frekvenci 1600MHz. Vyhodnocení bylo provedeno v několika různých variantách používaných postupů. Výsledkem je dílčí soubor relevantních informací, jak se stavět k úloze diagnostiky vnitřních nehomogenit v konstrukci z hlediska vyhodnocovacích postupů.

Annotation:

On a created physical model were used one of the first fragmentary experiment measurements using non-destructive diagnostic methods of GPR/WPR (Ground penetration radar/ Wall penetration radar) in a framework of construction diagnostic. Because of the uniqueness of every next scanned construction and correct interpretation of measured data is it most important to choose an adequate assessment procedure. This paper contains the comparison of the

final quality of GPR pictures of the scanned area using antenna of the medium frequency of 1600MHz. The assessment was maintained in a few varieties of measurement techniques. As a result we are given a partial file of relevant informations which helps us better understand how should we place ourselves into the task of diagnostic of inertial inhomogeneous contained in the construction, in a view of an assessment techniques.

Klíčová slova: GPR, georadar, NDT, beton

Keywords: GPR (Ground Penetrating Radar), georadar, NDT, concrete

1. Úvod

Využívání nedestruktivních diagnostických metod nachází ve stavební praxi stále širší uplatnění. Mezi jednu z nejmladších, dynamicky se rozvíjejících metod, lze zařadit NDT metodu GPR (Ground Penetrating Radar). Jedná se o pokrokovou nedestruktivní metodu, jež byla původně vyvinuta pro geologické aplikace. Ze spolupráce s firmou INSET s.r.o., která se systematicky zabývá rozvojem této metody, jsou prováděna rozsáhlé experimentální měření, jejíž výsledky mají informovat odbornou veřejnost o možnosti využití této metody a tím přispět k upevnění a dalšímu rozvoji metody na českém trhu. Dalším cílem spolupráce je nejen získání nových poznatků o GPR, ale i posouzení využitelnosti a stanovení okrajových podmínek pro využívání GPR na různých typech stavebních konstrukcí.

V příspěvku jsou uvedeny výsledky dílčích experimentálních měření, které byly provedeny na fyzikálním modelu. Model byl koncipován tak, aby v rámci prováděných měření poskytl adekvátní simulaci reálné konstrukce. V tomto příspěvku se jedná o porovnání kvality GPR snímků v závislosti na různých postupech vyhodnocování naměřených surových dat. Z hlediska, že každá reálná konstrukce je jedinečná, má tento aspekt významný vliv na celkové vyhodnocení a určení skutečné polohy železobetonové výztuže či jiných vnitřních nehomogenit v konstrukci.

2. Krátce o GPR

Principem GPR metody je vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů do zkoumaného prostředí a registrace jejich odrazů v časovém okně. Šíření signálu prostředím závisí na jeho elektromagnetických vlastnostech, především permitivitě a vodivosti. Rychlost šíření elektromagnetických pulzů prostředím lze stanovit dle zjednodušeného vztahu:

$$v = c / \sqrt{\epsilon_r} \quad (1)$$

kde v je rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím, c je rychlost šíření vakuem ($c = 0,3 \text{ m/ns}$) a ϵ_r je relativní permitivita prostředí.

Schopnost detekce nehomogenit pomocí GPR metody závisí na mnoha faktorech. Významnou roli hraje velikost anomálie, a to hlavně v poměru k hloubce jejího uložení a k frekvenci měřicího zařízení. Zařízení pracující s anténami o vyšších frekvencích, mají větší rozlišovací schopnost, nevýhodou je menší hloubkový dosah. Citlivost měření je také závislá na poměru mezi užitečným signálem a šumem, tedy např. na „odladění“ aparatury, intenzitě okolního rušení atd.

3. Měření

Iniciátorem experimentálních měření je společnost INSET s.r.o., která je nejen vlastníkem GPR přístrojového vybavení, ale také disponuje rozsáhlými pracovními prostory. Rozvoj nedestruktivní diagnostiky s využitím GPR skeneru je rovněž finančně podporováno Specifickým výzkumem FAST-S-11-23 uděleném Vysokým učením technickým v Brně v rámci programu pro rozvoj vědy a výzkumu.

3.1. Popis měření

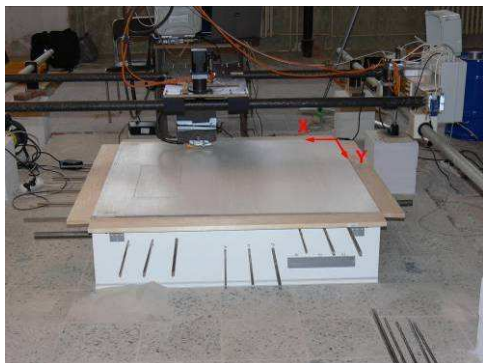
V rámci prvních sérií experimentálních měření na fyzikálním modelu byl hodnocen především vliv hustoty měření na kvalitu výsledného obrazu zkoumaného prostředí. Na základě výsledků se nám jako rozumný kompromis mezi dosaženou kvalitou a časovou náročností jeví síť paralelních profilů s rozstupem 10 mm a s krokem měření 5 mm. V dalším dílčím měření jsme těchto poznatků zužitkovali a mohli se zaměřit na problematiku vlivu směru skenování při různé orientaci osy polarizace ke směru pojezdu měřicí antény. V tomto příspěvku se budeme zabývat různými postupy vyhodnocení naměřených surových dat za pomoci softwarového vybavení pro hledání optimální konfigurace pro běžné stavební aplikace. V článku, z důvodů jeho omezeného rozsahu bude vybrán reprezentativní vzorek, interně označen M22 (X) na kterém budou ukázány dosažené výsledky.

3.2. Měřicí aparatura

Pro experimentální měření bylo využito radarové aparatury RAMAC GPR švédského výrobce Malå GeoScience, systém RAMAC CX se stíněnou anténou 1600 MHz. Její reálný hloubkový dosah je cca 0,3 m.

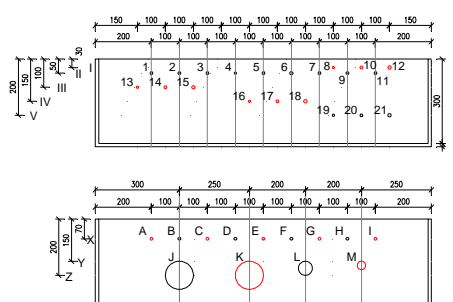
Aby bylo dosaženo požadované přesnosti měřicího rastru georadarového skenování v celé ploše fyzikálního modelu, byl vyvinut společností INSET s.r.o.

pevný měřicí rám s řízeným pohyblivým jezdcem pro uchycení georadarové antény. Pracovní název tohoto systému je DIBEKON - Diagnostika betonových konstrukcí. Nastavení a ovládání měřicí aparatury a sběr dat byl prováděn pomocí měřicího softwaru Ramac GroundVision v.1.4.5.



Obr. 1.: Fyzikální model s měřicím rámem Dibekon a zavěšenou měřicí aparaturou

ROZLOŽENÍ NEHOMOGENIT
M22-M24



Obr. 2.: Schéma bočnic fyzikálního modelu s rozmístěním výztuže: nahoře bočnice rovnoběžná se směrem Y, dole rovnoběžná se směrem X, přítomná výztuž označena červeně, rozmístění otvorů v bočnicích černě

3.3. Fyzikální model

Pro potřebu experimentálních měření byl zhotoven fyzikální model tvořený jemným křemičitým pískem bez pojiv. Oproti betonovým vzorkům umožňuje náš model libovolně měnit rozmístění výztuže a provádět opakovaná měření na tomtéž vzorku. Fyzikální model je otevřený box čtvercového profilu s pevným dnem a otevíratelným víkem vytvořen z dřevěných lepených prvků. Ve svislých stěnách jsou vyvrtány otvory umožňující simulaci různých ocelových profilů či jiných nehomogenit. Výplň fyzikálního modelu tvoří jemný křemičitý písek, který svými vlastnostmi optimálně nahradí zatvrdlou betonovou konstrukcí. Takto vytvořený model o vnějších rozměrech 1200 x 1200 x 300 mm je přikryt sololitovou deskou, jež vytváří měřicí povrch pro pojezd GPR skenovací antény. Na následujícím Obr. 2 je vidět rozmístění výztuže pro reprezentativní zpracováváný soubor měření M22 (X) a z Tab. 1 jsou patrné profily použité výztuže.

Tabulka 3.: Specifikace výztuže ve fyzikálním modelu

SMĚR PRUTŮ											
X	označení	1	3	4	5	6	8	10	12		
	profil [mm]	8	12	8	10	12	8	10	12		
Y	označení	A, C, F, G, H, I					K		M	ocelová	
	profil [mm]	10					100 (plast) +30 (ocel)		30	kalibrační deska	

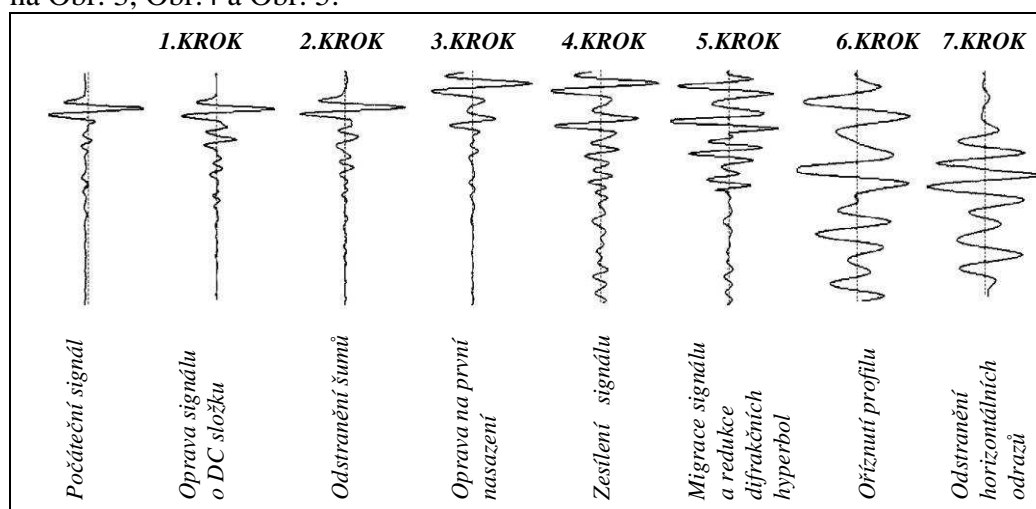
4. Zpracování dat

4.1. Způsob zpracování dat a programové vybavení

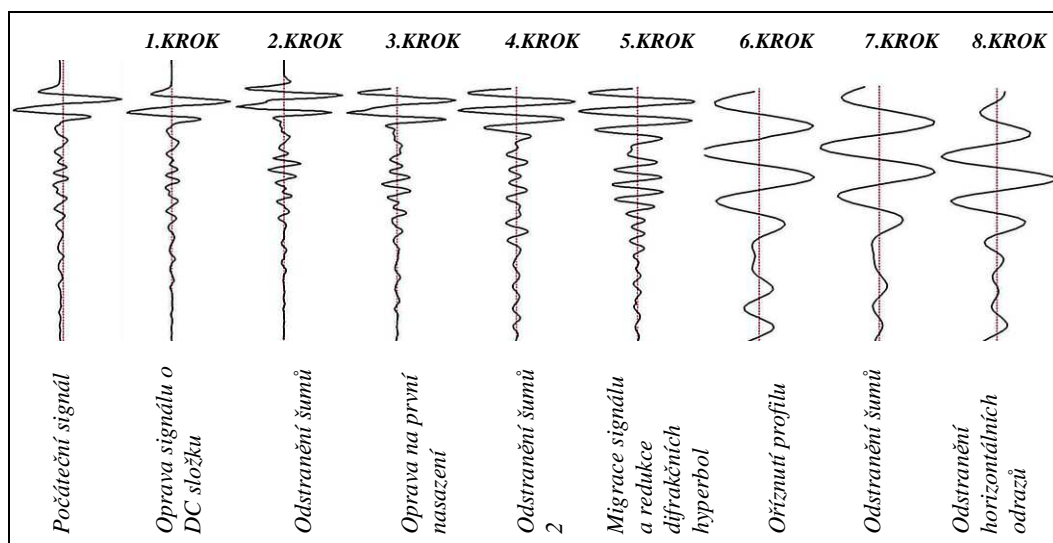
Získaný soubor surových dat je spojitý obraz celého měření, tzn. paralelní profily v rastru skenování se bez dělení řadí za sebou. Pro výsledné zpracování dat se využívá rozsáhlé programové vybavení, které pomocí matematických operací aplikovaných na naměřené údaje a postupného zpřesňování vytváří finální podobu výsledků. Samotné rozdělení spojitého datového souboru a jeho separace a délkové vyrovnání jednotlivých měřících profilů se provádí pomocí speciálně vyvinutého programu DIBEKONV, který byl speciálně vyvinut pro DIBEKON. Po aplikaci získáme blok soustavy jednotlivých paralelních profilů. Následující operace jsou prováděné buď samostatně nebo dávkou na 2D profilech v programu ReflexW. Zpracované profily se spojí do 3D náhledového modelu skenované konstrukce, v našem případě fyzikálního modelu.

Postup zpracování 2D řezů není fixní a nastavení jednotlivých zpracovatelských postupů a parametrů je laděno pro každý typ úlohy samostatně.

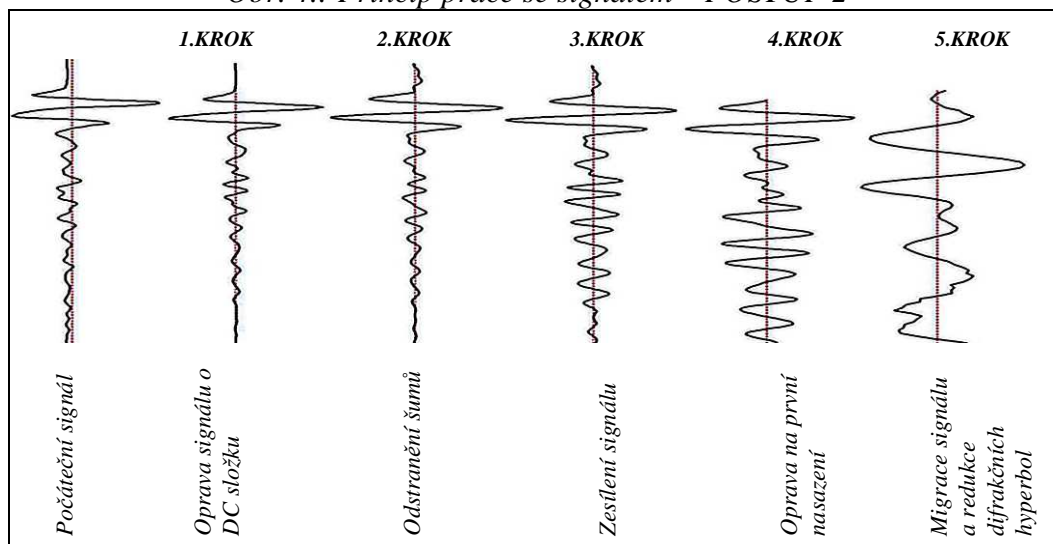
Na následujících řádcích bude ukázán vliv rozmanitosti tří použitých vyhodnocovacích postupů. Princip práce se signálem je názorně zobrazen na Obr. 3, Obr.4 a Obr. 5.



Obr. 3.: Princip práce se signálem – POSTUP 1



Obr. 4.: Princip práce se signálem – POSTUP 2

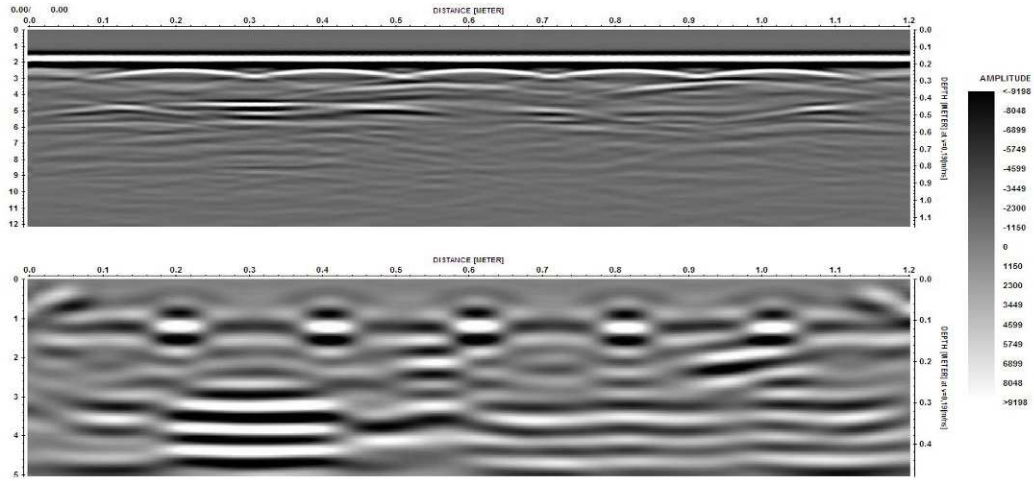


Obr. 5.: Princip práce se signálem – POSTUP 3

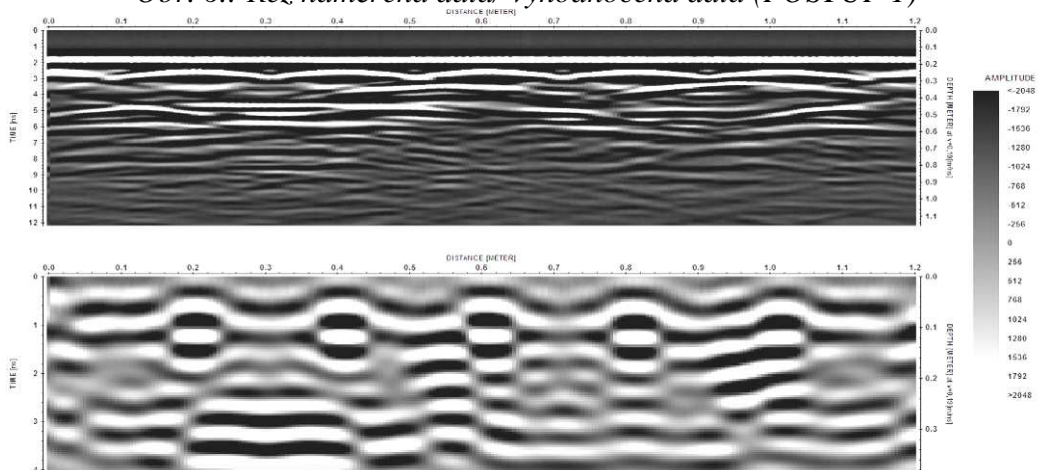
Je nutné brát na zřetel, že vyhodnocení základního datového souboru je velice individuální a závislé na mnoho činitelích. Důležitým faktorem je i schopnost uživatele číst získaný finální obraz a interpretovat získané výsledky.

4.2. Naměřené hodnoty

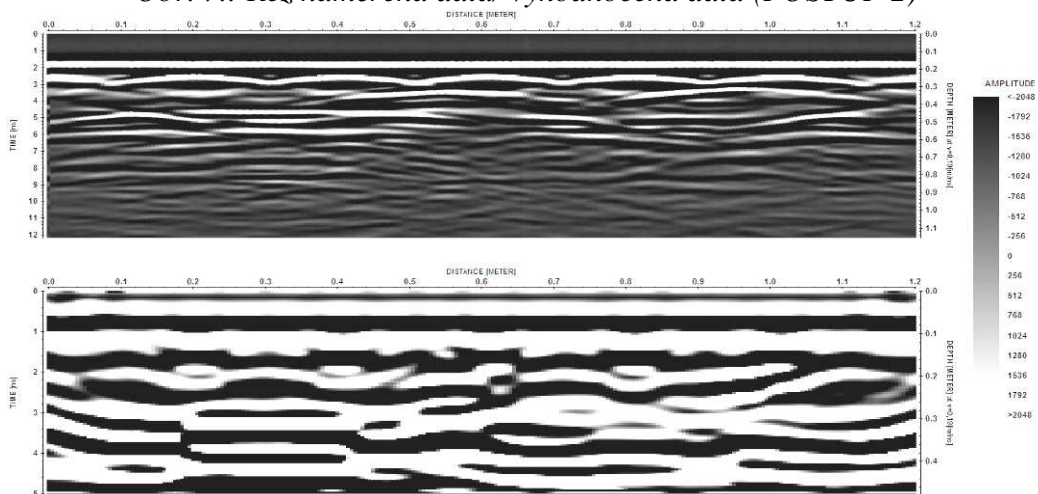
S pomocí zpracovatelského softwaru dostáváme rozsáhlý soubor dat, který díky hustému kroku měření (5mm) kontinuálně popisuje simulovanou konstrukci. Na následujících Obr. 6 ~ 8 jsou znázorněny reprezentativní řezy M22 (X) - 200/1200) při použití vyhodnocovacích POSTUPŮ 1-3.



Obr. 6.: Řez naměřená data/ vyhodnocená data (POSTUP 1)



Obr. 7.: Řez naměřená data/ vyhodnocená data (POSTUP 2)



Obr. 8.: Řez naměřená data/ vyhodnocená data (POSTUP 3)

Jelikož jsme znali rozmístění všech nehomogenit ve fyzikálním modelu, mohli jsme hodnotit a porovnávat námi vybrané hloubkové úrovně.

Uvedené postupy (processing flow) lze dávkou aplikovat na jednotlivé profily, čímž je zajištěno jejich identické zpracování. Výsledné 2D profilové řezy (Obr. 6 - 8) lze prohlížet a interpretovat jednotlivě nebo ve formě složení do 3D modelu. Převedením do 3D a grafickou úpravou dle požadavků na vyhodnocení (jas, sytost, barevné schéma, hloubka ostrosti), dostáváme rozsáhlý prostorový náhledový model zkoumané konstrukce. Ve výše zmíněném modelu lze zobrazit jednotlivé plošné řezy po výšce, ze kterých lze stanovit velikost a pozici zkoumaných nehomogenit v konstrukci.

5. Závěr

Přínosem tohoto dílčího experimentálního měření a zpracování je vypovídající hodnota o možnostech použití moderní nedestruktivní metody GPR (Ground penetrating radar), založené na vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulsů do zkoumaného prostředí a registraci času jejich odrazu. Z výsledků je patrné, že je třeba pečlivě volit postupy při vyhodnocování, protože při některých úkonech můžeme potlačit významnou informaci. Záleží však, co od výsledného obrazu očekáváme, a tak, dle toho je potřeba k volbě adekvátního modelu přistupovat.

Poděkování

Projekt výzkumu a vývoje „Porovnání různých vyhodnocovacích postupů naměřených dat metodou GPR v rámci diagnostiky betonových“ byl podporován a spolufinancován ze specifického výzkumu FAST-S-11-23 uděleném Vysokým učením technickým v Brně v rámci programu pro rozvoj vědy a výzkumu.

Literatura

- [1] CHANG, C. W., LIN, C. H., LIEN, HUNG S.: Measurement radius of reinforcing steel bar in concrete using digital image GPR (Ground penetrating radar). Article from Construction and Building Materials. 2009.
- [2] ŠTAINBRUCH, J.: GPR Applicability to Thick Wall Concrete Structure Inspeccion – Experiences Gained from Both Experimental Studies and Workaday Measurements. 2008. s. 127 – 127.

- [3] KORDINA, T., KADLECOVÁ, Z., ŠTAINBRUCH, J.: Location of Steel Reinforcement and Other Reinforcing Elements using 3D GPR. In Proceedings of 7th WORKSHOP NDT 2008. Brno: Brno University of Technology, 2009. ISBN 978-80-7204-67.
- [4] KADLECOVÁ, Z., KORDINA, T., ANTON, O.; Štainbruch, J.: Detekce ocelové výztuže pomocí 3D GPR. Konference doktorandského studia Juniorstav 2010. Brno: Brno University of Technology, s. 205. 2010. ISBN 978-80-214-4042-5
- [5] KORDINA, T.; KADLECOVÁ, Z.; ANTON, O.: Evaluation of the Influence of a Scanning Method on the Resulting Quality of the GPR Images. In Proceedings of the XIII International Conference on Ground penetrating Radar Lecce (Italy), 21-25 June 2010. 2010. p. 187 - 192. ISBN 978-1-4244-4605-6.
- [6] KORDINA, T.; KADLECOVÁ, Z.; ANTON, O.: Využití nedestruktivní diagnostické GPR metody pro lokalizaci výztuže v železobetonových konstrukcích a zhodnocení vlivu způsobu skenování na poloze výztuže. in sborník přednášek, sanace betonových konstrukcí. Brno, Sdružení pro sanace betonových konstrukcí. 2010. p. 48 - 59. ISSN 1211-3700.

Kontakt

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.

Ing. Tomáš Kordina, tel: 00420 541 147 817, e-mail: kordina.t@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

PŘÍSTROJE PRO NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ FIRMY PROCEQ SA, ŠVÝCARSKO

NON DESTRUCTIVE TESTING EQUIPMENT FROM COMPANY PROCEQ SA, SWITZERLAND

Jaroslav Mikula

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

Anotace:

V roce 1954 zahájila švýcarská firma PROCEQ SA výrobu přístroje na zkoušení betonu vyvinutého Ing. Ernestem Schmidtem z Basileje. Tento přístroj představuje skutečně první technickou metodu spolehlivě založenou na dlouhodobém podrobném vědeckém výzkumu, podle které může být kvalita betonu kontrolována přímo na stavbě. Od té doby firma ve spolupráci s různými renomovanými evropskými univerzitami a výzkumnými ústavy postupně vyvinula další buď mechanické nebo elektronické přístroje hojně používané prakticky po celém světě, kterými lze spolehlivě měřit různé parametry a kvalitu konstrukcí přímo na stavbě a přitom bez destruktivních vlivů na měřený objekt.

Annotation:

Proceq SA of Switzerland, founded in 1954, is a leading manufacturer of high quality portable test equipment for concrete properties which was developed by Mr. Ernest Schmidt from Basel. The equipment introduces us the first real technical method which is reliable, based on long term scientific research and can be used on site to find out the concrete quality. Since that time the company developed lot of similar non destructive equipments in cooperation with reputable European universities and research organization. These equipments allowed direct measuring of various characteristics on construction sites with no destructive solutions on constructions.

Klíčová slova: *nedestruktivní zkoušení, PROCEQ, CSN Farnell, tvrdoměr, tvrdoměrné kladívko, SCHMIDT, SILVER SCHMIDT, tvrdost betonu, pevnost betonu v tlaku, kovádlina, tvrdoměr na kovy, EQUOTIP, EQUOPEN, EQUOSTAT, přídržnost, DYNA, ultrazvukový přístroj, PUNDIT, TICO, trhlina,*

modul elasticity, zhutnění, zvukové sondy, permeabilita, propustnost, TORRENT, kvalita betonu, výztuž, koroze výztuže, analyzátor, CANIN, indikátor výztuže, PROFOMETER, PROFOSCOPE, lokalizace, výška překrytí, průměr prutu, tvrdost rolí, kvalita navinutí, PAROTESTER, PAPER SCHMIDT

Keywords: *non destructive testing, PROCEQ, CSN Farnell, hardness tester, hardness tester hammer, SCHMIDT, SILVER SCHMIDT, concrete hardness, compressive strength of concrete, anvil, hardness tester on steel, EQUOTIP, EQUOPEN, EQUOSTAT, pull-of, DYNA, ultrasonic equipment PUNDIT, TICO, crack, module of elasticity, consolidation, acoustic transducer, permeability, permeability, TORRENT, quality of concrete, reinforcement, corrosion of reinforcement, analyzer, CANIN, indicator of reinforcement, PROFOMETER, PROFOSCOPE, localization, height, covering, average of bar, hardness of roll, quality of winding, PAROTESTER, PAPER SCHMIDT*

1. Kontrola kvality betonu tvrdoměrným kladívkem

Tvrdoměrné kladívko orig. SCHMIDT slouží k nedestruktivnímu zkoušení kvality betonu na hotových stavbách. Od té doby, co firma PROCEQ SA vyvinula tuto metodu měření tvrdosti betonu v konstrukci, stala se velice rychle nejrozšířenější na celém světě, v ČR se používá již od 60-tých let.

Princip měření: definovanou energií naráží rázový člen kolmo na povrch očištěného betonu. Energií odpovídající tvrdosti betonu se odrazí úderník nazpátek. Hodnota odrazu se odečte a v převodních tabulkách či diagramu se najde odpovídající pevnost v tlaku.

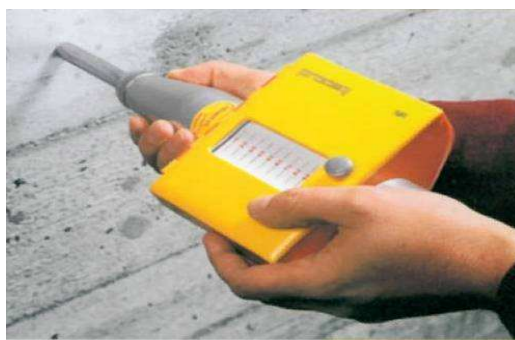
V současné době jsou tyto tvrdoměry vyráběny pro běžné betony pod označením N / L (model L má cca třetinovou rázovou energii pro zkoušení tenkostěnných prvků se silou stěny pod 100 mm, umělého kamene apod.) Významné uplatnění nacházejí jak registrační modifikace NR/LR umožňující zachování naměřených dat, příp. jejich dokladování do protokolů, archivování, apod., tak elektronické provedení DIGI-SCHMIDT ND/LD s výstupem pro napojení na PC i tiskárnu, které má zabudováno mnoho přídatných funkcí - např. automatickou korekci zemské přitažlivosti podle směru rázu, komunikaci v češtině, možnost zavedení křivek speciálních betonů a pod.; v současné době jsou již hojně rozšířeny i nové elektronické modely SILVER SCHMIDT BN/LN, UN/UL, resp. vylepšené STN/STL a PCN/PCL. Tyto modely v modifikaci N mají výrazně rozšířený rozsah měření díky možnosti nastavení čtyř převodních křivek pro rozmezí pevnosti v tlaku 2-30 / 10-70 / 10-110 / 70-170 N/mm².

Modely L/LR se úspěšně používají i při kontrolních měřeních v papírenském průmyslu na rolích fólií i papíru, přestože pro tento specifický účel použití jsou vyráběny speciální měřicí přístroje (viz ad 4.)

Normy: ČSN EN 12504-2; ISO/DIS 8045; ENV 20; DIN 1048, část 2; NFP 18-417; B 15-22 5; BS 1881, část 202; ASTM C 805; ASTM D 5873 (+ ČSN 73 1373; ČSN 73 2011) a další.



Obr. 1.: Tvrdoměr DIGI-SCHMIDT 2000



Obr. 2.: Kladívko orig. SCHMIDT NR



Obr. 3.: Kladívko SILVER SCHMIDT



Obr. 4.: Kovadlina původní / EURO

Jen pro doplnění - oproti původním ČSN norma ČSN EN 12504-2 obsahuje tři základní změny – jednak uznává pouze používání kalibrační kovadliny s větší tvrdostí i velikostí než dosud používané (dodávají se pod názvem **EURO kovadliny**); jednak má zakotven požadavek na kontrolní měření na kovadlině před a po každé sérii měření; třetí změna se pak týká otázky vyhodnocení - podle anglického originálu se vyhodnocení provádí na základě výpočtu mediánu, nikoliv jak je omylem uvedeno v české překladu – na základě výpočtu střední hodnoty z naměřených hodnot tak, jako tomu bylo dle citovaných ČSN.

Vzhledem ke skutečně masovému používání této metody pro základní stanovení kvality betonu, možnosti odbedňování, apod..., je třeba klást stále vyšší požadavky na odbornost pracovníků, kteří s těmito přístroji měří a provádějí vyhodnocování naměřených hodnot. TZÚS Praha, s. p. ve spolupráci

s certifikačním orgánem č. 3008 při ČMS organizuje každoročně kvalifikační kurzy s osobní certifikací, která je plně uznávána např. při certifikaci managementu firmy, akreditaci zkušební laboratoře, apod. Přínosem je též postupné sjednocování postupů měření a vyhodnocování, ale hlavně - uživatelé jsou schopni zodpovědně stanovit základní aspekt – na jakém typu konstrukce lze vůbec zkoušení tvrdoměrným kladívkem aplikovat. Vlastní tvrdoměrná kladívka ve všech modifikacích se v ČR kalibrují v akreditované kalibrační laboratoři při TZÚS Praha, s.p., pobočka TIS v Praze s českým etalonem kovadliny metrologicky navázaným na základní švýcarský etalon, na Slovensku pak v TSÚS v Bratislavě, který má metrologicky navázanou etalonovou kovadlinu na etalon v TZÚS Praha, s.p..

2. Od betonu ke kovu ...

Elektronický tvrdoměr na kovy EQUOTIP

Základní princip funkce tvrdoměrných kladívek vedl k vyvinutí tvrdoměru na kovy (ocel, litina, měď, hliník, slitiny, atd.). Tak vznikl elektronický tvrdoměr na kovy **EQUOTIP**, který se používá prakticky po celém světě. Jedná se o přenosný elektronický přístroj s výměnnými tzv. rázovými přístroji podle druhu materiálu pro tvrdosti až do cca 1200 HV. Podle převodních křivek instalovaných ve vnitřním software indikačního přístroje lze nastavit odečet přímo v hodnotách HV, HB, HRB, HRC, HRA, HS. Pomocí tohoto přístroje se zkouší tvrdost jak přímo ve výrobě, tak i v místě instalace a použití. Přístroj je vyráběn v různých modifikacích, donedávna dodávaný model **EQUOTIP 2** byl nahrazen modernějším modelem **EQUOTIP 3** s výrazně vyšším komfortem, s možností připojení k PC přes USB, Ethernet či RS 232 i vložení vlastních převodů pro specifické slitiny, apod.



Obr. 5.: EQUOTIP 2



Obr. 6.: EQUOTIP 3

Stručně další modely:

Kapesní bateriový tvrdoměr na kovy EQUOTIP PICCOLO 2

Princip měření je stejný jako u tvrdoměru EQUOTIP; jedná se o plně integrovaný kapesní měřicí přístroj, přes USB možnost jak dobíjení, tak přenos dat do PC. Zobrazení hodnot tvrdosti ve všech běžných jednotkách. Pomocí sw PICCOLINK lze provádět systematickou okamžitou kontrolu tvrdosti, automatizované měření v sériové výrobě, přenos a zpracování naměřených dat v PC, nastavování pomocí dálkového ovládání z PC; měření s vysokou přesností (± 4 HL).

Kapesní bateriový tvrdoměr na kovy EQUOTIP BAMBINO 2

Princip měření je stejný jako u tvrdoměru EQUOTIP; jedná se o plně integrovaný kapesní měřicí přístroj se stejnými funkcemi, jako má model PICCOLO, přes USB možnost dobíjení; v případě potřeby pomocí jednoduchého upgrade lze získat i adekvátní připojení a komunikaci s PC jako u modelu PICCOLO.



*Obr. 7.: EQUOTIP PICCOLO
(BAMBINO)*



Obr. 8.: EQUOPEN

Tužkový tvrdoměr na kovy EQUOPEN

Jedná se o kapesní bateriový přístroj velikosti propisovací tužky výhodně aplikovatelný pro rychlou a přesnou kontrolu tvrdosti kovových výrobků z materiálů na bázi

železa (ocel, ocelolitina, nástrojová a antikorozivní ocel) ve výrobě, při přejímce a pod. Naměřená hodnota tvrdosti se zobrazí na displeji v horní části přístroje v jednotkách HRC.

Rozsah měřené tvrdosti... 20 – 70 HRC; přesnost měření... ± 1 HRC

Tvrdoměr na kovy EQUOSTAT

Měření tvrdoměrem EQUOSTAT je založeno na principu statického měření (Rockwell) a je dimenzováno speciálně pro měření tvrdosti malých prvků (tenké nebo tence povrstvené díly, plechy, kolíky, trubky nebo drobné válcované vzorky).

Přístroj doplňuje tvrdoměr EQUOTIP používaný převážně pro masivnější a kompaktní výrobky a dílce, protože lehké a tenké prvky je nutno vázací pastou pevně přitisknout k velmi tuhé podložce, jinak se mohou posunout nebo pružit.

Se základním indikačním přístrojem EQUOTIP 2 lze používat jak sondu EQUOSTAT R5, tak všechny rázové přístroje EQUOTIP, čímž je umožněno jedním přístrojem aplikovat dvě měřící metody.

Normy: DIN 50156, ASTM A 956.

3. Zpět k betonu ...

Tvrdoměrné kladívko se používá převážně ke kontrole kvality „čerstvého“ betonu (v současné době je vysoce aktuální co nejdříve odbedňovat), ale pochopitelně i při zjišťování pevnostních parametrů starých staveb. Dnes je sanování stávajících starých betonových staveb stejně důležitým úkolem, jako výstavba nových. Před jakýmkoliv renovačním zásahem je třeba podrobně zjistit skutečný stav objektu. Pro zjišťování požadovaných vlastností betonových konstrukcí se s výhodou uplatňují přístroje pro nedestruktivní měření:

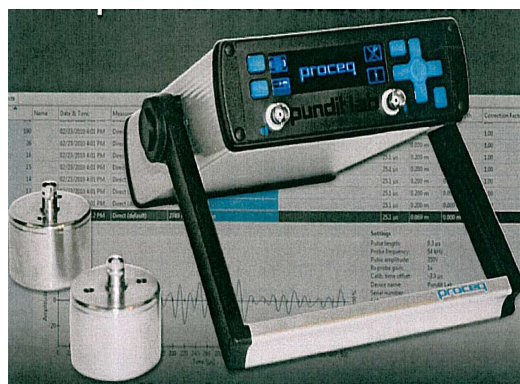
Přístroj na měření přídržnosti DYNA

Princip měření: na povrch vrstvy, jejíž přídržnost je měřena, se přilepí vhodným lepidlem (nesmí reagovat s materiálem vrstvy, ani do ní vzlínat) ve stanovené vzdálenosti zkušební terče (materiál se okolo terče odřízne) a následně se postupně na jednotlivé terče upevní pomocí tažného čepu přístroj DYNA, přístroj se pomocí stavitelných nožiček nastaví kolmo ke zkoušenému povrchu a plynulým pomalým zatěžováním se zjišťuje jak hodnota přídržnosti, tak způsob odtržení od základového betonu. Uvedená zkouška se provádí jak na laboratorních vzorcích, tak přímo na stavbě. DYNA se dodává jak v mechanické, tak elektronické modifikaci.

Normy: ČSN 73 1318 (ISO 4013) – ČSN EN 12350-5, ČSN EN 12390-9; ČSN 72 2451, 73 2577, 73 1374; EN 1015-12; EN 1348; EN 1607; ISO 4624; SIA 2002; DIN 1048- 2; ZTV SIB 90; BS 1881, část 207; ...



Obr. 9.: Příklad na měření přídržnosti
DYNA



Obr. 10.: Ultrazvukový přístroj
PUNDIT LAB

Ultrazvukový přístroj PUNDIT LAB

Princip měření: rychlost zvuku při průchodu materiálem je závislá na jeho hustotě a elastických vlastnostech. Tyto vlastnosti pak mají přímou závislost na kvalitě výrobku a pevnosti materiálu. Tak lze získat o betonové konstrukci nebo dílci informace o: stejnoměrnosti ztuhnutí, trhlinách, dutinách, poškození mrazem nebo ohněm; modul elasticity; pevnost betonu. Přístroj se dodává s více druhy zvukových sond s frekvencí podélného vlnění od 24 kHz do 150 kHz podle měřeného materiálu. Pro přesnější stanovení pevnosti betonu byla vyvinuta metoda kombinace měření tvrdoměrem orig. SCHMIDT a rychlosti průchodu UZ vln přístrojem PUNDIT LAB. Uvedený přístroj po získání firmy CSN Farnell navazuje na tradiční vžitou značku PUNDIT a plně nahrazuje původní vlastní přístroj TICO.

Normy: EN 12504-4; ISO DIS 8047; ASTM C 597; BS 1381, část 2003 (ČSN 73 1371), atd.

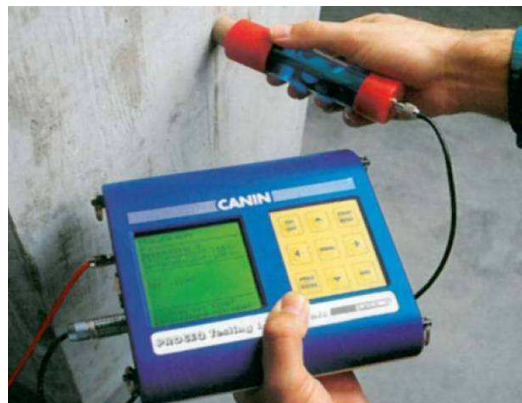
Permeability tester TORRENT

Princip měření: základními prvky pro měření metodou TORRENT jsou dvoukomorová vakuová buňka a regulátor tlaku, které obstarávají proudění vzduchu do vnitřní komory směřované kolmo k povrchu. Přístroj byl vyvinut skupinou inženýrů managementu Holderbank v návaznosti na známý fakt, že kvalita betonu je odvislá od množství vody přidané do směsi, neboť voda při výstupu z betonu zanechává ve vnitřním průřezu dutiny, resp. vzduchové bubliny. Na základě tohoto měření lze podle jednoduchého teoretického modelu vypočítat koeficient permeability k_T a hloubku proniknutí vakua L . Třída kvality překryvného betonu se pak stanoví dle hodnoty k_T z tabulky sestavené na základě dlouhodobých porovnávacích měření, kde je uvedeno 5 kvalitativních

tříd betonu - od velmi dobré až po katastrofální. U vlhkého betonu je nutno zahrnout i vliv elektrického odporu betonu ρ (ρ). Třída betonu se pak stanovuje z nomogramu.



*Obr. 11.: Permeability tester
TORRENT*



*Obr. 12.: Analyzátor koroze výztuže
CANIN*

Permeabilita (propustnost) betonu na povrchu byla uznána jako hlavní faktor, který určuje trvanlivost stavebního prvku. Uvedená zkouška je významná pro stanovení kvality betonu.

Norma: SN 505 262/1.

Analyzátor koroze výztuže CANIN

Princip měření: Koroze oceli v betonu je elektrochemický proces. Vytváří se galvanický člunek, který lze na povrchu měřit jako elektrické pole. Toto potenciální pole se měří pomocí elektrody obsahující síran měďnatý, tzv. poločlánku. Plošným měřením se rozlišují korodující a nekorodující místa. Tato metoda je např. v USA známa již více než 30 let a úspěšně se aplikuje v praxi. Jejím použitím se stanoví rozsah (příp. i stupeň napadení) koroze ve stavebních dílcích, resp. železobetonové konstrukci. V paměti přístroje lze uložit až 120 000 naměřených hodnot, což je až 4 000m² měřené plochy, které lze zobrazit jak na displeji indikačního přístroje, tak na PC (resp. vytisknout) v milivoltech, odstínech šedi nebo i barvách. Systém měření umožňuje použití od jedné až do osmi spřažených elektrod tyčových nebo kolečkových podle charakteru a rozsahu měřené plochy. Tato metoda výrazně zrychluje a zlevňuje prováděný průzkum, neboť není třeba odstraňovat beton okolo celé výztuže, pouze podle získaných výsledků stačí provést potřebné opravy v místech zjištěného napadení koroze.

Normy: DGZ fP B3; SIA 2006; BS 1881, část 201; ASTM C 876; UNI 10174

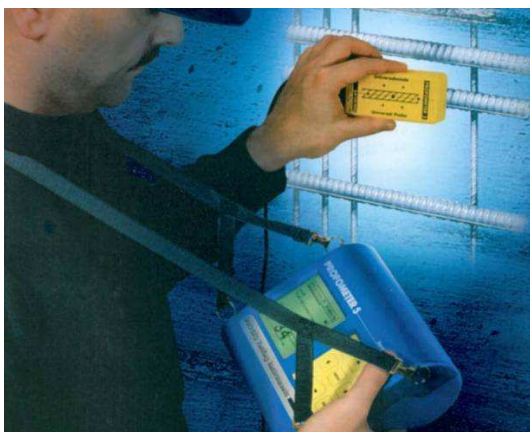
Indikátor výztuže PROFOMETER 5

Princip měření: přístroj pracuje na principu nedestruktivní pulzní indukce, čímž je výrazně odolný vůči vnějším vlivům. Používá se pro lokalizaci prutů výztuže v betonové konstrukci (po odstínění 1. vrstvy lze lokalizovat i pruty 2. vrstvy), zjišťování výšky překrytí vč. indikace nastaveného kritického překrytí i určování průměrů prutů použité výztuže.

Tento přístroj má mnohaletou tradici, v současné době je dodáván pod označením 5 ve dvou modelech – základní „S“, kde oproti předchozím typům lze jednou (univerzální) sondou stanovit lokalizaci prutů výztuže v konstrukci (s možností odstínění 1. vrstvy), výšku krytí betonem (lze např. přímo nastavit mezní hodnotu krytí a akustickým signálem přístroj sám upozorní na místo nedostatečného krytí) i skutečný průměr prutů s přesností o cca 50% vyšší, než stanovuje norma BS 1881, část 204 a. který naměřené hodnoty ukládá do paměti, příp. do PC a provádí jejich statistické vyhodnocení a „SCANLOG“, který je identický s modelem S, obsahuje však další vybavení:

- funkci „CyberScan“ k zobrazení výztužných prutů na displeji (na displeji se pak přímo mohou zobrazit pruty kolmo na sebe orientovaných vrstev výztuže s udáním výšek překrytí)
- funkci „Měření s rastrem“ pro zobrazení krytí betonem v odstínech šedi
- měřič dráhy „ScanCar“ s integrovaným měřením dráhy pohybu sondy pro skenování v odstínech šedi, integrovaným měřením dráhy pro skenování, atp.

Normy: DIN 1045; SIA 162; BS 1881, část 204; DGZfP B2



Obr. 13.: Indikátor výztuže
PROFOMETER 5



Obr. 14.: Indikátor výztuže
PROFOSCOPE

Indikátor výztuže PROFOSCOPE

Princip měření: stejný jako u přístroje PROFOMETER 5. Jedná se o kapesní přístroj, který má zachovány všechny funkce jako PROFOMETER 5. Snadné ovládání dvěma tlačítky, ergonomické provedení, celkově snadná manipulace a nízká hmotnost předurčují tento indikátor výztuže pro plné uplatnění při operativním a přitom přesném vyhledávání a kontrole uložení výztuží v konstrukcích in situ. Modifikace PROFOSCOPE + navíc umožňuje pomocí USB kabelu přenos dat a další zpracování vč. archivace v. PC.

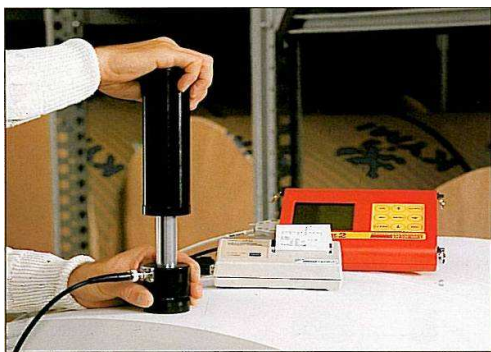
Normy: DIN 1045; SN 505 262; BS 1881, část 204; DGZ fP B2

4. A pro doplnění ...

Přístroje na zkoušení rolí PAROTESTER; PAPER SCHMIDT

Princip měření: stejný jako u tvrdoměrného kladívka orig. SCHMIDT. Přístroje jak svým provedením, tak softwarem jsou přizpůsobeny pro měření na rolích papíru nebo fólií. Do sw si uživatel může zadat optimální parametry měřeného materiálu a dle toho vyhodnotit skutečnou kvalitu návínu apod. PAPER SCHMIDT je nověji vyvinutý mobilnější přístroj s vnitřní elektronikou a možností připojení k PC pomocí USB kabelu.

Normy: TAPPI T 834 om-07, splňuje i požadavky normy TAPPI TIP 1004-01



Obr. 15.: PAROTESTER



Obr. 16.: PAPER SCHMIDT

5. Závěr

Tento příspěvek na výrobním sortimentu renomované švýcarské firmy PROCEQ, která má v ČR již mnohaletou tradici, shrnuje v praxi nejčastěji používané přístroje pro nedestruktivní měření a zkoušení. Obdobné typy přístrojů mají ve svém sortimentu i další výrobci, kteří se též uplatňují na našem trhu. Největší výběr (nepočítaje např. různé indikátory výztuže, které kromě profesionálního provedení značkových firem nabízejí i prodejní řetězce) je na trhu v sortimentu tvrdoměrných kladívek typu SCHMIDT, které po vypršení platnosti patentové ochrany podané firmou PROCEQ, mnoho firem jak v Evropě, tak např. v Asii, okopírovalo a dodává je ve výrazně nižších cenových relacích (zpravidla díky použitému materiálu a tím i rozdílné kvalitě).

Je nutno konstatovat, že trend všech výrobců včetně firmy PROCEQ je své výrobky dále vylepšovat a elektronizovat, ale tím bohužel i zdražovat. Navíc rozšiřování funkcí a zvyšování tzv. „uživatelského komfortu“ je velice často spíše marketingový trend, neboť ve vlastní praxi se málokdy využijí všechny možnosti, které zabudovaný software nabízí. Současně se tím pochopitelně komplikují a zdražují i případné servisní práce, neboť jak to známe např. u spotřební elektroniky, je třeba při zásahu měnit celé systémy, nejen vadné díly.

Literatura

Technická dokumentace firmy PROCEQ SA

Kontakt

Ing. Jaroslav Mikula, tel. / fax: 00420 286 886 728, e-mail: mikula@tzus.cz, Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., Pobočka Technicko inženýrské služby, Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9 – Prosek; www.tzus.eu / TIS nebo Služby

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**MOŽNOSTI POUŽITÍ GEORADARU (GPR)
PŘI NEDESTRUKTIVNÍ
DIAGNOSTICE KONSTRUKCÍ**

**APPLICABILITY OF THE GEORADAR
METHOD (GPR)
TO THE NON-DESTRUCTIVE
CONSTRUCTIONAL DIAGNOSTIC**

Jakub Štainbruch

INSET s.r.o.

Anotace:

Metoda GPR (Ground Penetrating Radar) nabízí široké možnosti použití ve stavebnictví při nedestruktivní diagnostice konstrukcí. Na konkrétních příkladech budou prezentovány příklady jednotlivých aplikací.

Annotation:

GPR (Ground Penetrating Radar) method has the wide range of applications in constructional diagnostic. Different examples of use will be presented.

Klíčová slova: GPR, georadar, nedestruktivní diagnostika, skener, Dibekon

Keywords: GPR, georadar, NDT, scanner, Dibekon)

1. Úvod

Zatímco ve světě patří georadar (GPR) ve stavební diagnostice mezi běžně užívané nedestruktivní metody, u nás i přes značné rozšíření této metody v geotechnickém průzkumu si svoje místo v konstrukční diagnostice hledá. Cílem tohoto příspěvku je seznámit odbornou veřejnost s některými možnostmi použití dané metody, jejími hlavními výhodami i omezeními.

2. Princip metody

Georadar je vysokofrekvenční pulzní metoda. Pro stavebně diagnostické účely se nejčastěji používají frekvence v řádu prvních GHz s hloubkovým dosahem 10^{-1} m. Pro průzkumy masivnějších konstrukcí lze použít antény s nižšími frekvencemi (stovky MHz), které mají větší hloubkový dosah (prvé metry). Měření probíhá většinou v reflexním módu, kdy pulz, generovaný vysílací anténou, prostupuje zkoumaným prostředím, na rozhraních s kontrastními elektromagnetickými vlastnostmi se část energie odrazí a přichází zpět k povrchu, kde je registrována přijímací anténou. Pokud vysílací a přijímací antény jsou umístěny na protilehlých stranách zkoumané konstrukce a detekuje se procházející signál, hovoříme o tzv. georadarovém prosvěcování.

K odrazu signálu dochází na rozhraní dvou prostředí s rozdílnou elektrickou impedancí z . Impedance je funkcí elektrické permitivity ϵ , vodivosti s a magnetické permeability m . Reflexní koeficient r pak udává poměr mezi impedancí prvního a druhého prostředí:

$$r = \frac{(z_2 - z_1)}{(z_2 + z_1)} \quad (1)$$

Pro nemagnetické materiály s malou dielektrickou ztrátou (což platí pro většinu běžně používaných stavebních materiálů) je pro vznik odrazu signálu rozhodující podmínkou rozdílná relativní permitivita obou prostředí ϵ_1 a ϵ_2 . Vztah (1) lze pak zjednodušeně vyjádřit rovnicí:

$$r \cong \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (2)$$

Čím je rozdíl v relativní permitivitě prostředí větší, tím větší část signálu se na rozhraní odrazí. Vysoký reflexní koeficient panuje např. na rozhraní beton ($\epsilon_1 = 9$) a vzduch ($\epsilon_2 = 1$), kdy podle rovnice (2) se $k = 1/2$, tj. 50% signálu se teoreticky odrazí zpět. Z uvedeného vyplývá, že georadar je vhodný kupříkladu k detekci dutin za ostěním, nezaplňených kanálek atd. K úplnému odrazu radarového signálu dochází na povrchu kovových objektů (např. ocelová výtuž), takže tyto konstrukční prvky lze georadarem snadno detekovat. V případě železa a dalších kovů zjednodušený vztah (2) neplatí.

Permitivita prostředí, především u porézních materiálů, jakými jsou i cementobeton, je do značné míry ovlivněna jejich vlhkostí. Permitivita vody je 80 a vlhkost tak výrazně zvyšuje celkovou relativní permitivitu prostředí.

Zatímco relativní permitivita suchého betonu se pohybuje v rozmezí 4 – 10, u vlhkého je to 10 až 25. Ještě větší rozdíl panuje mezi suchým (3 – 5) a saturovaným pískem (20 – 30). Uváděné hodnoty jsou orientační a platí pro frekvence signálu do 1 GHz. U polárních roztoků, jakým je i voda, je hodnota permitivity frekvenčně závislá, což se projevuje především u vyšších frekvencí nad 1 GHz.

Dalším významným faktorem, který ovlivňuje georadarová měření je útlum signálu. Koeficient útlumu α je pro nemagnetické materiály určován především vodivostí prostředí σ . Vodivé materiály mají vysoký koeficient útlumu a radarový signál je v nich rychle pohlcován. Koeficient útlumu je frekvenčně závislý. Vyšší frekvence jsou tlumeny intenzivněji a vysokofrekvenční signál má tedy menší schopnost penetrace.

Sledování změn intenzity signálu vyvolané v důsledku změn vodivosti zkoumaného prostředí lze v praxi využít při řešení takových úloh, jakými jsou v geotechnice např. vymezení písčitých a jílovitých poloh nebo detekce saturovaných zón, nebo v diagnostice konstrukcí zjišťování míst defektů v hydroizolaci, průsaků vody apod.

Při detekci prostorově omezených objektů je třeba vždy brát v úvahu nejen fyzikální vlastnosti prostředí ale i geometrické faktory. Platí obecné pravidlo, že najít lze objekt, jehož rozměr je větší než polovina vlnové délky. Vlnová délka je nepřímo závislá na frekvenci vysílače a přímo na rychlosti šíření elektromagnetického vlnění daným prostředím. Pro nemagnetické materiály je rychlost v závislá především na relativní permitivitě a pro její výpočet lze použít zjednodušený vzorec:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3),$$

kde c je rychlost šíření ve vakuu a ϵ_r je relativní permitivita prostředí.

Z uvedeného vyplývá, že pomocí vyšších frekvencí lze detekovat objekty menších rozměrů. Zároveň ale platí, že vysokofrekvenční signál má i větší koeficient útlumu, a tak je hloubkový dosah vysokofrekvenčních antén menší. Při řešení praktických úloh je vždy nutné zvolit vhodný kompromis mezi rozlišením a hloubkovým dosahem. Často se při průzkumu kombinují antény o různých frekvencích.

3. GPR měřicí aparatury

Typická GPR měřicí aparatura sestává z vysílací antény, přijímací antény, řídicí jednotky a počítače, kterým je celý systém ovládán a kam se ukládají data. Z doplňků se často používá tzv. měřicí kolečko, pomocí kterého se odečítá pozice antény na profilu a v předem definovaných vzdálenostech, daných krokem měření, se generují spouštěcí pulzy.

Ve světě existuje řada výrobců radarových systémů. Mezi nejrozšířenější přístroje patří systémy RAMAC výrobce Mala GeoScience ze Švédska, SIR americké firmy GSSI a Pulse EKO kanadského výrobce Sensor & Software. U všech uvedených výrobců existují v nabídce ucelené řady anténních systémů pracujících s frekvencemi v řádu od desítek MHz až po vysokofrekvenční gigahertzové. Díky prudkému rozvoji aplikací georadaru ve stavebnictví dnes již všichni velcí výrobci nabízejí produkty vyvinuté speciálně pro diagnostiku konstrukcí.



Obr. 1.: Ruční georadar StructureScan Mini výrobce GSSI vyvinutý speciálně pro detekci výztuže a diagnostiku konstrukcí (obrázek převzat z propagačního materiálu výrobce)

Naše společnost používá nejčastěji GPR systémy RAMAC. Jejich výhodou je velká kompatibilita jednotlivých částí a kompaktnost celého systému. Disponujeme anténami od 50 MHz do 1,6 GHz, přičemž pro diagnostické průzkumy jsou vhodné především antény 1,6 GHz a 800 MHz. V letošním roce dokončujeme vývoj vlastního 3D GPR skeneru DIBEKON, který umožňuje provádět detailní plošná měření i na málo přístupných konstrukcích. Vývoj zařízení probíhá s finanční podporou MPO.



Obr. 2.: Systém RAMAC umožňuje díky své kompaktnosti práci i ve velmi složitých podmínkách. Ukázka z průzkumu až 18 m vysokých stěn lodního zdvihadla na VD Orlick prováděného horolezeckou technikou.

4. Možnosti použití GPR metody

V průběhu posledních cca 10 roků jsme georadar aplikovali při řešení celé řady rozdílných typů úloh. Na základě našich zkušeností lze vymezit 4 hlavní okruhy použití georadaru při průzkumech konstrukcí:

- Zjišťování tvarových parametrů zkoumané konstrukce – klasickým případem je určování tloušťky desky nebo ostění, vyhledávání různých odskoků na rubové straně, ale i detekce rozměrných zakrytých prostor, jakými jsou zazděné místnosti, kostelní krypty apod.
- Určování mocností konstrukčních vrstev – např. určování tloušťky krycí vrstvy výztuže, nebo konstrukčních vrstev vozovky.
- Vyhledávání konstrukčních prvků a defektů – jako je např. vyhledávání výztuže, detekce kanálků, potrubí a kabelů, detekce odprysků, dutin, šterkových hnízd.

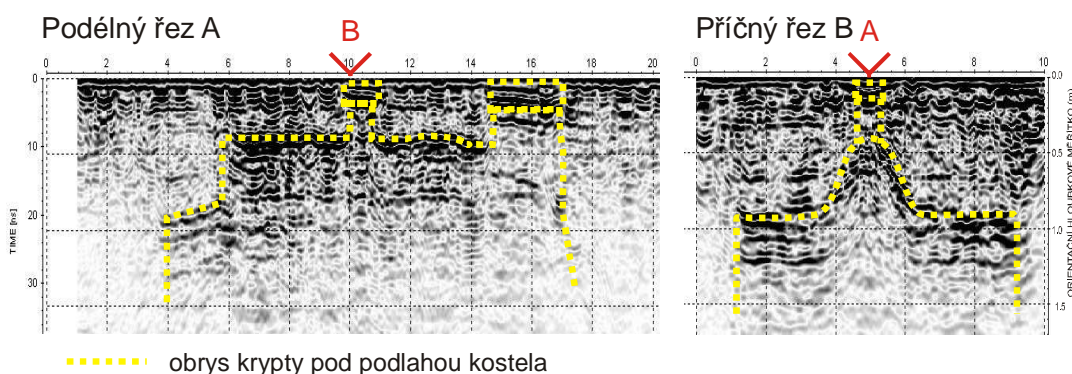
▪ Sledování materiálových změn a změn fyzikálních vlastností – klasickým příkladem je sledování změn vlhkosti, vyhledávání míst průsaků, nez hutněných nebo rozvolněných zón.

Použitelnost georadaru při řešení různých typů úloh bude v následujícím textu probrána zevrubněji a demonstrována na několika konkrétních příkladech.

4.1. Zjišťování tvarových parametrů zkoumané konstrukce

Jak již bylo uvedeno v úvodu, velmi silným reflexním rozhraním je pro elektromagnetický pulz rozhraní mezi běžným stavebním materiálem a vzduchem. Při průzkumech konstrukcí, jejichž rubová strana není přístupná, lze georadar použít k zjišťování tloušťky konstrukce, případně k vyhledávání různých tvarových změn, nepravidelností, odskoků apod. Změny tloušťky lze sledovat rovněž i v případě, kdy na rubu není vzduch ale jiné prostředí, které tvoří dostatečný kontrast pro vznik odrazu. Typickým příkladem je např. sledování změn tloušťky ostění u tunelů a štol. Dalším příkladem použití georadaru je vyhledávání nepřístupných volných prostor. Pokud je prostora dostatečně velká, lze definovat i její tvar.

Cílem průzkumu v kostele Panny Marie ve Strážnici bylo pod podlahou detekovat kryptu, vymežit její obrysy a určit polohu vstupu. Průzkum byl proveden aparaturou RAMAC s použitím anténních systémů 500 a 250 MHz. Měření proběhlo v síti paralelních profilů vedených v uličce středem hlavní lodi kostela a v uličkách mezi lavicemi. Rozestup profilů byl 0,5 m, krok měření u 500 MHz antény 2 cm u 250 MHz antény 5 cm.

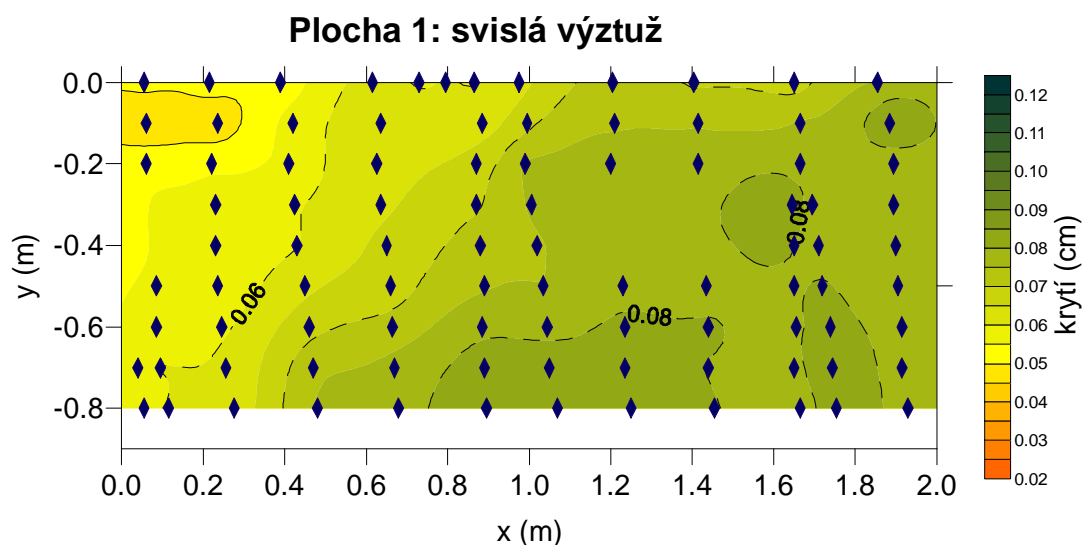


Obr. 3.: Ukázka výsledků GPR průzkumu 500 MHz v kostele ve Strážnici zaměřeného na vyhledání krypty a určení jejího tvaru.

4.2. Určování mocností konstrukčních vrstev

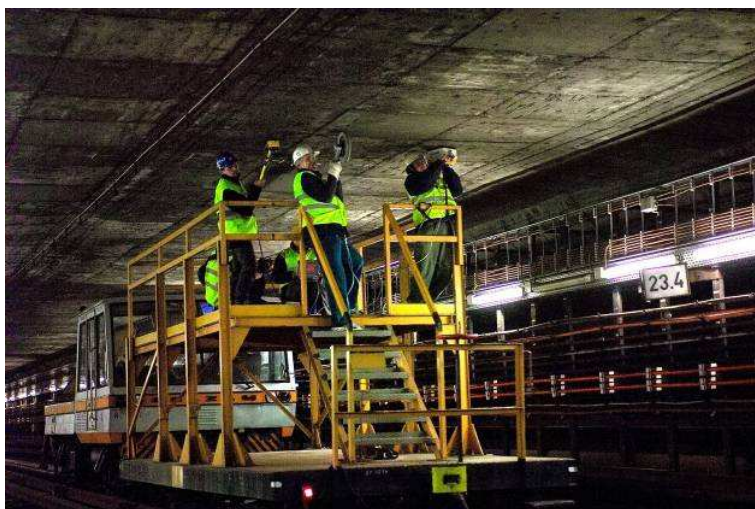
Jednou z častých aplikací georadaru je sledování průběhu spojitých reflexních rozhraní. Takovýmito plochami mohou být hranice mezi jednotlivými materiálově odlišnými konstrukčními vrstvami (např. asfalt/beton, nebo beton/šterk). V dnešní době existují různá speciální GPR zařízení pro diagnostiku vozovek, např. Roadscan od firmy GSSI, která umožňují měření tloušťky vozovky při běžné rychlosti měřicího vozidla. Dalším typickým a velmi rozšířeným příkladem použití georadaru při diagnostice konstrukcí je určování tloušťky krycí vrstvy výztuže.

Na obrázku 4 je ukázka výsledků detailního plošného průzkumu vnějšího líce pláště sila popílku. Měření bylo prováděno radarem RAMAC s použitím vysokofrekvenční antény 1600 MHz. Rozestup paralelních profilů vedených kolmo na směr výztuže byl 10 cm, krok měření 0,5 cm. Z parametrické mapy je zřejmé, že krycí vrstva se směrem k levému hornímu okraji ztenčuje, a to lokálně až na hodnotu menší než 5 cm.



Obr. 4.: Parametrická mapa ukazující změny tloušťky krycí vrstvy výztuže (detailní GPR 1600 MHz průzkum části pláště sila popílku v ELE Ledvice).

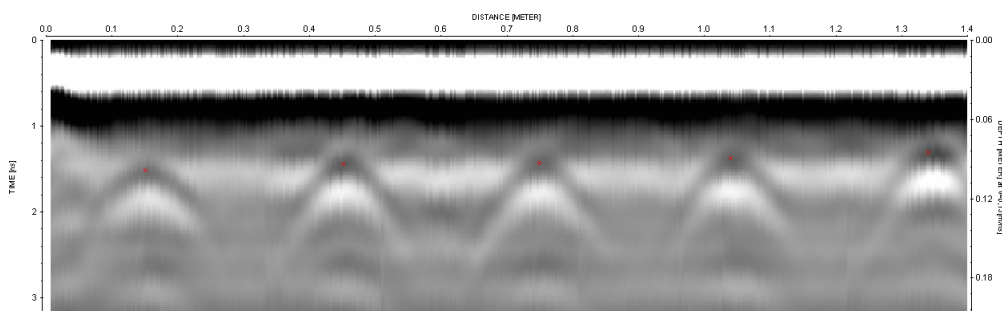
Díky vysoké produktivitě měření lze mapy tloušťek krytí výztuže konstruovat s velkou hustotou měřených dat i pro plošně rozsáhlé konstrukce. Realizován byl např. diagnostický průzkum dolního líce horní desky komůrky Nuselského mostu. Měření v síti 14 paralelních profilů vzdálených 0,5 m, dlouhých 485 m a s krokem měření 1 cm bylo realizováno z plošiny motorového vozu při rychlosti pojezdu 5 – 7 km/hod během dvou nočních výluk.



Obr. 5.: Ukázka GPR měření anténami 1600 MHz a 800 MHz stropu komůrky Nuselského mostu realizovaného z plošiny motorového vozu.

4.3. Vyhledávání konstrukčních prvků a defektů

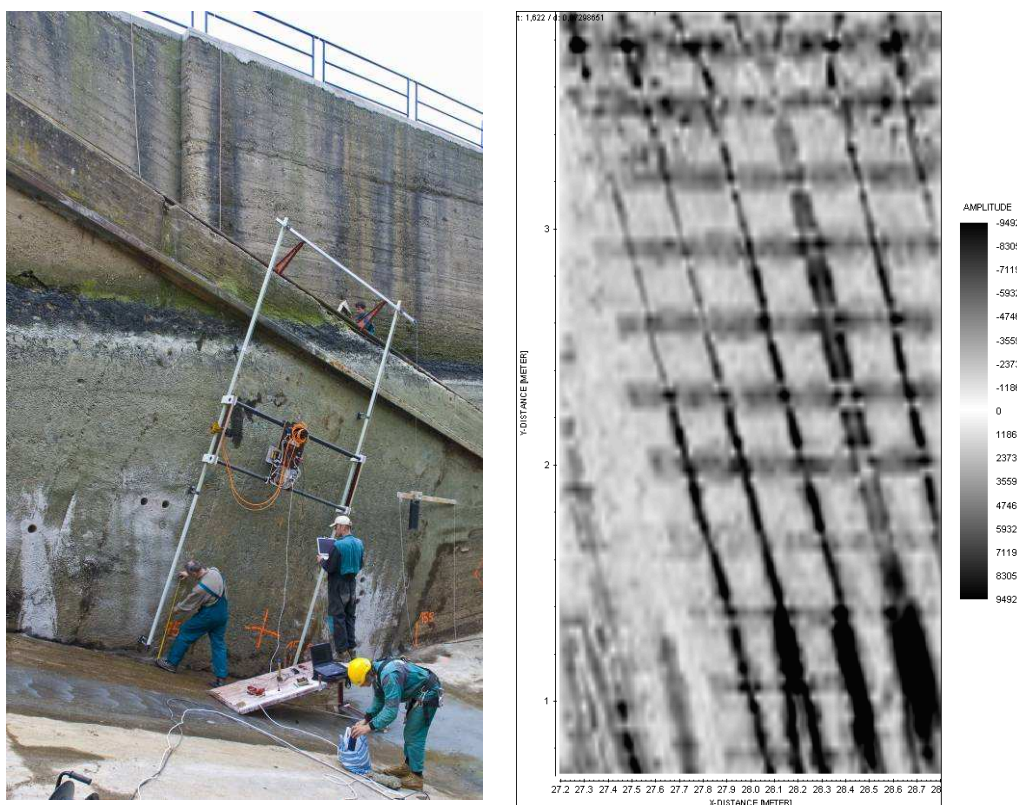
Jak již bylo uvedeno, georadar je velice citlivý na detekci kovových objektů. Použití této metody např. při detekci výztuže je ve světě zcela běžné. U nás se o přednostech této metody snažíme objednatelé teprve přesvědčit. Oproti klasickým profometrům je výhodou georadaru jeho vyšší produktivita práce, větší rozlišovací schopnost a hlubkový dosah a univerzální použití. Nevýhodou může být vyšší cena přístroje a větší nároky na zkušenost interpretátora.



Obr. 6.: Typický projev jednotlivých prutů výztuže v časovém radarovém řezu (1600 MHz). Pozice prutu odpovídá vrcholu paraboly.

Společnost INSET s.r.o. vyvíjí vlastní skenovací zařízení DIBEKON, které umožní 3D průzkumy konstrukcí s velkou hustotou měřících bodů

a vysokou přesností určení pozice jednotlivých konstrukčních prvků. GPR skener byl již zkušebně použit při průzkumu konstrukce lodního zdvihadla na VD Orlick. Výsledkem měření je detailní 3D obraz zkoumané části obtížně přístupné konstrukce.



Obr. 7.: Foto z detailního 3D GPR průzkumu boční stěny lodního zdvihadla pomocí skeneru DIBEKON a ukázka výsledného plošného řezu pro hloubkovou úroveň 7 cm s projevy prutů svislé výztuže.

Vysoký kontrast mezi stavebním materiálem a vzduchem předurčuje georadar k vyhledávání dutin, např. potrubí, kanálek, ale i různých typů defektů, jakými jsou např. nezaplňené kanálky předpínací výztuže, kaverny, netěsnosti a širší otevřené trhliny.

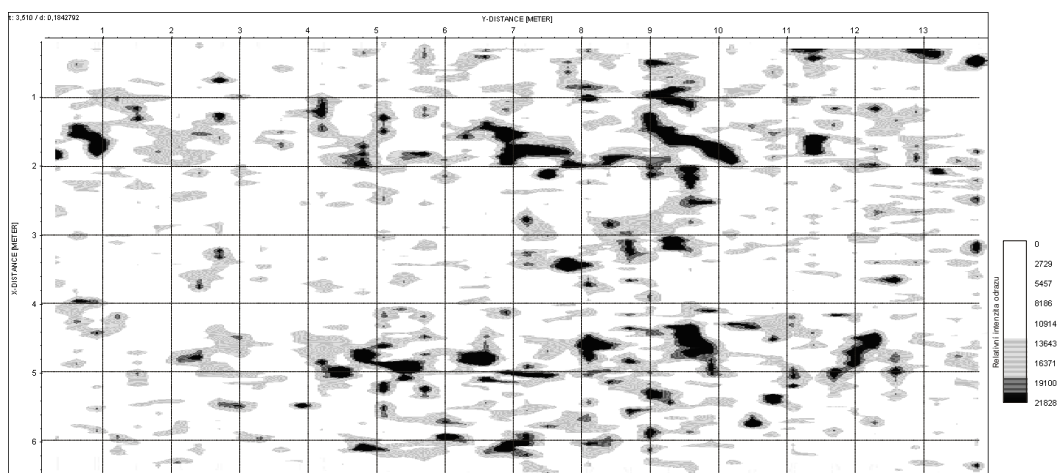
4.4. Sledování materiálových změn a změn fyzikálních vlastností

Georadar se využívá ke sledování změn elektromagnetických vlastností prostředí, nejčastěji změn v permitivitě a vodivosti materiálu. Vlastnosti

prostředí se často mění pozvolna bez přítomnosti ostré hranice, která by tvořila reflexní rozhraní. Materiálové změny je proto třeba interpretovat na základě změny charakteru registrovaného signálu. Takovýto způsob vyhodnocení výsledků je velmi náročný a vyžaduje značnou erudici interpretátora.

Jak již bylo uvedeno, celková permitivita prostředí závisí na jeho pórovitosti a na charakteru média, které pórový prostor vyplňuje (relativní permitivita běžných materiálů se pohybuje okolo 10, ϵ_r vzduchu = 1 a ϵ_r vody = 80). Georadarem lze vyhledávat různé rozvolněné nebo zvodnělé zóny, šterková hnízda, místa intenzivně zkorodovaného nebo podrceného betonu, místa průsaků atd.

Na obrázku 8 jsou prezentovány výsledky GPR průzkumu stropu odlehčovací komory na kanalizační stoece v Praze 5. Měření anténním systémem 800 MHz probíhala v síti paralelních profilů s rozstupem 0,5 m a krokem měření 0,5 cm. Stropní železobetonová konstrukce byla hustě proarmována na několika hloubkových úrovních primární a sekundární výztuží, což znesnadňovalo standardní interpretaci výsledků. Při plošném vyhodnocení intenzity amplitud registrovaného signálu se ale projeví zóny zvýšených odrazů odpovídající výskytu rozvolněných zón a dutin na rubu ostění.



Obr. 8.: Plošná amplitudová mapa (800 MHz) zkonstruovaná pro hloubkový interval 16 – 30 cm. Místa intenzivnějších odrazů (tmavé odstíny) odpovídají výskytu rozvolněných zón a dutin za ostěním.

5. Přednosti a úskalí metody

Mezi hlavní výhody georadaru patří vysoká produktivita, která umožňuje hustý krok měření. I velké plochy lze změřit prakticky v kontinuálním režimu (s krokem menším než 1 cm). Další výhodou je jeho všestranné využití. Jak bylo ukázáno v tomto příspěvku, metodu lze aplikovat při řešení široké škály různých typů úloh.

Slabinou této metody je obtížný a často nejednoznačný způsob interpretace výsledků. Skutečnost, že výsledky GPR měření nelze v mnoha případech vyjádřit jedinou číselnou proměnou, tuto metodu ve srovnání s dalšími NDT zkouškami citelně znevýhodňuje. Registrovaný georadarový záznam v sobě nese komplexní informaci o zkoumaném prostředí a je ovlivněn řadou faktorů. V nehomogenních podmínkách může být separace požadované informace od „neužitečného šumu“ obtížná a vyžaduje značnou erudici interpretátora. Technické rutinní použití této metody nezohledňující fyzikální principy může vést, a často vede, k chybným závěrům.

6. Závěr

Cílem tohoto příspěvku bylo přinést stručnou informaci o metodě GPR, o jejích principech, o možnostech jejího použití v diagnostických průzkumech a o některých jejích přednostech a úskalích. Věříme, že spolupráce mezi informovaným objednatelům diagnostických měření na straně jedné a odborníkem s potřebnými teoretickými znalostmi a praktickými zkušenostmi na straně druhé odstraní počáteční nedůvěru a povede k rozvoji této diagnostické metody u nás.

Literatura

- [1] CASSIDY, N.: WORKSHOP 1: Introduction to GPR. During The 12th International Conference on Ground Penetrating Radar. Birmingham, University of Birmingham. 2008.
- [2] LEVÝ, O. a kol.: Podrobný geotechnický průzkum pro Lodní zdvihadlo Orlík. Závěrečná zpráva. Praha, INSET. 2009
- [3] ŠTAINBRUCH, J.: GPR Applicability to Concrete Structure Inspection – Experiences Gained from Both Experimental Studies and Workaday Measurements. In Ageing Management of Thick Walled Concrete Structures Workshop 2009. Praha, OECD Nuclear Energy Agency. 2009. p. 331 – 366.

- [4] ŠTAINBRUCH, J., ŠILHAVÝ, J.: HVB elektrárna Ledvice, Silo č.1 a Silo č.2. Závěrečná zpráva ze stavebně technického průzkumu. Praha, INSET. 2010.
- [5] ŠTAINBRUCH, J.: Praha 5 Barrandov, stropní konstrukce OK33K. Závěrečná zpráva z georadarového průzkumu. Praha, INSET. 2010.
- [6] VINTER, M. a kol: Most přes Nuselské údolí v Praze, diagnostika části nosné konstrukce nedestruktivními metodami. Závěrečná zpráva. Praha, INSET. 2006.

Kontakt

RNDr. Jakub Štainbruch, Ph.D., tel: +420 602 281 076, e-mail: stainbruch.jakub@inset.com, INSET s.r.o., Novákových 6, 180 00 Praha.

VYUŽITÍ OPTOVLÁKNOVÝCH EXTENZOMETRŮ V BETONOVÝCH KONSTRUKCÍCH A V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH

APPLICATION OF OPTICAL SENSORS IN SITU AND IN THE LABORATORY CONDITIONS

**Miroslav Vokáč, Lucie Matoušová,
Jakub Klečka, Dita Jiroutová, Petr Bouška**

Kloknerův ústav ČVUT v Praze

Anotace:

V reálných podmínkách stavebních konstrukcí byly instalovány optovláknové extenzometry. Pro ověření měřicího rozsahu a přesnosti optovláknových extenzometrů byl rovněž navržen zkušební přípravek a zkušební postup v laboratorních podmínkách.

Annotation:

The laboratory of the Klokner Institute of CTU in Prague has applied a system of fiber optical sensors in several concrete structures. Paper describes an example of applying sensors to verify the static behaviour in the primary stage of concreting. System will in future serve as a bridge control system.

Klíčová slova: extenzometr, optické senzory, dlouhodobé monitorování konstrukcí

Keywords: extensometer, optical sensor, long-term monitoring of structure

1. Úvod

V poslední době byly v rámci řešení výzkumých projektů instalovány optické senzory při zatěžovací zkoušce přepjatého betonového mostu, v nosné letmo betonované komůrkové konstrukci. V laboratorních podmínkách tyto senzory byly zabudovány do železobetonového nosníku, do spřaženého betonu s

ocelovým nosníkem a byl zhotoven přípravek pro ověřování rozsahů měřicího systému.

2. Měřicí systém

Optovláknový měřicí systém SOFO je výrobkem firmy Smartec S.A. Je určen pro dlouhodobé sledování stavebních konstrukcí, zejména betonových konstrukcí. Měřicí systém SOFO umožňuje statická měření pomocí extenzometrů na bázi optických vláken. Pracuje na principu nízkokoherenční interferometrie. Sestává se ze dvou interferometrů, jejichž optické svazky jsou umístěny jednak na měřené konstrukci, jednak v samotné měřicí aparatuře. Dva svazky prvního interferometru jsou v polyamidové trubici, jeden aktivní v kontaktu s konstrukcí, druhý referenční je v trubici umístěn volně, který kompenzuje účinky teplotních změn. Druhým interferometrem ve vyhodnocovací jednotce se detekují změny vůči prvnímu interferometru.

Extenzometry se vyrábí ve standardní délce 0,25 až 10 m, jejich měřicí rozsah je v rozmezí $<-0,5\%; +1,0\%>$, jejich životnost po zabetonování dosahuje po 20 letech 75 až 80 %; rozlišovací schopnost je 1 μm , rozšířená nejistota 3 μm . Funkce měřicího systému jsou ovládány pomocí řídicího externího PC vhodným programovým vybavením.

3. Aplikace měřicího systému ve stavebních konstrukcích

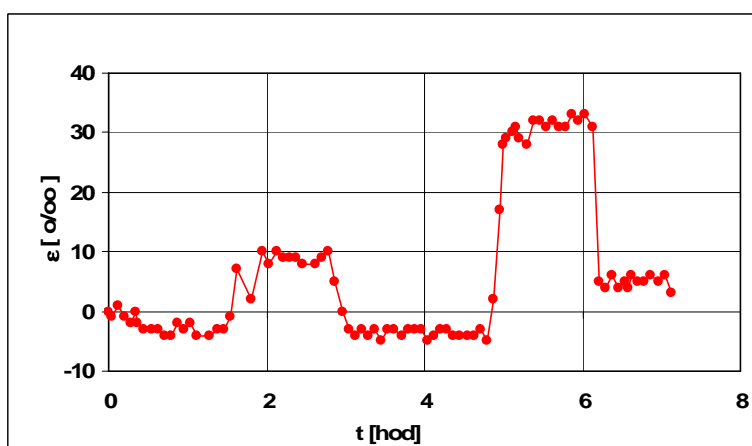
Při statické zatěžovací zkoušce mostu pozemní komunikace o pěti polích, s horní mostovkou, jejíž nosnou konstrukci tvořil předpjatý spojitý monolitický trám, jako doplňující měření byly instalovány optické extenzometry. Na spodním líci byly pomocí vhodných příchytek tyto extenzometry dočasně umístěny.

V průběhu roku 2009 byly instalovány optické extenzometry měřicího systému SOFO pro dlouhodobá měření poměrných deformací nosných konstrukcí betonu mostu přes údolí Berounky. V lamele 1 nad pilířem 40L byly postupně zabudovány 4 extenzometry s odměrnou délkou 1000 mm, z toho 2 snímače u dolního povrchu a 2 snímače u horního povrchu nosné konstrukce. U každého extenzometru bylo uloženo teplotní čidlo Pt 100/3850. Extenzometry byly fixovány na betonářskou výztuž ve vzdálenosti cca 70 mm od líce betonu. Schéma umístění extenzometrů je na obr. 2. Připojovací optické a elektrické kabely byly před betonáží navázány k výztuži a vyvedeny do plastových schránek, umístěných v bočních stěnách komory na zárodku. Obdobným způsobem byly extenzometry osazeny ve střední části mostního pole v lamele 10. Příklad průběhů vývoje poměrných přetvoření v počáteční fázi

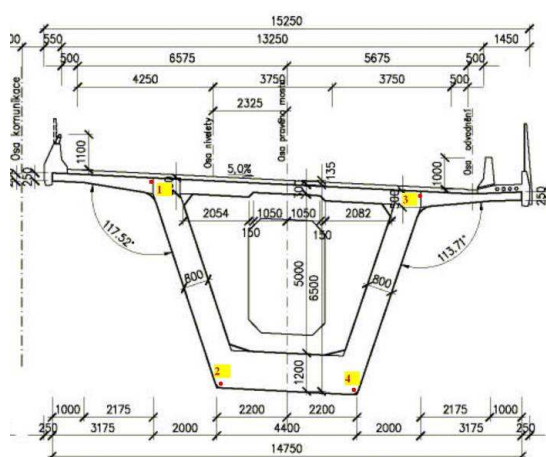
po zabetonování dokumentují obr. 3 a 4. Měření byla rovněž doplněna měřením na líci pilíře 40P.

Při statické zatěžovací zkoušce mostu byly měřicí jednotkou zaznamenávány hodnoty poměrných deformací ve všech zabudovaných senzorech. Na obr. 1 je uveden jejich charakteristický průběh zaznamenaný při dvou zatěžovacích stavech ve střední části mostního pole v dolní části komůrkového průřezu. Hodnota přírůstku napětí betonu odpovídající poměrnému přetvoření při dvou stavech zatížení dosahuje 0,5 až 1,5 MPa.

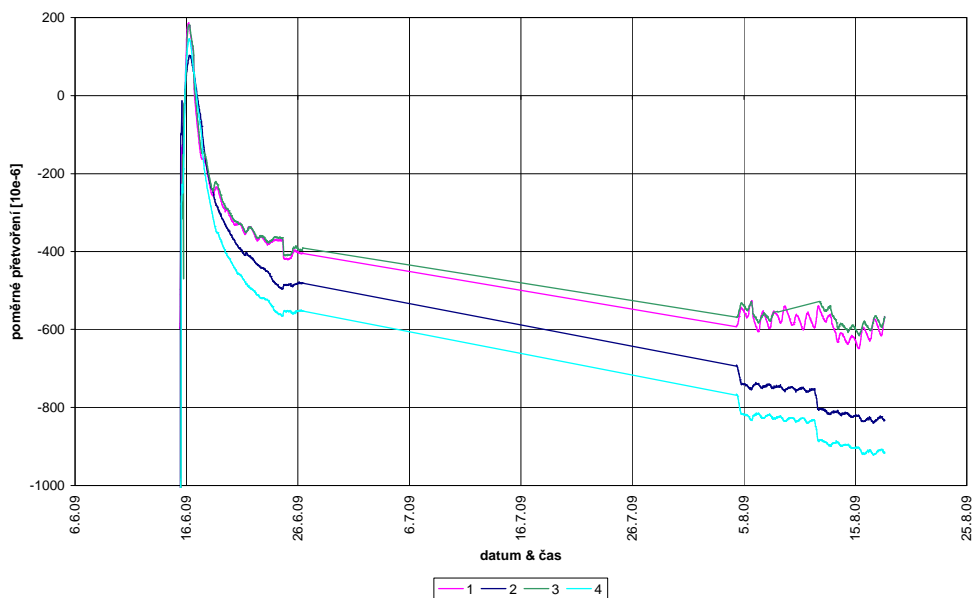
Optické extenzometry umístěné v lamelách budou sloužit jako jeden z prvků kontrolního systému nosné konstrukce mostu. Jejich připojení k měřicí jednotce je možné kdykoli v budoucnu.



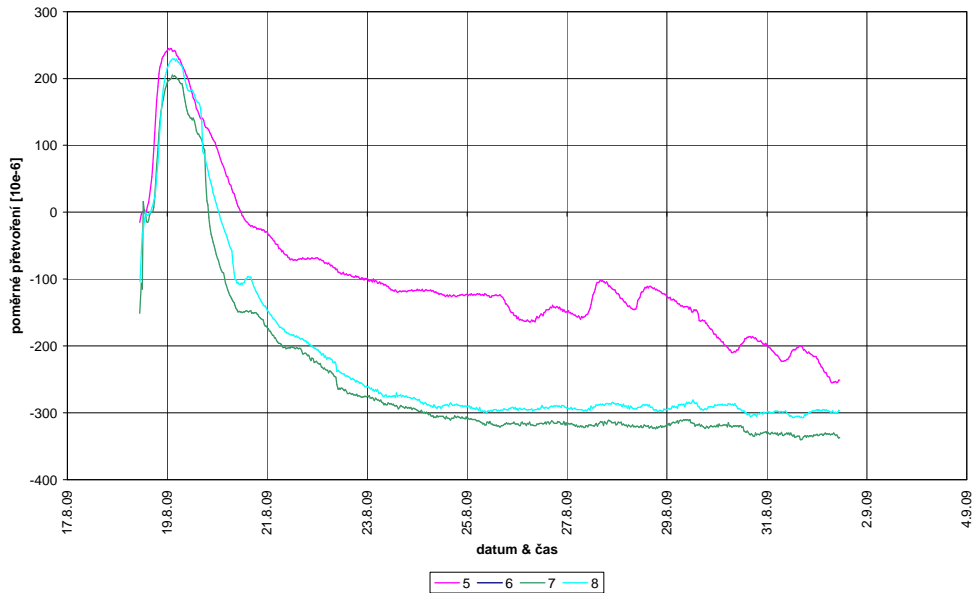
Obr. 1.: Průběh poměrných deformací v lamele 10 při zatěžovací zkoušce



Obr. 2.: Umístění optických extenzometrů a teplotních čidel v lamele 1 nad pilířem 40L



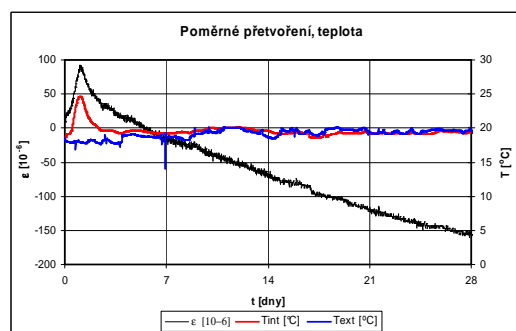
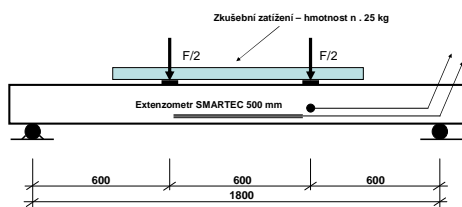
Obr. 3.: Průběh poměrných deformací v lamele 1 nad pilířem 40L



Obr. 4.: Průběh poměrných deformací v lamele 10

4. Aplikace měřicího systému v laboratoři

V laboratorních podmínkách bylo připraveno zkušební betonové těleso, vyztužené 4 Ø R 14 a příčnou výztuží. U dolního líce nosníku byl vložen extenzometr s délkou odměrné báze 500 mm, doplněný v bezprostřední blízkosti teplotním čidlem. Na obr. 5 je uvedeno schéma testovacího nosníku, obr. 6 dokumentuje průběh poměrného přetvoření a vývinu teploty v nosníku a teplotu prostředí bezprostředně po betonáži.



Obr. 5.: Testovací betonový nosník

Obr. 6.: Průběh poměrného přetvoření testovacího nosníku

..

Byl rovněž vyroben kalibrační přípravek, který umožňuje kalibraci extenzometrů SOFO délky od 250 do 2000 mm. Senzor se upne do držáků přípravku, je napínán šroubem s jemným závitem přes napínací kostku. Samotné měření se realizuje pomocí metrologicky ověřeného číselníkového úchytkoměru, které je upevněné na základně přípravku; pro každý extenzometr se vypracovává kalibrační list.

Závěr

Výhodou měřicích systémů založených na optovláknové interferometrii je dlouhodobá životnost i stabilita měření a možnost volby libovolné délky extenzometrů. Měřicí systém umožňuje periodicky zaznamenat v paměti měřicí jednotky změny poměrných přetvoření v libovolně stanoveném časovém intervalu, které obsahují změny jak stálých a nahodilých složek zatížení, tak i reologické změny vlastností betonu. Pro investory významných betonových konstrukcí, složitě staticky působících, by mělo být běžné tyto systémy do nosných konstrukcí zabudovávat.

Literatura

- [1] GLIŠIĆ B., INAUDI D.: Fibre optic methods for structural health monitoring, John Wiley & Sons Ltd., 2007, ISBN: 978-0-470-06142-8
- [2] KRÁL, J., et al.: Měření poměrných přetvoření betonu optovláknovými extenzometry, KÚ ČVUT, Praha, 2009
- [3] HANUŠ F., ŠÍSTEK M., ENGLER V., VRÁBLÍK L., HOLBA J., ACHS R.: Návrh a realizace letmo betonované části mostu přes údolí Berounky na stavbě 514 SOKP, In.: 16. konf. Betonářské dny, Hradec Králové, 2009

Poděkování

Příspěvek byl připraven za podpory projektu GA ČR 104/10/2359 a zčásti za podpory projektu IG ČVUT 802290.

Kontakt

Ing. Miroslav Vokáč, Ph.D., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: vokac@klok.cvut.cz

Ing. Lucie Matousova, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: lucie.matousova@klok.cvut.cz

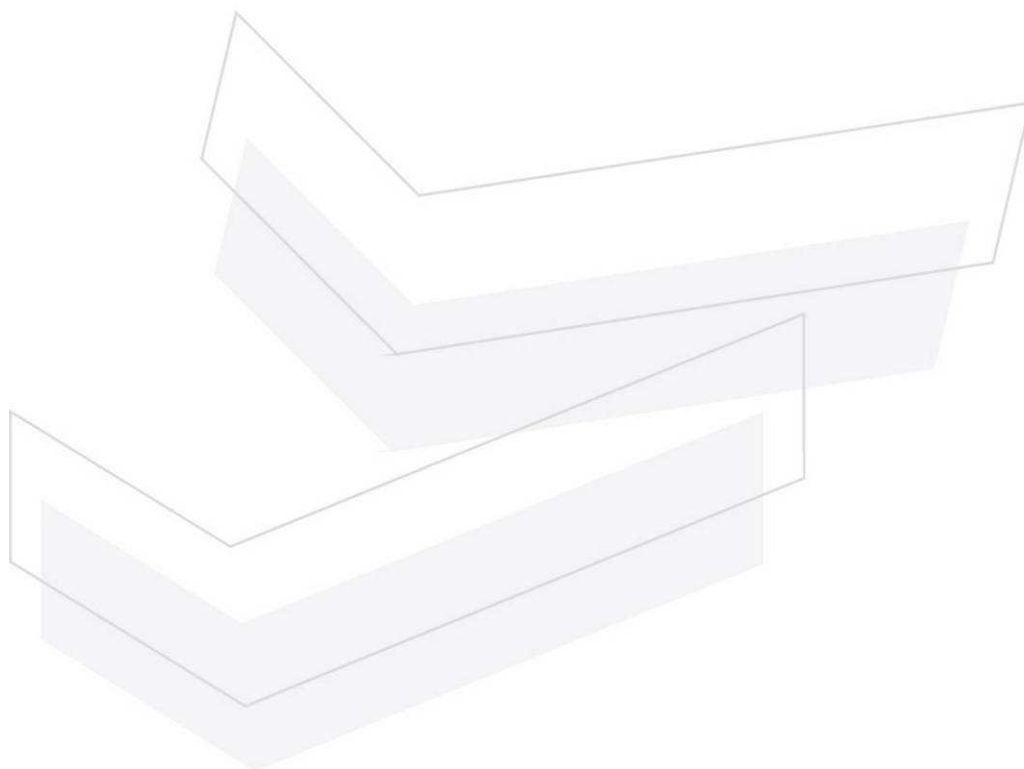
Jakub Klecka, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: jakub.klecka@seznam.cz

Ing. Dita Jiroutova, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: dita.cuprova@klok.cvut.cz

Doc. Ing. Petr Bouška, CSc., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: bouska@klok.cvut.cz

IV.

ZKOUŠENÍ DALŠÍCH STAVEBNÍCH HMOT, DÍLCŮ A KONSTRUKCÍ



5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

MODUL PRUŽNOST HORNIN URČENÝCH PRO VÝROBU HRUBÉHO KAMENIVA

E-MODULUS OF THE ROCKS DEDICATED FOR COARSE AGGREGATE PRODUCTION

Petr Cikrle, Dalibor Kocáb, Petr Mitrenga

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Příspěvek pojednává o zkouškách modulů pružnosti vybraných druhů hornin určených pro výrobu kameniva do betonu. Podle Eurokódu 2 je modul pružnosti betonu ovlivněn zejména kamenivem. Změnou hrubého kameniva je možné modul pružnosti betonu ovlivnit až o $\pm 20\%$.

Annotation:

This paper deals with E-modulus testing of selected rock sorts dedicated to coarse aggregate production. According to Eurocode 2, modulus of elasticity of concrete is effected especially by aggregates. E-modulus of concrete can be increased or decreased upon $\pm 20\%$ by changing of coarse aggregate.

Klíčová slova: Hornina, kámen, kamenivo, beton, modul pružnosti.

Keywords: Rock, stone, aggregates, concrete, modulus of elasticity.

1. Úvod

V poslední době je hojně diskutován modul pružnosti betonu zejména vysokopevnostních betonů. V normě ČSN EN 1992-1-1 [4] je uveden vztah pro výpočet směrných hodnot modulu pružnosti z průměrné hodnoty válcové pevnosti betonu v tlaku. Současně je zde však řečeno, že u konstrukcí citlivých na odchylky od těchto hodnot se modul pružnosti má stanovit přesněji. V normě [1] je dále uvedeno, že pružné deformace betonu závisí velkou měrou na jeho

složení, zejména kamenivu. Jelikož modul pružnosti hornin určených k výrobě kameniva do betonu není obecně příliš zkoušen ani znám, pokusíme se tímto příspěvkem částečně danou problematiku osvětlit.

2. Metodika zkoušení modulu pružnosti přírodního kamene

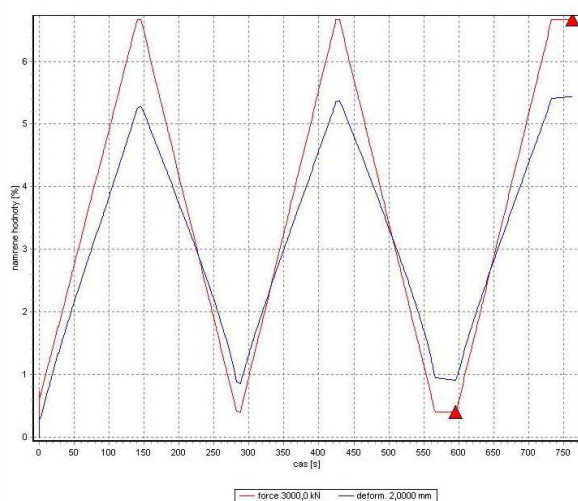
Statický modul pružnosti přírodního kamene se zkouší podle nové normy ČSN EN 14580 [2]. Podstatou zkoušky je měření přetvoření zkušební tělesa při jednoosém namáhání tlakem, přičemž se cykluje mezi napětím odpovídajícím přibližně 2 % a 33 % průměrné pevnosti v tlaku. Zkušebními tělesy jsou válce nebo hranoly (i s obdélníkovou podstavou) o průměru nebo menším rozměru základny minimálně 50 mm a štíhlostním poměru 2 až 4. Statický modul pružnosti E_b v MPa se vypočte z následujícího vztahu:

$$E_b = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_0 - \sigma_U}{\varepsilon_0 - \varepsilon_U}$$

Kde

- σ_U je základní napětí odpovídající přibližně 2 % ze střední hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku před třetím zatěžovacím cyklem, v MPa ;
- σ_0 je horní napětí odpovídající přibližně 33 % ze střední hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku během třetího zatěžovacího cyklu;
- $\varepsilon_0, \varepsilon_U$ jsou střední jednotková přetvoření při základním, respektive horním zatížení.

Časový průběh zatěžování s vyznačením odečítání hodnot je patrný z grafu na obr. 1.



Obr. 1.: Časový průběh zatěžování při zkoušce modulu pružnosti kamene.

3. Hodnoty modulů pružnosti přírodního kamene

3.1. Údaje dostupné v normách a literatuře

Česká literatura je bohužel skoupá na informace o modulech pružnosti českých, moravských a slezských hornin pro výrobu kameniva. Zahraniční literatura je zase nepoužitelná, neboť pojednává o jiných lokalitách. Vezmeme-li základní dílo od A. V. Velflíka [1], jsou zde popsány prakticky všechny důležité vlastnosti technicky významných hornin s výjimkou právě modulu pružnosti. Jedním z mála pramenů je tak norma ČSN 73 3251 Navrhování konstrukcí z kamene [3]. Zde jsou uvedeny jednak průměrné hodnoty podle druhu horniny (viz. tab. 1), jednak konkrétní hodnoty pro některé lokality (viz. tab. 2). Jedná se pouze o výběr těch hornin a lokalit, u nichž byl modul pružnosti zjišťován. V obou tabulkách jsou uvedeny rovněž objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku.

Tabulka 1.: Informativní průměrné hodnoty fyzikálních vlastností některých hornin podle [3]

Druh horniny	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti [GPa]
Žula, syenit, granodiorit	2660	160	70
Diorit, gabro	2900	160	90
Pískovce hutné (droby)	2630	120	23
Pískovce pórovité, opuka	2100	50	20
Vápence krystalické a hutné	2670	105	60
Serpentinit (hadec)	2600	165	90

Tabulka 2.: Informativní hodnoty fyzikálních vlastností hornin v ČR podle [3]

Hornina	Lokalita	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Modul pružnosti
		[kg/m ³]	[MPa]	[GPa]
Syenit	Šluknov	2873	190	84
Žula	Hudčice	2675	149	65
	Liberec	2586	136	65
	Pavlov	2586	-	53
Granodiorit	Hlinsko	2624	187	69
	Požáry	2622	176	70
Mramor	H. Lánov	2672	52	69
	Slivenec	2721	135	83
	Zbuzany	2675	124	74

3.2. Výsledky zkoušek čtyř druhů hornin

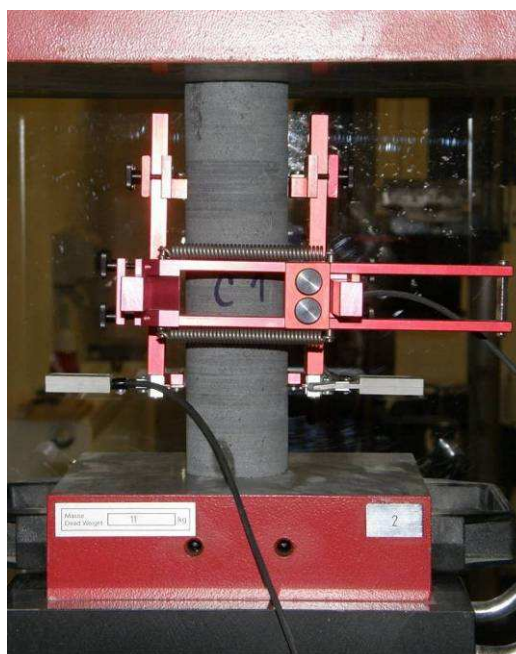
V rámci experimentální práce byly zkoušeny celkem čtyři horniny určené pro výrobu kameniva do betonu. Jednalo se o tyto druhy kamene:

- Žula (Litice);
- Droba moravská (Vyškovsko);
- Čedič (Bílčice);
- Krystalický vápenec (Ondřejovice).

Nejobtížnější bylo získat celistvé vzorky pro výrobu zkušebních těles. V podstatě to znamenalo objet všechny dotčené lomy a odebrat celistvé kusy nezávadné horniny. V laboratoři pak byly z těchto vzorků vážících od 10 do 30 kilogramů odvrtány jádrové vývrty o průměru 50 mm, případně vyřezány hranolky se stejným příčným rozměrem. Vrtání nebylo vůbec jednoduché, vzhledem k plochám anizotropie jádra obsahovala praskliny a často došlo k jejich porušení. Z neporušených jader byla vyrobena zkušební tělesa se štíhlostním poměrem 2 až 4 pro modul pružnosti a se štíhlostním poměrem 1 pro pevnost v tlaku (obr. 2). Po stanovení pevnosti v tlaku byly vypočteny zatěžovací meze a tělesa byla podrobena zatěžování v lisu (obr. 3).



Obr. 2.: Vzorky čediče připravené ke zkoušce.



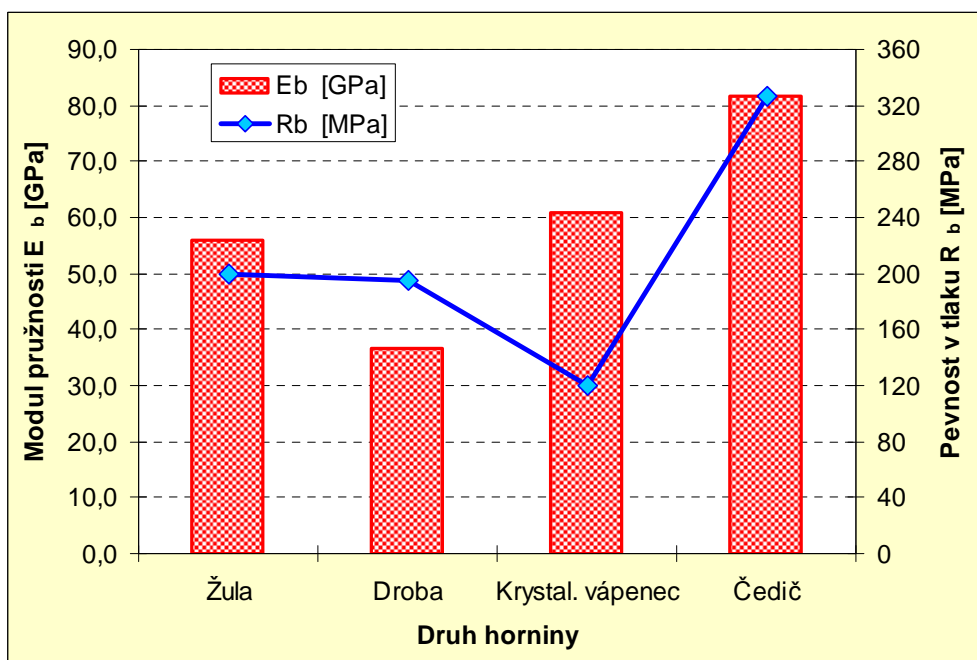
Obr. 3.: Vzorek osazený do lisu s instalovanou měřicí klecí

Výsledky zkoušek všech čtyř odlišných hornin jsou zpracované v tabulce 3 a graficky porovnané na obr. 4.

Tabulka 3.: Výsledky zkoušek modulů pružnosti a pevnosti v tlaku kamene

Vlastnost	Žula Litice	Moravská droba Vyškovsko	Krystal. vápenec Ondřejovice	Čedič Bílčice
Modul E_b [GPa]	56,0	36,5	61,0	81,5
Pevnost R_b [MPa]	200 *)	195	120	326

Poznámka: *) U žuly nebylo k dispozici dostatek zkušebních těles pro pevnost v tlaku, jedná se o orientační hodnotu.



Obr. 4.: Porovnání modulů pružnosti a pevnosti v tlaku čtyř druhů hornin určených pro výrobu hrubého kameniva do betonu

Moduly pružnosti čtyř druhů zkoušených hornin vyšly značně rozdílně – pohybovaly se od 36,5 GPa do 81,5 GPa. Porovnáme-li tyto hodnoty s pevností v tlaku, pak je zřejmé, že zatímco vyvřelých hornin čediče a žuly platí úměra mezi pevností a modulem, tak u droby (usazená hornina) je hodnota modulu pružnosti ve srovnání s pevností v tlaku velmi nízká. Zcela opačně pak poměr mezi pevností a modulem vychází u přeměněného krystalického vápence (vysoký modul, nižší pevnost v tlaku). Výsledky však přibližně odpovídají informativním hodnotám z normy ČSN 73 3251 [3].

4. Závěr

Předmětem řešení bylo stanovit modul pružnosti vybraných hornin používaných u nás k výrobě hrubého kameniva do betonu. Je zřejmé, že na literaturu a normu pro navrhování konstrukcí z kamene [3] se nelze spoléhat, neboť hodnoty zde uváděné jsou pouze orientační a u většiny našich hornin stejně nebyly zjišťovány. Ze čtyř zkoumaných hornin – žuly, moravské droby, čediče a krystalického vápence – vyšel podle očekávání nejlépe čedič, jehož modul pružnosti přesáhl 80 GPa. Na pomyslném druhém místě se poněkud překvapivě umístil krystalický vápenec s 61 GPa, jehož pevnost v tlaku byla výrazně nižší než u třetí žuly. Nejnižší modul pružnosti 36,5 GPa byl v souladu s očekáváním naměřen u moravské droby, která má ovšem vysokou pevnost v tlaku 195 MPa. Znamená to, že beton s použitím droby jako hrubého kameniva může dosáhnout vysokých pevností, ovšem jeho modul pružnosti bude zřejmě hluboko pod průměrnými hodnotami udávanými Eurokódem 2 [4].

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru *MSM 0021630511*.

Literatura

- [1] VELFLÍK, A., V. Nauka o stavebních hmotách, zvláště o horninách technicky významných, o jich zkoumání a zpracování. 1. vydání Praha: Česká matice technická, 1913-1917.
- [2] ČSN EN 14580 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení statického modulu pružnosti.
- [3] ČSN 73 3251 Navrhování konstrukcí z kamene.
- [4] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Kontakt

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,
Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Petr Mitrenga, tel: 541 147 801, e-mail: mitrenga.p@fce.vutbr.cz,
Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

PROBLEMATIKA STANOVENÍ NÁVRHOVÝCH TEPELNÝCH HODNOT U PÓROBETONOVÉHO ZDIVA

PROBLEMATIC OF DETERMINATION OF DESIGN THERMAL VALUES OF CELLULAR CONCRETE MASONRY STRUCTURES

Rostislav Drochytka, Jiří Zach, Jitka Hroudová

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Většina stavebních materiálů obsahuje po zabudování do konstrukce jisté množství vlhkosti, která zásadním způsobem ovlivňuje výsledné tepelné izolační vlastnosti. Příspěvek se věnuje problematice stanovení součinitele tepelné vodivosti u různých druhů pórobetonového zdiva s ohledem na vlhkost zdicích prvků po zabudování do konstrukce. Dále pak srovnává reálné naměřené hodnoty s hodnotami přepočítanými na reálný vlhkostní stav dle ČSN EN ISO 10456.

Annotation:

Most of building materials contain some amount of moisture after built-in to the structure. Moisture level affects significantly finally thermal insulation properties of the material. This paper describe problematic of determination of thermal conductivity of several type of masonry materials from point of view of their moisture state after build in to the structure. Measured values are compared with recalculate values to the real moisture state according to the ČSN EN ISO 10456.

Klíčová slova: *zděné konstrukce, součinitel tepelné vodivosti, pórobeton, vlhkost*

Keywords: *masonry structures, thermal conductivity, cellular concrete, moisture*

1. Úvod

Tepelně izolační vlastnosti stavebních materiálů po zabudování do konstrukce jsou závislé na jejich vlhkostním obsahu. Pórový systém těchto materiálů (je-li otevřený) umožňuje v praxi transport vlhkosti i její akumulaci. Vlhkost způsobuje u převážné většiny běžných stavebních materiálů zvyšování hodnoty součinitele tepelné vodivosti a tím degradaci tepelně izolačních vlastností. Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti je typická pro každý materiál. Mimo jiné závisí součinitel tepelné vodivosti stavebního materiálu na vlastnostech pórové struktury materiálu (tvar, distribuce pórů, otevřenost pórové soustavy, celková pórovitost,...), na jeho objemové hmotnosti a chemicko mineralogickém složení. V oblasti hygroskopické vlhkosti dochází při zaplňování pórového systému stavebního materiálu k postupné sorpci vlhkosti na stěny pórů, nejprve v monomolekulární a posléze v multimolekulární vrstvě. Vlivem naabsorbované vlhkosti dochází dále k objemovým změnám materiálu, které jsou způsobeny změnou kapilárního tlaku v závislosti na saturaci kapilárního systému vlhkostí. Po dosažení maxima hygroskopické vlhkosti dochází k zaplňování kapilárního systému vlhkostí. Dochází ke kapilárnímu vedení a výsledná hodnota součinitele tepelné vodivosti je silně ovlivněna křivatostí kapilárního systému nerovnoměrně zaplněného vlhkostí.

2. Studium tepelně vlhkostních vlastností pórobetonového zdiva

2.1. Zaměření výzkumu

Na Stavební fakultě VUT v Brně probíhá dlouhodobě výzkum orientovaný na studium tepelně vlhkostního chování zdicích materiálů na bázi pórobetonu, především s ohledem na užité vlastnosti materiálu po zabudování do konstrukce a na jeho trvanlivost. V roce 2009 započaly nové výzkumné práce orientované na studium tepelně vlhkostního chování pórobetonu o různé objemové hmotnosti. V tomto příspěvku jsou prezentovány výsledky týkající se studia sorpčních vlastností zkušebních vzorků a závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkostním obsahu zkušebních vzorků.

2.2. Zkušební vzorky

Pro studium tepelně vlhkostních charakteristik byly vybrány vzorky pórobetonových tvárnic pro přesné zdění od předních výrobců zdicích materiálů z ČR. Celkem bylo zvoleno 5 druhů zdicích materiálů s objemovou hmotností 155–500 kg.m⁻³ (ve všech případech se jednalo o pórobeton na bázi křemičitého písku).

Tabulka 1.: Deklarované vlastnosti zkušebních vzorků dle jednotlivých výrobců zdiva

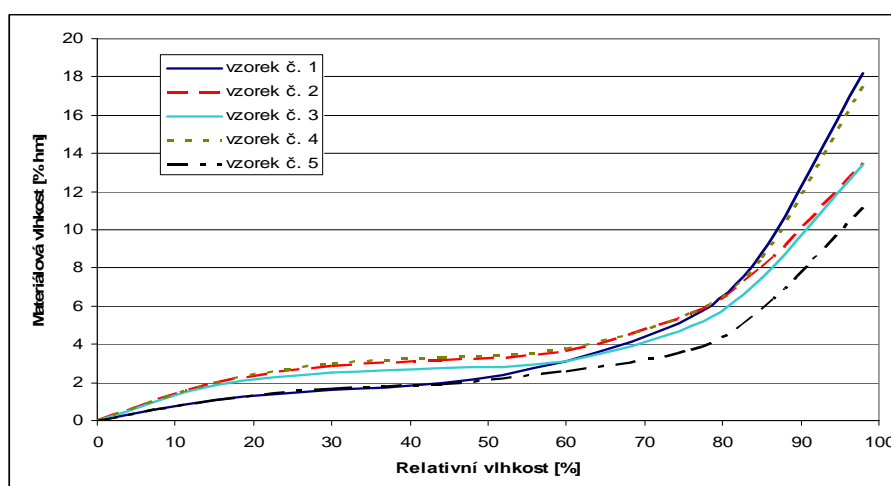
Vzorek č.	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	Pevnost v tlaku [N.mm ⁻²]
1	115	0,035
2	300	1,8
3	350	2,0
4	400	2,0
5	500	4,0

Z tvarovek byly vyřezány zkušební vzorky o rozměrech 100 x 100 x 100 mm pro stanovení sorpčních vlastností dle ČSN EN ISO 12571 a dále pro stanovení tepelně izolačních vlastností dle ČSN EN 993-14.

3. Výsledky měření

3.1. Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností

Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností bylo provedeno dle citované ČSN EN ISO 12571. Velikost zkušebních vzorků byla zvolena v závislosti s bodem 6.1. ČSN EN ISO 12571 100 x 100 x 100 mm. Zkoušení bylo provedeno při teplotě + 23±0,5 °C. Měření bylo provedeno pro relativní vlhkosti v rozmezí 30–98 %. Výsledky měření jsou zachyceny v následujícím grafu.

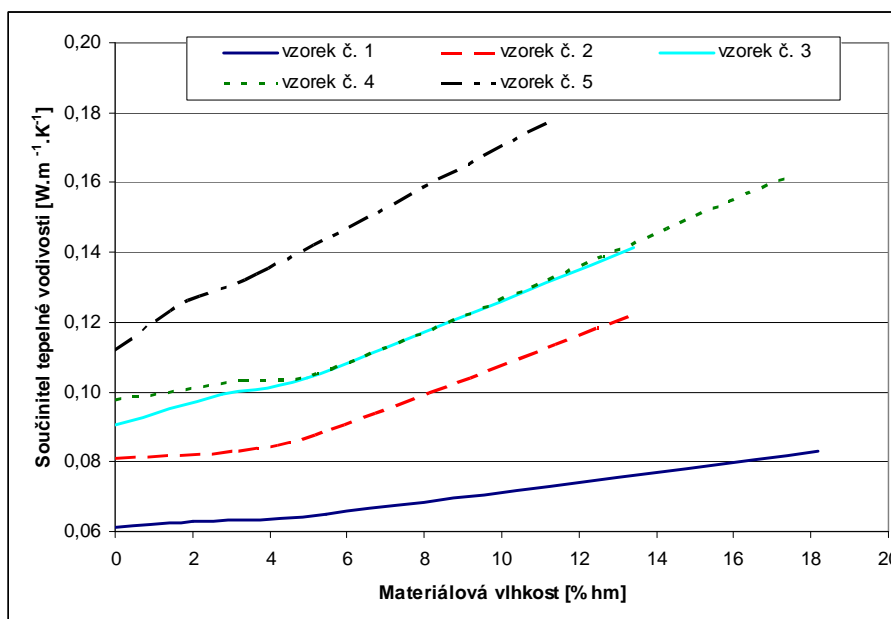


Obr. 1.: Graf průběhu sorpčních isoterem zkušebních vzorků při teplotě +23°C

Jak je z grafu č. 1 patrné, vlhkostní citlivost materiálu se snižuje s rostoucí objemovou hmotností. U vzorku č. 1 s extrémně nízkou objemovou hmotností byla zjištěna nízká vlhkostní citlivost v oblasti nízké relativní vlhkosti do 50 %. V oblasti relativní vlhkosti nad 50 % vykazoval materiál naopak citlivost velmi vysokou. Tyto skutečnosti lze vysvětlovat povahou pórové struktury materiálu, kdy materiál disponuje velmi vysokou otevřenou pórovitostí (> 95% objemově) a distribucí pórů.

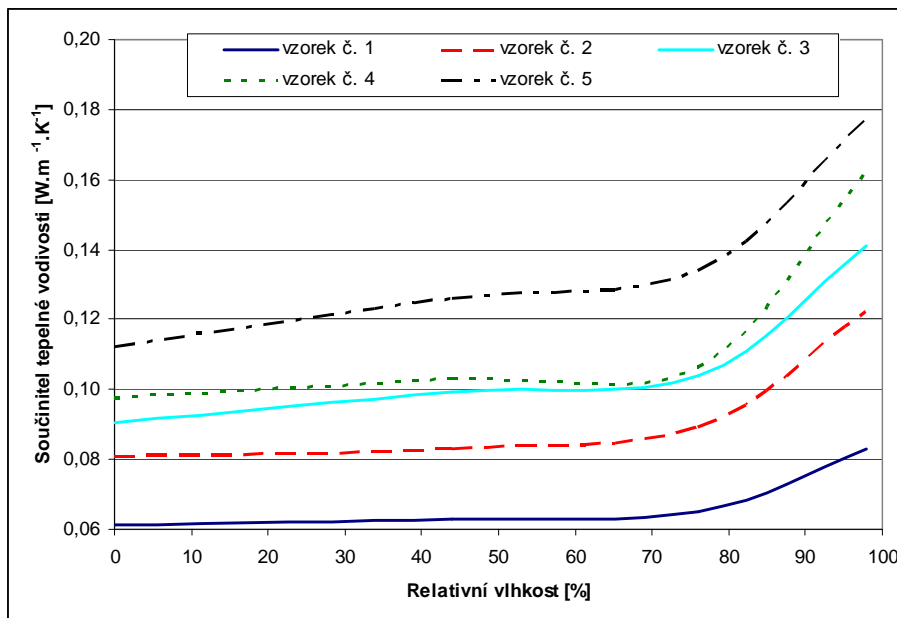
3.2. Stanovení závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno na zkušebních vzorcích o rozměrech 100 x 100 x 100 mm dle ČSN EN 993-14. Měření byla provedena při teplotě $23 \pm 0,5$ °C. Na vysušených vzorcích byla stanovena hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_{23, \text{dry}}$ (jako průměr z naměřených hodnot u jedné zkušební sady). Následně byla prováděna měření u zkušebních vzorků s obsahem vlhkosti, které byly exponovány v prostředí s teplotou $23 \pm 0,5$ °C a definovanou relativní vlhkostí (viz. bod 3.1) výše.



Obr. 2.: Graf závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkostním obsahu u zkušebních vzorků

Z naměřených hodnot je dále možné vyjádřit závislost součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti prostředí (při dané teplotě), v níž je materiál exponován (viz. graf č. 3).



Obr. 3.: Graf závislosti součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti prostředí u zkušebních vzorků (při teplotě +23°C)

4. Vyhodnocení

Dle ČSN EN ISO 10456 je možné provést přepočítání tepelných hodnot stanovených při jedné okrajových podmínkách (λ_1 , R_1) na hodnoty odpovídající jiným podmínkám (λ_2 , R_2). V případě přepočtu na jinou materiálovou vlhkost platí:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_m \quad (1)$$

přičemž F_m představuje převodní vlhkostní faktor:

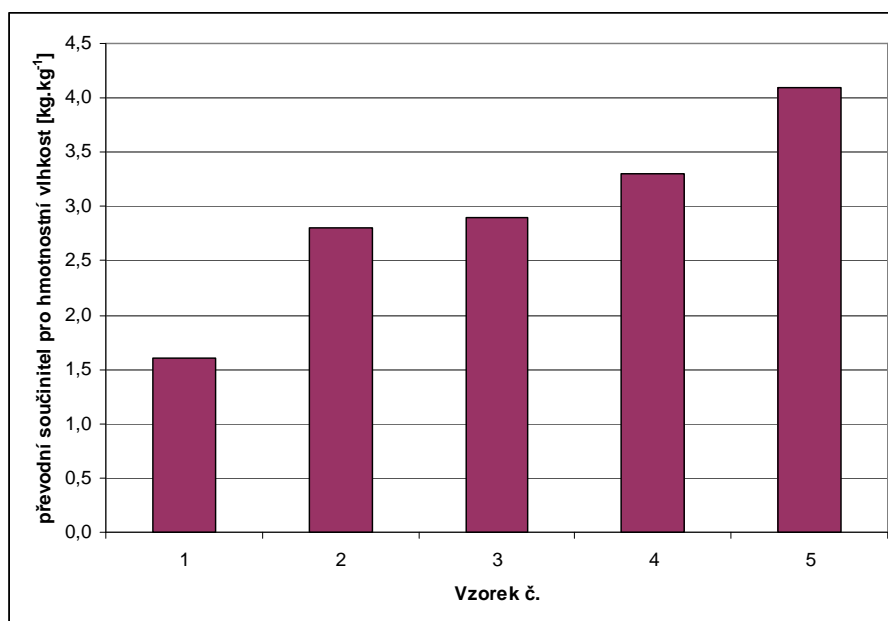
$$F_m = e^{f_u(u_1 - u_2)} \quad (2)$$

kde: u – hmotnostní vlhkost [kg.kg^{-1}],

f_u – převodní součinitel pro hmotnostní vlhkost [kg.kg^{-1}], který je dle ČSN EN ISO 10456, tab. 4 roven $f_u = 4 \text{ kg.kg}^{-1}$.

V daném případě byla za počáteční stav 1 zvolena hodnota součinitele tepelné vodivosti ve vysušeném stavu $\lambda_{23,\text{dry}}$, kdy lze předpokládat, že $u_1 \approx 0$. Bylo zjištěno, že při použití převodního součinitele pro hmotnostní vlhkost $f_u = 4$

kg.kg^{-1} je vypočítaná závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti (výpočet byl proveden pro jednotlivé sorpční vlhkosti materiálů) odlišná od naměřených hodnot. Proto byl proveden výpočet optimální hodnoty převodního součinitele pro hmotnostní vlhkost f_u pro každý zkušební vzorek tak, aby součet kvadrátů odchylek naměřených a vypočítaných hodnot byl minimální (metoda nejmenších čtverců). Výsledky výpočtů jsou uvedeny v následujícím grafu.



Obr. 4.: Přehled vypočítaných hodnot převodního součinitele pro hmotnostní vlhkost f_u pro jednotlivé zkušební vzorky

5. Závěr

Na základě provedených měření na vzorcích pórobetonu s objemovou hmotností v rozmezí $115\text{--}500 \text{ kg.m}^{-3}$ lze konstatovat, že vlhkostní citlivost pórobetonu je závislá na objemové hmotnosti materiálu. Z pohledu hygroskopické sorpční vlhkosti bylo zjištěno (s výjimkou vzorku č. 1), že vlhkostní citlivost se vzrůstající objemovou hmotností klesá. Naopak z pohledu závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkostním obsahu lze konstatovat, že obecně nižší změnu tepelně izolačních vlastností při změně vlhkosti vykazovaly vzorky s nižší objemovou hmotností oproti vzorkům s objemovou hmotností vyšší. V závěru bylo provedeno vyhodnocení naměřených hodnot a srovnání naměřených závislostí součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti s hodnotami vypočítanými dle ČSN EN ISO 10456. Bylo

zjištěno, že ve většině případů jsou reálné hodnoty převodního součinitele pro hmotnostní vlhkost f_u nižší (viz. graf. č. 4), než je výpočtová hodnota dle ČSN EN ISO 10456, která je rovna 4 kg.kg^{-1} .

Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován s podporou výzkumného záměru MSM 0021630511 a grantového projektu GAČR 103/09/0016.

Literatura

- [1] ČSN EN ISO 10456/2009 Stavební materiály a výrobky - Tepelně vlhkostní vlastnosti - Tabelované návrhové hodnoty a postupy pro stanovení deklarovaných a návrhových tepelných hodnot
- [2] ČSN EN 12571 Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků - Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností
- [3] ČSN EN 1745/2004 Zdivo a výrobky pro zdivo - Metody stanovení návrhových tepelných hodnot
- [4] ČSN EN 771- 4/2004 Specifikace zdicích prvků - Část 4: Pórobetonové tvárnice
- [5] [ČSN 73 1353/2010 Stanovení součinitele tepelné vodivosti pórobetonu
- [6] ČSN EN ISO 12571/2001 - Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků - Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností
- [7] ČSN EN 993-14/1999 Zkušební metody pro žárovzdorné výrobky tvarové hutné - Část 14: Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu (křížové uspořádání)

Kontakt

Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., tel: 00420 541 147 500, e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Jiří Zach, Ph.D., tel: 00420 541 147 516, e-mail: zach.j@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Bc. Jitka Hroudová, tel: 00420 541 147 469, e-mail: hroudova.j@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

DIAGNOSTICKÉ METODY HODNOCENÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

DIAGNOSTICS METHODS VALUED OF TIMBER CONSTRUCTION

Veronika Franková, Leona Slívová, Libor Žídek

Fakulta stavební, VŠB – TU Ostrava,

Anotace:

Konstrukční materiály na bázi dřeva jsou v současnosti znovu objevenou surovinou. S rozvíjícím se využitím těchto materiálů, je nutné, také hodnotit jejich kvalitu. Příspěvek pojednává o nových možnostech hodnocení dřevěných konstrukcí.

Annotation:

Construction materials based on timber are in present time re-discovered materials. With developing usage of this materials is necessary evaluate its quality. This article deals about new possibility of timber constructions evaluating.

Klíčová slova: *dřevo, konstrukce, diagnostické metody, hodnocení dřevěných konstrukcí, Kučerova vrtačka, Pilodyn*

Keywords:

timber, construction, diagnostics method, evaluation of timber construction, Kuceras drill, Pilodyn

1. Hodnocení dřevěných konstrukcí

Dřevo jako konstrukční materiál nachází v současné době uplatnění mnohem více než v letech předešlých. Zvyšuje se podíl dřevostaveb na trhu a s tím vzrůstá i poptávka po diagnostických metodách hodnocení, které lze použít na dřevo a konstrukce ze dřeva. Základním požadavkem na hodnocení

stávajících konstrukcí je nedestruktivnost popřípadě semidestruktivnost dané metody.

Nejběžněji používané metody hodnocení stávajících konstrukcí jsou metody ultrazvukové, které patří mezi metody nedestruktivní. Ne vždy je však lze použít v dostatečné míře přesnosti, která závisí na polohách sond (nejpřesnější měření - sondy máme umístěny naproti sobě ve směru podél vláken, nejméně přesné měření – sondy lze umístit pouze na jednu plochu zkoušeného vzorku). Je zřejmé, že zajištění měření, podél vláken např. u stropního trámu je téměř nemožné. Proto se jeví jako více efektivní metody semidestruktivní u kterých stačí, ve většině případů, odkrýt pouze část konstrukce (například 1 stranu stropního trámu).

Mezi relativně dostupné metody ověřování vlastností dřeva patří přístroj Pilodyn. Tento přístroj pracuje na principu vniku jehly do dřeva. Jehla je do dřeva zarážena pomocí razníku, který působí silou 6J, rozsah hloubky měření je 0 – 40 mm. Na principu vnikání tělesa (vrtáku) do dřeva pracuje i upravená Kučerova vrtačka. Tento způsob užití Kučerovy vrtačky je nyní zkoušen v laboratořích Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, FAST. Pro porovnání vhodnosti použití Kučerovy vrtačky k danému účelu, bylo použito srovnání této metody s metodou vnikání jehly do dřeva pomocí přístroje Pilodyn.

Dále byl zjišťován vztah mezi hodnotami zjištěnými semidestruktivně a hodnotami pevnosti dřeva.

2. Zkoušení dřeva pomocí Kučerovy vrtačky a přístroje Pilodyn

2.1. Princip metody zkoušení dřeva pomocí Kučerovy vrtačky

Kučerova vrtačka byla speciálně upravena pro zkoušení dřeva. Jelikož je vrtačka určena pro zjišťování hloubky vniku vrtáku do cihel a malt, musela být opatřena speciálním nástavcem pro zkoušení dřeva. Vrták použitý pro vývrt byl průměru 6 mm.

2.2. Zkušební postup – Kučerova vrtačka

Pro danou zkoušku bylo vybráno borové dřevo, dřevo bylo zatříděno do tříd dle ČSN 73 2824-1. Bylo vybráno 15 vzorků třídy S13 pro zkoušku ohybem. Rozměry zkušebních těles byly upraveny dle ČSN EN 408. Zkušební tělesa byla podrobena zkoušce ohybem dle ČSN EN 408. Po vlastní destruktivní

zkoušce byly na neporušených částech těles provedeny vrty pomocí Kučerovy vrtačky. Na každém z 15 zkušebních těles bylo provedeno 28 vrtů. V jednotlivých vrtech pak byla měřena jejich hloubka pomocí digitálního posuvného měřidla. Ostrost vrtáků byla ověřována po 100 návrtech na srovnávacím etalonu z tvrdého dřeva.

2.3. Zkušební postup – Pilodyn

Pro danou zkoušku bylo vybráno borové dřevo, dřevo bylo zatříděno do tříd dle ČSN 73 2824-1. Bylo vybráno 15 vzorků třídy S13 pro zkoušku ohybem. Rozměry zkušebních těles byly upraveny dle ČSN EN 408. Zkušební tělesa byla podrobena zkoušce ohybem dle ČSN EN 408. Po vlastní destruktivní zkoušce byly na neporušených částech těles provedeny vpichy pomocí přístroje Pilodyn. Na každém z 15 zkušebních těles bylo provedeno 20 vpichů a odečtena hloubka vpichu.

3. Metodika hodnocení

Pro stanovení závislosti mezi DT a NDT bylo potřeba stanovit součinitel α , pro přepočítání hodnot získaných nepřímým měřením na hodnoty pevnosti v ohybu. Pro obě použité metody platí, že se vzrůstající pevností v ohybu klesá hloubka vniku (vrtu). Součinitel α byl získán vynásobením hodnot pevnosti v ohybu s příslušnými hodnotami hloubek vrtů (vniků).

Byly porovnávány tyto součiny:

- součin aritmetických průměrů naměřených hodnot,
- součin hodnot lišících se o $\pm 10\%$ od aritmetického průměru,
- součin hodnot lišících se o \pm směrodatná odchylka od aritmetického průměru.

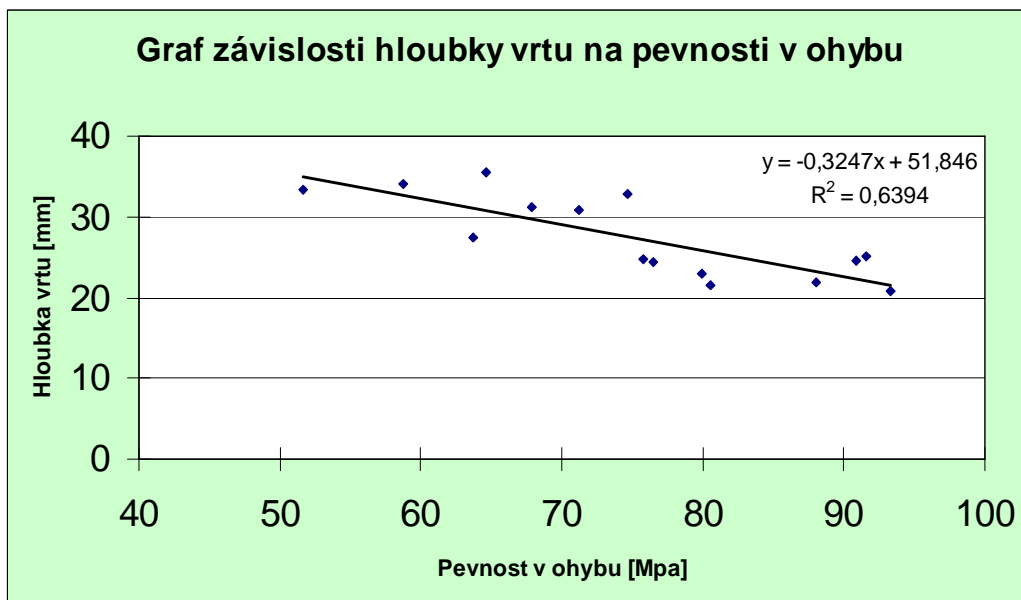
Vzájemný vztah těsnosti přiblížení se k ideálnímu koeficientu α je znázorněn v tab. 1. Hodnotícím kritériem byl rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou součinu DT a NDT.

Tabulka 1.: Zjištění součinitele α

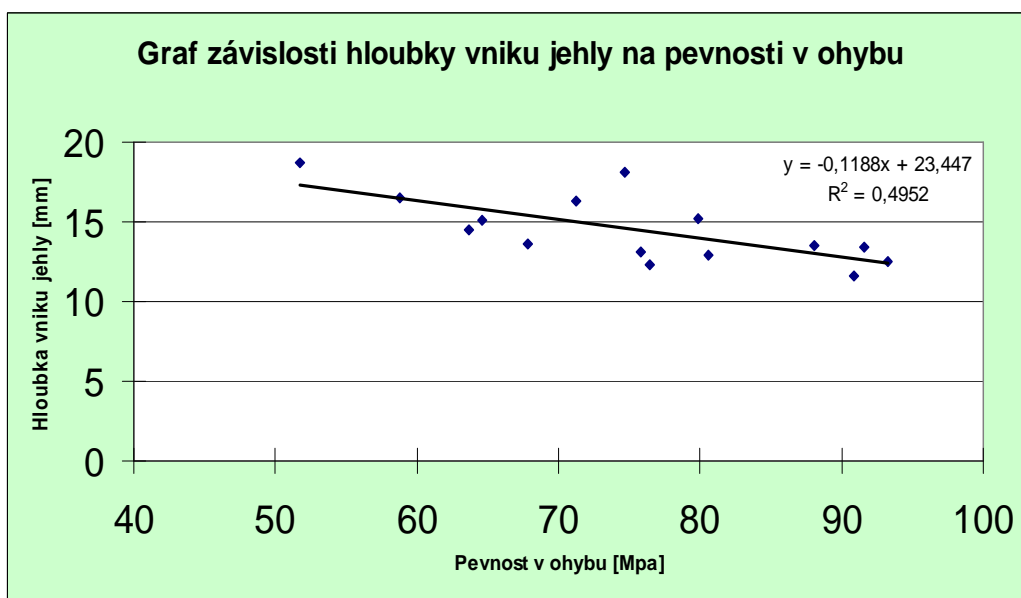
Zkušební vzorek č.	Hodnoty naměřené	Hodnoty naměřené semidestruktivně		Hodnocení koeficientu α			
	Průměrná pevnost dřeva v ohybu [Mpa]	Průměrná hloubka vrtu v [mm] Kučerova vrtačka	Průměrná hloubka zaražení jehly [mm] Pilodyn	$\emptyset * \emptyset$ pevnost dřeva x Kučerova vrtačka	$\emptyset * \emptyset$ pevnost dřeva x Pilodyn	$\emptyset \pm 10\% *$ $\emptyset \pm 10\%$ pevnost dřeva x Kučerova vrtačka	$\emptyset \pm 10\% *$ $\emptyset \pm 10\%$ pevnost dřeva x Pilodyn
BA9	93,26	20,80	12,55	1939,82	1170,42	1921,37	1169,09
BB5	79,90	23,00	15,18	1837,77	1212,46	1883,66	1224,32
BA4	91,56	25,06	13,43	2294,89	1229,18	2226,30	1223,56
BB2	90,87	24,53	11,63	2229,50	1056,38	2217,72	1034,33
BC9	88,04	21,80	13,53	1919,14	1190,76	1898,28	1191,94
BC4	76,46	24,37	12,35	1863,49	944,24	1870,53	922,94
BC21	71,26	30,88	16,28	2200,88	1159,83	2223,12	1159,10
BB18	75,82	24,68	13,13	1871,06	995,12	1892,56	979,32
BC15	64,64	35,44	15,13	2290,86	977,76	2304,08	980,45
BB7	63,71	27,37	14,53	1743,86	925,32	1729,70	923,73
BB19	80,57	21,48	12,95	1730,67	1043,37	1742,00	1092,15
BD10	67,87	31,30	13,63	2123,95	924,67	2143,16	910,02
BD17	74,64	32,86	18,10	2452,41	1350,92	2509,59	1324,79
BE4	51,70	33,35	18,68	1724,22	965,48	1701,74	953,39
BD1	58,78	34,09	16,55	2004,23	972,88	2001,19	973,21
α				2015,12	1074,59	2017,67	1070,82
minimum				728,20	426,25	807,85	414,78
maximum				1724,22	924,67	1701,74	910,02
rozdíl				2452,41	1350,92	2509,59	1324,79
rozdíl v %				29,69	31,55	32,19	31,31

Ověřením dvou vybraných způsobů výpočtu pro součinitel α bylo provedeno vydělení součinitele α hodnotami naměřenými NDT a dále byla vypočtena odchylka od hodnot pevnosti v ohybu stanovených DT. Součinitel α pro obě metody hodnocení je vypočten ze vztahu $\alpha = DT * NDT$.

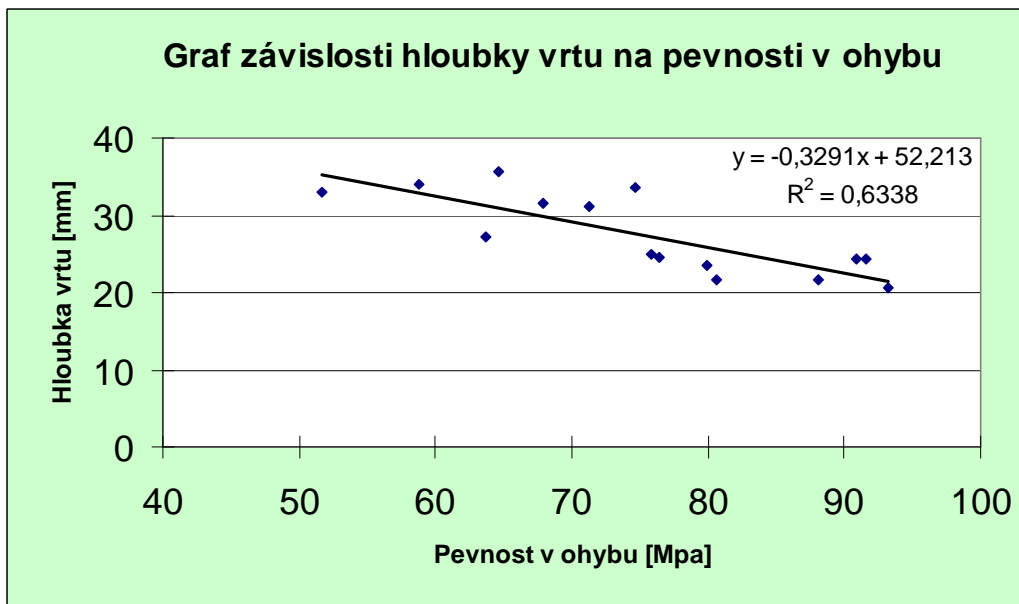
Pro hledání lineární závislosti byly sestrojeny grafy, kterými byly proloženy spojnice trendů. Byla provedena aproximace metodou nejmenších čtverců a vypočtena regresní rovnice a index determinace. Závislost hloubky vrtů (vpichů) je nejlépe charakterizována lineární funkcí a tudíž je v praxi jednoduše použitelná. Z obrázků 1 – 4 je patrná závislost mezi hloubkou vrtu (vpichu) a pevností v ohybu.



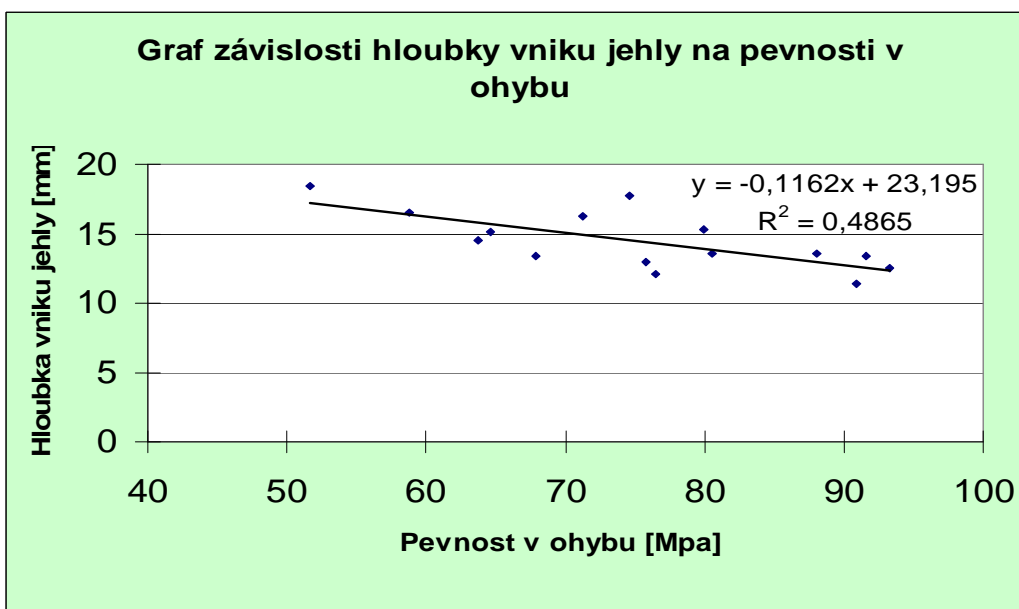
Obr. 1.: Funkce závislosti hloubky vrtu (Kučerova vrtačka) na pevnosti v ohybu (veškeré průměrné hodnoty).



Obr. 2.: Funkce závislosti hloubky vpichu (Pilodyn) na pevnosti v ohybu (veškeré průměrné hodnoty).



Obr. 3.: Funkce závislosti hloubky vrtu (Kučerova vrtačka) na pevnosti v ohybu (hodnoty nelišíci se o více jak $\pm 10\%$ od aritmetického průměru).



Obr. 4.: Funkce závislosti hloubky vpichu (Pilodyn) na pevnosti v ohybu (hodnoty nelišíci se o více jak $\pm 10\%$ od aritmetického průměru).

4. Závěr

Z výše přiložených grafů je zřejmé, že využití Kučerovy vrtačky pro semidestruktivní hodnocení dřevěných konstrukcí je více než vhodné. Získané regresní rovnice ukazují, že stupeň závislosti u obou testovaných případů je střední. Lze tedy říci, že další testování využití Kučerovy vrtačky a rozšíření zkoušení o různé typy konstrukčního dřeva a větší počet pozorování, je vhodnou variantou k dalšímu výzkumu.

Poděkování

Kolektiv autorů by tímto rád poděkoval, za poskytnuté prostředky na nákup materiálu výzkumnému centru CIDEAS.

Literatura

- [1] BERIT, T.: Vývoj metody orientačního stanovení pevnosti v tlaku u stavebního a dekoračního kamene na základě parametrů jeho vrtatelnosti. Diplomová práce. VŠB - TUO. 2009. p. 36 - 45. ISBN
- [2] KÁBA, B.; SVATOŠOVÁ, L.: Statistika. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze. 2008. p. 90 -92. ISBN 978-80-213-0746-9.
- [3] ČSN 73 2824-1 Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo
- [4] ČSN EN Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností

Kontakt

Ing. Veronika Franková, tel.: 00420 597 321 985, e-mail: veronika.frankova@vsb.cz, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, VŠB – TUO, FAST, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava Poruba, 708 33, Ostrava.

Bc. Leona Slívová, e-mail: leona.slivova.st@vsb.cz, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, VŠB – TUO, FAST, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava Poruba, 708 33, Ostrava.

Ing. Libor Žídek, tel.: 00420 597 321 932, e-mail: libor.zidek@vsb.cz, Laboratoř stavebních hmot, VŠB – TUO, FAST, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava Poruba, 708 33, Ostrava.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ ELASTICKÝCH MOSTNÍCH ZÁVĚRŮ (EMZ)

ASPHALTIC PLUG JOINTS (APJ) CHARACTERISTICS VERIFICATION

Jan Hradil

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,

Anotace:

Příspěvek se zabývá problematikou vlastností elastických mostních závěrů (EMZ) vzhledem k připravované nové úpravě TP 80. V článku jsou popsány tři zkušební metody, které by měly charakterizovat základní vlastnosti EMZ jako konstrukcí a závěry, které byly z těchto zkoušek získány. Jedná se o zkoušku opakovaného poježdění kolem, smykovou zkoušku spojení vrstev, a zkoušku stanovení roztažnosti a přilnavosti asfaltového pojiva pro EMZ dle Rabeho. Rovněž jsou v článku zmíněny problémy poruch EMZ na základě provedených prohlídek.

Annotation:

This article deals with problems of asphaltic plug joints (APJ) in regard to preparing changes in TP80. In article are described three testing methods, that should characterize basic APJ characteristics as constructions and results of this tests. The tests are loaded wheel test, shearing test of layers connection and Rabe test of stretchability and adhesiveness for APJ. In article are mentioned also problems with APJ defects based on made inspections.

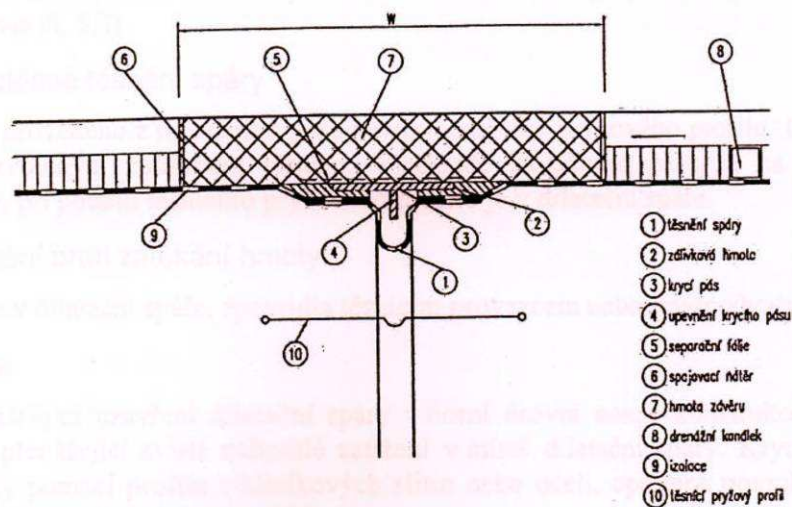
Klíčová slova: elastický mostní závěr (EMZ), TP80, zkušební metody, poruchy EMZ

Keywords: asphaltic plug joint (APJ), TP80, testing methods, APJ defects

1. Úvod

Problematika elastických mostních závěrů (EMZ) začíná být poslední dobou opět aktuální. Hlavním důvodem je snaha o vytvoření nových TP, které by nahradily stávající TP80, jež jsou z hlediska dnešních požadavků prakticky nepoužitelné. Tento článek se zabývá dvěma oblastmi, které ve stávajících TP80 řešeny nejsou vůbec a měly by být zakomponovány do nového návrhu. Jedná se o zkušební metody EMZ jako konstrukce a rovněž charakterizování základních poruch, které na EMZ vznikají. Obě dvě oblasti se přitom pochopitelně navzájem ovlivňují, teprve na základě prozkoumání jednotlivých poruch a jejich četnosti, které na EMZ vznikají, je možné navrhovat opravdu funkční zkušební metody, které by pojmuly problematiku komplexně.

Podíváme-li se na EMZ jako na prostou konstrukci, jedná se o těsněný povrchový mostní závěr, který je tvořen především krycím pásem a směsí kameniva a pojiva (Obr. 1). Krycí pás slouží především k překrytí dilatační spáry, hmota EMZ (tj. kamenivo+pojivo) následně k utěsnění dilatační spáry a vytvoření nosné pojízdné vrstvy.



Obr. 1.: Základní schéma EMZ dle TP80

2. Zkoušení EMZ

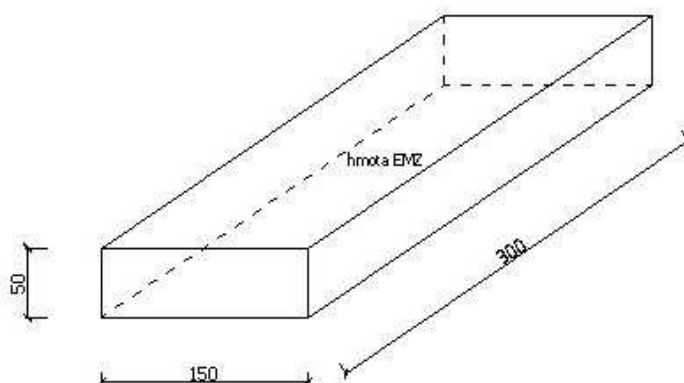
Jeden z největších problémů stávajících TP80 je fakt, že na EMZ jako konstrukci neklade prakticky žádné kvalitativní požadavky. S tím spojená je naprostá absence zkušebních metod, které by byly na EMZ použitelné. Jediné,

co je v TP80 definované, jsou požadavky na vstupní materiály, nikoliv už na samotnou konstrukci jako takovou. Navrhované zkušební metody jsou optimalizovány tak, aby byly s co nejmenšími náklady realizovatelné pomocí stávajícího zkušebního vybavení. Tento fakt byl nutný brát v úvahu i vzhledem k nevalné pověsti těchto konstrukcí u nás, které způsobily, že se EMZ na nových mostech prakticky nepoužívají. Z tohoto důvodu se nedá předpokládat přílišná ochota laboratoří do velkých investic, které se vzhledem k malé použitelnosti zaplatí značně problematicky.

2.1. Zkouška opakovaného poježdění kolem

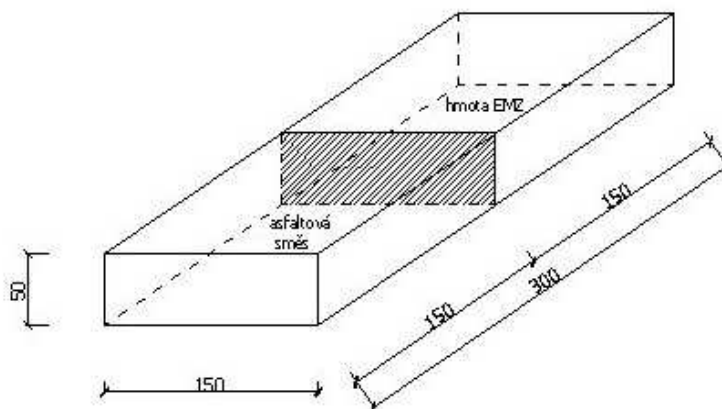
Tato zkouška byla původně prováděna dle TP109+Z1. Poté, co byly TP109 nahrazeny novými ČSN EN 12697-22, byla provedena srovnávací zkouška, aby byl zjištěn rozdíl mezi výsledky dle obou zkušebních postupů. Výsledek byl poměrně očekávatelný, vcelku odpovídá obdobných zkušenostem s výsledky u klasických hutněných směsí. Vzhledem k faktu, že postup u nových ČSN EN je z hlediska výroby vzorku a hlavně jeho hutnění u EMZ o dost komplikovanější, je výsledné řešení modifikovaným průřezem obou předpisů tak, aby bylo možné vzorek reálně vyrobit, ztuhnout a následně ozkoušet.

Při zkoušení se vyrábí dva typy vzorků, jeden celý z hmoty EMZ (Obr. 2) a druhý simuluje přechod vozovky do EMZ (Obr. 3).



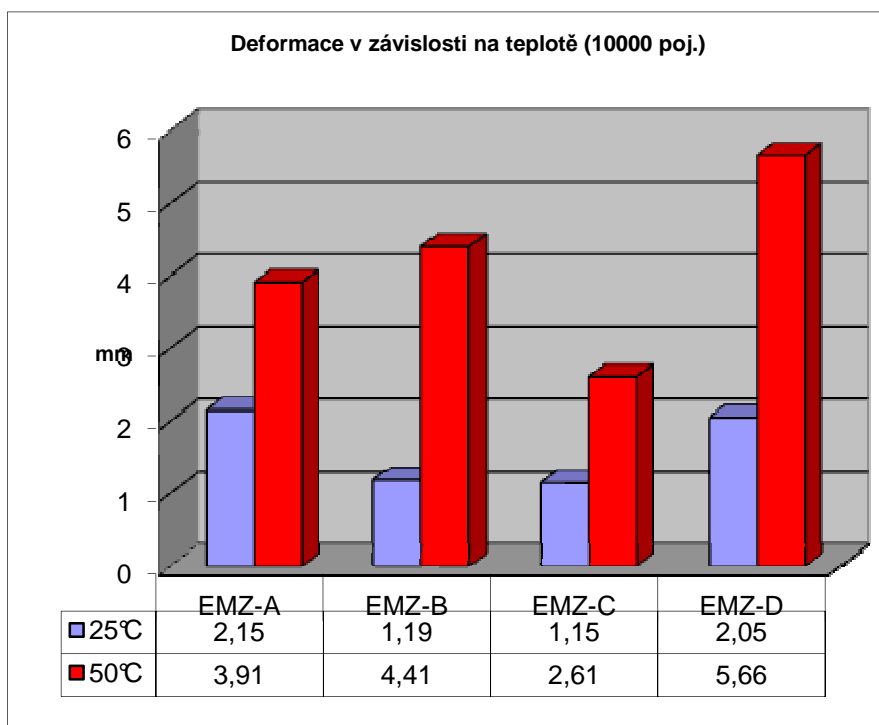
Obr. 2.: Vzorek EMZ

Oba dva typy vzorků se zkouší při zkušebních teplotách 25°C a 50°C na max. 15000 pojezdů. Při vyhodnocení je podstatná především hodnota y_3 , tj. největší deformace v místě vyjždění kolem. U vzorku přechodu se potom deformace měří zvlášť na každé polovině a navíc se provádí vizuální hodnocení přechodu EMZ v asfaltovou část.



Obr. 3.: Vzorek přechodu vozovky v EMZ

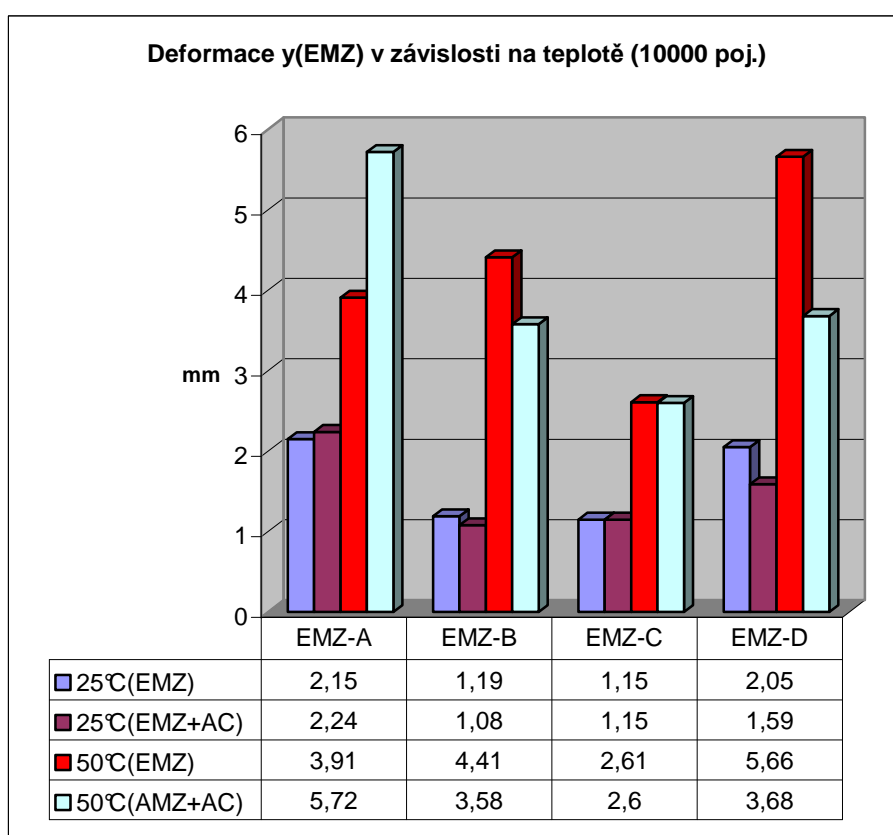
Aby byl rozsah naměřených hodnot co nejširší, byly podrobeny testu čtyři hmoty EMZ od tří různých zhotovitelů. Při pohledu na výsledné hodnoty (Obr. 4) je zřejmá poměrná vyrovnanost hmot EMZ-A a EMZ-B, naopak hmota EMZ-



Obr. 4.: Výsledky zkoušky vyjždění kolem v závislosti na teplotě (vzorky EMZ)

C vykazuje poměrně nízké deformace a hmota EMZ-D značně vysoké deformace. Vzhledem k faktu, že poslední dvě hmoty, které navíc pocházejí od jednoho zhotovitele, vykazují takto „extrémní“ hodnoty, vzniká oprávněný dojem, že zhotovitel dle potřeby tyto dvě hmoty míchá, aby dosáhl optimálního poměru tuhosti a schopnosti přenášet vodorovné deformace. Během zkoušek se rovněž projevila značná závislost výsledku na teplotě zkoušení.

Trochu rozdílný pohled je na výsledky vzorků přechodu EMZ ve vozovku (Obr. 5)



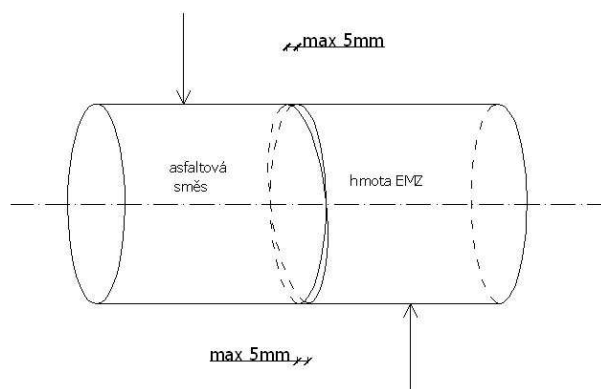
Obr. 5.: Výsledky zkoušky vyjždění kolem v závislosti na teplotě (vzorku přechodu vozovky v EMZ)

Zde uvedené výsledky prakticky nevykazují žádný měřitelný vliv asfaltové části na deformace v části EMZ. Vzhledem k délce pojíždění 230mm a faktu, že hodnota se na každé části počítá pouze ze dvou hodnot na délce 115mm, jsou výsledky pouze orientační. Při vizuálním hodnocení místa přechodu nebyl ani u jednoho vzorku zjištěn žádný výškový „skok“ v místě přechodu.

2.2. Smyková zkouška spojení vrstev dle Leutnera

Zkouška je prováděna dle modifikovaného postupu uvedeného v ČSN 73 6160. Tento postup je prakticky totožný s postupem, uváděným v TP109+Z1.

Zkušební těleso vychází z velkého Marshallova tělesa ($d=150\text{mm}$) a skládá se opět ze dvou částí (Obr. 6). První část je provedena jako klasické Marshallovo těleso z asfaltové hutněné směsi, část druhá je provedena do speciální formy nasazené na toto těleso.

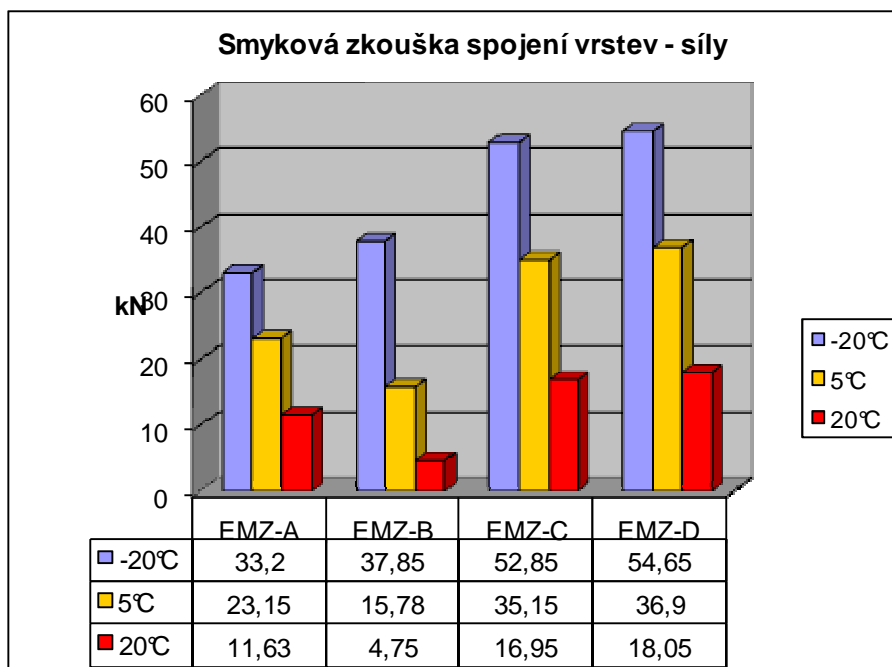


Obr. 6.: Schéma vzorku pro smykovou zkoušku spojení vrstev

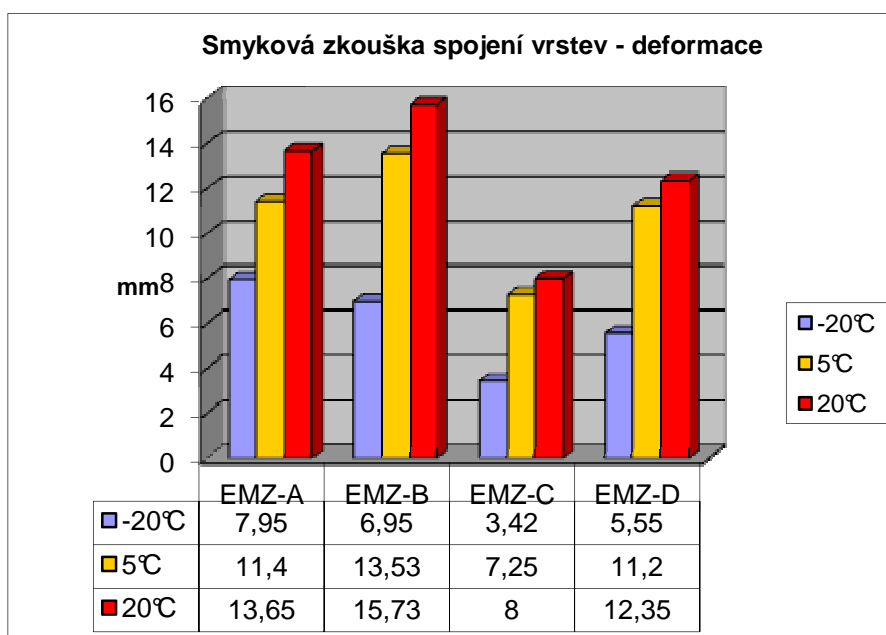
Vzorok se zkoušejí při teplotách -20°C , 5°C a 20°C . Výsledkem je:

- největší dosažená síla F_{MAX} (kN) (Obr. 7)
- přetvoření (mm) odpovídající síle F_{MAX} (Obr. 8)

Pochopitelně z čistě teoretického hlediska je ideální hmota, která je schopná při nízkých teplotách dosáhnout co největších deformací a zároveň přenést co největší zatížení. Určujícím faktorem je v tomto případě spíše hodnota deformace, protože EMZ není primárně určen k tomu, aby jakýmkoliv způsobem přenášel zatížení od pohybů v dilatační spáře. Při pohledu na naměřené hodnoty sil je zřejmá tendence lineárního nárůstu síly v závislosti na teplotě, u hodnot deformací je zřetelné snížení hlavně mezi -20°C a 5°C , následný nárůst deformace na 20°C je už více pozvolný.



Obr. 7.: Výsledky zkoušek smykového spojení vrstev – síla v závislosti na teplotě

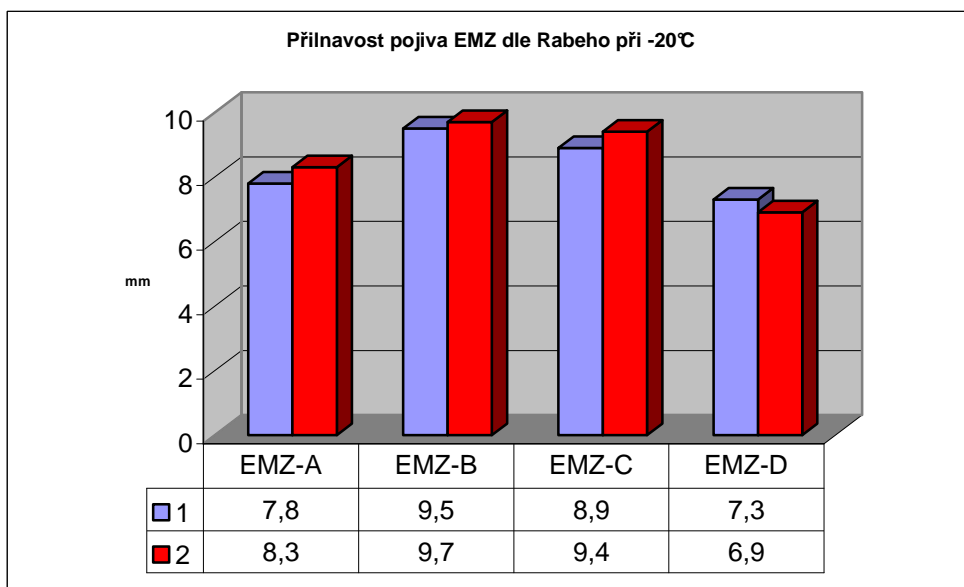


Obr. 8.: Výsledky zkoušek smykového spojení vrstev – deformace v závislosti na teplotě

2.3. Stanovení roztažnosti a přilnavosti asfaltového pojiva pro EMZ

Tato zkouška jako prakticky jediná neřeší zkoušení hmoty EMZ, ale pouze zkoušku pojiva EMZ. Výsledky zkoušky jsou pouze ověřovací, zkouška by měla prověřit schopnost pojiva použitého v EMZ přenést za nízkých teplot deformaci v místě napojení na přilehlé konstrukce. Postup zkoušky vychází původně z německých norem ZTV-BEL-FÜ, následně dle ČSN EN.

Jak je zřejmé z výsledků (Obr. 9), tak všechny hmoty s poměrně značnou rezervou přesáhly hodnotu 5mm požadovanou pro pojivo EMZ. Výsledky jsou spíše informativního charakteru, čili jakékoliv srovnání by v tomto případě nebylo na místě.



Obr. 9.: Přilnavost dle Rabeho při -20°C

2.4. Navrhované zkušební metody

Aby bylo možné charakterizovat vlastnosti EMZ komplexně, byly na základě poruch EMZ specifikovány ještě dvě vlastnosti, které by bylo vhodné prověřit a dát do souvislosti s výše uvedenými zkouškami. Jedná se o:

- a. Modul tuhosti zjišťovaný na Marshallově tělese v NAT přístroji
- b. Zkouška v přímém tahu

Vzhledem k tomu, že výsledky zkoušek u těchto dvou zkoušek nejsou ještě kompletní a bude rovněž nutné specifikovat pro jejich reálné zhodnocení zkušební podmínky (hlavně zkušební teploty), nejsou zde výsledky uvedeny, nicméně první výsledky se předpokládají v dohledné době.

3. Poruchy EMZ

Konstrukce EMZ jsou značně citlivé na správný návrh a následně korektní provedení odbornou firmou. Nedodržení technologického postupu nebo špatná volba mostu pro realizaci EMZ se v dlouhodobějším hledisku může ukázat jako fatální. Bohužel to má negativní vliv i na názor odborné veřejnosti na tento typ konstrukcí. Není žádným tajemstvím, že i u zkušených odborníků převládá názor spíše skeptický (mírně řečeno) a to i přesto, že při pohledu do zahraničí je snadno dokazatelné, že při správném návrhu a technologickém postupu tyto konstrukce relativně bezproblémově fungují a poskytují vlastnosti, které jiné typy mostních závěrů poskytnout nemůžou.

Z výsledků prohlídek mostů lze specifikovat několik základních poruch, které se na EMZ vyskytují. Jedná se především o:

- c. výtluky v EMZ a s nimi spojené deformace a poruchy přilehlé vozovky
- d. rozježdění hmoty EMZ a vyjeté koleje v EMZ
- e. příčné trhliny v hraně EMZ nebo v EMZ
- f. vytlačení hmoty EMZ nad úroveň vozovky
- g. obnažení zrn kameniva, hrozící uvolnění a degradace EMZ
- h. zátok vody skrz EMZ
- i. překrytí EMZ novým krytem
- j. problémy lokálního charakteru (záplaty zasahující do EMZ, velká šířka EMZ apod.)

Z těchto poruch je poněkud specifické hlavně překrytí EMZ novým krytem. Vzniká při rekonstrukcích stávajících vozovek, kdy dochází k frézování a výměně krytu. Standartní postup v tomto okamžiku by byl vybourání kompletního EMZ a jeho výměna. Praxe je bohužel taková, že se odfrézuje i svrchní vrstva EMZ a ten se následně překryje krytem. V lepším případě je v místě závěru proříznuta ve krytu spára, která je zalitá zálivkovou hmotou (i když ani to není korektní postup), v případě horším je kryt prostě přetažen přes EMZ bez jakékoliv možnosti dilatace. Důsledky jsou pro EMZ takřka katastrofické. Vrstvy krytu omezují schopnost EMZ přenášet vodorovné deformace – v krytu vznikají tahové příčné trhliny, protože kryt jako takový už vůbec není schopen přenášet vodorovné deformace. Vzhledem k rozdílným vlastnostem EMZ a krytu ztrácí kryt v místě EMZ povrchové vlastnosti, jak se EMZ „prokresluje“ do krytu.

4. Závěr

Podíváme-li se na stav EMZ u nás i v zahraničí, tak je to srovnání pro nás poměrně nelichotivé. Nejenom z hlediska platných předpisů a výzkumu tohoto typu konstrukce obecně, ale i z hlediska stavu již postavených mostních závěrů. Přitom nemusíme chodit pro typický případ příliš daleko, poměrně značné oblibě se těší EMZ například v Polsku nebo některých oblastech Německa. Ze vzdálenějších zemí je potom EMZ běžně používán v USA i v Kanadě.

V současné době probíhá návrh nových TP, které nahradí TP80. Zkoušky a závěry zde uvedené by po dohodě se zpracovatelem TP měly sloužit ke stanovení výchozích bodů, ze kterých bude návrh nových TP vycházet. Můžeme jenom doufat, že tento do jisté míry specifický typ konstrukce u nás nezmizí v propadlišti dějin.

Literatura

- [1] TP80 – Elastický mostní závěr [technické podmínky], Ministerstvo dopravy ČR, 2003
- [2] Diagnostický průzkum stávajících elastických mostních závěrů PK [Zpráva o provedení měření stavu pohybů v létě 2005 na území východních Čech a Moravy], Mostní vývoj s.r.o., Brno 2005
- [3] Dodatkové technické smluvní podmínky a směrnice pro provádění asfaltových dilatačních závěrů na krytech mostů a jiných inženýrských staveb z betonu, pracovní skupina „Asfaltové dilatační závěry“, (TEL-BFU), 1998
- [4] Závěrečná zpráva grantu GAČR 103/04/0581 „Problematika elastických závěrů mostů“, 2004 - 2006
- [5] ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka -Část 22: Zkouška pojíždění kolem, Český normalizační institut, Praha, 2007
- [6] ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí, Český normalizační institut, Praha, 2007

Kontakt

Ing. Jan Hradil, tel: 00420 605 947 639, e-mail: jan.hradil@fsv.cvut.cz,
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb, Thákurova 7, 166 29
Praha 6 - Dejvice

SYSTÉM FUNKČNÍCH ZKOUŠEK PRO POSUZOVÁNÍ SILNIČNÍCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

FUNCTIONAL TEST SYSTEM FOR ASSESSMENT OF ROAD CONSTRUCTION MATERIALS

Petr Hýzl, Dušan Stehlík, Michal Varaus

VUT v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Spřechodem na evropské normy se v oblasti zkoušení silničních stavebních materiálů otevřela možnost stanovovat a posuzovat vlastnosti s využitím tzv. funkčních zkoušek. Jde o laboratorní zkoušky, při nichž je materiál podrobován zkoušení v podmínkách simulujících skutečné namáhání v konstrukci vozovky. Cílem příspěvku je představit ucelený systém funkčních zkoušek silničních stavebních materiálů, který je dokončován v silniční laboratoři Ústavu pozemních komunikací VUT v Brně.

Annotation:

Transfer to European standards enables the specification and assessment of properties of road construction materials with the so called functional tests. Functional tests should simulate in the laboratory the real conditions in the road construction. The article should present the integrated system of functional tests of road construction materials at the Institute of Road Structures of the Brno University of Technology.

Klíčová slova: funkční zkoušky, asfaltová směs, silniční stavební materiály

Keywords: Functional tests, asphalt mixture, road construction materials

1. Úvod

Cílem zavedení funkčních zkoušek pro asfaltové směsi je vytvořit alternativní přístup pro navrhování asfaltových směsí k dosud používanému postupu empirickému. Empirický způsob návrhu je většinou založen na stanovování fyzikálně-mechanických veličin podle Marshalla, který tento postup odvodil koncem 30. let 20. století. I přes další úpravy této metody americkými inženýry v průběhu 2. světové války se jedná o záležitost více jak půl století starou.

Extrémní celosvětový nárůst těžké nákladní dopravy zejména v posledním období si vynucuje hledání nových přístupů. V posledních letech se začínají stále více prosazovat právě výše již zmiňované funkční zkoušky (Performance tests) – tj. zkoušky simulující skutečné namáhání asfaltových směsí. Tím je možné přizpůsobit návrh specifickým místním podmínkám a to jak klimatickým, tak i ve vztahu k velikosti dopravního zatížení. S tímto přístupem přicházejí též nové evropské normy, které umožňují pro asfaltový beton - EN 13108-1 aplikaci jak přístupu empirického, tak i funkčního.

U zemin a materiálů pro podkladní vrstvy vozovky je situace obdobná. Začínají se stále prosazovat metody zkoušení, které lépe modelují chování zhutněných podkladních vrstev vozovek a podloží pod narůstajícím dopravním zatížením.

2. Funkční zkoušky asfaltových směsí

Jde o zkoušky, které dokáží simulovat jak proces výroby, dopravy, pokládky a hutnění asfaltové směsi, tak i chování asfaltové směsi v různých podmínkách zatížení a prostředí. Mezi tyto základní zkoušky (kterými je silniční laboratoř Ústavu pozemních komunikací již vybavena) patří zejména:

a) Stanovení náchylnosti asfaltových směsí k segregaci podle ČSN EN 12697-15

Zkouška se snaží modelovat proces manipulace s nezhutněnou asfaltovou směsí v průběhu sypaní na korbu nákladního automobilu, dopravy a v násypce finišeru. Větší zrna kameniva mají při pohybu větší kinetickou energii, a tudíž mají tendenci se segregovat od zbytku směsi. To má za následek tvorbu shluků větších zrn v pokládané směsi s omezenou trvanlivostí. Princip zkoušky spočívá v tom, že se horký vzorek asfaltové směsi umístí do nahřáté izolované kuželovité násypky a nechá se po otevření šoupátkového uzávěru propadnout na plošinu, na které se vytvoří kuželovitá figura. V plošině se otevře malý otvor, který

z figury oddělí střední (jemnou) část směsi, poté se otevře velký otvor, jímž propadá střední část figury. Na plošině zbyde nejhrubší část vzorku.

Po provedení analýzy jemné a hrubé části směsi se počítají normou stanovené charakteristiky:

- hodnota segregace pojiva – rozdíl mezi obsahem asfaltu v jemné a hrubé části,
- hodnota segregace kameniva pro určená síta – rozdíl výsledků síťových rozborů mezi jemnou a hrubou částí,
- hodnota kvality mísení – rozdíl obsahů pojiva v mastixovém podílu jemné a hrubé části.

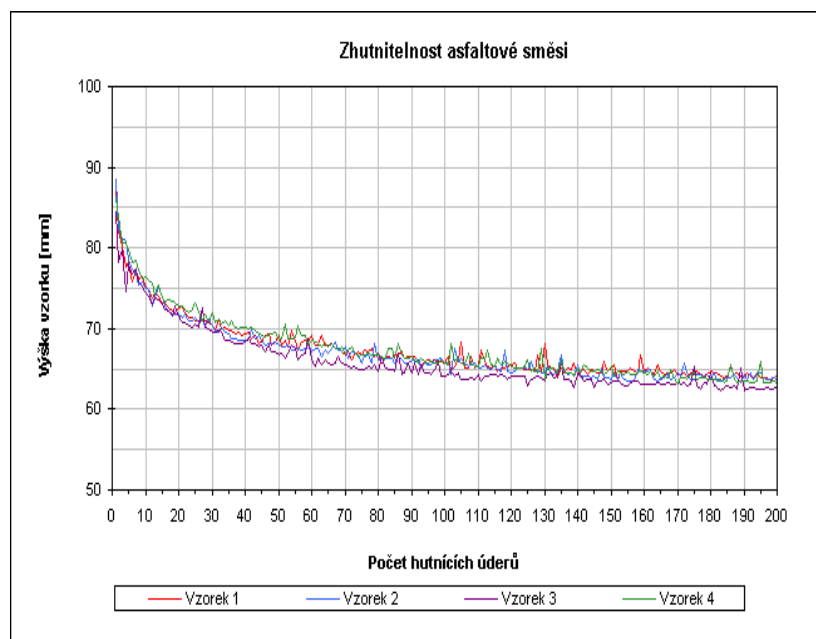
Obecně lze konstatovat, že čím větší jsou rozdíly ve zjišťovaných parametrech jednotlivých částí, tím je asfaltová směs více náchylná k segregaci. Tuto zkoušku je možné využít i pro stanovení míry segregace nestmelených směsí a směsí stmelných hydraulickými pojivy, které se používají nejčastěji v konstrukci vozovky pro konstrukční podkladní vrstvy. V současné době probíhá na ústavu pozemních komunikací, fakulty stavební experimentální výzkum ověřující možnosti kvalifikace segregativních znaků výše uvedených stavebních směsí.



Obr. 1.: Segregátor

b) Zkouška zhutnitelnosti asfaltových směsí podle ČSN EN 12697-10

Zkouška spočívá v registraci výšky zkušebního tělesa při zhutňování asfaltové směsi rázovým (Marshallovým) zhutňovačem. Při hutnění je sledováno snižování tloušťky tělesa (objemové hmotnosti, mezerovitosti) v závislosti na počtu úderů zhutňovače. Získaným záznamem se proloží křivka, jejíž parametry charakterizují zhutnitelnost asfaltové směsi.



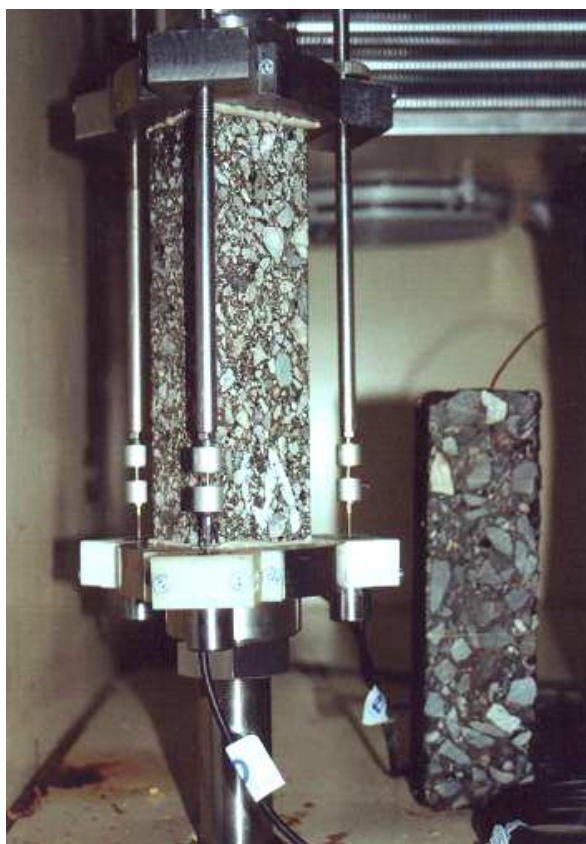
Obr. 2.: Příklad záznamu zkoušky zhutnitelnosti

c) Stanovení citlivosti asfaltové směsi vůči účinkům vody podle ČSN EN 12697-12

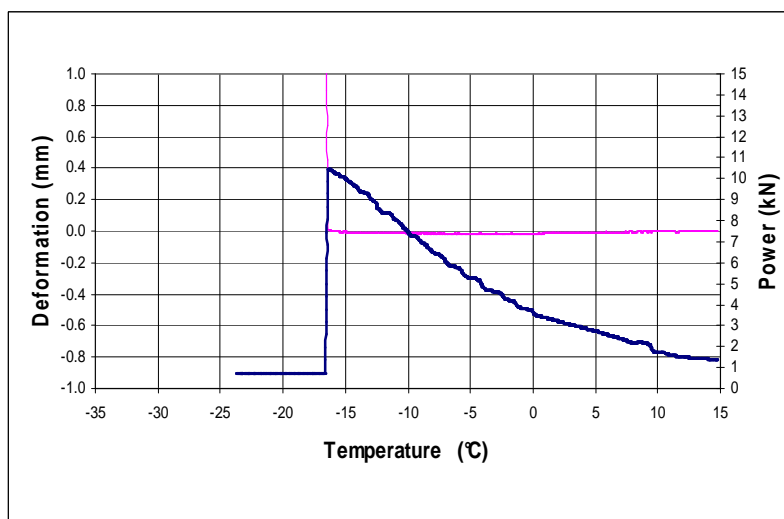
Metoda spočívá v porovnání pevností v příčném tahu skupiny referenčních (“suchých“) těles, která nejsou vystavena účinkům vody se skupinou těles (“mokrých“), která byla vystavena účinkům vody a zvýšené teploty 40°C. Obě skupiny těles jsou hutněny rázovým zhutňovačem sníženým počtem úderů (2x25 úderů). Účinek působení vody se vyjadřuje jako poměr pevnosti v příčném tahu (dle ČSN EN 12697-23) skupiny těles “mokrých“ a těles “suchých“.

d) Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí

Posuzování velmi důležité vlastnosti asfaltových směsí – jejich chování za nízkých teplot není dosud popisováno žádnou evropskou normou. Při jejich posuzování je na pracovišti autorů využívána vlastní vyvinutá metodika pomocí nízkoteplotní komory Cyklon -40. Zkušební tělesa ze zhutněné asfaltové směsi tvaru trámečku o rozměru 50 mm x 50 mm x 200 mm jsou vystavena vznikajícímu tahovému napětí, které je způsobeno jeho smršťováním s teplotou za podmínky zabránění jeho zkracování ($\epsilon_t = 0$). Je stanovena maximální tahová síla (tahové napětí) a kritická teplota vzniku mrazové trhliny. Tato metoda je v současné době již popisována novým návrhem evropské normy prEN 12697-46.



Obr. 3.: Detail zkušebního tělesa



Obr. 4.: Záznam průběhu zkoušky

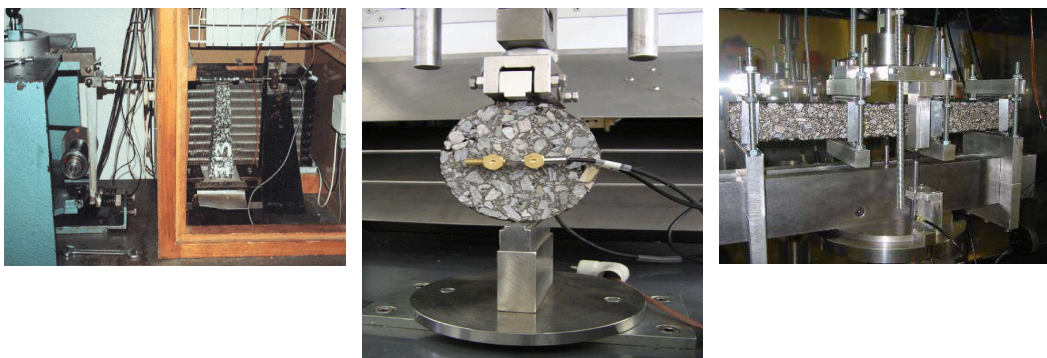
e) Měření modulu tuhosti podle ČSN EN 12697-26

Jde o moderní metody stanovení modulu tuhosti asfaltových směsí pomocí opakovaného dynamického zatěžování. Podle v současnosti platných norem je možno stanovovat moduly tuhosti u asfaltových směsí čtyřmi metodami, a to pomocí:

- 2 bodové zkoušky (2 – Point Bending Test) na komolém klínu,
- zkoušky v příčném tahu
- 3 bodové zkoušky na trámečcích (prostý nosník),
- 4 bodové zkoušky na trámečcích (prostý nosník),

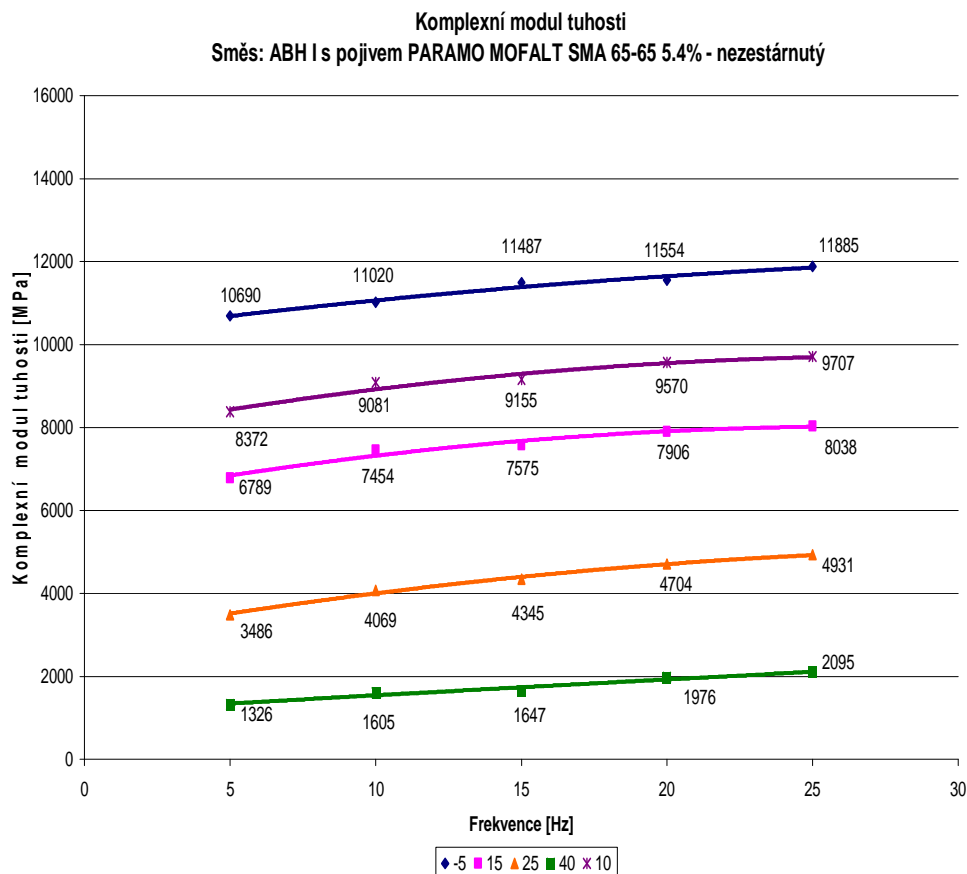
Prvními dvěma jmenovanými metodami je již silniční laboratoř vybavena, pořízení zařízení pro 4 bodovou zkoušku je plánováno v rámci projektu AdMaS.

Na základě měřených veličin (síla, deformace, fázový úhel zpoždění) a známých rozměrů zkušebního tělesa je stanovován modul tuhosti ztuhlé asfaltové směsi při různých teplotách.



Obr. 5,6,7: zleva: 2 bodová zkouška, zkouška v příčném tahu a 4 bodová zkouška

Inovovaná česká návrhová metoda, uvedená v předpisu TP 170 již počítá s funkčním stanovováním modulů u asfaltem stmelených materiálů. Za výsledek zkoušky se považuje a do návrhové metody vstupuje hodnota modulu stanovená 2 bodovou zkouškou při teplotě 15°C a frekvenci zatěžování 10 Hz. Naměřené hodnoty modulů tuhosti odstupňované podle frekvence zatěžování a teploty jsou jako příklad uvedeny v následujícím diagramu.

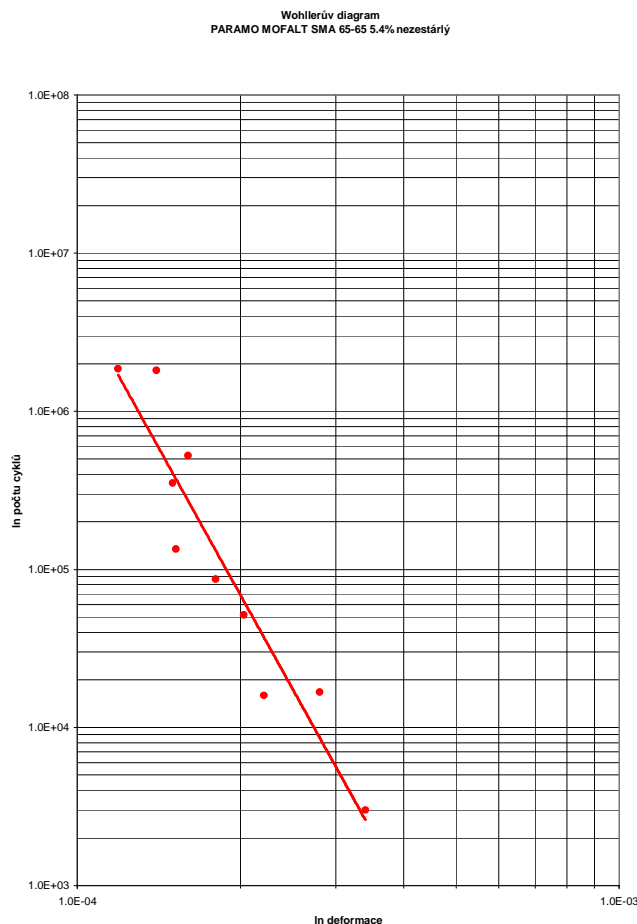


Obr. 8.: Příklad vyhodnocení výsledků 2 bodové zkoušky

f) Měření únavových charakteristik podle ČSN EN 12697-24

Únavové charakteristiky se využívají při posuzování odolnosti vozovky proti opakovanému zatěžování. Výsledky zkoušky se vyjadřují ve formě Wöhlerova diagramu, z něhož do české návrhové metody vstupují charakteristika sklonu únavové přímky B a přetvoření odpovídající jednomu milionu zatěžovacích cyklů ϵ_6 . ČSN EN 12697-24 umožňuje v současnosti stanovovat únavové charakteristiky dvěma metodami, a to pomocí:

- 2 bodové zkoušky (2 – Point Bending Test) na komolém klínu,
- 4 bodové zkoušky (4 – Point Bending Test) na trámečcích.



Obrázek č. 9 – Příklad vyhodnocení únavové zkoušky pomocí Wöhlerova diagramu

g) Posouzení odolnosti asfaltových směsí proti tvorbě trvalých deformací podle ČSN EN 12697 - 25

Vedle známého a doposud hojně využívaného empirického způsobu posuzování odolnosti asfaltové směsi k tvorbě trvalých deformací pomocí vyjížděčů kolejí umožňuje ČSN EN 12697–25 stanovovat tuto odolnost asfaltových směsí funkční zkouškou cyklickým zatěžováním válcových zkušebních těles v tlaku pomocí triaxiální komory. V silniční laboratoři VUT v Brně byla v dubnu 2007 dokončena stavba tohoto v České republice unikátního zkušebního zařízení. Při zkoušce probíhající při teplotě 50 °C je válcové zkušební těleso (Marshallovo těleso nebo jádrový vývrt z vozovky) zatěžováno cyklickým axiálním tlakem a současně bočním komorovým tlakem (statickým nebo cyklickým), který simuluje hmotu a odezvu okolního materiálu v reálné

vozovce. Ze záznamu závislosti axiálního přetvoření na počtu opakování zatížení je vyhodnocována odolnost zkoušené směsi proti tvorbě trvalých deformací (vyjetých kolejí).



Obr. 9.: Dynamický triaxiální zatěžovací systém v silniční laboratoři VUT v Brně

3. Funkční zkoušky zemin a směsí pro podkladní vrstvy vozovek

Tyto modelové zkoušky simulují jak proces zhotovení, dopravy, pokládky a hutnění nestmelených směsí a směsí stmelených hydraulickými pojivy, tak i jejich chování v různých podmínkách zatížení a prostředí. Silniční laboratoř Ústavu pozemních komunikací je vybavena zařízeními na:

a) Stanovení návrhového modulu pružnosti E_r zhuštěné směsi

Tato funkční zkouška popsaná v ČSN EN 13286–7 stanovuje hodnotu modulu pružnosti E_r na základě cyklického zatěžování válcových zkušebních těles v tlaku pomocí triaxiálního způsobu zkoušení. V silniční laboratoři VUT v Brně byla v květnu 2006 dokončena stavba tohoto v České republice unikátního zkušebního zařízení. Při zkoušce probíhající po dobu 4 až 5 hodin je zkušební válcové těleso zatěžováno zvyšujícím se cyklickým axiálním tlakem a současně bočním komorovým tlakem (konstantním nebo měnícím se v souvislosti se zvětšováním svislého dynamického zatížení), který simuluje hmotu a odezvu okolního materiálu v reálné konstrukci vozovky pozemní komunikace. Ze záznamu závislosti měnícího se axiálního zatížení

na z konkrétních naměřených hodnot vypočteném modulu pružnosti je vyhodnocován návrhový modul pružnosti pro aktuální svislé dopravní zatížení působící v daném čase na vrstvu vozovky ze zkoušené směsi. Cyklický triaxiální přístroj je podobné konstrukce jako v případě zkoušení trvalých deformací zhutněných asfaltových směsí (viz. obrázek č. 10)

b) Stanovení odolnosti proti mrazu a vodě a namrzavosti zemin a materiálů

Posuzování velmi důležité vlastnosti směsí do podkladních vrstev a podloží vozovek – jejich chování za nízkých teplot není dosud popisováno žádnou sjednocenou evropskou normou. Při jejich posuzování je využívána vlastní zkušební metodika pomocí klimatizační komory Cyklon -40 a zařízení podle zrušené československé normy ČSN 72 1191. Zkušební tělesa ze zhutněné zeminy nebo materiálu tvaru válečku o průměru 100 mm a výšce 120 mm jsou vystavena záporné teplotě až do výše $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ při vodokonstantním stavu, který je způsoben saturací vody do zkušebních vzorků během doby zkoušení. Je stanovena v jednom případě pevnost v prostém tlaku vzorků, na kterých byly aplikovány mrazové cykly a v druhém případě u zkoušení namrzavosti zemin v podloží vozovek je sledován součinitel namrzavosti závislý na mrazovém zdvihu zkušebních válcových těles.



Obr. 10.: zkušební přístroj na funkční zkoušení namrzavosti zemin a materiálů

4. Závěr

Cílem příspěvku bylo představit funkční zkoušky silničních stavebních materiálů jako zrychlený způsob posouzení jejich vlastností v konstrukci

vozovky založený na přejímaných evropských normách. Další generace evropských norem pro asfaltové směsi by se měla zaměřit na navrhování asfaltových směsí výhradně s využíváním funkčních zkoušek. Tato vize evropských tvůrců norem však naráží na nutnost pořízení finančně velmi nákladných zkušebních zařízení, které jsou využívány v současnosti téměř výhradně k výzkumným účelům a i pro velké stavební firmy působící v oblasti silničního stavitelství představují nemalé investiční náklady.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován s podporou projektu Ministerstva dopravy ČR CG712-043-910 „Systém hospodaření s druhotnými materiály do vozovek pozemních komunikací v ČR“, projektu GAČR č. 103/09/0335 Reologie a experimentální vymezení funkčních charakteristik nízkoteplotních asfaltových směsí a projektu MSM0021630519, „Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce“.

Literatura

- [1] HÝZL, P.; VARAUS, M.: Funkční zkoušky asfaltových směsí.
In Stavebnictví 06-07/2007, Brno. p. 57 - 59. ISSN 1802-2030.

Kontakt

Ing. Petr Hýzl, Ph.D., tel: 00420 541 147 418, e-mail: hyzl.p@fce.vutbr.cz, Ústav pozemních komunikací, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Dušan Stehlík, Ph.D., tel: 00420 541 147 348, e-mail: stehlik.d@fce.vutbr.cz, Ústav pozemních komunikací, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

doc. Dr. Ing. Michal Varaus, tel: 00420 541 147 357, e-mail: varaus.m@fce.vutbr.cz, Ústav pozemních komunikací, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

VLIV HYDROFOBIZAČNÍCH PŘÍRAD NA DIFÚZNÍ VLASTNOSTI MALTOVÝCH SMĚSÍ

THE INFLUENCE OF WATER REPELLENTS ON MORTAR DIFFUSIONAL PROPERTY

Jiří Kolísko, Lukáš Balík

České vysoké učení technické v Praze Kloknerův ústav

Anotace:

Článek se zabývá problematikou stanovení součinitele difúze vodní páry u materiálů s poměrně nízkou hodnotou μ do 20. Pozornost je věnována vlivu jednotlivých okrajových podmínek během měření na výslednou hodnotu, tedy na přesnost měření. Cílem článku je poukázat na míru vlivu dodatečně přidaných hydrofobizačních přísad na hodnotu μ testovaných malt.

Annotation:

The article deals with question of determination of water resistance vapour factor of high permeable building materials ($\mu \leq 20$). Lime mortar and mortar modified with stearate were tested. The attention is paid to influence of end conditions on final μ value. The aim of article is to refer the influence of added water repellent on μ factor of tested mortar.

Klíčová slova: *hustota difúzního toku, propustnost vodní páry, faktor difúzního odporu, ekvivalentní difúzní tloušťka*

Keywords: *density of water vapour flow rate, water vapour permeance, water vapour resistance factor, water vapour diffusion-equivalent air layer thickness*

1. Úvod

Nedílnou součástí správného návrhu sanace historických objektu z hlediska vlhkosti jsou jak opatření přímá (tj. radikální zásah do konstrukčního systému objektu, obnovení či vytvoření hydroizolační bariéry, snížení

hydrostatického tlaku působící vody atd.), tak opatření doplňující, která mohou značně ovlivnit funkčnost a životnost výše zmíněných přímých opatření. Dalším požadavkem na opatření doplňující je umožnění a maximálního urychlení samovolného uvedení konstrukčních částí objektu do původního “suchého“ stavu.

Jedním z těchto opatření je materiálový návrh a doporučená aplikace omítek. Použité omítky by měly v maximální míře splnit následující technické požadavky:

- umožnit “vydýchávání“ vodních par z konstrukce minimálně po dobu jejího vysychání,
- zabránit přímému vnikání (průsaku) vody do konstrukce po dobu své životnosti,
- zajistit dostatečnou a dlouhodobou ochranu zdiva vůči působení vnějšího klimatu,
- zajistit dostatečnou adhezi k podkladu a vzhledovou celistvost (bez trhlin a výdutí),
- zajistit přijatelný estetický vzhled (tj. požadovanou barevnou homogenitu bez přítomnosti solí, plísní, řas a vlhkostních map.).

Výše zmíněné (mnohdy téměř protichůdné) požadavky poukazují na složitost dané problematiky. Pozornost pracovníků KÚ v Praze je v současné době věnována zejména prvním dvěma bodům a jsou hledány materiálové kombinace, které umožní maximální zvýšení hydrofobity omítek při zachování jejich difúzních vlastností.

2. Experimentální program

Podstatným parametrem pro zhodnocení schopnosti materiálu propouštět vodní páru je bezrozměrný součinitel prostupu vodní páry μ . Cílem testů bylo zhodnocení vlivu modifikace malt vnitřní hydrofobizací na difúzní vlastnosti malt. V období 2009 až 2010 byla prováděna série měření a stanovení faktoru difúzního odporu u vzorků různých typů malt a to jak vápenných tak vápennocementových, které jsou nebo nejsou vnitřně hydrofobizovány. Některé z nich jsou modifikovány hydrofobizační přísadou na bázi stearanu vápenatého. Pro účely testů byly připraveny série vzorků, které byly testovány až cca 6 měsíců po výrobě, aby byla ponechána možnost k jejich vyžrání.

3. Popis testovaných vzorků

Níže prezentované výsledky zahrnují experimentální ověření difúzních vlastností na třech typech malt, které jsou dále značeny jako MV1, MV2 a MVC. Písek byl křemičitý frakce 0/4. Pojivo bylo dle typu tvořeno kombinací vápenného hydrátu (LC90), pucolánové příměsi (křemičitý úlet) a cementu CEM I 42,5 R. Složení suchých složek malt bylo následující:

- MV1 – čistě vápenná malta z vápenného hydrátu, hmotnostní poměr suchých složek písek : vápenný hydrát 5:1
- MV2 – vápenná malta s hydraulickou necementovou příměsí (silikafume) - hmotnostní poměr suchých složek písek : pojivo 8,45:1,55
- Malta MVC – vápenocementová malta s pojivem z cementu CEM I 42,5 a vápenného hydrátu (LC90), hmotnostní poměr složek písek:cement:vápno 7,86:1,36:0,78.

Dle potřeby bylo při míchání malt a výrobě těles přidáván hydrofobizační prostředek (stearan vápenatý) v práškové podobě v množství 0,5 % až 1,5 % hmotnosti suché směsi. Množství je patrné ze značení směsi. Jednotlivé malty byly vyrobeny s dávkou vody tak, aby byly plastické a pro všechny byla srovnatelná zpracovatelnost na úrovni 160 mm rozlití kužele na setřásacím stolku. Byly vyrobeny trámečky 40x40x160 mm a kotouče průměru 100 mm a výšky 20 mm. Po doformování v čase 7 dní po výrobě byly vzorky uloženy v laboratoři na vzduchu až do zahájení testů difúze cca 6 měsíců po výrobě. V následující tabulce je uveden souhrn pevnostních parametrů.

Tabulka 1.: Souhrn mechanicko fyzikálních vlastností- dle EN 1015-11

Označení malty	Dávka vody na 1 kg	Objemová hmotnost čerstvé malty [kg/m ³]	Objemová hmotnost ztvrdlé malty	Tah za ohybu	Pevnost v tlaku
	[l/kg]	z trámeček	[kg/m ³]	[MPa]	[MPa]
MV1-0	0,196	2040	1790	0,1	0,7
MV1-0,5	0,203	2060	1770	0,1	0,8
MV1-1,0	0,211	2010	1700	0,0	0,4
MV1-1,5	0,215	2070	1670	0,1	0,5
MV2-0	0,192	2060	1800	0,4	1,5
MV2-0,5	0,198	2060	1810	0,4	2,2
MV2-1,0	0,209	2020	1740	0,3	2,0
MV2-1,5	0,216	1970	1720	0,1	1,0
MVC-0	0,170	2190	1910	1,5	7,4
MVC-0,5	0,185	2120	1860	1,1	6,4
MVC-1,0	0,200	2060	1770	1,2	6,5
MVC-1,5	0,207	2030	1810	1,3	5,9

Pozn.: Zpracovatelnost malty oscilovala v rozmezí 155-160 mm rozlití kužele

4. Provádění experimentů

Testy byly prováděny v souladu s metodikou ČSN EN ISO 12572 a WTA 2-6-99/D metodou mokré misky (WetCup).

Každá zkušební sestava byla tvořena vzorkem těsně uzavírajícím prostor zkušební misky s vodným nasyceným roztokem. Sestava byla umístěna do zkušební skleněné uzavřené komory s řízenou relativní vlhkostí vzduchu. Měřicí komora vč. připojení k PC je patrná z obrázku 1.



Obr. 1.: Měřicí komora s vloženou sadou tří vzorků, vážícím zařízením a propojením s PC. Vnitřní parametry komory (teplota, relativní vlhkost, barometrický tlak) jsou snímány uvnitř umístěným dataloggerem propojeným s PC.

Tabulka 2.: Souhrn okrajových podmínek testů dle ČSN EN ISO 12572 a WTA 2-6-99/D

Předepsané podmínky	Tolerance					Vzdálenost mezi vzorkem a nasyceným roztokem
	Teplota	Relativní vlhkost				
		Suché prostředí		Vlhké prostředí		
		Předepsaná hodnota	Tolerance	Předepsaná hodnota	Tolerance	
°C - %RH	°C	%	%	%	%	mm
23 - 0/85	23 ± 0.5	0	3	85	± 3	35

Teplota místnosti tj. i komory byla řízena vnitřní klimatizací laboratoře. Pravidelným vážením sestavy byl stanovován prostup vodní páry v ustáleném stavu. Odečet hmotností byl zrealizován automatickým ukládáním dat do paměti připojeného počítače k vahám. V uzavřené komoře probíhalo měření souběžně na třech sestavách a během měření nedocházelo k otevírání komory (tj. dočasné změně relativní vlhkosti). Pohyb vzduchu nad vzorky byl zajištěn ventilátorkem umístěným uvnitř komory. Přehled provedených testů a popis vzorků je patrný z tab. 3 a dosažené okrajové podmínky z tab. 4. Interval pro ukládání dat byl zvolen po 1 hod.

Tabulka 3.: Přehled a popis testovaných kotoučů

Označení testovaného vzorku	Datum testu	Hmotnost g	Tloušťka mm	Průměr mm	Použité vysoušedlo	Použitý zvlhčovač
MV1-0	20.7. - 12.10.	302,6 - 338	20,8 - 22,4	101,3 - 103,9	silikagel (SiO ₂)	dihydrogenfosforečnan amonný NH ₄ H ₂ PO ₄
MV1-STE 0,5%	20.7. - 29.12.	302,3 - 308,5	20,5 - 20,9	103,5 - 104,6		
MV1-STE 1%	4.8. - 9.12.	277,4 - 287,6	20,3 - 21,1	103,5 - 104,6		
MV1-STE 1,5%	21.7. - 29.12.	266,5 - 288,3	20,4 - 20,8	103 - 104,1		
MV2-0	4.8. - 14.11.	305,7 - 312	20,3 - 20,6	103,1 - 105,3		
MV2-STE 0,5%	17.8. - 29.12.	291,8 - 320,4	20,8 - 22	103,7 - 106,3		
MV2-STE 1%	17.8. - 9.12.	285,9 - 305,7	20,1 - 20,7	104,0 - 104,9		
MV2-STE 1,5%	5.8. - 29.12.	290,1 - 304,4	20,4 - 21,1	104,0 - 104,5		
MVC-0	18.8. - 18.9.	341 - 341,8	21,2 - 21,5	104,0 - 104,8		
MVC-STE 0,5%	20.7. - 9.10.	290,3 - 331,7	20,8 - 21,15	98,8 - 103,2		
MVC-STE 1%	4.8. - 9.12.	304,5 - 316,6	20,3 - 21,7	103,6 - 105		
MVC-STE 1,5%	17.8. - 16.11.	290,4 - 292,8	20,3 - 22	98 - 104,3		

Tabulka 4.: Dosažené okrajové podmínky v průběhu testů

Označení testovaného vzorku	Rozsah tlaků	Rozsah barometrického tlaku v komoře	Rozsah teplot v komoře	Rozsah rel. vlhkosti suchého prostředí
		hPa	°C	% rel.
MV1-0	978.2 až 985.2	975,1 - 1002,9	19,5 - 27,8	0 - 3,6
MV1-STE 0,5%	978.2 až 985.2	967 - 1002,3	20,3 - 26,5	0 - 3,6
MV1-STE 1%	986.6 až 994.3	971 - 1000,9	23,15 - 25,7	0,11 - 3,4
MV1-STE 1,5%	978,2 až 985,2	962,3 - 996,1	22,6 - 23,1	3,1 - 4,2
MV2-0	986.6 až 994.3	962,3 - 1001,4	25,3 - 27,7	1 - 3,4
MV2-STE 0,5%	988.4 až 992.7	967 - 1002,3	20,3 - 28,1	1,0 - 2,7
MV2-STE 1%	988.4 až 992.7	971 - 1000,9	23,15 - 28,1	1 - 2,7
MV2-STE 1,5%	975,1až 1002,3	962,3 - 1002,3	21,8 - 25,7	0 - 1,7
MVC-0	988.4 až 992.7	978,4 - 1001,4	22,3 - 27,8	0 - 5,7
MVC-STE 0,5%	978.2 až 985.2	975,1- 1002,3	24,9 - 28,1	2 - 3,6
MVC-STE 1%	978,5 až 1000,9	971 - 1000,9	23,2 - 24,1	0,4 - 1,9
MVC-STE 1,5%	962,3 - 991,2	962,3 - 1000,9	24,9 - 28,1	1, - 2,7

5. Dosažené výsledky měření

Dosažené výsledky jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 5.: Vyhodnocené parametry testovaných vzorků

Označení testovaného vzorku	Počet testovaných vzorků	Rozmezí analyzovaných objemových hmotností	Střední hodnota analyzovaných objemových hmotností	Rozmezí hodnot faktoru dif.odporu	Střední hodnota faktoru dif.odporu	Variační koeficient analyzovaných faktorů difúzního odporu
		kg/m ³	kg/m ³	-	-	%
MV1-0	4	1717 - 1803	1761	7,52 - 13,14	10,50	22
MV1-STE 0,5%	3	1718 - 1759	1733	7,27 - 9,23	8,60	13
MV1-STE 1%	3	1568 - 1658	1619	6,44 - 9,47	7,70	20
MV1-STE 1,5%	3	1540 - 1667	1618	7,21 - 9,58	8,20	14
MV2-0	3	1732 - 1808	1779	9,21 - 13,96	10,50	14
MV2-STE 0,5%	3	1750 - 1760	1755	8,17 - 9,29	8,60	28
MV2-STE 1%	3	1673 - 1720	1691	7,36 - 10,15	8,40	17
MV2-STE 1,5%	3	1641 - 1691	1670	8,99 - 10,87	9,80	10
MVC-0	3	1852 - 1893	1872	14,55 - 19,81	16,90	16
MVC-STE 0,5%	2	1818 - 1877	1847	11,45 - 18,22	14,80	32
MVC-STE 1%	3	1731 - 1772	1746	14,20 - 20,30	16,50	20
MVC-STE 1,5%	3	1687 - 1755	1713	12,72 - 14,34	13,60	6

Na základě analýzy získaných výsledků lze konstatovat:

- Dle očekávání pojivový systém významně ovlivnil mechanicko-fyzikální vlastnosti malt. Vápenná malta (MV1) vykazala nejnižší pevnosti (do 1 MPa) vápenocementová (MVC) nejvyšší (nad 6 MPa). I malý přídavek hydraulické příměsi (MV2) vedlo k zvýšení pevnosti v tlaku (v rozmezí 1-2,5 MPa).

- Byl zaznamenán pokles objemové hmotnosti s nárůstem dávky hydrofobizační přísady a to bez ohledu na typ malty doprovázený také poklesem pevností.

- Střední hodnoty faktoru difúzního odporu testovaných malt se pohyboval v rozmezí 7,7 až 16,9. Malty na vápenné bázi (MV1 a MV2) vykazaly významně nižší hodnoty součinitel μ (7,1-9,6). "

- U MVC se hodnoty faktoru dif. odporu pohybovaly v rozmezí 11,5 - 16,9 tj. 1,6 až 2,1 násobných hodnotách ve srovnání se vzorky MV1 a MV2. Nižší koeficient znamená snazší prostup vodní páry omítkou.

- Ve všech analyzovaných případech došlo k poklesu faktoru dif. odporu po přidání hydrofobizační přísady při srovnání s maltou referenční bez této přísady. Souvisí to velmi pravděpodobně s poklesem objemové hmotnosti a zvýšením otevřené pórovitosti způsobené aplikací přísady.

- Pakliže srovnáváme pouze modifikované malty lze u všech typů zaznamenat mírný nárůst hodnot difúzního odporu v závislosti na dávce přísady. V tomto konkrétním případě však ani maximální dávka přísady (1,5 %) nevedla k vyšší hodnotě faktoru μ při srovnání s referenční maltou bez modifikace.

6. Závěr

V období let 2009 a 2010 již byla provedena a dále probíhá série měření a stanovení faktoru difúzního odporu u vzorků různých typů malt, které jsou nebo nejsou vnitřně hydrofobizovány. Testy probíhají na vzorcích vápenných a vápenocementových malt, z nichž některé jsou modifikovány hydrofobizační přísadou na bázi stearanu vápenatého. Cílem testů je zhodnocení vlivu modifikace malt vnitřní hydrofobizací na difúzní vlastnosti malt.

Na základě dosud získaných výsledků nebyl prokázán očekávaný nárůst faktoru difúzního odporu μ po přidání hydrofobizantu do maltové směsi. To velmi pravděpodobně souvisí s jistým provzdušněním a poklesem objemové hmotnosti malt při aplikaci použité přísady. Na druhé straně lze poukázat na určitou velmi mírnou tendenci nárůstu součinitele μ v závislosti na množství přidaného hydrofobizantu, pakliže porovnáváme pouze hydrofobizované malty mezi sebou tj. vliv hydrofobizace je také možné zaznamenat.

Získané výsledky zjevně nepotvrdili předpoklad, že přidání hydrofobní přísady do malt a vytvoření hydrofobizace v celé hmotě, způsobí výrazné

zvýšení součinitel difuzního odporu μ a zhorší tak prostup vodní páry omítkou. Zřetelný a podstatně významnější vliv na zhoršení prostupu vodní páry (větší μ) prokázal typ pojivového systému. Vápennocementové malty vykázaly 1,6 až 2,1 x větší hodnoty součinitele μ ve srovnání s omítkami na vápenné bázi.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantového projektu GA ČR 103/08/1452.

Literatura

- [1] ČSN 72 7030 : 1974. Determination of the vapour diffusion coefficient of construction materials (Stanovení součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů). General part.
- [2] ČSN EN ISO 12572 : 2002. Thermal behaviour of construction materials and products / water vapour permeability (Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení prostupu vodní páry).
- [3] ČSN 73 2580 : 1982. Test of water vapour permeability through the finish of construction structure (Zkouška prostupu vodních par povrchovou úpravou stavebních konstrukcí)
- [4] WTA – GUIDELINE 2-7-01/D. Lime plasters under national heritage protection (Vápenné omítky v památkové péči). 1st edition. Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky – WTA CZ, 2007. 20 s. ISBN 978-80-02-01986-2.
- [5] WTA – směrnice 2-9-04/D. Maintenance plaster systems (Sanační omítkové systémy). 1st edition. Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky – WTA CZ, 2008. 20 s. ISBN 978-80-02-02103-2.

Kontakt

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., tel: 00420 224353537, e-mail: kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6

Ing. Lukáš Balík, Ph.D., tel: 00420 224353509, e-mail: balik@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6

**MECHANICKÉ A TEPELNOIZOLAČNÉ
PARAMETRE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV
NA BÁZE BIOMASY**

**MECHANICAL AND THERMO-INSULATION
PARAMETERS OF COMPOSITES
ON BASIS OF BIOMASS**

Oľga Koronthályová, Martin Križma, Anatolij Guzun

Ústav stavebníctva a architektúry SAV,
RPIC Malacky,

Anotácia:

Bolo testovaných 11 rôznych typov kompozitov na báze biomasy. Ako plnivo boli použité: drevná štiepka, rákosie, slama, piliny. Experimentálne výsledky ukázali, že dosiahnuté mechanické vlastnosti aj tepelnoizolačná schopnosť kompozitov závisia súčasne od objemovej hmotnosti aj od ustáleného obsahu vlhkosti v kompozite. Spriahnutý efekt týchto dvoch parametrov možno vyjadriť pomocou parametra “aktuálna objemová hmotnosť pri ustálenej hmotnostnej vlhkosti”. Lepšie tepelnoizolačné schopnosti sa dosiahli znížením objemovej hmotnosti, avšak na úkor zhoršenia mechanických parametrov.

Annotation:

11 different composites on basis of the biomass were tested, whereas the wood chips, reed, straw and sawdust were used as fillers. Experimental results have shown that the obtained mechanical properties as well as the thermo-insulation ability were dependent on the dry density and the equilibrium moisture content. The coupled effect of the parameters could be expressed by using the parameter ‘actual density at equilibrium moisture content’. An improvement of the composite thermo-insulation ability was obtained by its density reduction, however, at the expense of lowering the mechanical parameters.

Kľúčová slova: Biomasa, tepelnoizolačná schopnosť, mechanické vlastnosti.

Keywords: Biomass, thermoinsulation ability, mechanical properties.

1. Introduction

Theoretic-experimental investigation focused on lingo-cellulosic bio-composites has been carried out at the Institute of Construction and Architecture SAS in Bratislava since the year 2007. From the very beginning a complex approach, dealing with the mechanical as well as the thermo-insulation properties of the composites was applied in the investigation. The paper is focused on the effect of the bulk density and moisture content on mechanical and thermo-insulation properties of the composites.

2. Experimental part

The description of the tested composites is in Tab. 1. After manufacturing the specimens were conditioned in the laboratory room with $23\pm 3^\circ\text{C}$ and relative humidity $51\pm 4\%$ for ca 6 weeks in order to mature. The actual bulk density was determined from the weight and dimensions of the specimens. The mechanical tests (verification of static modulus of elasticity in compression and verification of flexural tensile strength – four – point loading) were done on prism specimens with dimensions of $150\times 150\times 600$ mm, using the servo-hydraulic machine SCHENCK (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 $0.5\times 0.5\times 0.08$ m [1]. After tests, the samples were oven dried at $105\pm 1^\circ\text{C}$ and the equilibrium moisture content was calculated (Tab. 1).

Table 1: Designation and description of used mixtures, obtained values of dry density (ρ_0), equilibrium moisture content (u_m) and actual density at equilibrium moisture content (ρ_{um}).

Designation	Description of mixtures	ρ_0 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	u_m ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ρ_{um} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
A1	wood chips, cement PC, CaCl_2 , sodium-silica glass, water	640	0.15	740
A2	as A1; by 1.2 higher amount of cement	800	0.13	910
B1	wood chips, MgO, MgCl_2 , water	540	0.19	640
B2	wood chips, MgO, MgSO_4 , water	530	0.22	650
C	mineralised reed, MgO, MgCl_2	510	0.12	580
D	mineralised straw, MgO, MgCl_2	590	0.13	660
E	mineralized sawdust, MgO, MgCl_2	680	0.18	790
F1	wood chips, MgO, MgCl_2 , water, foam	380	0.18	450
F2	wood chips, MgO, MgCl_2 , water, foam	350	0.19	420
F3	wood chips, MgO, MgCl_2 , water, foam	400	0.17	480
F4	wood chips, MgO, MgCl_2 , water, foam	310	0.18	370

3. Results and discussion

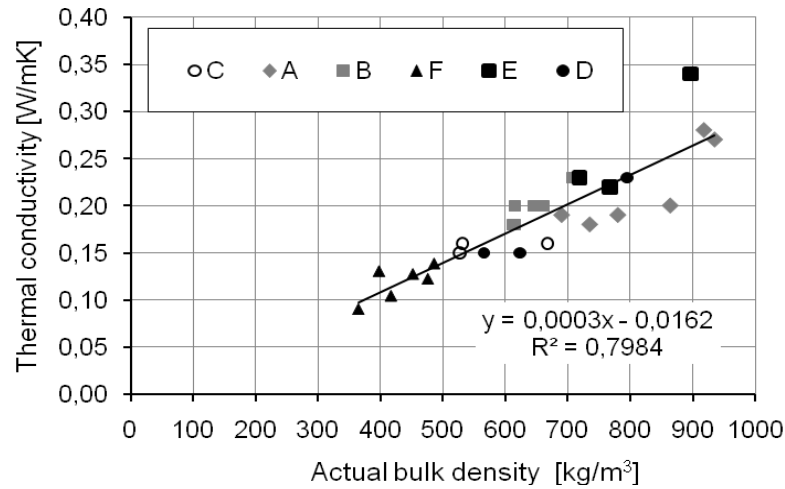


Fig. 1: Measured thermal conductivity versus actual bulk density for composites of A, B, C, D, E and F type

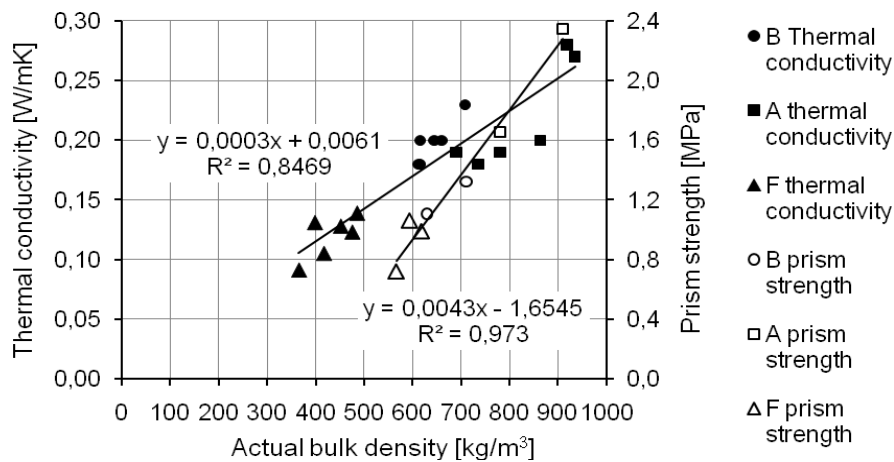


Fig. 2: Comparison of the thermal conductivity/actual bulk density and prism strength/actual bulk density relations for wood chips composites A, B and F.

The obtained mechanical properties as well as the thermo-insulation ability were dependent on the dry density and the equilibrium moisture content. The coupled effect of the parameters could be expressed by using the parameter ‘actual density at equilibrium moisture content’. For all composites the linear relation between the actual bulk density and thermal conductivity was obtained (Fig. 1). The mechanical parameter/actual bulk density relations involved also the effect of the used filler. For composites with the same type of filler (wood

chips), the relationship between the actual bulk density and prism strength (flexural strength, modulus of elasticity) was also linear (Fig. 2).

The lightening of the mixture by foam has improved the thermal conductivity of the composites up to the value of ca $0.1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, but the obtained mechanical parameters were: cube strength $f_{cc} = 1,374 \text{ MPa}$, prism strength in compression $f_{cp} = 0,925 \text{ MPa}$, modulus of elasticity $E_c = 0,709 \text{ GPa}$ and flexural tensile strength $f_{ct} = 0,524 \text{ MPa}$.

4. Conclusions

The mechanical properties as well as the thermo-insulation ability of the tested composites have been dependent on the dry density and the equilibrium moisture content. The coupled effect of the parameters could be expressed by using the parameter ‘actual density at equilibrium moisture content’.

An improvement of thermo-insulation ability of the composites has been obtained by reduction of their bulk density, however, on the expense of lowering the mechanical parameters.

Aknowledgements:

This research was supported by the Project of Cross-border Cooperation SK – AT 2007 – 2013 (HolzSchabe N – 00037)

References:

- [1] KRIŽMA M.,NÜRNBERGEROVÁ T.,KORONTHÁLYOVÁ O.,GUZUN A.,KOČIŠ I. Working characteristic of building materials on the basis of the biomass In *70 Years of FCE STU Proceedings of the International Scientific Conference*. Ed. A. Grmanova, M. Minarik, ISBN 978-80-227-2979-6, STU, Bratislava 2008

Contact

Mgr. Oľga Koronthályová, PhD., tel.: 02/59309245, e-mail: olga.koronthalyova@savba.sk, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava

Ing. Martin Križma, PhD., tel.: 02/59309228, e-mail: martin.krizma@savba.sk, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava

Ing. Anatolij Guzun, e-mail: anatolij.guzun@airwave.sk, RPIC Malacky, Bernolákova 1, 901 01 Malacky

**ZKOUŠENÍ PROTISMYKOVÝCH VLASTNOSTÍ
POVRCHŮ CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ
VOZOVEK ZAŘÍZENÍM WEHNER/SCHULZE**

**TESTING OF SKID RESISTANCE
OF CEMENT-CONCRETE
PAVEMENT BY WEHNER/SCHULZE DEVICE**

**Jan Kudrna, Jaroslava Halásková,
Luděk Mališ**

VUT v Brně, Fakulta stavební,
PavEx Consulting, s.r.o.

Anotace:

Bezpečnost silničního provozu je spojována s hodnocením protismykových vlastností povrchů vozovek. Technologie úpravy povrchů cementobetonových krytů podélně taženou jutou způsobila na několika úsecích nízké protismykové vlastnosti už při uvedení vozovky do provozu. V příspěvku je prezentována vyšší relativní nehodovost v závislosti na hodnocení protismykových vlastností ve srovnání s asfaltovými vozovkami. Jsou také představeny možnosti zvýšení protismykových vlastností cementobetonových krytů a jejich dlouhodobé laboratorní zkoušení zařízením Wehner/Schulze.

Annotation:

Road safety is connected with the skid resistance evaluation of pavement surface. The burlap drag surface technology use on Portland-cement concrete pavement have caused very low skid resistance on some pavement section from the beginning of pavement trafficking. The paper presents higher relative accident level in dependence on skid resistance evaluation in comparison with Asphalt pavements. The possibilities how to increase skid resistance of Portland-cement concrete pavement and laboratory long term testing by Wehner/Schulze device are also presented.

Klíčová slova: bezpečnost dopravy, protismykové vlastnosti, silniční nehodovost, cementobetonová vozovka, tažená juta, vymývaný beton

Keywords: road safety, skid resistance, traffic accidents, cement-concrete pavement, burlap drag, exposed aggregate

1. Protismykové vlastnosti a bezpečnost

Protismykové vlastnosti (dále **PVV**) neboli odolnost povrchu proti smyku (jak zní doslovný překlad z anglického výrazu skid resistance) umožňují řízený pohyb vozidel silničního provozu, tj. změnu směru jízdy a bezpečné zastavení vozidel.

PVV jsou dány makrotexturou a mikrotexturou povrchu. Mikrotextura má odchytku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry menšími než 0,5 mm a je dána velikostí a tvarem vystupujících zrn kameniva, u cementobetonových krytů (dále jen **CBK**) je to charakteristika daná cementovou maltou. Makrotextura má odchytku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 mm až 5 mm a je tvořena hrubými a jemnými frakcemi kameniva nebo povrchovou úpravou u CBK.

Makrotextura i mikrotextura ovlivňují společně PVV vyjádřené třením mezi povrchem vozovky a pneumatikou. Pro objektivní hodnocení tření jako součinitele tření f se používá měřicí kolo za zkušebních podmínek.

Zkušební podmínky jsou dány:

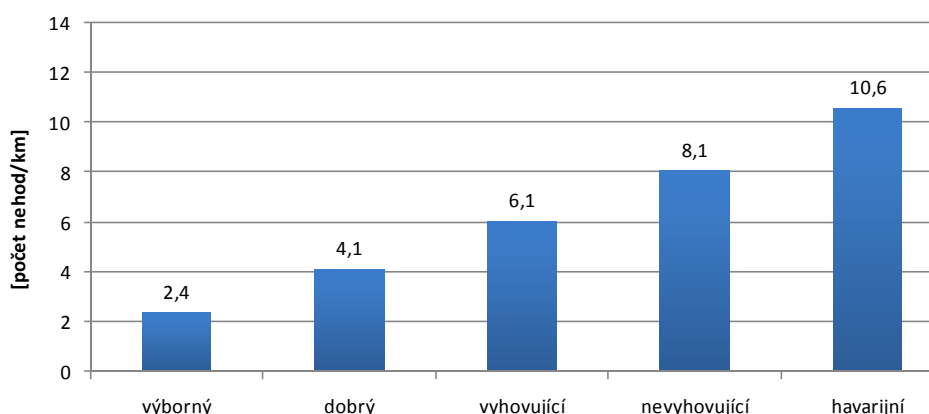
- stanovenou hladkou měřicí pneumatikou uvedenou do skluzu zpomalováním rychlosti měřicího kola (řízené brzdění podobné systémem ABS automobilů) nebo odklonem měřicí pneumatiky od podélné osy měřicího zařízení; podle druhu skluzu se získá součinitel podélného nebo bočního tření,

- zkrápěním povrchu vozovky s vytvořením vodního filmu (obvykle 0,5 mm).

Za těchto zkušebních podmínek se stanovuje součinitel podélného nebo bočního tření jako poměr mezi vodorovnou silou vzniklou při tažení měřicího kola po povrchu mokré vozovky při daném poměru skluzu a svislou silou vyvozenou přítlakem měřicího kola na vozovku. PVV za stanovených zkušebních podmínek ovlivňuje měřicí rychlost. Při nízké makrotextuře je pokles hodnot součinitele tření se zvyšující se měřicí rychlostí vyšší, při makrotextuře vyšší než je průměrná hloubka textury povrchu vozovky (MTD) 0,75 mm je vliv měřicí rychlosti na měřený součinitel tření nízký. Při rychlostech nad 80 km/h navíc bezpečnost silničního provozu ovlivňuje vrstva vody na povrchu vozovky. Při tloušťce vodního filmu nad 8 mm již hrozí nebezpečí, že nedojde ke styku pneumatiky s povrchem vozovky (aquaplaning).

PVV se hodnotí podle přílohy A ČSN 73 6177:2009 podle naměřených hodnot součinitele tření F_p klasifikačními stupni.

Podle různých statistik je až 30 % dopravních nehod způsobeno vlivem řidiče s přispěním stavu pozemní komunikace. Statistické rozložení nehod v závislosti na klasifikačních stupních je absolutně vyjádřeno v obrázku 1, kde jsou vyhodnoceny všechny silnice I. třídy v Jihomoravském kraji včetně málo zatížených úseků. Pochopitelně hustota nehod na dálnici s ohledem na neexistenci úseků se zvýšeným nebezpečím, ale naopak s vyšším dopravním zatížením bude odlišná.



Obr. 1.: Znárodnění průměrného ročního počtu silničních nehod na kilometr silnic I. třídy v Jihomoravském kraji v roce 2005 v závislosti na klasifikaci PVV.

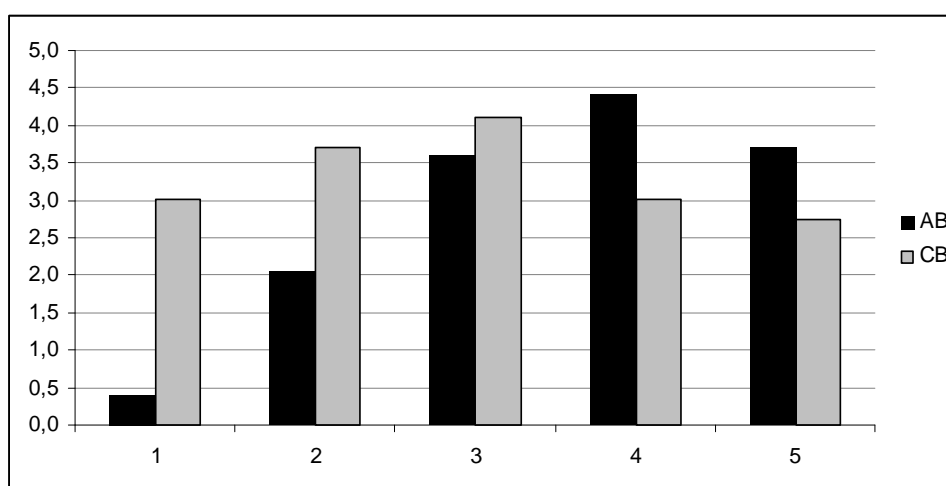
1.1. Vyhodnocení nehodovosti na dálnici D5

Ke zkoumání nehodovosti jsme si vybrali úsek CBK dálnice D5 a podrobili jsme nehody z let 2006 až 2009 bližší analýze. Povrch dálnice je rozdělen na asfaltový v km 41 až 88,5 (s výjimkou CBK v tunelu Valík) a v km 88,5 až 150 je CBK s úseky s asfaltovým betonem na mostech, vysokých násypch nebo po opravě povrchu asfaltovým kobercem mastixovým v celkové délce 7,3 km ze 123 km délky jízdních pásů. V roce 2008 byl na úseku s CBK o délce 2 km položen mikrokoberce za studena (na CBK bylo do té doby 14 nehod a po provedení mikrokoberce již jen 4 nehody).

Záznamy Policie se často kritizují, zejména údaje o jejich staničení. Na dálnici je však pravděpodobnost chybného staničení poměrně nízká, zvláště pokud dopravní nehodu eviduje Dálniční policie. Problém staničení ovšem vynikne, pokud se na úseku s CBK (od km 88,5) snažíme odlišit nehody, které se staly na AB nebo CB. Úseky AB jsou někde jen krátké (kolem 100 m) a jsou i delší (nejvýše 730 m). Pokud je nehoda na AB povrchu, pak prvopočátek nehody (smyk) nemusel být na tomto povrchu, ale na povrchu předešlém. Musíme konstatovat, že ve formulářích o nehodách je často uveden rozdílný

povrch, než odpovídá staničení, nehody podle staničení jsou na CBK, ale ve formuláři je uveden povrch „živice“, jak se stále označují povrchy z asfaltových krytů, a samozřejmě naopak. V dalších rozborech jsme první úsek brali jako asfaltový (AB) a druhý jako cementobetonový (CB).

V obrázku 2 je uvedeno rozdělení průměrného ročního počtu nehod na 1 km délky dálnice s CB a AB povrchy v závislosti na klasifikaci PVV při rychlosti 60 km/h. Závislost počtu nehod na klasifikaci PVV v případě CBK se oproti nehodám na površích AB nepotvrzuje.

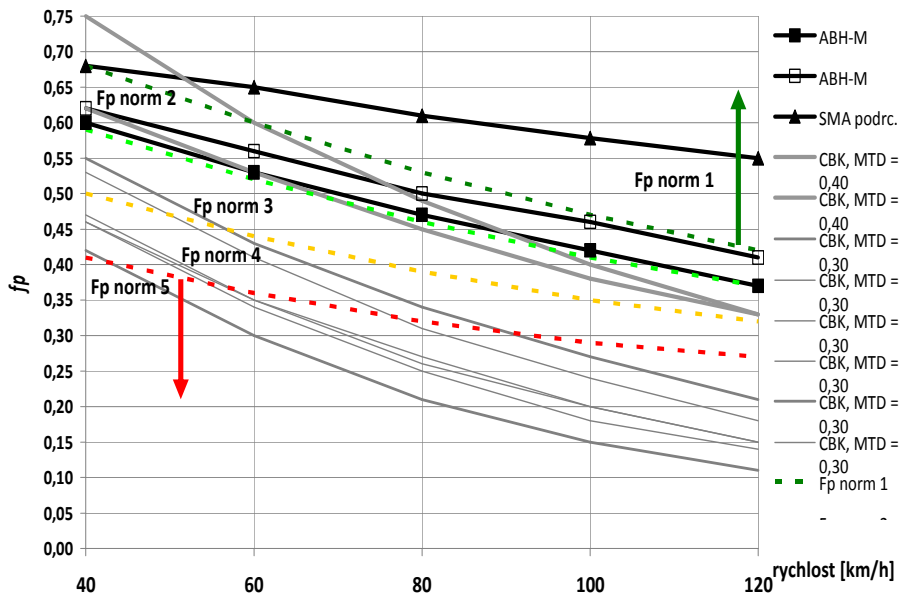


Obr. 2.: Závislost průměrného počtu nehod na 1 km dálnice D5 (km 88,5 až 150) na klasifikaci PVV AB povrchů a povrchů CBK při rychlosti 60 km/h.

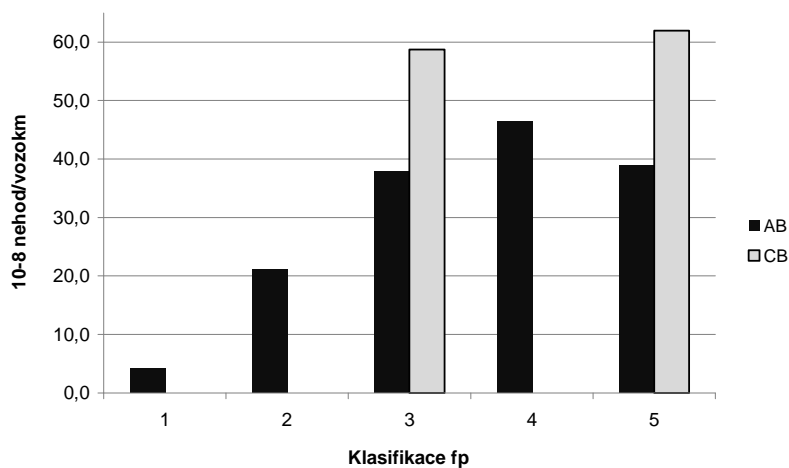
Rychlost vozidel na dálnicích je nejméně 90 km/h. Závislost klasifikace PVV na vzrůstající rychlosti od 60 km/h do 120 km/h je rozdílná na CBK a na AB krytu, což dokumentuje obr. 3. CBK má nižší makrotexturu a proto se vzrůstající rychlostí PVV rychle klesají. Naopak AB povrchy v současnosti dosahují vysokých hodnot makrotextury, zvláště u mastixových koberců do zrnitosti 11 mm a asfaltových betonů zrnitosti do 16 mm, a pokles PVV při vzrůstající rychlosti je malý. To znamená, že jsou-li PVV AB povrchu a CBK při rychlosti 60 km/h stejné, při vyšších rychlostech jsou PVV povrchu CBK podstatně nižší. Pokud se použije klasifikace PVV při rychlosti 90 km/h nebo 120 km/h, pak úseky CB klasifikované do stupně 1 a 2 jsou při vyšších rychlostech v klasifikaci 3, úseky klasifikované při rychlosti 60 km/h v klasifikaci 3 až 5 jsou při vyšších rychlostech všechny v klasifikaci 5.

Pokud se nehodovost vyjádří relativní nehodovostí jako pravděpodobností nehody vztaženou na projíždějící automobil jedním km dálnice, pak toto znázorňuje obrázek 4. Při sestavení diagramů byly použity průměrné intenzity dopravy podle sčítání dopravy v roce 2005 (na AB úseku se průměrná

intenzita byla 26 000 vozidel za 24 h, na CB úseku 16 800 vozidel za 24 h). Do tohoto posouzení nehod v letech 2006 až 2009 není zahrnut nárůst dopravy po roce 2005, včetně zvýšení provozu zprovozněním tunelu Valík, ale předpokládáme, že relativní vztah intenzit dopravy z roku 2005 byl zachován a uvedená relativní nehodovost nemusí platit absolutně, ale jen relativně.



Obr. 3.: Závislost PVV na rychlosti několika povrchů dálnice a vyznačené meze klasifikačních stupňů PVV (F_p norm 1 až 5).



Obr. 4.: Relativní nehodovost sledovaných AB a CB povrchů při klasifikaci PVV (f_p) pro rychlost 90 km/h až 120 km/h.

Celková relativní nehodovost na CBK oproti nehodovosti na AB površích je o 58 % vyšší. Předpokládáme, že je to především vlivem velmi nízkých protismykových vlastností CBK.

Nabízí se tedy otázka, zda lze u CBK dosáhnout zvýšení makrotextury povrchu, zlepšit tak PVV a následně také snížit nehodovost na CBK.

1.2. Možnosti zlepšení povrchů CBK

Existují možnosti úpravy povrchu CBK zvýšením makrotextury povrchu:

Vymývaný beton – tuto technologii koncem 80. let vyvinul rakouský Výzkumný ústav cementu. U nás byl použit poprvé pokusně pro ověření technologie na odpočívce Křenovice nové dálnice D1 u Kroměříže. Překvapivě dosáhl nejhorších hodnot součinitele tření f_p , i když hodnoty makrotextury MTD byly v porovnání s dalšími pokusnými úseky nejlepší a bylo použito kamenivo s výbornou makrotexturou – droba z Jakubčovic. Skutečnost ukazuje na málo vymytou cementovou maltu držící se na zrnek kameniva (viz obr. 5). Jelikož se jedná o odstavné parkoviště, nelze předpokládat brzké ojetí cementové malty a dlouhodobé měření protismykových vlastností.

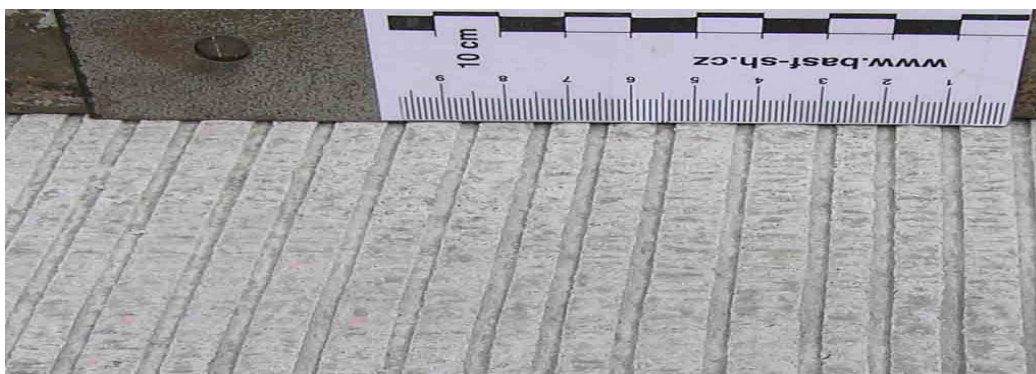
Otryskání povrchu tlakovou vodou – byl taktéž pokusně proveden na odpočívce Křenovice dálnice D1 u Kroměříže. Tento povrch má značně nehomogenní povrch a přesto dosáhl nejlepších hodnot součinitele tření f_p .

Vytvoření negativní textury – použilo se na stavbě Pražského okruhu, stavbě 512. Na povrchu, který je upravený taženou jutou, se v příčném směru vytvoří drážky 1 mm hluboké a 3 mm široké s různým či konstantním rozstupem drážek v rozsahu 3 mm až 16 mm pomocí plochých pružin v taženém rámu, vytvořené drážky jsou na fotografii v obr. 6.

Pro srovnání v obr. 5 je také detail povrchu CBK vytvořený hrubým silonovým koštětem, který se také používal, ale nedosáhl významného přínosu z hlediska protismykových vlastností ani hlukových emisí.



Obr. 5.: Úpravy povrchu ke zlepšení protismykových vlastností povrchu CBK (silonové koště, otryskání tlakovou vodou, vymývání).



Obr. 6.: Úprava povrchu s negativní texturou vytvořenou příčnými drážkami.

Právě přínos nových úprav povrchu CBK z hlediska protismykových vlastností a emise hluku při odvalování pneumatik je zásadní problém. Obě vlastnosti lze dobře a přesně stanovovat měřením na povrchu vozovky, ovšem důležité jsou zejména jejich změny s časem a dopravním zatížením. Jestliže k havarijním PVV velmi hlučných příčně profilovaných povrchů CBK ocelovými dráty na dálnici D1 až došlo po 35 letech, pak tento účinek je třeba na nových površích zrychleně modelovat a předejít možnému jejich neúspěchu.

Takové zařízení bylo vyvinuto v 60tých letech v Německu a je nazváno podle autorů Wehner/Schulze. S tímto zařízením jsme získali první zkušenosti spoluprací s TU Wien a vyzkoušeli jsme jej pro vývoj a posouzení protismykových vlastností vozovek v závislosti na dopravním zatížení. Pro obecně dobré zkušenosti s tímto zařízením se pro toto zařízení zpracovává evropská norma.

2. Měřicí zařízení Wehner/Schulze

Měřicí zařízení Wehner/Schulze (dále W/S) se skládá ze dvou rotačních hlav, jedné na ohlazování a druhé na měření tření povrchu zkušebního tělesa. Simulace provozu vozidel se provádí třemi pryžovými kuželíky rotujícími po povrchu válcového zkušebního tělesa o průměru 225 mm (vývrt obrusné vrstvy) s frekvencí 500 otáček za minutu (rychlost 17 km/h). Tlak mezi kuželíky a zkušebním tělesem je $0,4 \text{ N/mm}^2$ (dotykový tlak pneumatiky je pro osobní auta zhruba $0,25 \text{ N/mm}^2$). Mezi kuželíky a vzorkem je skluz 0,5 až 1 %. Během rotací se přidává křemičitý písek na ohlazování povrchu tělesa.

Programem lze nastavit požadovaný počet pojezdů kuželíků (zpravidla násobky 90 000 cyklů). Po zastavení se povrch umyje od křemičitého písku 600 pojezdy kuželíků a pak se vzorek přesune pod hlavu na měření tření. Tato hlava se skládá ze tří pryžových patek (každá má plochu 4 cm^2). Tlak mezi patkami a povrchem zkušebního tělesa je přibližně $0,2 \text{ N/mm}^2$. Obvodová rychlost

zkušebního tělesa se při měření snižuje brzděním z rychlosti 100 km/h až do zastavení. Tím se získá závislost průběhu tření na rychlosti. Protismykové vlastnosti se měří po každém zastavení pojezdů. Počet cyklů lze individuálně měnit, ale zavedený berlínský postup končí po 180 000 přejezdech kuželíků. Naměřená hodnota se značí PWS (Polierwert nach Wehner/Schulze = ohladitelnost podle Wehnera a Schulzeho) a stanovuje se pro rychlosti 60 km/h. Ve skutečnosti měříme hodnoty tření v daných podmínkách v závislosti na počtu otáček zařízení při ohlazování povrchu.



Obr. 7.: Zařízení Wehner/Schulze při ohlazovacím procesu
(vpravo ohlazovací kuželíky, měřicí patky a zkušební těleso po zkoušce).

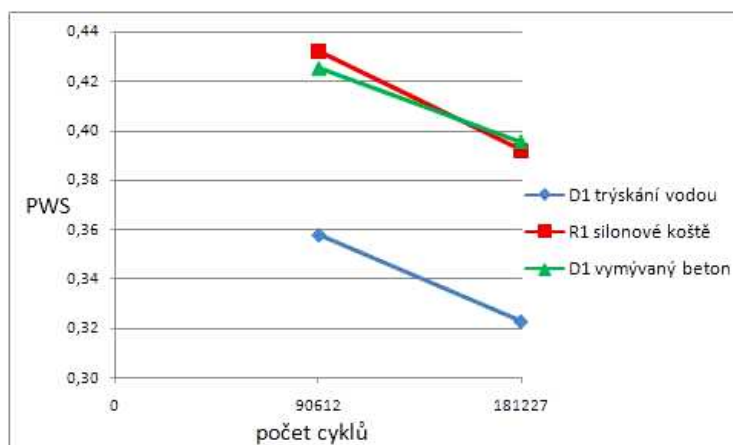
2.1. Zhodnocení výsledků

Relativně nové úseky s cementobetonovým krytem vykazují naměřené hodnoty PWS, které bez pojíždění kuželíky odpovídají hodnotám měřeného tření f_p . Podélné nebo příčné drážkování nepojížděných CB povrchů je natolik hrubé a ostré, že značně obrušují měřicí patky zařízení. Hodnoty PWS měřené po 90 000 nebo více cyklech jsou závislé na postupném ohlazování povrchu.

Následující grafy ukazují výsledky měření hodnot PWS u dlouhodobých i krátkodobých měření vývrtů z CB vozovky. Zkušební vzorky nejsou měřeny stejným počtem cyklů, protože měření jsou díky měření ve Vídni časově a finančně náročná. Měření nejsou vedena systematicky, neboť se zjišťovala použitelnost zařízení pro modelování dlouhodobého vývoje protismykových vlastností. Předpokládáme, že cyklus 90 000 otáček bude odpovídat opotřebením

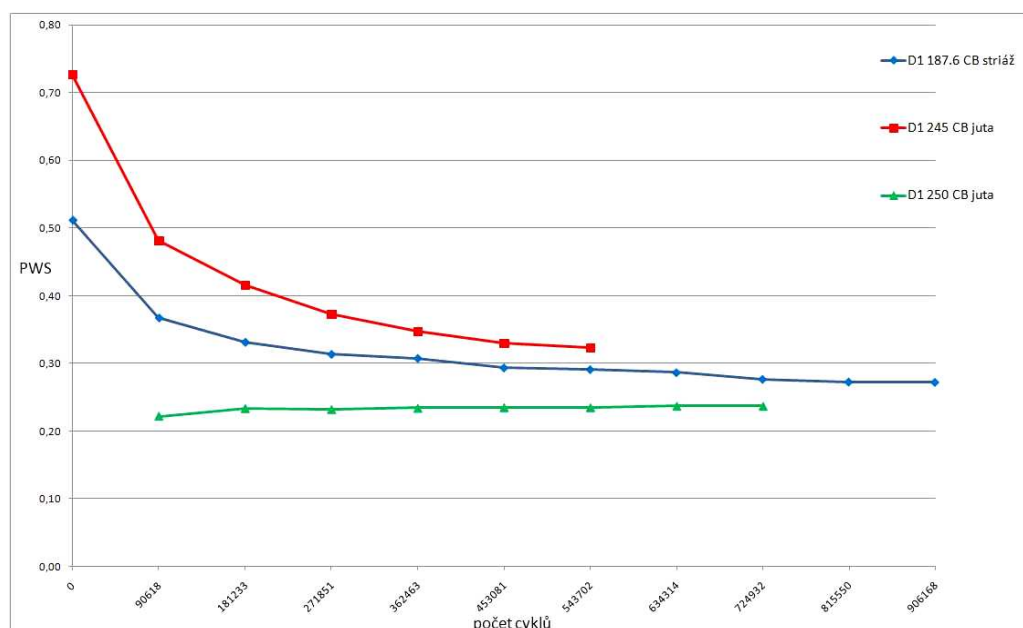
dosaženému na vozovce po krátké době používání vozovky a k modelování celkového vývoje budou sloužit právě dlouhodobá měření.

Krátkodobá měření, jejichž výsledky jsou v obr. 8, vyjadřují relativní rozdíly přínosu nových technologií úprav povrchu CB krytů.



Obr. 8.: Průběh hodnot PWS pro krátkodobá měření úprav CB krytů.

Výsledky dlouhodobých měření PWS jsou znázorněny v obrázku 9. Dokládají vývoj součinitele tření v závislosti na počtu otáček při ohlazování povrchu pomocí křemičitého písku. Na těchto vzorcích bylo provedeno až 10 cyklů měření, tedy téměř milion cyklů přejezdů zařízením W/S.



Obr. 9.: Průběh hodnot PWS pro dlouhodobá měření CB krytů.

Na úseku D1 km 250 u Kroměříže směrem na Prahu (na obr. 9 spodní čára) se projevila technologická chyba, protože tento úsek má na povrchu pevnou a hladkou cementovou maltu a povrch je za mokra velmi (nebezpečně) kluzký. Z vývoje PWS je vidět, že se nedá očekávat, že by se protismykové vlastnosti s časem zlepšovaly a neobnaží se tak kamenivo s dobrou mikrotexturou povrchu zrn kameniva s vysokou hodnotou ohladitelnosti (droba). Bude proto třeba provést opatření, které by kamenivo obnažilo, např. tryskáním vodou nebo jemným drážkováním diamantovými kotouči.

Poměrně zajímavý je vývoj PWS na CB z D1 km 245. Zpočátku naměřené PWS odpovídá s jistým přiblížením měření f_p . Další vývoj dokladuje rychlý pokles PWS, přičemž nedošlo k výraznému opotřebení povrchově upravené cementové malty, což v konečném důsledku může vést k podobnému výsledku jako je uvedeno v předešlém popisu pro vzorek z D1 km 250.

Zkoušením nejstaršího úseku jsme se snažili dokladovat vývoj protismykových vlastností při vystavení povrchu účinkům těžkých nákladních vozidel (TNV) v celkovém počtu více než 33 milionů. Zkušební těleso bylo připraveno z okraje vozovky při středním dělicím pásu, povrch tedy nebyl vozidly pojížděn. Na druhé straně pomalý jízdní pruh vykazoval naprosté ojetí cementové malty s pískovými zrny a je v tomto stavu rovněž nebezpečně kluzký, neboť povrch je tvořen velkými zrny kameniva (do 32 mm) s převahou zrn ze snadno vyhladitelného vápence. Namáhání v zařízení W/S rovněž vyhladilo povrch CB krytu, vyhladila se křemenná nebo žulorulová zrna do velikosti 4 mm a větší zrna při povrchu z vápence vytvořila spíše makrotexturu, neboť se rychleji opotřebovala účinkem ohlazovacího písku. Přesto bylo naměřeno velmi nízkých hodnot PWS, nižších než je hodnota f_p v době zkoušek, ale to také může znamenat, že k těmto hodnotám tření nakonec povrch vozovky dospěje.

Nové CB kryty zkoušené krátkodobým měřením obsahují ostré výčnělky a již dřívějším měřením byl zjištěn jejich abrazivní účinek na pryžové patky, proto tentokrát nebyla měřena hodnota PWS před jeho vystavením účinku ohlazování.

Předpokládáme, že nejlepší vlastnosti si udrží vymývaný beton. Po vyčištění povrchu zrn od zbytků cementové malty, se začal projevovat vysoká odolnost kameniva (droby) proti ohlazení.

Nejnižší hodnoty dosáhl vodou tryskaný CB povrch. Plyne z toho, že se sice zlepšila makrotextura povrchu, ale vystupující zrna těžkého kameniva se ohladí a tření rychle klesá.

Povrch vytvořený silonovým koštětem má podstatně vyšší makrotexturu a při ohlazování opraveného povrchu se odlišně opotřebovává cementová malta. Předpokládáme však, že přesto dojde k opotřebení textury a dojde je snížení protismykových vlastností.

Podobné povrchy tryskáním vodou a silonovým koštětem byly vytvořeny na stavbě Pražského okruhu a bude možno je dlouhodobě sledovat a porovnat s měřením v zařízení W/S.

3. Závěr

Povrchy CBK byly v 60-tých až 90-tých letech upravené příčnou stráží, které byly sice nerovné a velmi hlučné, ale v podstatě celou dobu jejich životnosti měly vhodné protismykové vlastnosti. Bylo to kvůli vytvořené makrotextuře, která umožňuje i za deště dobré odvedení vody z povrchu.

Přechodem na úpravu povrchu podélně taženou jutou se nedaří vytvořit vhodnou makrotexturu. Jemné nerovnosti ve směru jízdy vozidel neumožní odtok vody v příčném směru a již malé množství vody vytvoří souvislý film. Další podstatný nedostatek je vytvoření povrchu CB s velmi jemnou a pevnou cementovou maltou, která obvykle již od uvedení vozovky do provozu má rovněž velmi nízkou mikrotexturu, která se v krátké době vyhladí a po dlouhou dobu povrch vykazuje velmi nízké protismykové vlastnosti. Výhodou těchto povrchů je ovšem nízká hlučnost povrchu.

Analýzou dopravních nehod a protismykových vlastností povrchů celkem 109 km dálnice D5 bylo zjištěno, že protismykové vlastnosti CBK jsou na této dálnici pro rychlosti vyšší než 90 km/h převážně extrémně nízké, a proto je relativní nehodovost oproti asfaltovým vozovkám na přilehlém úseku dálnice o více než 50 % vyšší.

V současnosti zkoušíme nové úpravy povrchů vozovek se slibnými výsledky, ale je třeba tyto výsledky ověřit při dlouhodobém namáhání silničním provozem.

Ověřili jsme použití zařízení Wehner/Schulze na ohlazování povrchu zkušebního tělesa odebraného z vozovky. Byly tak získány zkušenosti pro sledování protismykových vlastností povrchů vozovek zrychleným ohlazováním modelujícím účinek dopravy. Zkouška je velmi citlivá na rozdílné protismykové vlastnosti, přitom poskytuje údaje o dosahovaném tření v závislosti na rychlosti od 100 km/h až do zastavení. Ve výsledcích měření se dobře projeví vliv makrotextury povrchu a změny protismykových vlastností v závislosti na ohlazování povrchu. Předpoklad využití zařízení pro zrychlené posouzení vývoje protismykových vlastností se potvrdil a navrhuje se pořízení a využívání tohoto zařízení v ČR.

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MD ČR, projekt CG 923-038-910 a MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Výzkumný projekt MD CG923-038-910 Zlepšení trvanlivosti protismykových vlastností nově položených i opravených povrchů cementobetonových krytů vozovek s vysokým dopravním zatížením. 2009 – 2010.
- [2] HALÁSKOVÁ, J.; Dílčí zpráva za rok 2008 výzkumného projektu MD CG 723-065-910 Účinek dopravního zatížení na snižování protismykových vlastností povrchu vozovek a stanovení požadavků na odladitelnost kameniva, 21 s. 2009.
- [3] HALÁSKOVÁ, J.; Zkušenosti s měřícím zařízením Wehner/Schulze. In Doktorská konference Juniorstav 2009. Brno, Vydavatelství. 2009. 4 s. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [4] ČSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [5] ČSN EN 1097-8: Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniv - Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [6] ČSN EN 13036-1: Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [7] Sborník Betonové vozovky 2004. Dostupný z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/betonovy-povrch-nejlepsi-dalnice/>
- [8] DO, M. - T., TANG, Z., KANE, M., LARRARD, F. de.; Laboratory test method for the prediction of the evolution of road-skid resistance with traffic. In SURF 2008. Portorož. 2008. 12 s.

Kontakt

Doc. Ing. Jan Kudrna, CSc., tel: 00420 541 147 340, e-mail: kudrna.j@fce.vutbr.cz, Ústav pozemních komunikací, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Jaroslava Halásková, tel: 00420 541 147 343, e-mail: halaskova.j@fce.vutbr.cz, Ústav pozemních komunikací, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

ZKOUŠENÍ VLASTNOSTÍ ALKALICKY AKTIVOVANÝCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

TESTING THE PROPERTIES OF ALKALI-ACTIVATED COMPOSITE MATERIALS

Lucie Matoušová, Lenka Bodnárová

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze
Fakulta stavební, VUT v Brně

Anotace:

Článek pojednává o vlastnostech zkoušených na alkalicky aktivovaných kompozitních materiálech, vyztužených vlákny i bez vláken. Zaměřuje se především na fyzikálně mechanické vlastnosti: pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu. Dále pak na působení chemicky agresivních prostředí, tepelnému namáhání a mrazuvzdornosti.

Annotation:

The article discusses the characteristics of the tested alkaliactivated composite materials, fiber reinforced and non-threaded. It focuses primarily on the physical and mechanical properties: compressive strength, and tensile strength in bending. Then the action of chemical aggressive atmosphere, heat stress and frost resistance.

Klíčová slova: *alkalicky aktivovaný materiál, vláknová výztuž, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, tepelné namáhání, chemicky agresivní prostředí, mrazuvzdornost*

Keywords: *alkali-activated material, fiber reinforcement, tensile strength, compressive strenght, heat stress, chemical aggressive atmosphere, frost resistance*

1. Úvod

Alkalicky aktivovaný materiál, tzv. geopolymery, je pojmenování pro anorganický polymer, který vzniká alkalickou aktivací základního materiálu. Je to amorfni alkalický aluminosilikát s prostorovou strukturou podobný zeolitickým prekurzorům. Jako základní materiál může být použit jakýkoliv anorganický materiál s pucolánovými vlastnostmi, který se skládá ze silikátů nebo aluminosilikátů. Základní surovina může být přírodního původu, nebo může jít o odpadní materiál (úletový popílek, strusku).

Geopolymery vzhledem k rozdílné technologii výroby, lišící se od procesu hydratace běžných portlandských cementů, vykazují určité odlišnosti. Z hlediska mechanických vlastností jsou výsledky ověřování geopolymery srovnatelné nebo lepší. Jednoznačně lepších výsledků dosahují z hlediska odolnosti vůči chemikáliím a vůči působení vysokých teplot. V neposlední řadě jsou geopolymery výhodné z hlediska ekologického a ceny vstupních materiálů. Otázkou zůstává použití chemických přísad obvyklých v cementovém betonu. Například provzdušnění alkalicky aktivovaného úletového popílku nezvyšuje jeho trvanlivost, neboť provzdušňovadla nevytvářejí pravidelnou a stabilní strukturu póru, která je pro mrazuvzdornost nezbytná.

2. Zkoušené vlastnosti

Při návrhu receptur se vycházelo z předchozích zkušeností. Jako nejvhodnější pojiva se ukázala být metakaolin Baucis L160 a struska Štramperk. Jako plnivo do alkalicky aktivované matrice byl použit písek fr. 0-4 Žabčice a popílek Dětmárovice. Při výrobě kompozitu bylo použito vodní sklo L160. Jako rozptýlená výztuž byla použita alkalivzorná skleněná vlákna Anti Crank HP a jako výztužné rohože byly použity rohože Cem-Mat a armovací fasádní perlina - tkanina R117 A101 145g/m².

Pro potřeby zkoušek byly vyrobeny dva typy vzorků:

- Trámečky 40x40x160 mm – směs byla do předem vymazaných forem lita a poté byla hutněna. Jako nejvhodnější způsob hutnění se ukázala kombinace následujících způsobů: rázy formy o stolek, vibrování a vpichy do směsi pomocí špachtle.

- Desky 250x250x50 mm – směs byla do předem vymazaných forem lita v několika vrstvách, do každé vrstvy byla ručně zaválečkovaná výztužná rohož. Takto vyrobená deska byla zatížena tlakem 0,11MPa.

Po odformování byly všechny vzorky zabaleny do potravinářské fólie a byly uloženy v laboratorních podmínkách.

2.1. Pevnost v tahu za ohybu

Zkouška v ohybu se prováděla podle normy ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti, na tělesech o rozměrech, $l = 160\text{mm}$, $b = 40\text{mm}$, $h = 40\text{mm}$. Pevnost v tahu za ohybu byla zkoušena po 3, 7, 28 a 56 dnech zrání vzorků. Všechny zkoušené receptury vykazovaly nárůst pevností v tahu za ohybu v čase. Vzorky s rozptýlenou výztuží vykazovaly vyšší pevnosti, zpravidla o 12%, než vzorky nevyztužené.

2.2. Pevnost v prostém tlaku

Pevnost v prostém tlaku se na zkušebních tělesech o rozměrech $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ zjišťovala podle normy ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti. Dle předpokladů pevnost v prostém tlaku rostla s dobou zrání vzorků. Vzorky bez přídavku výztužných vláken dosahovaly vyšších pevností než vzorky vyztužené, lze tedy konstatovat, že vláknová výztuž snižuje pevnost v tlaku z důvodu nedosažení dokonalé homogenity. Vzorky vyrobené ze strusky vykazovaly vysoké 56- denní pevnosti a to až $77,2 \text{ MPa}$, a to je o 40% více než vzorky vyrobené z metakaolinu Baucis L 160.

2.3. Tepelné namáhání

Jako zkušební zařízení se při této zkoušce použila keramická pec. Vzorky byly po 28 dnech zrání podrobeny tepelnému namáhání v peci, při teplotách 200, 400 a 600°C . Čím rychlejší je náběh teploty tím je zkouška náročnější, a proto byl zvolen interval 5°C za minutu a časová výdrž na jednotlivých cílových teplotách byla 1 hodina. Chlazení bylo pozvolné v peci. Po tepelném namáhání byly vzorky vizuálně zhodnoceny a podrobeny pevnostním zkouškám.

Výsledky ukázaly, že pevnost v závislosti na zvyšující se teplotě klesá. U nejvyšší teploty zatěžování (600°C) klesla pevnost u kompozitu z metakaolinu v tlaku i v tahu za ohybu zhruba na 28% původní pevnosti. Kompozit ze strusky vykázal po zkoušce pevnosti v tlaku 43% a v tahu za ohybu 34% pevnosti referenčního vzorku. Z toho je patrné že vliv teploty má větší účinek na kompozity vyrobené z metakaolinu, naopak kompozity vyrobené ze strusky se jeví jako tepelně odolné. [4]

2.4. Působení chemicky agresivních prostředí

Po 28 dnech zrání byly vzorky uloženy do vybraných agresivních prostředí. V tomto případě byly vzorky uloženy v kapalném prostředí SO_4^{2-} s koncentrací $51,2\text{g Na}_2\text{SO}_4$ na 1 litr vody, Cl s koncentrací 100g NaCl na 1 litr vody a NH_4^+ a v plynném prostředí CO_2 s maximální koncentrací plynného CO_2

a s vysokou vlhkostí vzduchu. Koncentrace plynného CO₂ byla průběžně kontrolována a plyn byl pravidelně dopouštěn z tlakové nádoby. Vzorky byly uloženy po dobu 3 měsíců. V intervalu 14 dní byly vzorky pravidelně kontrolovány. Po vyjmutí vzorků se sledovala míra degradace materiálu, pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu.

Agresivní prostředí nijak zvlášť neovlivnila pevnosti v tahu za ohybu. Pevnosti v prostém tlaku se také nějak významně neměnily. Ze zkoušek vyplývá, že vzorky ze strusky uložené v CO₂ měly nižší pevnosti v prostém tlaku, až o 15%, než vzorky uložené v ostatních agresivních prostředích.

2.5. Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost se na zkušebních tělesech zjišťovala podle normy ČSN 731322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu. Po 28 dnech zrání byly vzorky podrobeny zkoušce mrazuvzdornosti – 50 zmrazovacích cyklů. Jako mrazuvzdorné se prokázaly být vzorky vyrobené z metakaolinu s koeficientem mrazuvzdornosti 83% i vzorky vyrobené ze strusky s koeficientem mrazuvzdornosti 78%. [4]

3. Závěr

Alkalicky aktivované materiály vykazují velice příznivé fyzikálně-mechanické vlastnosti a odolnosti vůči působení agresivních vlivů a zvýšených teplot. Zajímavé je hledisko ekologické, kdy jako vstupní materiály lze využít popílky, strusky, lupky. Proces výroby alkalicky aktivovaných materiálů může být použit také pro solidifikaci odpadních látek. Solidifikace neboli snižování toxicity odpadu vytvořením fyzikálních bariér, které znemožňují nebo zpomalují transport toxické látky do prostředí, je fyzikální imobilizační mechanismus. Solidifikační účinnost alkalicky aktivovaných materiálů spočívá ve schopnosti pevně vázat kontaminanty ve vytvořené polymerní síti. [2], [3]

Velmi důležitým faktorem pro dosažení těchto kladných vlastností je ale precizní příprava alkalicky aktivovaných materiálů. Při přípravě alkalicky aktivovaných materiálů bylo použito vodní sklo v roztoku. Vodní sklo je agresivní chemická látka, která si vyžaduje bezpečné zacházení a používání. Při manipulaci s vodním sklem je nutné používat osobní ochranné pomůcky (ochranné gumové rukavice, ochranné brýle a ochranný pracovní oblek).

Je třeba důsledně kontrolovat kvalitu vstupních surovin, zejména jejich chemické složení a vlhkost, přítomnost případných příměsí a nečistost v materiálech. Při přípravě větších objemů vyvstává často problém s řízením reologických vlastností těchto materiálů a se zachováním zpracovatelnosti, v dalším kroku je třeba přesně načasovat odformování. V delším časovém

hledisku se na povrchu alkalicky aktivovaných materiálů často vyskytují výkvěty.

Právě variabilita vlastností vstupních složek v mezích, které neovlivňují výsledné vlastnosti při zabudování do cementové matrice, je často příčinou neúspěchu či nedosažení požadovaných parametrů při přípravě alkalicky aktivovaných materiálů. Jedním z nejdůležitějších kroků pro úspěšnou přípravu alkalicky aktivovaných materiálů je tedy přesné stanovení chemického složení a vlhkosti a dle toho úprava receptury, stejně tak jako přesné dodržení následujících technologických operací jako míchání, ukládání do forem, typ použitého odformovacího prostředku a zhutňování.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu, projektu TIP FR-TII/387 s názvem „Vývoj vysokopevnostních nosných kompozitních konstrukcí pro stavby na bázi epoxidových kompozitních profilů spřažených vysokopevnostním betonem“ a za finanční podpory záměru VVZ MSM 0021630511 Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí.

Literatura

- [1] MATOUŠOVÁ, L.: Návrh a ověření vlastností alkalicky aktivovaného kompozitního materiálu s vláknovou výztuží. Diplomová práce. Brno, 2010. 93s. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí diplomové práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
- [2] ŠKVÁRA, F. Alkalicky aktivované materiály, geopolymery. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav skla a keramiky. On-line publikace. p. 1-47. 2007
- [3] KOVÁČIK, P.: Návrh nehořlavé matrice pro kompozitní materiál s vláknovou výztuží. Diplomová práce. Brno, 2007. 89s. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí diplomové práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
- [4] PANSKÝ, M. Návrh geopolymerní matrice s využitím druhotných surovin. Diplomová práce. Brno, 2008. 94s. VUT v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí diplomové práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

- [5] PROVIS, J.L.; van DEVENTER, J.S.J.: What controls the durability of geopolymer binders and concretes? In Concrete under Severe Conditions – Castro-Borges et al.(eds). 2010. p. 1535 - 1542. ISBN 978-0-415-59316-8.

Kontakt

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 6.

Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D., tel: 00420 541 147 509, e-mail: bodnarova.l@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

MECHANICKÁ STABILITA KOMPOZITNÍCH DESKOVÝCH MATERIÁLŮ NAMÁHANÝCH VYSOKÝMI TEPLOTAMI

MECHANICAL STABILITY OF COMPOSITE SHEET MATERIALS THAT HAVE UNDERGONE HIGH-TEMPERATURE

**Ondrej Michalko, Zdenka Bažantová, Tomáš Korecký,
Michal Frank, Jan Toman, Robert Černý**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
VÚSTAĤ – Výzkumný ústav stavebních hmot

Anotace:

V článku je popsáno proměření mechanických vlastností deskových kompozitních materiálů, které byly předem vystaveny teplotnímu namáhání.

Annotation :

The article describes measurement of the mechanical properties of composite board materials, which have been previously exposed by thermal stress.

Klíčová slova: kompozitní materiály, mechanické vlastnosti, namáhání vysokými teplotami

Keywords : composites, mechanical properties, high temperature

1. ÚVOD

V dnešní době se často využívají deskové materiály jako obklady konstrukcí. Jedná se o dva základní efekty, které má obklad přinést:

- 1. Estetická úprava povrchu.
- 2. Ochrana vlastní konstrukce proti vnějším škodlivým vlivům (namáhání). Ve stavební praxi se často používá obkladových desek např. pro zvýšení protipožární bezpečnosti.

Pro zlepšení mechanických vlastností se s výhodou používají kompozitní materiály.

2. POPIS MATERIÁLOVÝCH VZORKŮ

Z VÚSTAH Brno nám byly dodány vzorky čtyř deskových materiálů:

- PROMATECT – BÍLÝ materiál, deska tloušťky 3 cm.
- FIREBOARD – šedý materiál, deska tloušťky 2,5 cm.
- SÁDROKARTON – bílý materiál, deska tloušťky 2 cm.
- FERMACELL – růžový materiál, deska tloušťky 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 trámečků o rozměrech cca 3 cm x tloušťka desky x 18 (resp. 15) cm.

3. METODIKA MĚŘENÍ

Pro určení teplotní stability mechanických vlastností se provádělo nedestruktivní měření na připravených vzorcích ultrazvukovým přístrojem DIO 526, kterým je možno změřit **rychlost šíření vlnění** nebo **rezonanční metodou vlastní frekvenci** a tak potom vypočítat při znalosti rozměrů vzorků jejich **dynamický modul pružnosti [1]**. A protože lze předpokládat, že proměřované veličiny se budou částečně měnit s teplotou [2], měřily se tyto parametry po teplotních šocích, kterým se nejprve materiál vystavil.

Teploty pro teplotní namáhání byly určeny s ohledem na teoretické kritické teploty pro stabilitu betonů (základ kostry kompozitů), tj. cca 470 °C (rozklad portlanditu) a cca 680 °C (rozklad hydrátů) [3] :

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

4. POPIS MĚŘENÍ

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 možno stínováním 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 po dobu 7 dnů (do konstantní hmotnosti), skupina vzorků 9 – 16 byla teplotně namáhána přímo z ustálené rovnovážné vlhkosti.

Pro desky na bázi sádry byla teplota vysoušení snížena ze 110 °C na 70 °C, aby pokud možno nenastala přeměna dihydrátu v henihydrát – viz plán měření.

Tabulka 1.: Plán měření

Teplota	70	250	450	550	750	1000
Vzorky	1,2,3	1,2,4	1,2,5	1,2,6,3	1,2,7,4	1,2,8,5
	9,10,11	9,10,12	9,10,13	9,10,14,11	9,10,15,12	9,10,16,13

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 mechanických vlastností došlo po vychladnutí vzorků na cca 30–25 °C.

5. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V první fázi byly proměřeny vzorky z desek protipožárních obkladů: materiály **Fireboard** a **Promatect**. Teprve později byly rozšířeny zkoušky na obkladové materiály na bázi sádry **Sádrokarton** a **Fernakoll**.

Pro všechny materiály jsou výsledky měření zpracovány v tabulkách kde je možno podle stínování rozpoznat teploty, na kterých byly jednotlivé vzorky teplotně namáhány. Pro nedostatek místa zde uvádíme pouze tabulkové zpracování pro materiál Fireboard. Pro ostatní materiály jsou tabulky analogické.

Tabulka 2.: Naměřené hodnoty jsou zpracovány v EXCEL EDITORU.

Fireboard	hmot.	rel. úbytek	d	š	v	objem	o.hmot	UZ čas	rychl.	Modul pruž.	fL	Ep
Šedý	g	%	mm	mm	mm	mm ³	kg/m ³	[□s]	[m/s]	[MPa]	[Hz]	[MPa]
1 nevysušené	75,9	100										
Sušeno 110°C	65,34	86,09	140,26	25,57	25,02	89732,93	728,16	107,47	1305	1240	5652	1830,46
3hod. 250°C	67,04	88,33	140,32	25,27	26,30	93256,81	718,88	116,46	1205	1044	4497	1144,98
3hod. 450°C	66,63	87,79	139,67	25,81	24,97	90013,92	740,22	126,56	1104	902	3973	911,72

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

3 hod. 550°C	62,83	82,78	138,34	25,65	24,00	85162,10	737,77	27,50	873	562	neměřitelné	
3 hod. 750°C	60,20	79,31	138,50	25,80	24,18	86402,39	696,74	28,45	850	503	neměřitelné	
3 hod. 1000°C	57,48	75,73	138,50	25,80	21,93	78362,47	733,51	38,92	563	233	neměřitelné	
2 nevysušené	69,00	100,00										
Sušeno 110°C	59,64	86,43	142,25	25,93	23,37	86201,24	691,87	126,60	1124	873	5439	1656,63
3hod. 250°C	61,19	88,68	141,86	25,78	23,44	85723,61	713,81	117,82	1204	1035	3345	642,91
3 nevysušené	73,40	100,00										
Sušeno 110°C	62,97	85,79	142,06	25,04	24,82	88289,27	713,22	114,16	1244	1104	4476	1153,48
3hod. 450°C	64,35	87,67	141,50	25,09	24,62	87406,79	736,21	125,42	1128	937	3938	914,38
4 nevysušené	73,50	100,00										
Sušeno 110°C	63,40	86,26	141,83	25,70	24,64	89813,56	705,91	128,26	1106	863	4067	939,49
3 hod. 550°C	60,79	82,71	139,89	23,37	24,74	80880,73	751,60	28,50	868	566	2350	324,90
5 nevysušené	75,50	100,00										
Sušeno 110°C	65,04	86,15	140,44	25,03	26,38	92731,32	701,38	117,86	1192	996	4479	1110,09
3 hod. 750°C	60,66	80,34	138,92	25,71	24,01	85754,91	707,36	24,72	971	667	2740	409,95
6 nevysušené	73,60	100,00										
Sušeno 110°C	63,13	85,77	140,41	25,13	25,21	88953,57	709,70	118,94	1181	989	4468	1117,26
3 hod. 1000°C	57,31	77,87	140,41	25,13	23,27	82108,27	697,98	38,68	602	253	neměřitelné	
7 nevysušené	72,80	100,00										
Sušeno 110°C	62,50	85,85	141,79	24,56	25,46	88660,95	704,93	117,83	1203	1021	5676	1826,35
3hod. 250°C	63,67	87,46	141,49	24,48	25,40	87977,35	723,71	119,82	1181	1009	3057	541,58
3 hod. 550°C	60,06	82,50	139,77	23,31	24,44	79626,47	754,27	26,50	922	642	2972	520,61
8 nevysušené	71,30	100,00										
Sušeno 110°C	61,65	86,47	140,87	24,83	24,50	85696,15	719,40	114,22	1233	1094	4428	1119,65
3hod. 450°C	62,60	87,80	140,83	25,23	24,30	86341,32	725,03	121,21	1162	979	4888	1374,26
3 hod. 750°C	57,92	81,23	138,89	24,27	23,65	79720,85	726,54	23,22	1019	754	2288	293,47
3 hod. 1000°C	54,85	76,93	138,89	24,27	22,46	75709,52	724,48	36,24	620	278	neměřitelné	

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

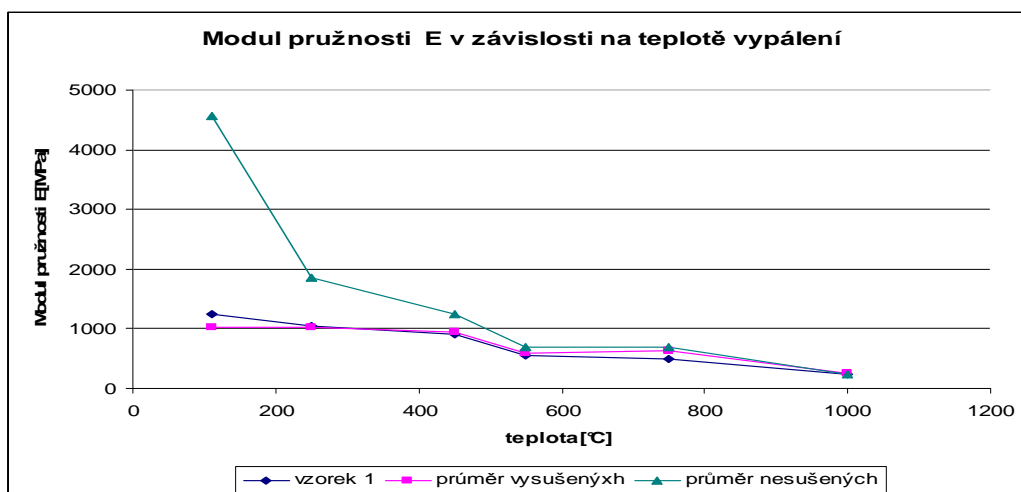
Stejným způsobem proběhlo také měření na předem nevysušených vzorcích 9 až 16 a na dalších materiálech: **Promatect** – bílý, **Sádrokarton** – bílý a **Fermacell**- růžový. Tabulky výsledků pro nedostatek místa zde neuvádíme – viz ústní prezentace.

6. ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ A DISKUSE MĚŘENÍ

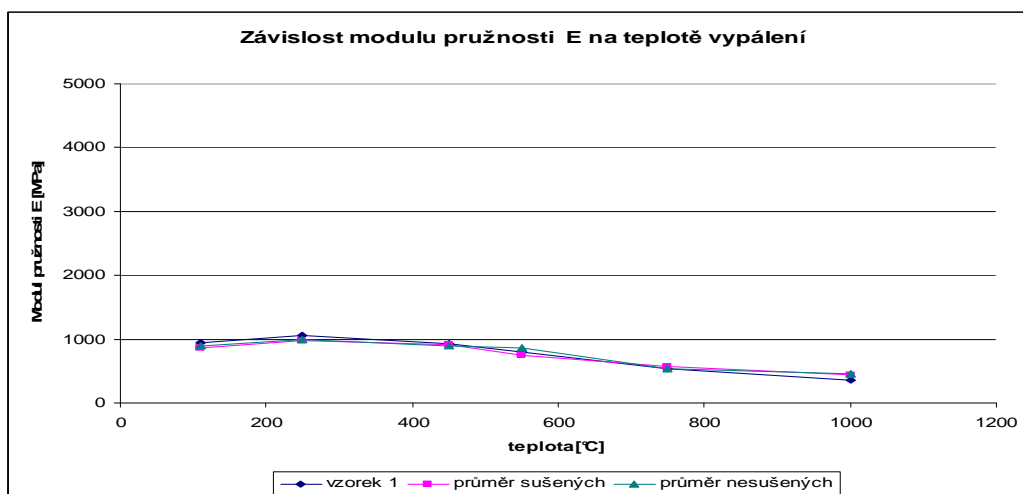
Změny jednotlivých proměřovaných veličin - tj. úbytek hmotnosti, rozměry, objemová hmotnost, rychlost šíření vlnění, rezonanční frekvence a vypočtené moduly pružnosti na jednotlivých materiálových vzorcích byly vyneseny do grafů v závislosti na teplotě vypálení. Z těchto grafů je velmi dobře vidět, jaké trvalé změny jednotlivých veličin (vlastností) teplotní zatížení materiálů způsobí.

Na jednotlivých grafech je vždy jedna křivka (vzorek 1), která zaznamenává průběh dané závislosti naměřené na vzorku, který byl průběžně zatěžován navyšujícími se teplotami, druhá křivka (průměr vysušených) vyjadřuje průměrné hodnoty všech vzorků, které byly předem vysušené a třetí křivka (průměr nevysušených) je ze vzorků, které byly proměřovány bez předchozího vysušení na 110 (event 70)°C.

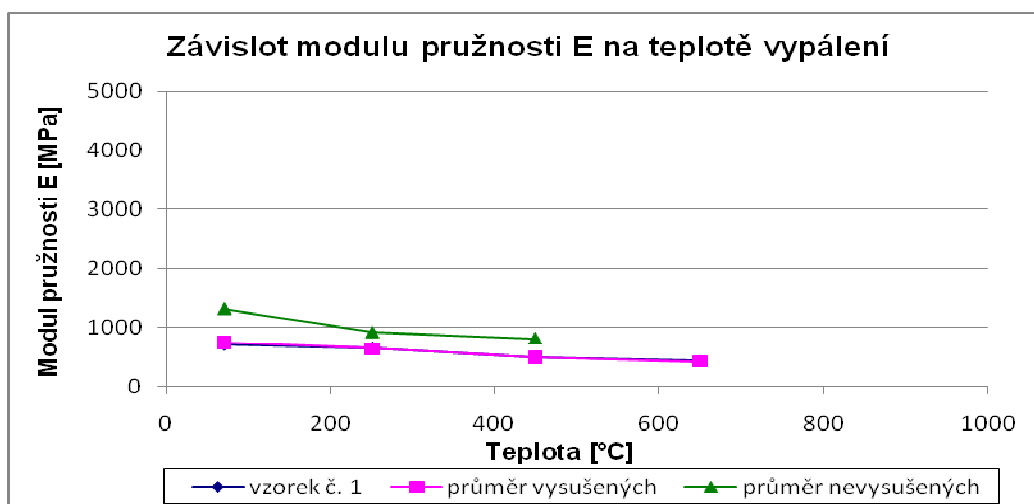
Pro názornost zde uvádíme pouze grafické zpracování závislosti modulu pružnosti na teplotě vypálení pro jednotlivé materiály.



Obr. 1.: FIREBOARD – šedý



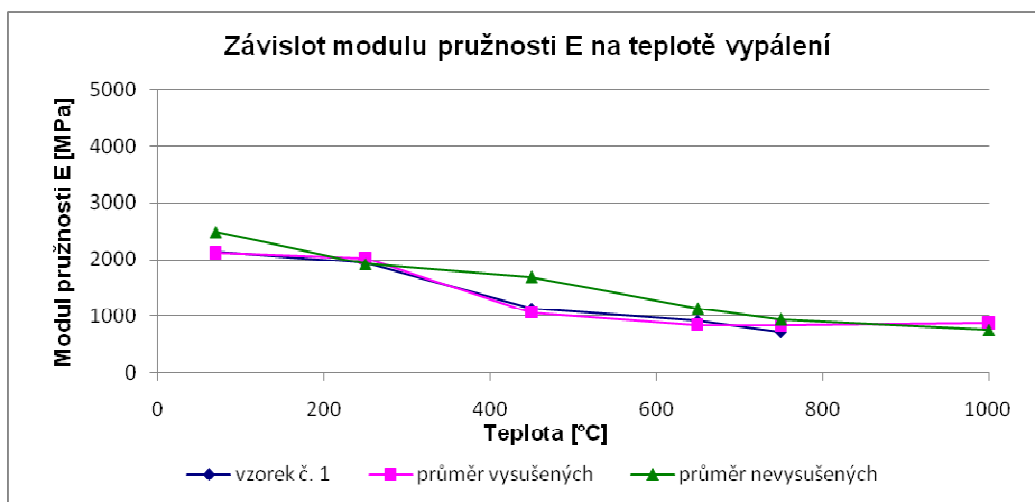
Obr. 2.: PROMATECT - bílý



Obr. 3.: SÁDROKARTON

Porovnáním těchto grafů můžeme konstatovat, že dynamický modul pružnosti E materiálu FIREBOARD je poměrně silně závislý na teplotě vypalování. Zajímavý je ten fakt, že pokles naměřených hodnot se projevil daleko více u materiálových vzorků předem nevysušených a že nemělo velký vliv, zda byl namáhán teplotou postupně, či byl přímo vložen do vysokých teplot.

U materiálu PROMATECT byla naměřena závislost jeho modulu pružnosti na teplotě vypalování mírně klesající. Prakticky se neprojevil ani vliv počátečního sušení ani vliv postupného zahřívání či přímého vložení do vysokých teplot – všechny tři křivky jsou velice podobné.



Obr. 4. FERMACELL

Deskové materiály na bázi sádry tj. SÁDROKARTON a FERMACELL vykazovaly poměrně stabilní hodnoty při nižších teplotách, ale pochopitelně při jejich zahřátí na vyšší teploty (již od 450 °C) se jejich pevnost nedala ani identifikovat, neboť došlo v důsledku změny struktury (dihydrát v hemihydrát až v anhydrit) k úplnému rozpadu vzorků. Poněkud stabilnější se projevoval materiál FERMACELL než běžný SÁDROKARTON.

Také při rozboru ostatních sledovaných veličin se prokázal podobný trend. Z toho plyne, že materiál PROMATECT je teplotně stabilnější, než FIREBOARD. Ze sádrových materiálů je výhodnější FERMACELL, kde u vzorků s postupným zahříváním bylo možno naměřit určité výsledky i při teplotě 750 °C, kdežto u SÁDROKARTONU se rozpadly prakticky všechny vzorky již při teplotě 650 °C.

Ukázalo se obecné pravidlo, že předem vysušené vzorky vykazují o poznání menší hodnotu modulu pružnosti než vzorky předem nevysušené, ale k celkovému jejich zborcení dojde při nižší teplotě. Také při postupném zahřívání nastane celkové zborcení při nižší teplotě, než když je materiál vystaven teplotnímu šoku.

7. ZÁVĚR

Snad je vhodné připomenout, že vypočítaný průběh modulu pružnosti z rychlosti šíření vlnění vcelku odpovídal průběhu zjištěnému rezonanční metodou, i když rezonanční metoda vykazovala celkově vyšší hodnoty. Rozkmitání vlastními kmity se u materiálů vypálených při vyšších teplotách ale vždy nepodařilo, protože poklepem již došlo k destrukci vzorku.

Při hodnocení protipožárních materiálů je výhodou materiálu PROMATECT zřejmě také ta skutečnost, že má menší objemovou hmotnost a tím také lepší tepelně izolační vlastnosti, než materiál FIEBOARD.

Hodnocení materiálů na bázi sádky z hlediska protipožární ochrany je nevyhovující, protože při zvýšení teploty dochází ke změně jejich struktury na modifikace, které jsou tvarově nestabilní.

Literatura

- [1] TOMAN J., SEMERÁK P.: Fyzika 10 - Praktická cvičení, ČVUT Praha 2001
- [2] TOMAN J.: Vliv teploty a vlhkosti na fyzikální parametry stavebních materiálů, disertační práce DrSc, CVUT 1992
- [3] Beton – příručka technologa, reklamní studio ARTIS, 2005

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu MPO č. FR-TI1/216 a Výzkumného záměru MŠMT č. MSM 6840770031

Kontakt

Doc. Ing. Ondřej Michalko, CSc., Ing. arch. Zdenka Bažantová CSc., Ing. Tomáš Korecký, Prof. Mgr. Jan Toman, DrSc., Prof. Ing. Robert Černý, DrSc., ČVUT, Fakulta stavební, katedra materiálového inženýrství a chemie, Thakurova 7, 166 29 Praha 6,

Ing. Michal Frank, VÚSTAH – Výzkumný ústav stavebních hmot, Hněvkovského 11/65, 617 00 Brno

REOLOGICKÉ VLASTNOSTI BENTONITU

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BENTONITE

Lenka Nevřivová

VUT v Brně, Fakulta stavební,

Anotace:

Příspěvek podává ucelenou informaci o hornině, kterou nazýváme bentonit. Popisuje jeho rozdělení, historii, použití a charakteristické vlastnosti s ohledem na jeho použití jako těsnící bariery jaderného úložiště.

Annotation:

The article gives a comprehensive information about the „Bentonite“ soil material. It describes its classification, ways of use and characteristic properties viewed at in accordance to the intention to apply this material as an insulating barrier built within a nuclear waste depository.

Klíčová slova: Bentonit, vlastnosti bentonitu

Keywords: Bentonite, properties of bentonite

1. Základní charakteristika bentonitu

Bentonit je měkká velmi jemnozrnná nehomogenní různě zbarvená hornina složená z podstatné části z jílového minerálu montmorillonitu, která vznikla zvětráváním produktů bazického (v menší míře i kyselého) vulkanismu (hlavně tufů). Nositel charakteristických vlastností bentonitu je montmorillonit - značná sorbční schopnost bentonitu je charakterizovaná vysokou hodnotou výměny bází (schopností přijímat z roztoků určité kationty a uvolňovat za ně ze své molekuly Mg, někdy i Ca a alkálie) a velkou vnitřní bobtnavostí ve styku s vodou. Bentonit dále obsahuje další jílové minerály jako je kaolinit, illit, beidellit.

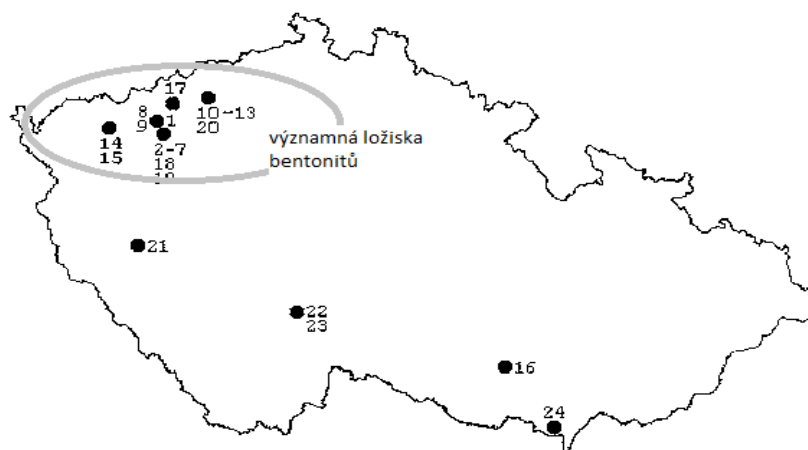
Poprvé byl bentonit použit ve Velké Británii v 19. Století a první ložisko bylo objeveno v Americe u Fort Bentonu (stát Montana) a od té doby se používá termín bentonit. Postupně byla jeho ložiska objevována jak ve Spojených státech, tak v Evropě. V českých zemích se bentonit začal poprvé těžit roku 1941 na ložisku Braňany u Mostu.

Rozdělení bentonitů:

- Silně bobtnavé Na-bentonity, tzv. bentonity wyomingského typu. Ložiska této suroviny se nacházejí především v USA, v ČR se ložiska sodných bentonitů nevyskytují.
- Méně bobtnavé draselné, vápenaté a hořečnaté bentonity případně jejich kombinace. Tyto bentonity lze průmyslově obohacovat sodíkem tzv. aktivací, bobtnací schopnosti aktivovaných bentonitů však stále nedosáhnou takové hodnoty jako u Na-bentonitů.

2. Ložiska bentonitů v ČR

V ČR jsou nejvýznamnějšími oblastmi výskytů ložisek bentonitů východní (Kadaňsko a Podbořansko) a západní okraj Doupovských hor (Hroznětínsko) a České středohoří (především Mostecko). v těchto oblastech je soustředěna naprostá většina ložisek i zásob bentonitů v ČR. Méně významnými oblastmi jsou Plzeňsko, jihočeské pánve, chebská a sokolovská pánve. Ložiska montmorillonitových jílu se vyskytují na jižní Moravě.



Obr. 1.: Ložiska bentonitu v ČR

3. Použití bentonitu

Ve stavebnictví se bentonit používá jako těsnění (skládek, tunelů, přehrad a jiných vodních děl, dále při zlepšování vlastností zemin injektáží a ochraně spodních vod), bentonit se také přidává jako přísada do betonů a omítek, při vrtných pracích se využívá tixotropních vlastností bentonitů pro vrtné výplachy a jako „tekuté“ pažení. Do keramických hmot je bentonit přidáván jako plastifikátor. Při výrobě nátěrových hmot se bentonit používá jako zahušťovadlo. Při čištění odpadních vod se využívá bentonitů jako sorbentu ropných nečistot, těžkých kovů, barvicích pigmentů atd. V rostlinné výrobě se bentonit využívá při kompostování a zúrodnování příliš propustných (písčitých) půd. Živočišná výroba využívá bentonitů např. jako pojiva při výrobě granulovaných krmiv. V protipožární ochraně se využívá bentonitů v hasicích zásypech pro likvidaci lesních požárů, také při stavbě důlních protipožárních příček. Bentonitů se také využívá jako pohlcovače vzdušné vlhkosti v obalové technice při zámořské přepravě či skladování korozivních materiálů. Dále se bentonit používá v papírenském průmyslu, při výrobě plastů, gumy, výbušnin, molekulových sít, skleněných a minerálních vláken, kapalných hnojiv a dalších.

V České republice se ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu bentonit využívá v malé míře. Důvodem je vyšší obsah železitých oxidů u českých bentonitů, které surovinu barví do okrového odstínu. Jedinou lokalitou v ČR s bílým bentonitem je ložisko Ivančice – Réna, těžba této suroviny je však i zde velice problematická.

V posledních dvaceti letech se ve světě navíc zkoumá možnost využití bentonitů jako účinné bariéry při ukládání radioaktivního odpadu.

4. Produkce bentonitů

Hlavním světovým producentem bentonitu jsou Spojené státy americké (cca 2 mil. tun ročně), které produkují nejkvalitnější bentonity na světě a disponují i značnými zásobami přírodních sodných bentonitů. Dalšími významnými producenty bentonitu jsou státy bývalého SSSR (kolem 1,7 mil tun/rok), zřejmě Čína (odhaduje se produkce kolem 1,5 mil. tun/rok), SRN (800 kt/rok), Řecko (600 kt/rok), Japonsko (570 kt/rok), následuje Itálie, Španělsko, Indie, Turecko a další země.

ČR vytěží ročně kolem 70 kt bentonitu, hlavními producenty bentonitu v ČR jsou Keramost, a. s., Calofrig Borovany, a. s., Sedlecký kaolin, a. s. a další.

Tabulka 1.: Průměrné chemické složení bentonitu (Keramost)

SiO ₂	50,0 - 57,0 %	K ₂ O	0,3 - 1,2 %
Al ₂ O ₃	15,7 - 17,3 %	FeO	0,1 - 1,0 %
Fe ₂ O ₃	8,8 - 17,0 %	Na ₂ O	0,1 - 0,4 %
TiO ₂	3,8 - 6,3 %	MnO	0,1 - 0,3 %
MgO	2,5 - 3,5 %	Li ₂ O	0,1 %
CaO	1,7 - 3,1 %	P ₂ O ₅	0,1 %

5. Vlastnosti bentonitu

Tak jak bylo uvedeno výše, bentonit je možné používat k širokému spektru činností. Podle toho k jakému účelu je bentonit určen, zaměřujeme se na jeho specifické vlastnosti. Výzkum, který probíhá na VUT v Brně, Fakultě stavební ve spolupráci s Kloknerovým ústavem v Praze je zaměřen na využití bentonitu jako účinné bariéry v jaderných úložištích. Tato bariéra by měla zabránit možnému úniku radionuklidů z kontejneru s vysoce radioaktivním odpadem do přírodní bariéry a dále do biosféry. Bariéra si musí tuto schopnost podržet po dobu až 100 tisíců let. Bentonit má v bariéře funkci tlumící, výplňovou a těsnící. Jsou sledovány reologické vlastnosti bentonitu a výhledově bude studována také interakce bentonitové vrstvy s vrstvou betonovou, tedy konstrukční vrstvou úložiště.

5.1. Propustnost

Propustnost je charakterizována filtračním součinitelem (součinitelem filtrace) k . Stanovení propustnosti vychází z Darcyho filtračního zákona, který vyjadřuje vztah mezi průsakem, celkovou průřezovou plochou a hydraulickým sklonem. Požadavek pro těsnící jíly je $k = 10^{-10} - 10^{-14} \text{ m/s}$. Výběr bentonitu, který bude splňovat požadované parametry nepropustnosti (k), není problémem, materiál tento požadavek splní poměrně snadno. Nebezpečí úniku radionuklidů se však rapidně zvyšuje se vznikem jakékoliv plochy nespojitosti. Plochy nespojitosti jsou potenciálním zdrojem vzniku cest pro šíření nebezpečných radioaktivních látek v jakémkoliv skupenství. Je možné rozlišit několik typů ploch hlavně v závislosti na způsobu jejich vzniku.

5.2. Bobtnací schopnost

Bobtnací schopnost materiálu je důležitá především z důvodu nutnosti uzavírání ploch nespojitosti (spár a trhlin) při jejich kontaktu s podzemní vodou. Bobtnací schopnost je popisovaná velikostí bobtnacího tlaku, měla by být

optimalizována pomocí přísad. Bobtnací tlak nesmí negativně ovlivnit funkci kontejneru, funkci jednotlivých stavebních prvků inženýrské bariéry (např. porušit ostění výrubu), popř. funkci přírodní bariéry. Bentonit je schopen zvětšit svůj objem při bobtnání 12x až 15x. Bobtnací tlak definujeme jako tlak elementu nasyceného vodou při zamezení deformací.

5.3. Plasticita

Plasticita zemin je definována jako rozsah vlhkosti mezi hodnotou meze plasticity w_p a meze tekutosti w_l . Tento rozsah se vyjadřuje pomocí tzv. indexu plasticity $I_p = w_l - w_p$ [%]. Pro snadné „samohojení“ ploch nespojitosti je příznivé, aby hodnota indexu plasticity byla co nejvyšší. Vysoká hodnota indexu plasticity znamená, že i při velkém zvýšení vlhkosti nad mez plasticity zůstává zemina plastickou (v plastickém stavu) a nepřechází do tekutého stavu. V plastickém stavu si zemina (bentonit) udržuje těsnící účinky. Index plasticity roste s podílem jílové frakce.

Česká norma ČSN 731001 definuje oblast extrémně vysoké plasticity pro $I_p > 50\%$ a $w_l > 90\%$.

5.4. Tepelná vodivost

Materiál bentonitové bariéry musí být navržen tak, aby umožňoval snadný odvod tepla vyzařovaného kontejnerem dále do přírodní bariéry. Tepelná vodivost se zvyšuje s rostoucí objemovou hmotností a vlhkostí materiálu. Mírně se zvyšuje s rostoucí teplotou. Aby bylo teplo co nejsnáze odvedeno od kontejneru, je možné přidávat do bentonitové směsi grafit. Podzemní voda, která pronikne z přírodní bariéry do bariéry inženýrské, postupně nasytí její bentonitovou část (materiál přejde do nasyceného stavu), čímž se tepelná vodivost v nasycené oblasti zvýší.

5.5. Nasákavost

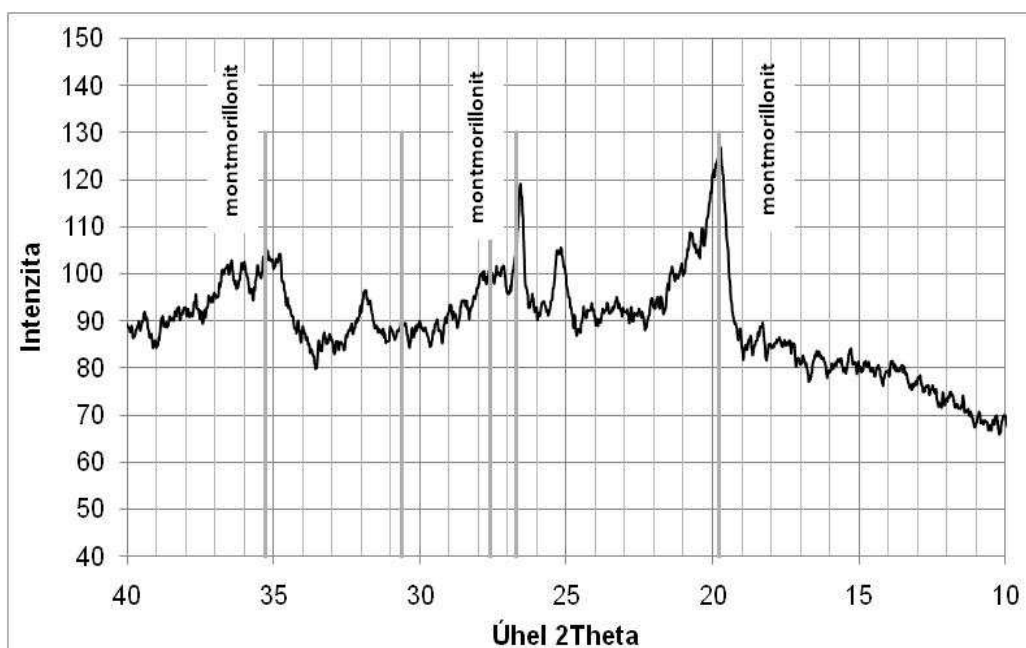
Nasákavost bentonitu souvisí s jeho schopností bobtnat a nabírat vlhkost do svých mezivrstev. Nasákavost bentonitu se liší podle jeho druhu, jak bylo popsáno v kapitole 1. Aktivované bentonity mají nasákavost 700-800%. Sledován byl bentonit z lokality Batelov.

Tabulka 2.: Vlhkost bentonitu (*h-hygrokopická, p-konzistence plastického těsta, konzistence suspenze*)

w_h	w_p	w_s
14-20%	80-140%	140-850%

5.6. Mineralogické složení bentonitu

Charakteristické chemické složení bentonitu již bylo uvedeno. Jeho reologické vlastnosti jsou však dány zejména jeho mineralogickým složením a jeho zrnitostí. Bentonit obsahuje 65%-80% montmorillonitu, tento byl také prokázán Rtg difrakční analýzou.



Obr. 2.: Mineralogické složení bentonitu

6. Závěr

Tento příspěvek poskytuje obecný popis bentonitů. Je popsáno rozdělení bentonitů, oblasti jeho těžby i použití a také jejich charakteristické vlastnosti, které jsou důležité zejména pro posouzení těsnících schopností a pro posouzení jeho chování ve styku s vodou. Pokud se týká reologických vlastností bentonitu, jedná se o materiál pro těsnící bariéru velmi vhodný. Otázkou zůstává, jaká je stabilita jeho reologických vlastností v čase. U jaderných úložišť je nutné počítat s „životností“ takové bariéry v řádu stovek tisíc let. Není však zatím jasné, zda výsledky krátkodobých zkoušek (v řádu let) můžeme brát jako dostatečný důkaz stability bentonitu.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory GA 103/09/1935 Studium dlouhodobé stability mikrostruktury cementových kompozitů pro hlubinné úložiště jaderného odpadu.

Literatura

- [1] CHVÁTAL P.: Výběr referenčních materiálů pro tlumící, zásypové a těsnící materiály HÚ radioaktivního odpadu. Karlovy Vary, 1995
- [2] Ložiska nerudných surovin ČSR 2/1, Český geologický úřad, Praha, 1977

Kontakt

Ing. Lenka Nevřivová, Ph.D., tel: 00420 541 147 510, e-mail: nevrlova.l@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hnot a dílců, FAST VUT v Brně, Veverčí 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

ZKOUŠENÍ MALT A OMÍTEK S OHLEDEM NA JEJICH URČENÍ A PLATNÉ NORMOVÉ PŘEDPISY

TESTING OF RENDERS AND PLASTERS ACCORDING TO THE NEW VALID STANDARD

Hana Nohelová

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

Anotace:

ČSN EN 15824 Specifikace vnějších a vnitřních omítek s organickými pojivy byla vydána v prosinci 2009. V uvedené nové ČSN EN jsou zahrnuty definice a konečné jakostní požadavky, které dosud stávajícími normami nebyly popsány. Článek chce upozornit výrobce a uživatele na změny týkající se omítek s organickými pojivy.

Annotation:

ČSN EN 15824 “Specifications for external renders and internal plasters based on organic binders“ has been issued and is already valid (since December 2009). The above mentioned ČSN EN standard introduces new requirement of verification of product properties that were not covered by current standards. The purpose of the article is to draw attention to these changes.

Klíčová slova: Vnější a vnitřní omítky s organickými pojivy

Keywords: External renders and internal plasters based on organic binders

1. ÚVOD

V rámci přebírání EN do soustavy naší normalizace byla zavedena pro zkoušení vnitřních a vnějších omítek s organickými pojivy ČSN EN 15824, podle které je nutno uvedené výrobky zkoušet od 1.1.2010. Tato norma měla doplnit skupinu evropských norem pro malty a omítky, tj. ČSN EN 998-1, ČSN

EN 998-2, proto také původně tato norma byla řešena pod označením prEN 998-3:2006, pod tímto označením byl řešen i normalizační úkol. Na základě připomínek k řešení uvedeného normalizačního úkolu, konečného návrhu normy a s ohledem na odlišnost omítek s organickými pojivy bylo označení normy pozměněno na EN 15824.

Norma pro omítky s organickými pojivy byla zpracována podle požadavků, které jsou na tyto omítky kladeny v rámci provádění stavebních povrchových úprav a které musí tyto omítky splňovat, a požadované vlastnosti musí být také zkouškami dle příslušných norem ověřeny a potvrzeny. Poněvadž se jedná o normu poměrně novou, chceme upozornit výrobce a uživatele na nejdůležitější ustanovení této normy, která je třeba dodržet a zaručit.

2. DEKLARACE POUŽITÍ NORMY

ČSN EN 15824 se týká průmyslově vyráběných vnějších a vnitřních omítek s organickými pojivy, používaných pro vnější a vnitřní omítkové systémy na stěnách, stropech, sloupech a příčkách (může být použita také pro omítky, obsahující silikáty, silany, siloxany a křemičitá pojiva).

Norma určuje definice a jakostní požadavky včetně kategorie vlastností.

Netýká se nátěrových hmot a nátěrových systémů, pro které platí EN 1062-1 a EN 13300.

Podle této normy je deklarována vnější a vnitřní omítka jako: pastovitý nebo práškový výrobek obsahující směs z jednoho nebo více organických pojiv s kamenivem, přísadami/příměsemi, který se s vodou nebo rozpouštědly používá pro vnější a vnitřní omítání.

3. POŽADAVKY NA OMÍTKY

Vlastnosti vysušené a zatvrdlé omítky (vnitřní, vnější) musí být stanoveny dle předepsaných zkušebních metod. Odběr vzorků se provádí pro pastovité omítky dle EN ISO 15528, pro sypké omítky dle EN 1015-2.

Požadavky na druhy organických výrobků a systémů jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 1.: Požadavky na druhy organických výrobků a systémů

Vlastnost	Zkušební metoda	Požadavky
Propustnost pro vodní páru (pro vnější omítky)	EN ISO 7783-2	Deklarace kategorie V
Permeabilita vody v kapalně fázi (pro vnější omítky)	EN 1062-3	Deklarace kategorie W

Soudržnost (pro vnější a vnitřní omítky)	EN 1542	$\geq 0,3$ MPa
Trvanlivost (pouze pro vnější omítky, kdy $W < 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$)	EN 13687-3	$< 0,3$
Tepelná vodivost (pro prvky s tepelnými požadavky)	EN 1745	Deklarace hodnoty λ
Reakce na oheň (pro vnější a vnitřní omítky)	EN 13501-1	Eurotřídy A.1 až F

K jednotlivým vlastnostem:

- **propustnost** je deklarována kategorií V1, V2, V3 podle EN ISO 7783-2

Tabulka 2.: Kategorie rozsahu propustnosti pro vodní páru

Kategorie		Požadavek	
		Rozsah propustnosti pro vodní páru V $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	Difuzní ekvivalent tloušťky vzduchové vrstvy s_d m^a
V_1	Vysoká	> 150	$< 0,14$
V_2	Střední	≤ 150 > 15	$\geq 0,14$ $< 1,4$
V_3	Malá	≤ 15	$\geq 1,4$

^a Hodnoty difuzního ekvivalentu tloušťky vzduchové vrstvy (s_d) podle EN ISO 7783-2.

- **permeabilita** je deklarována kategorií W1, W2, W3 podle EN 1062-3

Tabulka 3.: Kategorie permeability vody v kapalně fázi (W)

Kategorie		Požadavek W ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$)
W_1	Vysoká	$> 0,5$
W_2	Střední	$\leq 0,5$ $> 0,1$
W_3	Malá	$\leq 0,1$

- **soudržnost** se stanovuje dle EN 1542 a musí být větší než 0,3 MPa (po 28 dnech předepsaného ošetřování)
- **trvanlivost** se stanovuje u vnějších omítek (podle EN 13697-3 jen při W1)

- **tepelná vodivost** se deklaruje podle EN 1745 (dle objemové hmotnosti)
- **reakce na oheň:** při obsahu organického materiálu v omítce pod 1% (stanovení dle EN 13820) je zařazení do třídy A1 bez zkoušení, při obsahu organického materiálu nad 1% v omítce se musí zkoušet a zařadí se dle EN 13501-1.

4. OZNAČENÍ OMÍTEK

Druh vnější a vnitřní omítky musí být řádně popsán a označen.

V popisu musí být uvedena omítka jako: pastovitá ředěná vodou nebo jako pastovitá ředitelná organickým rozpouštědlem nebo jako v sypkém stavu (výrobek určen ke smíchání s vodou na pastovitou konzistenci).

V označení musí být uvedeny všechny náležitosti požadované normou (čl.5.2), mj. musí obsahovat také pokyny k použití (postup míchání, způsob použití, počet vrstev, spotřebu).

5. SYSTÉM PROKAZOVÁNÍ SHODY

Systém prokazování shody pro určená použití a charakteristiky vlastností – viz tabulka 4.

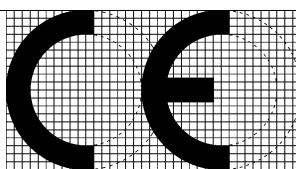
Tabulka 4.: Systémy prokazování shody

Výrobek	Určené použití	Charakteristiky (vlastnosti)	Systém prokazování shody
Průmyslově vyráběné vnější a vnitřní omítky s organickými pojivy	Pro všechna použití podléhající posuzování reakce na oheň	(A1, A2, B, C) ^a	1
		(A1, A2, B, C) ^b , D, E	3
		(A1 až E) ^c , F	4
Průmyslově vyráběné vnější a vnitřní omítky s organickými pojivy	Vnější a vnitřní omítání zdí, stropů, sloupů a příček, jak je uvedeno v předmětu normy	–	4
^a Výrobky a materiály, u nichž jasně definovaný postup výroby vede ke zlepšení zařazení podle reakce na oheň ^b Výrobky a materiály, kterých se netýká poznámka ^a ^c Výrobky a materiály, u nichž není kladen požadavek na zkoušení reakce na oheň			

Z předepsaného postupu prokazování shody vyplývají poté – obdobně jako u jiných výrobků – úkoly při hodnocení shody vnitřních a vnějších omítek pro výrobce a certifikační orgán.

6. OZNAČENÍ SHODY CE

Pokud výrobek splňuje požadavky dané touto normou na omítky s organickými pojivy, obdrží značku CE, která obsahuje úplné informace pro výrobek podle systému hodnocení shody, např.:

	<p><i>Označení shody CE sestávající z iniciál „CE” uvedených ve směrnici 93/68/EEC.</i></p>
<p>Společnost, PO Box 21, B-1050</p> <p>08</p>	<p><i>Název nebo identifikační značka a registrovaná adresa výrobce</i></p> <p><i>Poslední dvojčíslí roku, v němž bylo označení připojeno</i></p>
<p>EN 15824</p> <p>Vnější omítka s organickým pojivem</p> <p>Propustnost pro vodní páru: V_2</p> <p>Permeabilita vody v kapalně fázi: W_2</p> <p>Soudržnost: 0,3 MPa</p> <p>Trvanlivost: NPD</p> <p>Tepelná vodivost: $\lambda = 0,5$ W/(m·K)</p> <p>Reakce na oheň: Eurotřída B</p>	<p><i>Číslo evropské normy</i></p> <p><i>Popis výrobku</i></p> <p><i>a</i></p> <p><i>informace o charakteristikách (vlastnostech)</i></p>

Obr. 1.: Příklad označení shody CE s úplnými informacemi pro výrobky v systémech 3 a 4.

7. ZÁVĚR

Vzhledem k tomu, že ČSN EN 15824 je poměrně novou normou, chceme upozornit výrobce a uživatele na její nejdůležitější ustanovení, která je třeba dodržet.

Literatura

- [1] ČSN EN 15824 Specifikace vnějších a vnitřních omítek s organickými pojivy

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

ZMENY V TEHLIARSKOM ČREPE V PROCESSE ZMRAZOVANIA A ROZMRAZOVANIA

CHANGES IN BRICK BODY IN THE PROCESS OF FREEZING AND THAWING

Mikuláš Šveda, Radomír Sokolář, Lenka Nevřivová

Stavebná fakulta STU v Bratislave
Fakulta stavební VUT v Brně

Anotace:

V príspevku sú prezentované zaujímavé výsledky, ktoré nadväzujú na minuloročné dosiahnuté poznatky týkajúce sa zmeny pórovej štruktúry tehliarskeho črepu v procese zmrazovania a rozmrazovania. Tieto výsledky sú o to zaujímavejšie, že zahrňujú aj vyššie vypaľovacie teploty, a to konkrétne teploty 1000 a 1060 °C. Dosiahnuté výsledky poukazujú na skutočnosť, že zvyšovaním vypaľovacej teploty črepu dochádza počas zmrazovacích cyklov k menším zmenám v jeho pórovej štruktúre, hoci sa zvyšuje počet zmrazovacích cyklov pri vzniku prvej trhliny.

Annotation:

In this paper, we present interesting results which are a followed-up to the previous research on changes in the pore structure of brick body during the process of freezing and thawing. These results are rather interesting especially because they also cover higher baking temperatures, namely 1000 and 1600 C. Our results show that although the number of freezing cycles before the formation of the first crack increases, there are lesser changes in the pore structure during the freezing cycles as the baking temperature increases.

Klíčová slova: Tehliarsky črep, pálená krytina, pórová štruktúra, zmrazovanie a rozmrazovanie

Keywords: Brick body, roofing tile, pore structure, freezing and thawing

1. Úvod

Na minuloročnej konferencii „Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2009“ sme uverejnili prvé výsledky, ktoré zachycovali zmeny pórovej štruktúry tehliarskeho črepu a to len s črepom vypáleným pri teplote 900 °C [1]. Pri tomto črepe bol zaznamenaný rýchly vplyv zmrazovacích cyklov na zmenu jeho pórovej štruktúry, kde v oblasti mikropórov nastal pokles objemu pórov a naopak v oblasti makropórov nastal ich nárast. Táto skutočnosť bola spôsobená expanziou ľadu v póroch, kde dochádza k porušeniu ich pevnostne slabých stien a namiesto dvoch malých vzniká jeden väčší pór. Tým bol aj vysvetlený výrazný nárast hodnoty mediánu polomeru pórov. Súčasne sme zistili, že došlo k nepatrnému zvýšeniu hodnoty objemu pórov. To bolo pravdepodobne spôsobené zväčšením objemu tých mikropórov, ktoré boli pred začiatkom zmrazovacích cyklov tlakovou ortuťovou porozimetriou ešte nemerateľné.

Sledovaniu zmien pórovej štruktúry tehliarskeho črepu počas zmrazovania a rozmrazovania sa venujeme z toho dôvodu, že táto oblasť je doteraz málo preskúmaná. Prvé výsledky tohto typu boli prezentované na 12-tej medzinárodnej vedeckej konferencii v Brne [1]. Je predpoklad, že objasnenie zmien, ktoré prebiehajú v pórovej štruktúre črepu počas zmrazovania a rozmrazovania, pomôže predpovedať životnosť pálenej krytiny.

2. Vstupné suroviny

Ako vstupná surovina bola použitá tehliarska hlina z tehelne, ktorá sa nachádza na Slovensku. Táto je zastúpená kvartérnymi sedimentmi, ktoré sú reprezentované vrstvami ílových a ílovito-prachových zemín eolického pôvodu. Ich granulometrické zloženie je uvedené v minuloročnom zborníku [2]. Z mineralogického hľadiska ide o montmorilloniticko – illitickú a takmer bezkarbonátovú surovinu.

3. Skúšobné vzorky

Skúšobné vzorky boli pripravené rozrezaním vysuškov, ktoré boli prinesené z tehelne. Pre tieto merania bola použitá ich stredná časť. Vzorky boli následne vypálené v elektrickej laboratórnej peci pri teplotách 900, 1000 a 1060°C. Tvar skúšobnej vzorky a režim výpalu, pozri obrázky v minuloročnom zborníku [2].

4. Stanovenie vybraných vlastností

4.1. Stanovenie objemu a mediánu polomeru pórov

Pórová štruktúra tehliarskeho črepu bola stanovená vysokotlakovým ortuťovým porozimetrom Thermo Finnigan Pascal 240 firmy Thermo Scientific na Ústave technológie stavebných hmôt a dielcov Stavebnej fakulty VUT v Brne. Vzorky pre stanovenie pórovej štruktúry boli postupne odrezávané špeciálnym rezným kotúčom podľa vopred zvolených zmrazovacích cykloch.

4.2. Stanovenie mrazuvzdornosti

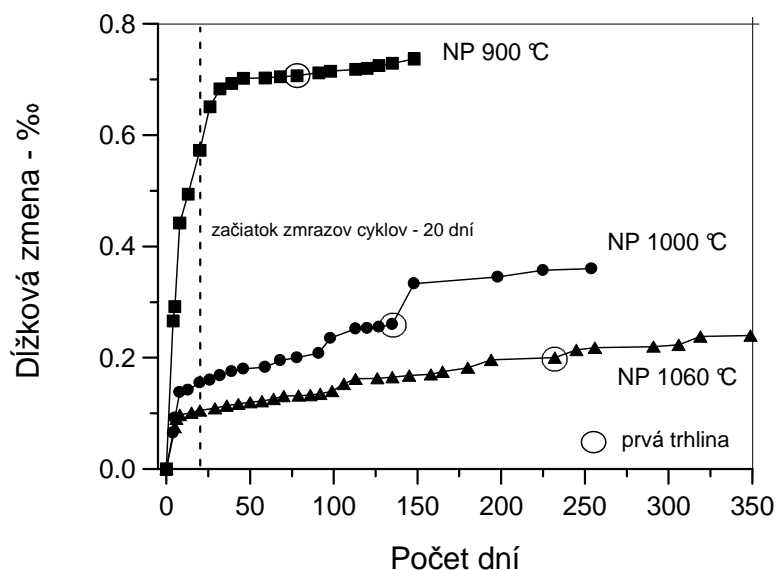
Mrazuvzdornosť vodou nasýtených vzoriek bola stanovená v súlade s normou STN 72 20606 použitím klasického cyklovania voda – mráz (16 h pri teplote vzduchu -18 ± 2 °C a 2 h vo vode pri teplote 18 ± 2 °C). Skúšobné vzorky boli pred prvým zmrazovacím cyklom uložené 20 dní vo vode. Vizuálne pozorovanie skúšobných vzoriek bolo vykonané po každých piatich zmrazovacích cykloch.

4.3. Stanovenie dĺžkovej zmeny

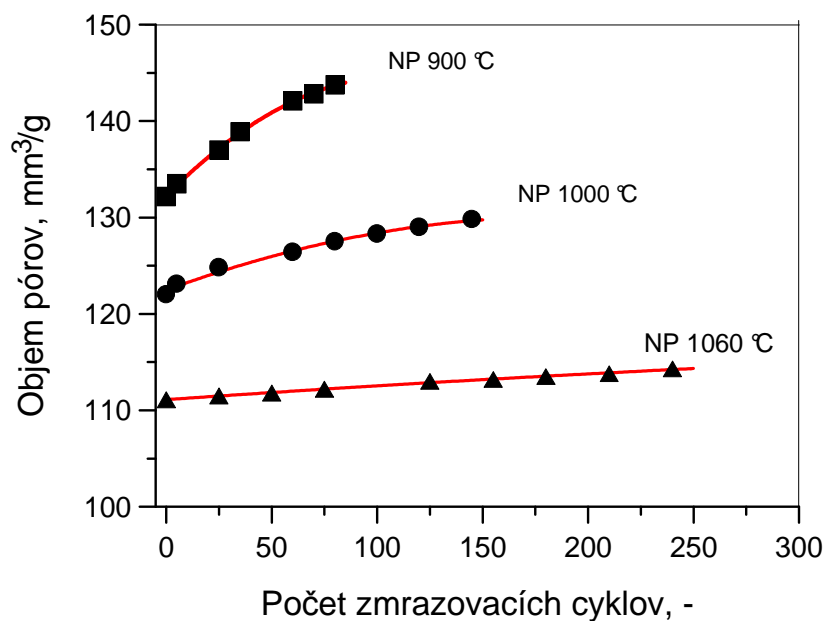
Dĺžková zmena sa stanovila pomocou „Krumlovho prístroja“ s klasickým číselníkovým odchýlkomerom (s presnosťou merania na 0,001 mm), kde počiatočná dĺžka medzi dvomi meranými terčikmi bola 200 mm.

5. Dosiahnuté výsledky

Vznik prvých trhlín (prípadne odštiepok) v procese zmrazovania a rozmrazovania závisel od výšky vypaľovacej teploty. S jej zvyšovaním sa oddiaľoval nielen ich vznik, ale sa zmenšovala aj expanzia samotného črepu stanovená ako dĺžková zmena, pozri obr. 1. Je pozoruhodné, že vyššia polovica prírastku dĺžkovej zmeny sa dosiahla ešte pred samotným cyklovaním voda – mráz. Zaujímavé sú tiež zmeny v pórovej štruktúre črepu počas zmrazovacieho cyklu. Na obrázku 2 je zobrazený priebeh zmeny objemov pórov v závislosti od počtu zmrazovacích cyklov pri troch rôznych vypaľovacích teplotách. Pri všetkých troch teplotách sledujeme plynulú zmenu ich hodnôt. Zvyšovanie vypaľovacej teploty zapríčinilo nielen celkový pokles objemu pórov po samotnom výpale, ale aj výrazný pokles zmeny v objeme pórov pri rovnakom počte zmrazovacích cyklov. Podobnú závislosť môžeme sledovať aj na obr. 3, kde je zobrazený priebeh zmeny mediánu polomeru pórov od počtu zmrazovacích cyklov. V tomto prípade však hodnoty mediánu polomeru pórov



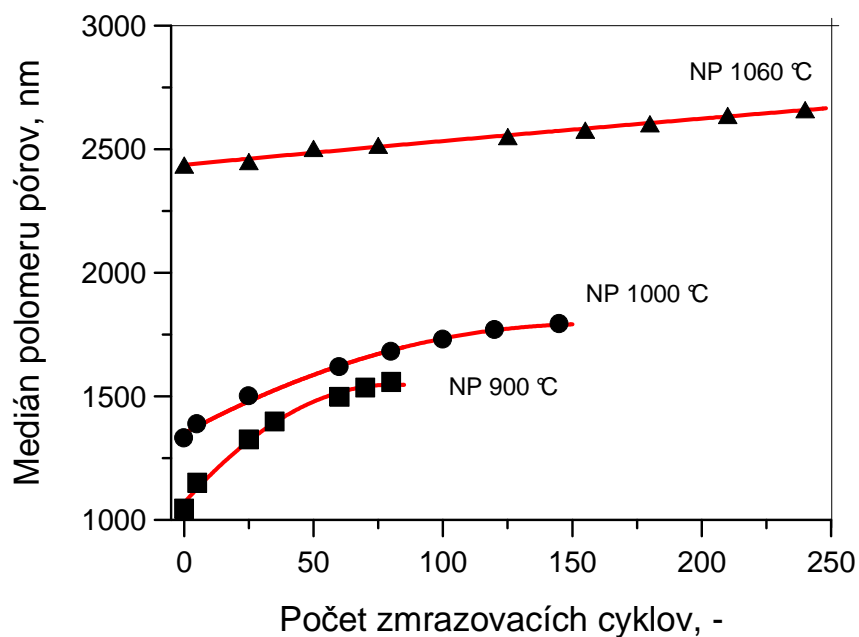
Obr. 1.: Závislosť dĺžkovej zmeny črepu od počtu zmrazovacích cyklov



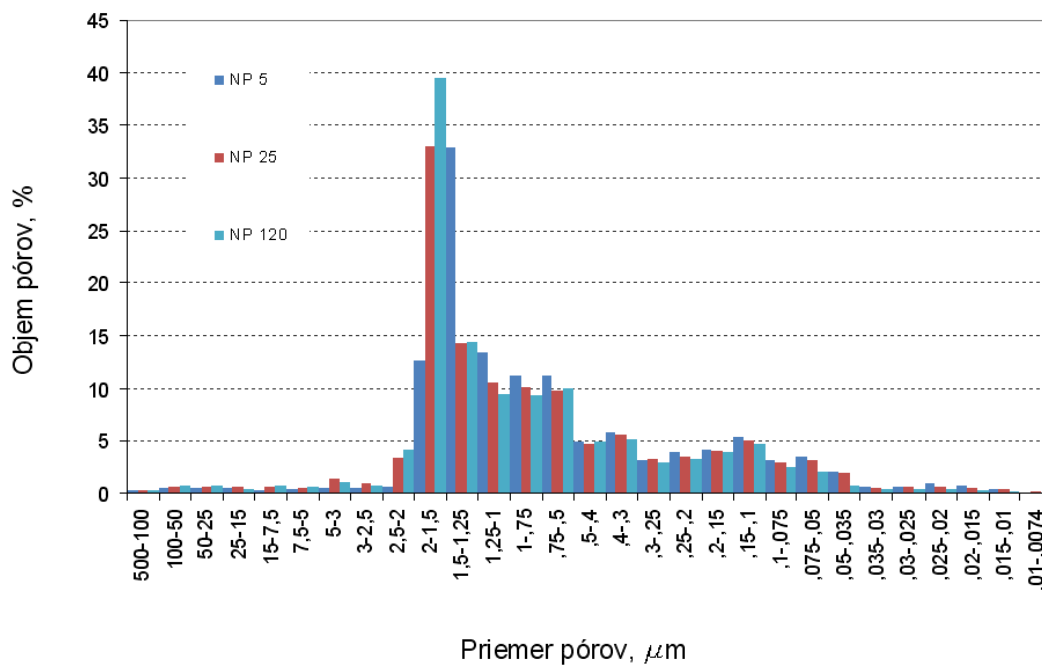
Obr. 2.: Závislosť objemu pórov od počtu zmrazovacích cyklov

s rastom vypaľovacej teploty rásli.

Na obrázku 4 sú zobrazené histogramy pre tri vybrané zmrazovacie cykly, ktoré sledujú priebeh percentuálnej zmeny objemu pórov v závislosti od zvoleného intervalu priemeru pórov pri vypaľovacej teplote 1000 °C. S rastom



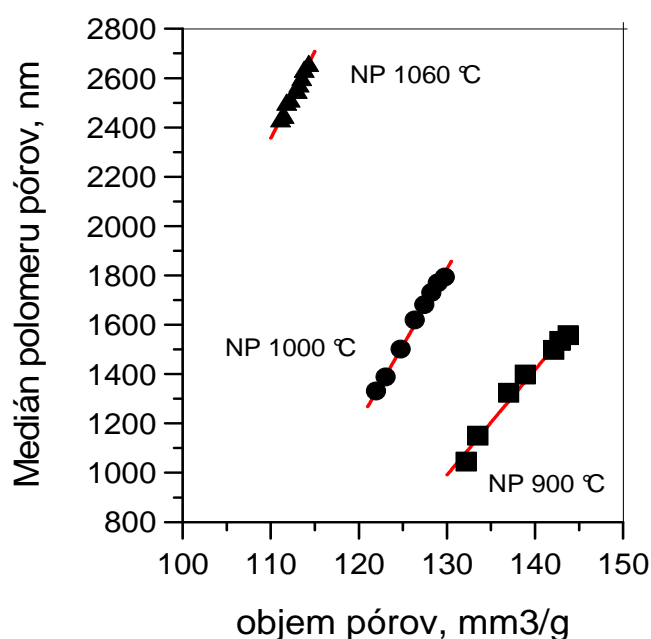
Obr. 3.: Závislosť objemu pórov od počtu zmrazovacích cyklov



Obr. 4.: Závislosť objemu pórov od ich priemeru pri rôznom počte zmrazovacích cyklov (teplota výpalu – 1000 °C)

počtu zmrazovacích cyklov od priemeru 1,5 μm smerom k menším pórom objem malých pórov (mikropóry) klesá a naopak, od tohto priemeru smerom k väčším pórom objem veľkých pórov (makropóry) rastie. Po 120-tich zmrazovacích cykloch celkový objem pórov síce vzrástol len o 5,7 %, naproti tomu hodnota mediánu polomeru pórov vzrástla až o 33 %.

Aj v rámci tohto výskumu sa potvrdila už známa skúsenosť, že medzi objemom pórov a mediánom polomeru pórov existuje lineárna závislosť, pozri obr. 5.



Obr. 5.: Závislosť medzi mediánom polomeru pórov a objemom pórov

6. Záver

Na základe dosiahnutých výsledkov, ktorých cieľom bolo posúdenie vplyvu zmrazovacích cyklov na tehliarsky črep, môžeme konštatovať, že uvedené výsledky potvrdzujú nielen prvé publikované poznatky [1], ale súčasne ich aj rozširujú o nové.

Pri tehliarskych črepoch, ktoré boli vypálené pri teplotách 1000 a 1060 C, už nebol sledovaný tak výrazný vplyv zmrazovacích cyklov na zmenu pórovej štruktúry, ako pri teplote výpalu 900°C. S rastom vypaľovacej teploty klesal napríklad celkový objem tých pórov, ktoré boli pred začiatkom zmrazovacích cyklov tlakovou ortuťovou porozimetriou ešte nemerateľné. Podobne sa to týka

aj mediánu polomeru pórov. Je to spôsobené pravdepodobne tým, že steny črepu medzi pórami sú pevnejšie so zvyšujúcou sa teplotou výpalu.

Pod'akovanie

Tento príspevok bol pripravený v rámci projektu VEGA č. 1/0538/08 - Monitorovanie pórovej štruktúry tehliarskeho črepu počas zmrazovania a rozmrazovania.

Literatúra

- [1] ŠVEDA, M.: Pore structure of clay roofing tile in freezing and thawing process. In: 12th International Scientific Conference, April 20-22, 2009 Brno, Czech Republic
- [2] ŠVEDA, M., SOKOLÁŘ, R., NEVŘIVOVÁ, L.: Zmena pórovej štruktúry tehliarskeho črepu vypáleného pri teplote 900 °C v priebehu zmrazovacích cyklov. In: Konferencie Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2009. 6.-7.října 2009, Fakulta stavební VUT v Brně, str. 374-378

Kontakt

Prof. Ing. Mikuláš Šveda, PhD., tel: 00421 259 274 684, e-mail: mikulas.sveda@stuba.sk, Katedra materiálového inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Doc. Ing. Radomír Sokolář, PhD., tel: 00420 541 147 510, e-mail: sokolar.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. Lenka Nevřivová, PhD., tel: 00420 541 147 510, e-mail: nevrivova.l@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**STABILITA TEPELNĚ TECHNICKÝCH
VLASTNOSTÍ DESKOVÝCH KOMPOZITŮ
ZA VYSOKÝCH TEPLŮT**

**THE STABILITY OF THERMAL PROPERTIES
OF PLATE COMPOSITES
AT HIGH TEMPERATURES**

**Jan Toman, Tomáš Korecký,
Michal Frank, Robert Černý**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
VÚSTAĤ – Výzkumný ústav stavebních hmot

Anotace:

V článku je popsáno měření tepelně technických vlastností kompozitních deskových materiálů, které byly předem vystaveny vysokým teplotám.

Annotation :

The article describes measurement of the thermal properties of composite board materials, which have been previously exposed to temperatures stress.

Klíčová slova: kompozitní materiály, tepelně technické materiálové parametry, namáhání vysokými teplotami

Keywords: composite materiály, heat-technical parameters of the material, high temperature stress

1. ÚVOD

V dnešní době se často využívají deskové materiály jako obklady konstrukcí. Jedná se o dva základní efekty, které má obklad přinést:

1. Estetická úprava povrchu.

2. Ochrana vlastní konstrukce proti vnějším škodlivým vlivům, tj. např. proti mechanickému, nebo chemickému či fyzikálnímu namáhání. Ve stavební praxi se často používá obkladových desek pro zvýšení protipožární bezpečnosti.

Pro zlepšení mechanických vlastností se s výhodou používají kompozitní materiály. Aby se posoudila kvalita protipožární ochrany desek, bylo rozhodnuto sledovat jejich tepelně technické materiálové parametry [1].

2. POPIS MATERIÁLOVÝCH VZORKŮ

Z VÚSTAH Brno nám byly dodány vzorky čtyř deskových materiálů:

PROMATECT – bílý materiál, deska tloušťky 3 cm .

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

SÁDROKARTON – bílý mat., deska tloušťky 2 cm.

FERMACELL – růžový mat., deska tloušťky 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.

3. METODIKA MĚŘENÍ

Pro určení teplotní stability tepelně technických vlastností se provádělo měření na destičkách z dodaných materiálů přístrojem IZOMET 2114, kterým je možno stanovit **součinitel tepelné vodivosti a objemovou tepelnou kapacitu** (součin měrné tepelné kapacity s objemovou hmotností) [2]. A protože lze předpokládat, že ty se budou částečně měnit s teplotou [3], proměřovaly se tyto parametry po teplotních šocích, kterým se nejprve materiál vystavil.

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):

- | | |
|---|---------|
| ▪ normální teplota | 25 °C |
| ▪ vysoušení | 110 °C |
| ▪ střední zahřátí | 250 °C |
| ▪ vyšší zahřátí – pod 1. kritickou teplotu | 450 °C |
| ▪ vyšší zahřátí – mezi 1. a 2. kritickou teplotou | 550 °C |
| ▪ vysoké zahřátí – nad 2. kritickou teplotou | 750 °C |
| ▪ maximální teplotní namáhání | 1000 °C |

4. POPIS MĚŘENÍ

Měření probíhalo tak, že se vytvořily skupiny vzorků tak, aby se mohl posoudit vliv postupného zvyšování teploty tj. opakované teplotní namáhání či zahřátí přímo na vysokou teplotu (viz tabulky v elektronické verzi, kde 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 po dobu 7 dnů (do konstantní hmotnosti), skupina vzorků 9 – 16 byla teplotně namáhána přímo z ustálené vlhkosti.

Pro desky na bázi sádry byla teplota vysoušení snížena ze 110 °C na 70 °C, aby pokud možno nenastala přeměna dihydrátu v henihydrát – viz plán měření.

Tabulka 1.: Plán měření

Teplota	110(70)	250	450	550	750	1000
Vzorky	1,2,3	1,2,4	1,2,5	1,2,6,3	1,2,7,4	1,2,8,5
	9,10,11	9,10,12	9,10,13	9,10,14,11	9,10,15,12	9,10,16,13

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 proměření tepelně technických vlastností došlo po vychladnutí vzorků na cca 30 – 25 °C.

5. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V první fázi byly proměřeny vzorky z desek protipožárních obkladů: materiály **Fireboard** a **Promatect**. Teprve později byly rozšířeny zkoušky na obkladové materiály na bázi sádry **Sádrokarton** a **Fernakoll**.

Pro všechny materiály jsou výsledky měření zpracovány v tabulkách kde je možno podle stínování rozpoznat teploty, na kterých byly jednotlivé vzorky teplotně namáhány. Pro nedostatek místa zde uvádíme pouze tabulkové zpracování pro materiál Fireboard. Pro ostatní materiály jsou tabulky analogické.

Tabulka 2.: Naměřené hodnoty jsou zpracovány v EXCEL EDITORU.

Šedý Fireboard							
Označení vzorku		hmot.	hmot. úbytek	lambda	c.p	a	T
		g	%				°C
1	Nevysušené	100,8	100				
	vysušeno na 110°C	85,20	84,52	0,126	0,513	0,246	
	3hod. na 250°C	86,30	85,62	0,128	0,474	0,269	
	3hod. na 450°C	84,90	84,23	0,135	0,560	0,241	31,72
	3 hod. na 550°C	83,10	82,44	0,176	0,525	0,335	
	3 hod. na 750°C	81,70	81,05	0,186	0,748	0,249	
	3 hod. na 1000°C	78,50	77,88	0,274	0,802	0,342	29,97
2	Nevysušené	99,50	100,00				
	vysušeno na 110°C	84,30	84,72	0,120	0,539	0,223	
	3hod. na 250°C	86,40	86,83	0,107	0,478	0,224	30,34
3	Nevysušené	103,00	100,00				
	vysušeno na 110°C	88,00	85,44	0,136	0,695	0,196	
	3hod. na 450°C	87,10	84,56	0,140	0,626	0,224	33,23
4	Nevysušené	117,30	100,00				
	vysušeno na 110°C	100,10	85,34	0,124	0,757	0,164	
	3 hod. na 550°C	97,70	83,29	0,182	0,829	0,220	
5	Nevysušené	92,20	100,00				
	vysušeno na 110°C	78,90	85,57	0,120	0,523	0,229	31,38
	3 hod. na 750°C	75,20	81,56	0,187	0,694	0,269	
6	Nevysušené	103,40	100,00				
	vysušeno na 110°C	88,30	85,40	0,119	0,532	0,224	30,73
	3 hod. na 1000°C	81,60	78,92	0,260	0,562	0,463	26,50
7	Nevysušené	102,60	100,00				
	vysušeno na 110°C	86,90	84,70	0,144	0,469	0,308	34,10
	3hod. na 250°C	90,10	87,82	0,105	0,504	0,209	31,20
	3 hod. na 550°C	85,60	83,43	0,161	0,460	0,351	
8	Nevysušené	99,50	100,00				
	vysušeno na 110°C	84,90	85,33	0,122	0,732	0,167	31,36
	3hod. na 450°C	85,70	86,13	0,118	0,681	0,173	33,81
	3 hod. na 750°C	80,80	81,21	0,181	0,885	0,205	
	3 hod. na 1000°C	78,70	79,10	0,264	0,948	0,279	
9	Nevysušené	101,30	100,00				
	Nesušené	101,20	99,90	0,296	0,696	0,425	
	3hod. na 250°C	94,90	93,68	0,186	0,579	0,321	
10	Nevysušené	97,60	100,00				
	Nesušené	97,50	99,90	0,257	0,574	0,448	

	3hod. na 450°C	84,40	86,48	0,110	0,408	0,270	32,67
11	Nevysušené	99,00	100,00				
	Nesušené	99,10	100,10	0,294	1,280	0,230	
	3 hod. na 550°C	82,60	83,43	0,187	0,815	0,230	
12	nevysušené	98,50	100,00				
	nesušené	98,40	99,90	0,265	1,250	0,212	
	3 hod. na 750°C	80,20	81,42	0,190	0,788	0,241	
13	nevysušené	101,00	100,00				
	nesušené	100,90	99,90	0,252	0,609	0,414	
	3 hod. na 1000°C						
14	nevysušené	98,70	100,00				
	nesušené	98,50	99,80	0,291	1,300	0,224	
	3hod. na 250°C	90,30	91,49	0,135	0,834	0,162	32,46
	3 hod. na 550°C	81,60	82,67	0,166	0,816	0,203	
15	nevysušené	101,60	100,00				
	nesušené	101,50	99,90	0,248	0,722	0,343	
	3hod. na 450°C	87,60	86,22	0,104	0,424	0,246	33,39
	3 hod. na 750°C	82,30	81,00	0,167	0,508	0,328	
16	nevysušené	100,20	100,00				
	nesušené	100,20	100,00	0,242	0,637	0,380	
	3 hod. na 1000°C	78,90	78,74	0,248	0,565	0,439	25,99

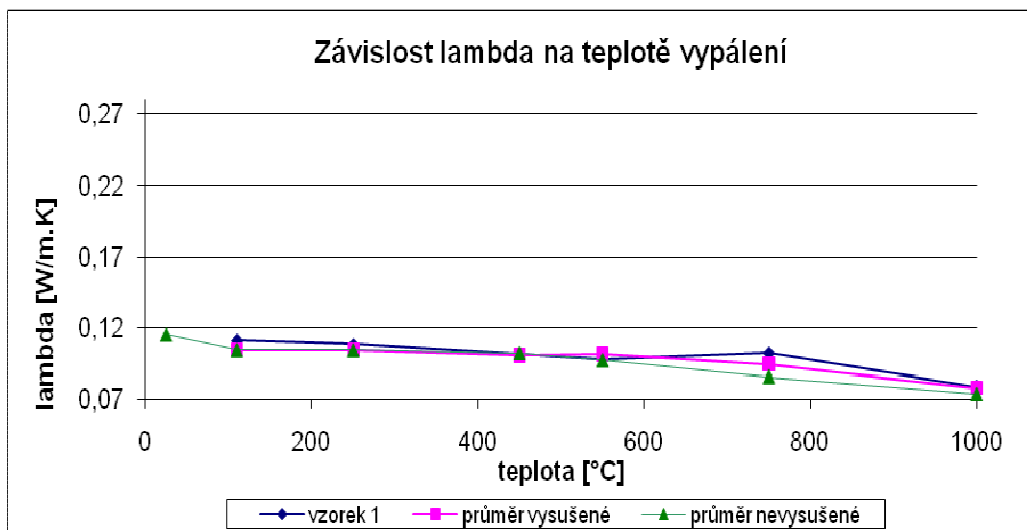
6. ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ A DISKUSE

Změny jednotlivých proměřovaných veličin - tj. úbytek hmotnosti, součinitel tepelné a teplotní vodivosti a objemová tepelná kapacita naměřených na jednotlivých materiálových vzorcích byly vyneseny do grafů v závislosti na teplotě vypálení. Z těchto grafů je velmi dobře vidět, jaké trvalé změny jednotlivých veličin (vlastností) teplotní zatížení materiálů způsobí.

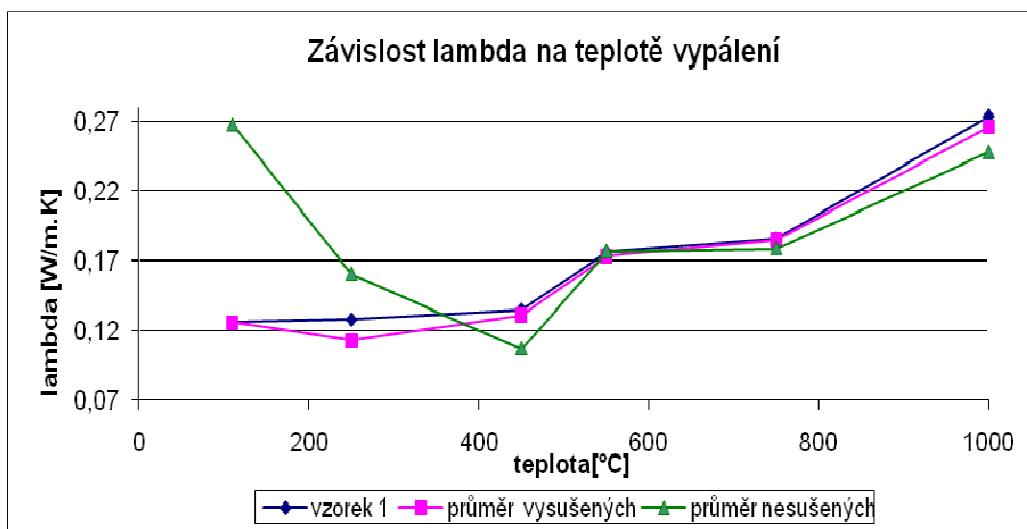
Pro názornost zde uvádíme pouze grafické zpracování závislosti součinitele tepelné vodivosti λ na teplotě vypálení pro materiál.

Na jednotlivých grafech je vždy jedna křivka (vzorek 1), která zaznamenává průběh dané závislosti naměřené na vzorku, který byl průběžně zatěžován navyšujícími se teplotami, druhá křivka (průměr vysušených) vyjadřuje průměrné hodnoty všech vzorků, které byly předem vysušené a třetí křivka (průměr nevysušených) je ze vzorků, které byly proměřovány bez předchozího vysušení na 110 °C (70°C).

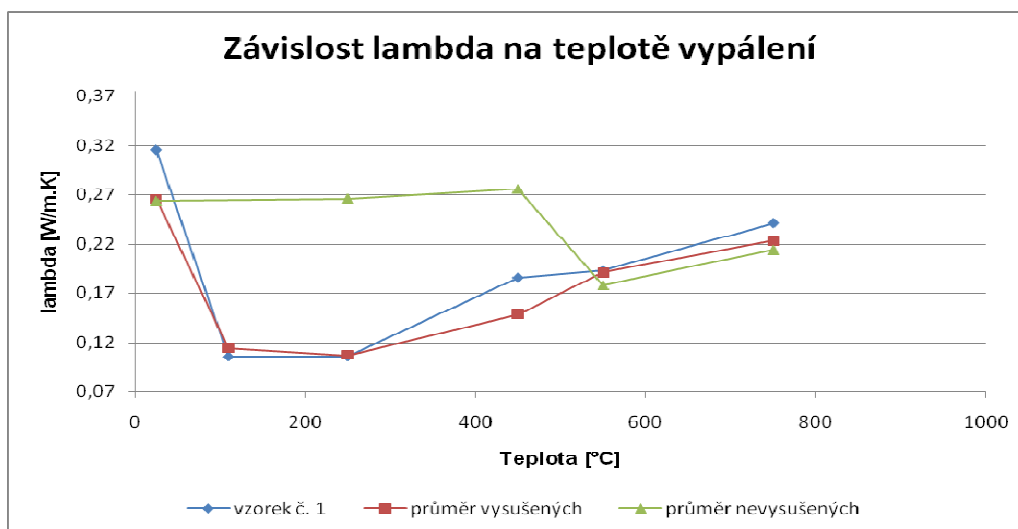
Na dalších grafech (které jsou uvedeny v pracovní verzi a zde nejsou uvedeny pouze pro nedostatek místa) je dále vyneseno: úbytek hmotnosti při vypékání, objemová měrná tepelná kapacita, součinitel teplotní vodivosti.



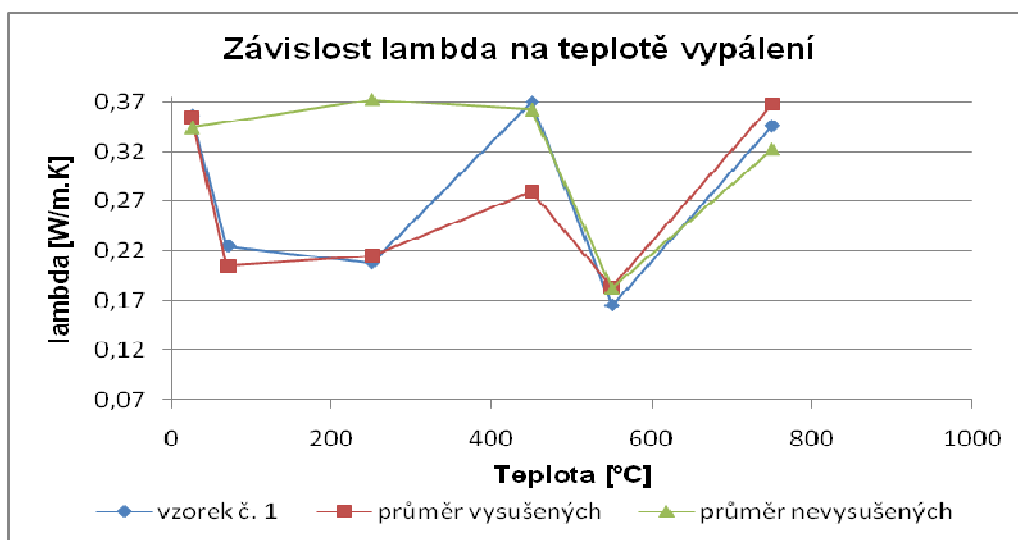
Obr.1 **PROMATECT** – bílý



Obr.2 **FIREBOARD** – šedý



Obr.3 SÁDROKARTON – bílý



Obr.4 FERMACELL - růžový

7. ZÁVĚR

Porovnáním těchto grafů můžeme konstatovat, že součinitel tepelné vodivosti materiálu PROMATECT je poměrně stabilní s mírně klesající tendencí a jsou nepatrné rozdíly jeho hodnot v závislosti na počátečních podmínkách, ve kterých se začal materiál sledovat.

Oproti tomu materiál FIREBOARD vykazoval silněji stoupající tendenci v nárůstu hodnot součinitele tepelné vodivosti s nárůstem vypalovací teploty. Byl zde pozorován větší vliv počátečního vysušení- tedy vliv vlhkosti u nevysušených vzorků na součinitel tepelné vodivosti.

Při proměřování deskových materiálů na bázi sádry (SÁDROKARTON a FERMACELL) byly naměřeny hodnoty poněkud vyšší, než u protipožárních materiálu. Byl pozorován také větší vliv počátečního vysušení. To vše je v souladu s teorií, že při zvyšování teploty dochází ke strukturálním změnám, které plynou z chemické přeměny dihydrátu v hemihydrát či dokonce v anhydrit síranu vápenatého. Tyto přeměny nastanou už při teplotách okolo 100 °C. Při teplotách nad 500 °C lze předpokládat, že je již uvolněna veškerá chemicky vázaná voda. To ovšem způsobí ztrátu pevnosti a celková struktura se mění v lisovaný prach. Proto také již nemohly být proměřeny všechny vzorky při vysokých teplotách (850 a 1000°C).

Porovnáváme-li grafy relativního úbytku hmotnosti, můžeme konstatovat, že pro nižší teploty (do 500°C) je stabilnější materiál PROMATECT, ale změny při vysokých teplotách jsou větší než u FIREBOARDU.

Při sledování součinitele teplotní vodivosti a objemové tepelné kapacity obou materiálů opět můžeme vidět, že určitý zlom nastává kolem teploty 500°C. Zajímavá je celková tendence poklesu objemové tepelné kapacity u PROMATECTU, kdežto u FIREBOARDU se pozoroval mírný nárůst.

Jednoznačně se ale ukázalo, že u předem vysušených materiálu je u všech sledovaných veličin menší rozptyl naměřených hodnot.

Závěrem je možno konstatovat, že pokud jde o hodnocení tepelně technických materiálových parametrů, jsou oba protipožární materiály srovnatelné. Snad jenom to, že součinitel tepelné vodivosti byl naměřen u bílého materiálu PROMATECT nepatrně nižší a i celkové strukturální stabilita byla u tohoto materiálu pozorovány lepší – i vizuální estetický dojem – dává důvod k tomu, že použití desek z tohoto materiálu jako protipožárních obkladů je výhodnější.

Obkladové desky na bázi sádry jsou z protipožárního hlediska nevhodné. Hlavní nepříznivý faktor je zde ale strukturální nestabilita sádry při vyšších teplotách. Při měření se ale ukázalo, přibližně do 450 °C i sádrové desky mají jistý ochranný, účinek.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu MPO č. FR-TI1/216 a VZ MŠMT MSM 6840770031.

Literatura

- [1] TOMAN J., SEMERÁK P.: Fyzika 10 - Praktická cvičení, ČVUT Praha 2001
- [2] TOMAN J.: Vliv teploty a vlhkosti na fyzikální parametry stavebních materiálů.
- [3] Disertační práce DrSc. ČVUT Praha 1992
- [4] CARSLAW, JAEGER: Conduction of heat in solids. Oxford. 1959.
- [5] KREMPASKÝ J.: Meranie termofyzikálných veličín. SAV Bratislava. 1969.

Kontakt

Prof. Mgr. Jan Toman, DrSc., Ing. Tomáš Korecký, Prof. Ing. Robert Černý, DrSc., ČVUT, Fakulta stavební, katedra materiálového inženýrství a chemie, Thakurova 7, 166 29 Praha 6,

Ing. Michal Frank, VÚSTAH – Výzkumný ústav stavebních hmot, Hněvkovského 11/65, 617 00 Brno

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

LOMOVÉ VLASTNOSTI PÁLENÉ PÓROVITÉ KERAMIKY

FRACTURE PROPERTIES OF POROUS CERAMIC BODY

Miroslav Vokáč, Petr Bouška

Kloknerův ústav ČVUT v Praze

Anotace:

Lomové vlastnosti pórovité keramiky patří dosud k málo známým charakteristikám tohoto materiálu. V rámci výzkumných prací byla experimentálně odvozena lomová energie vybraných cihelných bloků obdobným postupem jako s postupem uvedeným v Doporučení RILEM pro zkoušení betonu. Doprovodnými zkouškami byly rovněž stanoveny další základní materiálové vlastnosti.

Annotation:

Fracture properties of porous ceramics belong to the insufficiently known characteristics of this material. Fracture energy G_f of Porotherm flat clay blocks 30 CB were determined in accordance with RILEM Recommendation for concrete. Modulus of elasticity and strength of bricks were determined too.

Klíčová slova: keramika, lomová energie G_f , pórovitý cihelný střep

Keywords: ceramics, fracture energy G_f , porous ceramic body

1. Úvod

Keramický materiál vzniká výpalem vhodné suroviny. Tradiční keramické materiály vycházejí zpravidla z přírodních surovin. Náleží k nim jak pórovina či bělnina, tak cihlářské výrobky. Obsahují jak plastické přírodní zeminy, tak neplastické suroviny tzv. ostřiva a taviva. Základem plastických surovin ve výchozích směsích póroviny či bělniny jsou většinou kaolinitické jíly či kaoliny. Neplastické suroviny tvoří křemen a živec či vápenec, častými

příměsemi jsou slídy. Cihlářské výrobní směsi jsou tvořeny jílovými zeminami, které obsahují vedle jílových minerálů (např. illitu, montmorillonitu či chloritů, nebo i kaolinitu či jejich směsí) ostřící příměsi jako jsou částice křemene, křemence, živce a často také vápence a destičky slídy (muskovitu a biotitu či jejich různě hydratované formy). Doprovodnými příměsemi jsou obvykle inertní korekční suroviny, vylehčující spalitelné látky apod. Různé keramické materiály se liší nejen surovinou a technologií výroby (zejména výpalu), ale i způsobem použití materiálu ve stavební nebo strojní konstrukci. Proto se volí různé přístupy lomové mechaniky a různé metody zkoušení lomových vlastností keramiky.

V posledních desetiletích byl zaznamenán velký pokrok v oblasti materiálových modelů pro beton, které zahrnují nejen nelineární pracovní diagram materiálu, ale i vznik a šíření trhlin.

Stavební keramika z cihelného střepu je materiál kvazi-křehký, který vyžaduje složitější nelineární modely, které se rozvinuly pro beton. Používané zkušební postupy je nutné obvykle individuálně přizpůsobit pro konkrétní keramický výrobek.

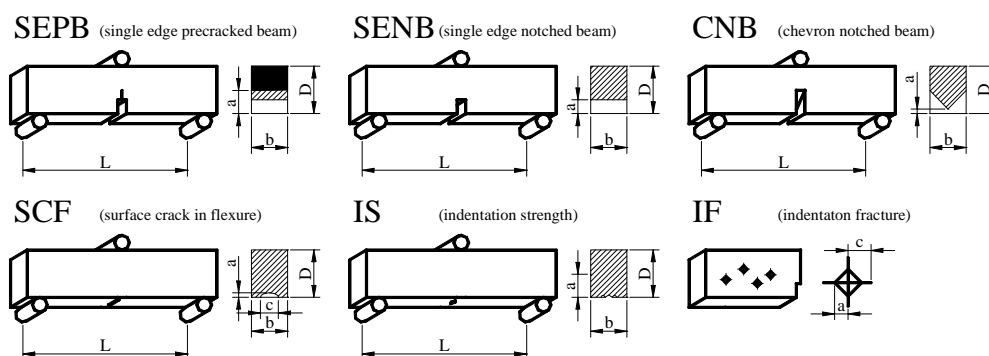
U jemnozrnné keramiky byl zjištěn vliv velikosti (size effect), který je typický pro kvazi-křehké materiály [1, 2]. Pro aplikace obdobných materiálových modelů pro keramiku ale chybí dostatek experimentálních výsledků pro odvození materiálových parametrů.

Úspěšný rozvoj numerickým metod pro řešení nelineárních úloh mechaniky v betonu a jeho kvazi-křehkého porušování tohoto materiálu vede k aplikaci podobných modelů pro zděné konstrukce. Zdivo je ovšem daleko složitějším materiálem než beton s ohledem na uspořádání ložných a styčných spár. Z toho důvodu se volí různé metody homogenizace, které pro řešení vlastní zděné konstrukce zjednodušují model. Důležitým parametrem pro nelineární analýzu kvazi-křehkého porušování je lomová energie, a to nejen u pórovitého keramického materiálu, z kterého jsou vyráběny cihelné zdicí prvky.

2. Metody zkoušení lomových parametrů keramiky

Keramika má v porovnání s betonem mnohem menší zrna. Některé keramické výrobky, jako jsou keramické zdicí bloky složitého tvaru, neumožňují volbu ve velikosti zkušebních těles. U jemnozrnných keramických materiálů se většinou přistupuje k lineárnímu elastickému lomovému modelu (LEFM). V současnosti vznikají evropské normy pro zkoušení lomové houževnatosti keramiky, které jsou určeny především právě pro speciální technickou keramiku. Jedná se o normu ČSN P CEN/TS 14425. Lomová houževnatost se u keramiky zkouší v tříbodovém ohybu. Způsob zhotovení vrubu se může lišit a proto se rozlišuje několik typů zkoušek (obr. 1), [3]. Pro zkoušku SEPB (single edge precrack beam) je trhlina připravena pomocí předchozího zatěžování, tento

způsob ale vyžaduje dokonalé řízení zkoušky deformací a vzniklá trhlinka nemusí být ideálního tvaru. Proto se častěji připravuje vrub diamantovým kotoučem. Pokud je vrub přímý, jedná se o zkoušku **SENB** (single edge notched beam), ale pro iniciaci trhliny je důležité, aby šířka připraveného vrubu nebyla větší než velikost zrna keramiky. U jemnozrnné keramiky se proto vrub upravuje honováním a diamantovou pastou ve speciální pile. Vznikne tak vrub, který má tvar V. Takto lze dosáhnout poloměru zakřivení hrotu vrubu až 25 μm . Zkouška vzorku s úpravou vrubu do tvaru V se nazývá **SEVNB** (single edge V-notched beam). Další možností je použít zářez typu chevron (**CNB**) nebo s povrchovou trhlinou (**SCB**) eliptického tvaru.



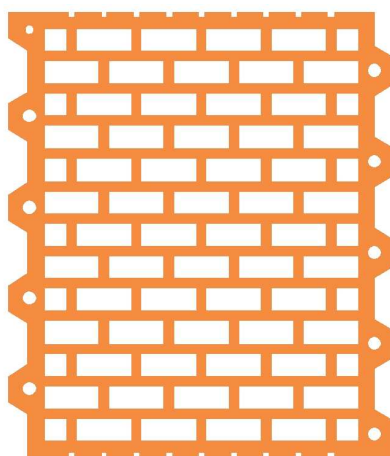
Obr. 1.: Schématické znázornění metod pro stanovení lomové houževnatosti keramiky

Lomová houževnatost může být stanovena metodou *IS*, kdy se připraví vrub vtiskem Vickersovým indentorem. Houževnatost lze také zkoušet přímo Vickersovým tvrdoměrem (*IF*), metoda je použitelná hlavně pro srovnávání houževnatostí stejného typu materiálu. Metody *IS* a *IF* nejsou vhodné pro keramiku s vysokou houževnatostí nebo pórovitou keramiku, např. cihelný stěp.

Při stanovení G_f z vlivu velikosti se provedou zkoušky na několika sériích (doporučení RILEM [4], minimálně 3 série) se zkušebními vzorky, které jsou geometricky podobné, tj. mají rozdílné rozměry. Je třeba zajistit geometrickou podobnost vzorků ve všech rozměrech, tj. nejen délky a výšky vzorku, vzdálenost podpor a břemen, ale i vrubu. Odvození lomové energie z vlivu velikosti není náročné na zkušební systém, protože není vyžadováno řízení zatěžování se zpětnou vazbou.

3. Cihelný blok 30 CB

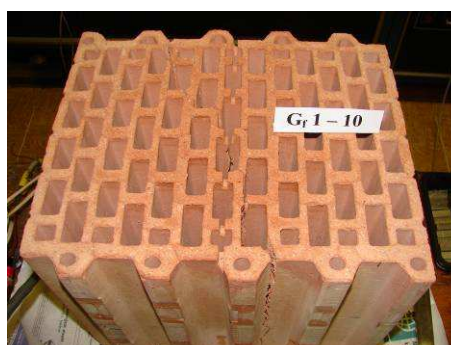
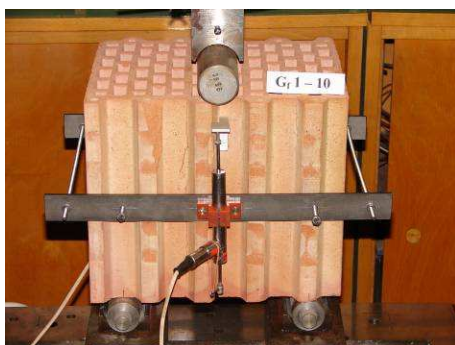
Cihelný blok 30 CB (obr. 1) podle katalogového listu je broušená cihla, určená pro omítané jednovrstvé vnitřní i vnější nosné zdivo tloušťky 300 mm. Lze ji též použít pro vnitřní nosnou část vrstveného zdiva v kombinaci s tepelnou izolací a případně s dalšími cihelnými materiály. Blok má rozměry d/š/v 247/300/249 mm, rovinnost ložných ploch 0,4 mm, objemovou hmotnost 800-850 kg/m³, hmotnost 15,4 kg a pevnost 10 N/mm².



Obr. 2.: Cihelný blok 30 CB

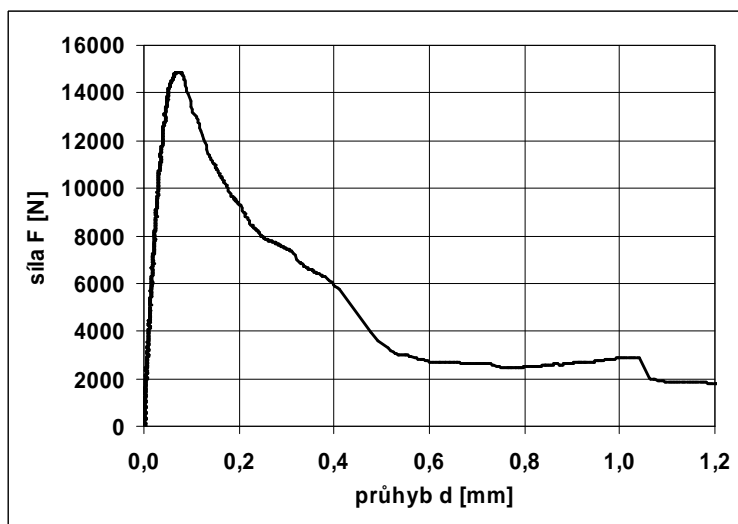
4. Lomová energie bloku POROTHERM 30 CB

Analogickým postupem podle Doporučení RILEM pro zkoušení betonu byla stanovena lomová energie G_f bloků 30 CB zkouškou v tříbodovém ohybu.

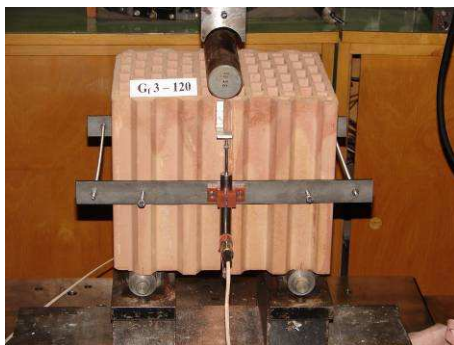


Obr. 3, 4.: Zkouška lomové energie (vrub 10 mm); lom bloku po zkoušce

Lomová energie je definována jako energie potřebná ke vzniku trhliny s jednotkovou plochou. Obvykle se zkouší v tříbodovém ohybu na vzorku s vrubem. U složitějších cihlářských výrobků s množstvím dutin a děrování je její stanovení obtížnější s ohledem k obtížněji definované lomové ploše.



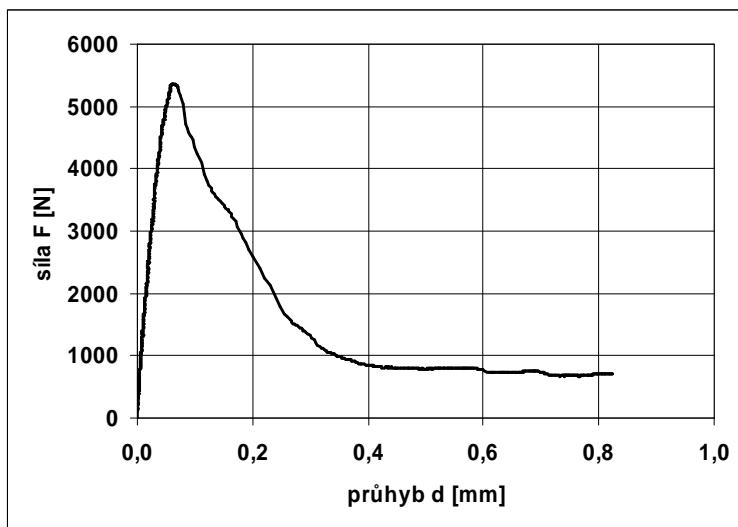
Obr. 5.: Diagram $F. d$ při zkoušce G_f s vrubem 10 mm – blok 30 CB



Obr. 6, 7.: Zkouška lomové energie (vrub 120 mm); lom bloku po zkoušce

Byly zkoušeny dvě sady bloků, tři bloky s vrubem hloubky 10 mm a tři bloky s vrubem 120 mm. Vzdálenost podpor 220 mm, konstantní rychlost zatěžování v průběhu celé zkoušky byla zvolena 0,05 mm/min. Zkouška vyžaduje zkušební systém s možností řízení se zpětnou vazbou, aby bylo možno získat věrohodné výsledky.

Na obr. 2, 4 je zobrazeno uspořádání zkoušky lomové energie G_f střepu cihelného bloku POROTHERM 30 CB s hloubkou vrubu 10, resp. 120 mm. Získané $F \cdot d$ diagramy jsou na obr. 5 a 7. Při zkoušce celého keramického výrobku je důležité, aby byla dobře definována lomová plocha pro výpočet energie (obr. 3, 6).



Obr. 8.: Diagram $F \cdot d$ při zkoušce G_f s vrubem 120 mm - bloku 30 CB

Pokud nevznikne ideální lomová plocha, zkoušku nelze vyhodnotit. V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty lomových energií G_f . Lomová energie cihelného bloku s vrubem 10 mm je cca 2,8 x větší než u bloku s vrubem 120 mm.

Tabulka 1.: Lomové energie G_f cihelných bloků s vrubem 10 mm, 120 mm

Vzorek	G_f N/mm	Vzorek	G_f N/mm
1 - 10 mm	0,363	1 - 120 mm	0,101
2 - 10 mm	0,270	2 - 120 mm	0,156
3 - 10 mm	0,501	3 - 120 mm	0,155
Průměr	0,378	Průměr	0,138

Pokud nevznikne ideální lomová plocha, zkoušku nelze vyhodnotit. V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty lomových energií G_f . Lomová energie cihelného bloku s vrubem 10 mm je cca 2,8 x větší než u bloku s vrubem 120 mm.

5. Pevnost a modul pružnosti bloku POROTHERM 30 CB

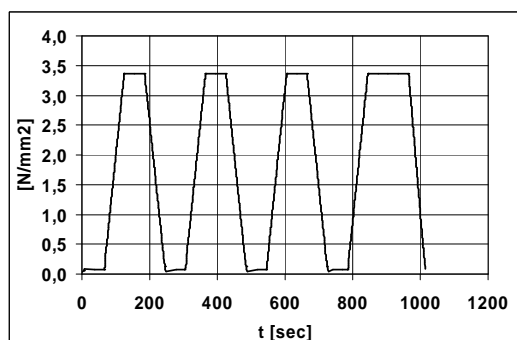
Doprovodnými zkouškami byly zjištěny další základní materiálové vlastnosti: pevnost v tlaku a statický modul pružnosti. Zkouška pevnosti byla stanovena podle ČSN EN 772-1 ve stavu přirozené vlhkosti v laboratorním prostředí (tab. 2). Průměrná pevnost dosáhla $11,5 \text{ N/mm}^2$, objemová hmotnost 835 kg/m^3 .

Tabulka 2.: Pevnost f_c a objemová hmotnost γ bloku POROTHERM 30 CB

Vzorek	Hmotnost [kg]	F_c [kN]	f_c [N/mm^2]	γ [kg/m^3]
1	15542	912	12,2	837
2	15593	908	12,2	838
3	15491	773	10,3	831
4	15597	863	11,6	839
5	15539	884	11,8	834
6	15545	806	10,8	832
Průměr	15551	858	11,5	835

Statický modul pružnosti byl určen analogickým postupem platným pro beton podle ČSN ISO 6784. Hodnota modulu pružnosti se stanovuje jako poměr přírůstků napětí a poměrných přetvoření z posledního zatěžovacího cyklu, kde základní hodnota napětí byla rovna $0,1 \text{ N/mm}^2$, horní mez je rovna jedné třetině pevnosti, tj. $3,4 \text{ N/mm}^2$.

Na obr. 8 je uvedeno uspořádání zkoušky statického modulu pružnosti bloku POROTHERM 30 CB. Poměrné přetvoření bylo měřeno dvojicí extenzometrů s bází 150 mm osazených na dvou protilehlých stranách bloku. Časový průběh zkoušky je na obr. 9. Průměrná hodnota modulu pružnosti tří vzorků je rovna 4376 N/mm^2 (tab. 3).



Obr. 9, 10.: Zkouška modulu pružnosti; časový průběh napětí při zkoušce

Tabulka 3.: Statický modul pružnosti E_b bloku POROTHERM 30 CB

Vzorek	E_b [N/mm ²]
1	4351
2	4434
3	4343
Průměr	4376

6. Závěr

Lomová energie G_f cihelných bloků POROTHERM 30 CB patří k nestandardním charakteristikám pálené pórovité keramiky. Byly určeny analogickým postupem, jako uvádí Doporučení RILEM pro beton. Předložené výsledky jsou dílčím výsledkem širšího výzkumného programu zaměřeného na keramiku.

Literatura

- [1] BAŽANT, Z.P. Concrete fracture models: testing and practice. In *Engineering Fracture Mechanics*. No. 69, 2002, pp. 165-205. ISSN 0013-7944.
- [2] GOGOTSI, G.A. Fracture toughness of ceramics and ceramic composites. In *Ceramics International*. 2003, No. 29, pp. 777-784. ISSN 0272-8842.
- [3] MCKINNEY, K.R.; RICE, R.W.: Specimen size effect in fracture toughness testing of heterogeneous ceramics by the notch beam method. In: *Fract. Mech. Meth. for Cer., Rocks and Con.*. ASTM, 1981, pp. 118-126.
- [4] RILEM. RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. London : E&FN Spon, 1994. ISBN 0 419 18810X.

Poděkování

Příspěvek byl připraven za podpory projektu GA ČR 103/08/P608. Cihelné bloky 30 CB pro experimentální výzkum poskytla společnost Wienerberger cihlářský průmysl, a.s.

Kontakt

Ing. Miroslav Vokáč, Ph.D., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: vokac@klok.cvut.cz

Doc. Ing. Petr Bouška, CSc., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice, e-mail: bouska@klok.cvut.cz

ODSTRANĚNÍ SOLÍ DUSÍKU ZE ZDIVA POMOCÍ SMĚSI DENITRIFIKAČNÍCH BAKTERIÍ A ŘAS

REMOVAL OF NITROGEN SALTS FROM THE MASONRY BY MEANS OF THE MIXTURE OF DENITRIFICATION BACTERIA AND ALGAE

Richard Wasserbauer

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,

Anotace:

V příspěvku je uveden způsob odstranění solí dusíku ze zdiva pomocí směsi denitrifikačních bakterií, zelených řas a sinic. Poměr řas a bakterií je v aplikační směsi 1:1, vždy jeden druh bakterie a alespoň tři druhy řas, z nichž jedna je vždy Chlorella. Zdivo se bezprostředně po zaočkování překryje folií PE tloušťky 0,01 až 0,1 mm, která se ponechá na objektu po celou dobu expozice.

Annotation

The paper defines the way of removing the nitrogen salts by means of the mixture of denitrification bacteria, green and blue-green algae. The proportion of algae and bacteria in the application mixture is 1 : 1, always one sort of bacteria and at least three sorts of algae, of which one is always Chlorella. Immediately after inoculation the masonry is covered with the PE foil in thickness of 0.01 to 0.1 mm which will be left on the object during the entire exposure time.

Klíčová slova:

zelené řasy, sinice, denitrifikační bakterie, folie PE, glukóza, mléčnan sodný, elektromigrace hydrofobizace, imobilizace solí, specifická mikroflóra.

Keywords:

green algae, blue-green algae, denitrification bacteria, PE foil, glucose, sodium lactate, electromigration, hydrophobization, salts immobilization, specific microflora

1. Úvod

Redukce obsahu solí ve zdivu se dosud běžně provádí omytím pitnou vodou, očištěním povrchů zdiva parou pod mírným tlakem, odsolováním metodou falešného líce (velice pracné, možné pouze u malých ploch) a odsolováním absorpčními omítkami (nutné několikrát opakovat v delším časovém období) [1].

Mezi další často používané metody náleží odsolování elektromigrací (neúčinné na sole dusíku), dále odsolování hydrofobizací (metoda není účinná proti vztlínající vlhkosti a krystalizací solí za ošetřenou vrstvou) a imobilizací solí pomocí fluorokřemičitanu hořečnatého, zinečnatého a olovnatého. Tyto sloučeniny snižují rozpustnost a tedy migraci síranů, částečně chloridů ale jsou neúčinné u dusičnanů (Anti-Salz AS 06, ESCO-Fluat, AIDA Saltzpere aj. Rovněž další prostředky pro imobilizaci solí AIDA Sulfatex, Vandex Antisulfát jsou neúčinné [2].

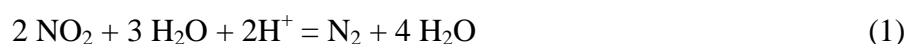
Podstatnou nevýhodou všech chemických metod je ta skutečnost, že sole ze stavebního kamene neodstraňují, ale pouze blokují tak, aby v kameni nemohly migrovat. Navíc uvedené metody používané k odstranění salinity zdiva se zabývají především blokováním síranů. Zmenšení koncentrace solí dusíku uvedené metody neuvažují, protože neexistují nerozpustné sloučeniny NO_3 a NO_2 . Opomíjí se ten fakt, že sole dusíku rozpouští povrch pískovců za vzniku K a Na ledků, ovlivňují tvorbu dalších škodlivých sekundárních minerálů a umožňují vstup kapalných a plyných škodlivin do hlubších vrstev kamene [3].

2. Odstranění solí dusíku pomocí specifické mikroflóry [4]

Na zdivo kontaminované dusičnany anebo dusitany se nanese v pitné vodě s 0,2% glukózy a/nebo mléčnanu sodného směs řas, sinic a denitrifikačních bakterií. Pro inokulaci zdiva se použije skupina řas se zástupci rodů *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Chroococcus*, *Ulothrix*, *Stichococcus*, *Microspora*, *Chlorella* spp. Jednotlivé řasy musí být v roztoku v koncentraci $1 \cdot 10^3$ až $1 \cdot 10^5$. Skupina denitrifikačních bakterií obsahuje druhy *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Paracoccus denitrificans*, *Bacillus licheniformis*. Jednotlivé bakterie musí být v mediu v koncentraci $1 \cdot 10^5$ až $1 \cdot 10^8$. Poměr řas a bakterií ve výsledné směsi je 1:1. Vždy jeden druh bakterie a alespoň tři druhy řas, jedna z nich je vždy *Chlorella*. Bezprostředně po inokulaci se pro uchování vlhkosti zdivo překryje folií PE tloušťky 0,01 až 0,1 mm.

Metoda se opírá o poznatek, podle kterého jsou za příznivých vlhkostních a nutričních podmínek na stavebním kameni téměř vždy přítomny buňky chemoorganotrofních bakterií a řas. Relativně časté jsou asociace řas a chemoorganotrofních bakterií (např. řasa *Chlorella* sp. a bakterie

Pseudomonas, Micrococcus, Bacillus spp. aj.) nebo řas a plísní (řasa Chlorella sp. spolu s plísněmi Aspergillus, Penicillium, Cladosporium spp.). Rovněž buňky denitrifikačních bakterií se velmi často vyskytují za přítomnosti různých druhů řas, které jim poskytují příznivé vlhkostní mikroklima, polysacharidy, aminokyseliny a další produkty fotorespiračního procesu, které bakterie využívají pro svůj růst. Bakteriální proces denitrifikace končící uvolněním N₂ a řízený fakultativními anaerobi případně aerobi, probíhá podle následující souhrnné rovnice:



Za nepřítomnosti O₂ je denitrifikace silnější. Jestliže je v prostředí dostatek organických látek jako donoru H⁺ pro redukci NO₃, pak reakce probíhá i za přítomnosti O₂.

Řasy jsou přizpůsobeny růstu i ve velmi extrémních podmínkách [5]. Adaptační systémy jsou nejrůznějšího charakteru. Mimo tvorby klidových stadií, je to zejména tvorba slizových obalů a pochev, změna viskozity protoplazmy, změna struktury buněčných stěn a přítomnost doplňkových pigmentů. Řasy velmi dobře snášejí vyschnutí (až několik desítek let). Na stavebních fasádách nazýváme takovéto spíci, nekultivovatelné mikroskopické formy poikilotrofními organizmy (syndrom „Šípkové Růženky“). V aridních podmínkách (fasády stavebních objektů) je pro řasy důležitá schopnost rychlého obnovení životní činnosti i po slabém zvlhčení. Po takovéto iniciační periodě se řasy rychle vrací do formy biofilmu a okamžitě počínají produkovat řadu metabolitů. Protože podobně jako rostliny vytváří fytohormon kyselinu abscisovou, která u rostlin zvyšuje odolnost proti stresu, jsou zvláště odolné proti vysoké salinitě a nízkému pH (pH 3).

Jako ukázkou vlivu mikrobiálního osídlení na koncentraci NO₃ uvádíme vztah mezi hodnotami dusičnanů a množstvím chemoorganotrofních bakterií ve zdivu [6]:

Tabulka 1.: Vliv mikrobiálního osídlení na celkovém množství dusičnanů ve zdivu hospodářských stájových objektů.

celkové množství bakterií v 1 g zdiva	NO ₃ ⁻ mg.g ⁻¹	vlhkost zdiva U (%)
10 ²	178,-	9,3
10 ³	206,-	12,4
10 ⁴	149,-	9,7
10 ⁵	7,5	11,5
10 ⁶	23,5	9,4

Při práci byla na zdivu vyhledávána místa, kde celkový počet bakterií odpovídal požadovaným hodnotám 10^2 až 10^6 a kde množství dusičnanů v závislosti se stoupajícím množstvím bakterií mělo (přibližně) klesající hodnoty

3. Metoda pro odstranění solí dusíku ve zdivu [4]

3.1. Kultura bakterie *Paracoccus denitrificans* se vypěstuje na masopeptonovém agaru (MPA) o následujícím složení: pepton 5g, masový extrakt 3g, KNO_3 1g, destilovaná voda 1 litr. Vlastní kultivace probíhá na šikmých agarech při 28°C po dobu 2 dnů. Po té se do zkumavek napipetuje destilovaná voda, očkovací jehlou se bakterie uvolní z povrchu agaru a přenesou do zásobní baňky. V počítací komůrce se pod mikroskopem určí koncentrace a podle výsledku se stanoví, kolik zkumavek je nutné pro daný objem inokula použít.

3.2. Pro kultury sinic se použije se minerální půda o následujícím složení Na 1 l sterilní destilované vody se přidá: K_2HPO_4 0,01g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,025g, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0,04g, Na_2SiO_3 0,01g, Na_2CO_3 0,02g, citrát Fe stopy a 1 ml směsi mikroelementů. Kultivace probíhá v baňkách při 20 až 25°C po dobu 14 dnů. Sinice se kultivují při osvětlení 1,5 Klux, 16 hodin ozařování, 8 hodin tma.

3.3. Kultury zelených řas se vypěstují na následujícím minerálním mediu: Na 1 l sterilní destilované vody se přidá $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,25g, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,001g K_2HPO_4 0,25g, KCl 0,25 g a 1 ml směsi mikroelementů. Zelené řasy se kultivují rovněž při osvětlení 1,5 Klux, 16 hodin ozařování, 8 hodin tma. Před použitím se řasy a bakterie smíchají v poměru 1:1.

3.4. Aplikace inokula na zdivo je možná nanášením štětkou, či stříkáním, ovšem za dodržení bezpečnostních zdravotních předpisů, které zahrnují použití rukavic, respirátoru brýlí a obličejového štítu. Bezprostředně po aplikaci se zdivo pokryje PE folií, která se ponechá, pokud růst řas není patrný prostým okem. Ochrana zdiva inokulovaného řasami a bakteriemi pomocí PE folie je zapotřebí pouze v první fázi vývoje bakterií. Později bakterie vrůstají do pórů zdiva, kde asimilují sole dusíku a ochrana folií je zbytečná. Rovněž růst řas zaniká po odstranění folie.

4. Závěr

Uvedená metoda, nevznáší na zdivo další toxické sole, je mimo přípravy mikroorganismů, relativně nenáročná a lze ji s úspěchem použít v širokém rozsahu teplot (cca +5 až +30 °C).

Poděkování

Příspěvek byl vypracován za podpory VZ1, MSM 6840770001, Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních konstrukcí.

Literatura

- [1] ZELINGER, J., HEIDINGSFELD, V., KOTLÍK, P., ŠIMŮNKOVÁ, E.: Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Academia, Praha 1987.
- [2] FÁRA, P.: Odsolování konstrukcí kontaminovaných vodorozpustnými solemi, In Průzkum prostředků pro odsolování zdiva, Společnost pro technologie ochrany památek, Praha 20 října 1998, p. 5 – 8.
- [3] WEBSTER, A., MAY, E.: Bioremediation of weathered – building stone surfaces, Trends in Biotechnology. vol 24, No 9, June 2006, p 255 – 260.
- [4] WASSERBAUER., R.: patent č. 301162, Prostředek pro odstranění solí dusíku ze zdiva a způsob jeho použití, datum přednosti: 27.11.2007, datum udělení 12.10.2009.
- [5] WASSERBAUER, R.: Řasy na stavebních objektech, In: Stavební obzor 2006, vol. 15, č. 5, s. 149-152, ISSN 1210-4027.
- [6] WASSERBAUER, R.: Bakterie koloběhu dusíku na hospodářských objektech zámku Ctěnice. In Nové požadavky na materiály a konstrukce, 1998 Praha. ČVUT Fakulta stavební, září 1998, p. 89 až 92, ISBN 80-01-01838-5.

Kontakt

Prof. Ing. Richard Wasserbauer, DrSc., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thakurova 7, 166 29 Praha 6,

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**POSÚDENIE VHODNOSTI KAMENIVA
Z LOMU OLCNAVA DO NESTMELENEJ
OCHRANNEJ VRSTVY**

**SUITABILITY ASSESSMENT OF AGGREGATE
FROM OLCNAVA QUARRY FOR LOOSE
PROTECTION LAYER**

Katarína Zgútová, Viliam Híreš

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta,

Anotácia:

V uvedenom príspevku sa venujeme návrhu, posúdeniu a optimalizácii kameniva z lomu Olcnava do ochrannej vrstvy vozovky na stavbe D1 Jablonov - Studenec. Z lomu Olcnava boli odobraté vzorky monofrakcie 0/32 a frakcie 0/4, 4/8, 8/16, 16/32. Postupným návrhom sa určila výsledná čiara zrnitosti navrhutej zmesi kameniva a jeho vlastnosti. Cieľom článku je poukázať na fyzikálno-mechanické vlastnosti kameniva frakcie 0/32 použitého ako monofrakcia verzus navrhnutá zmes kameniva a jeho možnej aplikácii do nestmelenej ochrannej vrstvy vozovky.

Annotation:

The introduced article focuses on the application, assessment and optimization of the aggregate from Olcnava quarry, for protection layer of roadway on the D1 Jablonov-Studenec. Samples of monofraction 0/32 and fractions 0/4, 4/8, 8/16, 16/32 were distracted from the Olcnava quarry. By sequential design a fraction distribution chart for designed aggregate mixture and its properties was estimated. The goal of the article is to point out physical and mechanical properties of aggregate fraction 0/32 used as monofraction as contrary to proposed aggregate mixture. Besides, the article focuses on proposal of possible application of the 0/32 monofraction in the loose protection layer of a roadway.

Kľúčová slova: návrh, posúdenie a optimalizácia zmesi kameniva, monofrakcia,
Keywords: design, assessment and optimization of aggregate mixture, monofraction

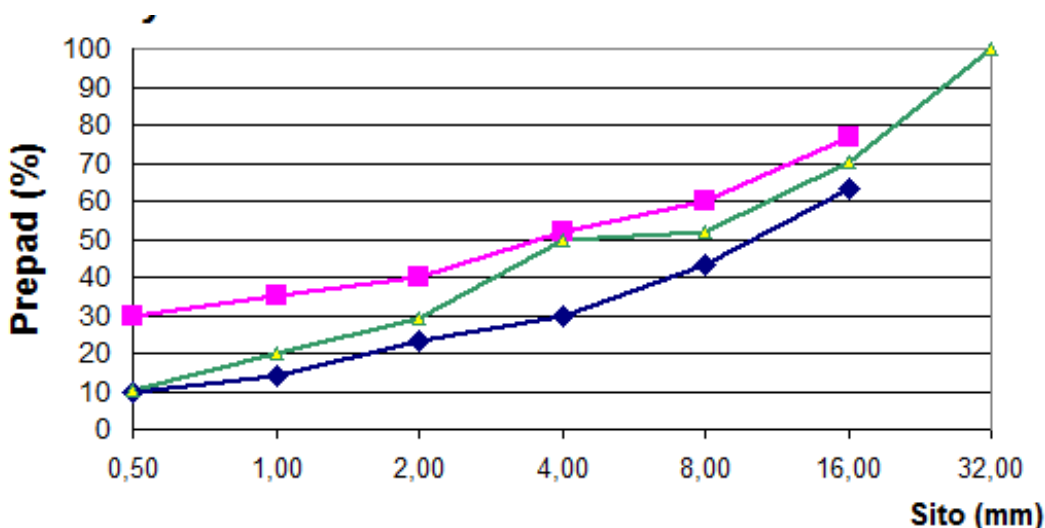
1. Úvod

Zhotoviteľ pri realizácii konštrukčných vrstiev musí dodržiavať platné STN a EN, projektovú dokumentáciu a technicko-kvalitatívne požiadavky (TKP) určené objednávateľom. Pri realizácii nestmelených podkladných vrstiev na Slovensku investor (NDS a.s.) vydal od 1.1.2010 nové TKP č. 5, ktoré určujú požiadavky na stavebnú zmes a vhodnosť použitia vo vozovke. Požiadavky kladené na kvalitu kameniva sú stanovené v STN EN 13242+A1 a príslušných katalógových listoch kameniva (KLK).

Vo väčšine prípadoch je potrebné stavebnú zmes navrhnuť z drobného a hrubého kameniva. Príslušné TKP č. 5 pripúšťa použiť aj monofrakciu, avšak musí byť dodržaná výsledná čiara zrnitosti. Zhotoviteľ dost často má záujem využiť monofrakciu, ktorá nie je až tak náročná na výrobu. V nasledujúcom článku autorov bude popísaný postup pri návrhu a posúdení zmesi kameniva zo štrkodry ŠD 0/32 z lomu Olcava verzus monofrakcia ŠD 0/32 z toho istého lomu. Posúdenie bude zrealizované vzhľadom na optimalizáciu stavebnej výroby a postup stavebných prác.

2. Návrh zmesi kameniva

2.1. Navrhnutá zmes kameniva ŠD 0/32 Olcava



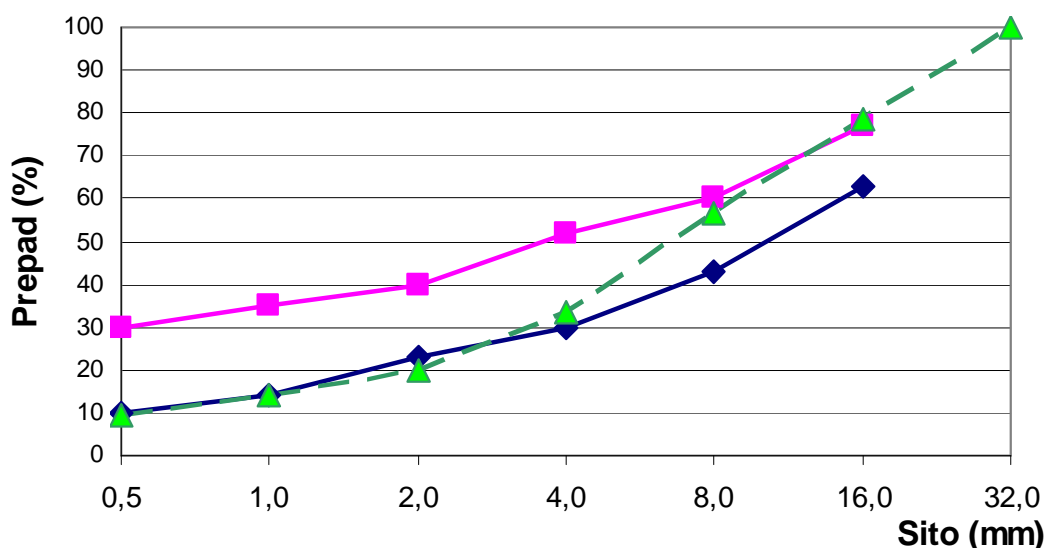
Obr. 1.: Výsledná čiara zrnitosti navrhutej zmesi kameniva ŠD 0/32 Olcava

Z odobratého kameniva fr. 0/4, 4/8, 8/16 a 16/32 sa určili čiary zrnitosti. Následne sa navrhla zmes kameniva fr. 0/32 s vylúčením frakcie 4/8 vzhľadom na zanedbateľný obsah v navrhovanej zmesi. Vylúčenie uvedenej frakcie malo za následok zväčšeného prepadu na site 4 mm (obr.1).

Navrhnutá zmesi kameniva bola v pomere 0/4:8/16:16/32 - 49%:16%:35%

2.2. Monofrakcia ŠD 0/32 Olcava

Čiara zrnitosti kameniva z lomu Olcava deklarovaného ako monofrakcia 0/32 je na obr.2. Ako možno vidieť z obrázka nie sú dodržané medzné čiary zrnitosti v dolnej a ani v hornej časti.



Obr. 2.: Výsledná čiara zrnitosti monofrakcie 0/32 Olcava

2.3. Fyzikálno-mechanické vlastnosti kameniva

Na oboch zmesiach kameniva sa určovali priebežne jeho fyzikálno-mechanické vlastnosti. Tieto sú zhrnuté v tab.1.

Tabulka 1.: Fyzikálno-mechanické vlastnosti porovnávaných frakcií kameniva z lomu Olcava

Určovaná vlastnosť	Navrhnutá zmes ŠD 0/32	Monofrakcia ŠD 0/32	Požiadavka TKP č. 5 a KLK
W_{opt} (%)	5,5 %	5,0 %	-
Max.obj.hmotnosť ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	$2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$2210 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	-
Únosnosť IBI (%)	136 %	55 %	min. 80%
Trieda zrnitosti	GC 85-15 GF 85	GA 85	GC 85-15 GF 85 GA 85
Tvarový index	SI ₅₅	SI ₅₅	SI ₅₅
$\rho_{d,min}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	2223,2	2166,2	-
$\rho_{d,max}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1673,6	1669,4	-
Nasiakavosť	WA ₂₄ 1		WA ₂₄ 2
Otlkovosť	LA ₃₀		LA ₅₀ (HDK)

2.4. Diskusia k nameraným výsledkom

Ako vidieť z tabuľku 1 fyzikálno-mechanické vlastnosti oboch zmesí kameniva fr. 0/32 Olcava dosahovali vo väčšine hodnoty, ktoré požaduje investor vo svojich TKP a KLK. Jediná vlastnosť, ktorá bola nevyhovujúca pri monofrakcii ŠD 0/32 a priamo súvisí so zrnitosťou zmesi bol Index okamžitej únosnosti IBI podľa STN EN 13286-47. Min. požadovaná hodnota je 80% pre vozovky s triedou dopravného zaťaženia I. Vzhľadom na nevyhovujúcu zrnitosť zmesi bolo možné predpokladať tento stav. Je možné predpokladať, že uvedený nedostatok bude, mať výrazný vplyv v čase výstavby na pomer medzi modulmi deformácie $E_{def,2}/E_{def,1}$ zo statickej zaťažovacej skúšky.

Na navrhnutej zmesi kameniva sa hutniacim pokus podarilo dosiahnuť na vrstve hr. 200 mm modul deformácie $E_{def,2} = 125,7 \text{ MPa}$ pri pomere $E_{def,2}/E_{def,1} = 2,2$. Namerané hodnoty z hutniaceho pokusu spĺňajú požiadavku TKP č. 5.

Ďalším hodnotiacim kritériom, ktorým sme sa zoberali bola cena za 1 tonu materiálu. Pri kalkulácii sme uvažovali však iba s cenou za nákup. Ďalšie náklady súvisiace s naložením (miešaním), odvozom a pokládkou nie sú v položke zahrnuté. V tomto prípade navrhnutá zmes kameniva bola o 21,5 % drahšia ako monofrakcia. Uvedený rozdiel ceny je v tomto prípade už dosť zaujímavý pre zhotoviteľa.

3. Záver

V uvedenom príspevku sa autori zaoberali technickými aj ekonomickými pohľadmi na realizáciu nestmelenej konštrukčnej vrstvy vozovky. Z technického hľadiska je možné vidieť ako zmena čiary zrnitosti môže ovplyvniť celkovú okamžitú únosnosť. Pritom kvalita vstupných materiálov ostáva nezmenená. Ekonomické hľadisko v dnešnej dobe tvorí neoddeliteľnú súčasť každého projektu. Aj v tomto prípade sa však potvrdilo to, že čo je lacné nemusí byť vždy aj kvalitné v všetkých smeroch.

Literatura

- [1] CHARBULIAK, M. :Posúdenie vhodnosti materiálu z lomu Olcava do nestmelenej ochranej vrstvy vozovky na stavbe D1 Jablonov – Studenec. In Diplomová práca, Žilina, 2010.
- [2] Technicko-kvalitatívne podmienky č.5: Podkladné vrstvy, SSC, 2010, www.ssc.sk
- [3] Katalógové listy kameniva KLK 1/2009, SSC, 2009, www.ssc.sk

Kontakt

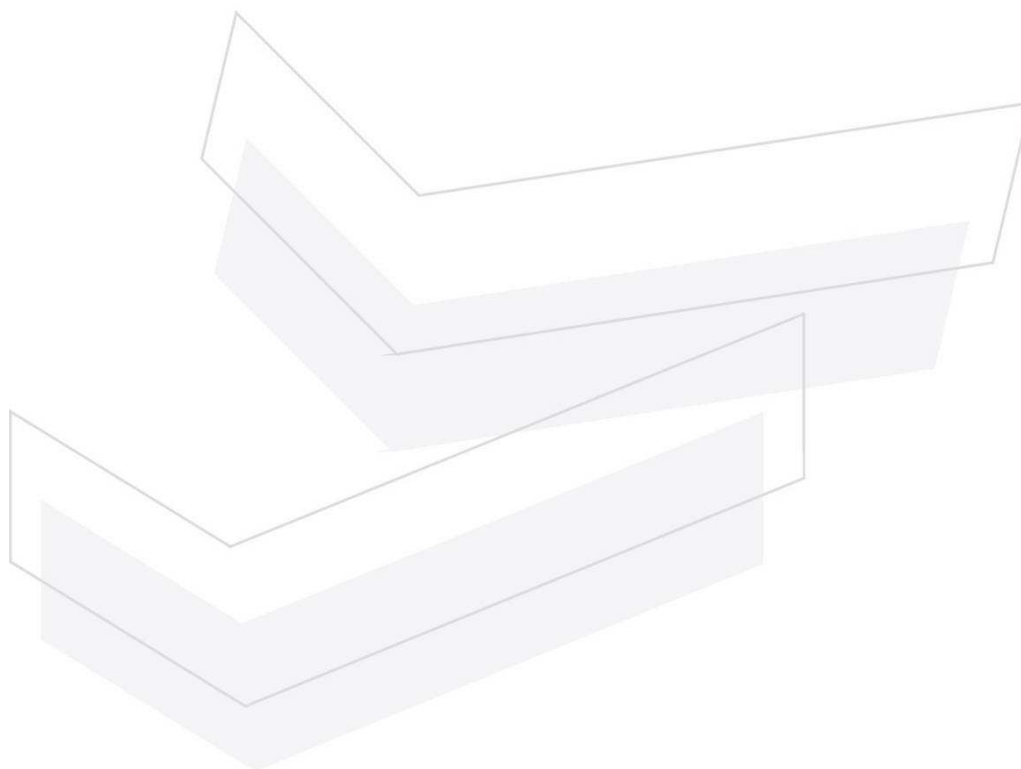
Doc. Dr. Ing. Katarína Zgútová, tel: 00421 513 5858, e-mail: zgutova@fstav.uniza.sk, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra technológie a manažmentu stavieb, Univerzitná 8215, 010 26 Žilina.

Ing. Viliam Híreš, Ph.D., tel: 00421 513 5858, e-mail: hires@fstav.uniza.sk, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra technológie a manažmentu stavieb, Univerzitná 8215, 010 26 Žilina.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

V.

**NORMALIZACE A CERTIFIKACE
VE STAVEBNICTVÍ,
ŘÍZENÍ JAKOSTI A KVALITY**



5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

EVROPSKÉ TECHNICKÉ SCHVÁLENÍ PRO STAVEBNÍ VÝROBKY

EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL FOR CONSTRUCTION PRODUCTS

Václav Hadrava

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

Anotace:

Evropské harmonizované normy zatím pokrývají jen určitou část stavebních výrobků uváděných na evropský trh. Přes Evropské technické schválení lze ale získat CE značku a evropský průkaz shody i pro výrobky mimo rozsah existujících harmonizovaných norem.

Annotation:

European harmonized standards cover only a part of construction products introduced on European market. However, it is possible to obtain CE marking for products, using European Technical Approval, even for products out of the scope of existing harmonized standards.

Klíčová slova: certifikace, CE značka, Evropské technické schválení, ETA

Keywords: certification, CE mark, European Technical Approval, ETA

1. Harmonizované technické specifikace - evropské normy a Evropské technické schválení

Možnost značení stavebních výrobků značkou CE je téměř vždy přijímáno výrobcí a distributory kladně. Značka funguje jako „Evropský pas“, kterým výrobce nebo dovozce prohlašuje, že výrobek vyhovuje podstatným bezpečnostním požadavkům stanoveným příslušnými směrnici, a umožňuje výrobku tak volný přístup na vnitřní trh EU. V praxi to znamená, že výrobek značený CE již nemusí být certifikován či jiným podobným způsobem posouzen

v každé zemi EU zvlášť, čímž dochází k výrazné úspoře času a finančních prostředků. Další z výhod tohoto globálního přístupu k posuzování shody je, že dokumentace k výrobku uvádí technické informace stejným technickým jazykem, srozumitelným a platným v zemích EU.

Podle stavební směrnice (Construction Product Directive), což je základní dokument upravující zásady posuzování stavebních výrobků, existují dva způsoby, jak stavební výrobek posoudit a označit evropskou značkou CE. Základem je vždy tzv. harmonizovaná technická specifikace, schválená členskými státy EU, podle které se celá procedura posouzení řídí:

- Posouzení podle evropských harmonizovaných norem. Tyto normy jsou zpracovány organizací CEN, jsou po schválení Evropskou komisí k dispozici za poplatek a použitelné pro všechny výrobky spadající do rozsahu definovaného vždy konkrétní normou. Norma musí kromě technické části obsahovat přílohu ZA, která upravuje způsob posouzení shody - tedy celý postup vedoucí k označení výrobku CE (například zkouška typu dle zkušebních norem a certifikace systému řízení výroby Notifikovanou osobou).

- Zpracování Evropského technického schválení (ETA - European Technical Approval) a posouzení výrobku podle něj. ETA je zpracováno vždy tzv. Schvalovací osobou (například TZÚS, s.p.) pro předmětný výrobek. ETA tedy není obecný dokument a použitelný pro všechny výrobky daného typu, je vázán na konkrétní produkt konkrétního výrobce. ETA jako technická specifikace daný výrobek definuje, určuje jeho vlastnosti a rozsah použití, může uvádět informace k uplatnění ve stavbě a další. Dále, stejně jako normy, upravuje způsob posouzení shody.

Proces tvorby harmonizovaných norem je poměrně náročný, je třeba najít společné znění akceptovatelné pro všechny země EU. Nejen proto se většinou jedná o proceduru trvající několik let a může se stát, že se nepodaří nalézt společné technické řešení a norma nevznikne, případně se odloží. Vzhledem k tomu, že ETA je dokument na úrovni evropské harmonizované normy, je potřeba také, ale v mnohem kratší době, zajistit souhlas všech členských států. K tomu slouží zejména dva nástroje. Prvním je soubor dokumentů ETAG, což jsou návody k tvorbě ETA vydané organizací EOTA (jejíž členové jsou dříve zmíněné Schvalovací osoby), vytvořené mezinárodními pracovními skupinami (Working groups) a schválené Evropskou komisí. ETAGy jsou na rozdíl od norem volně přístupné na webových stránkách EOTA (www.eota.eu). Druhým nástrojem zajišťujícím evropskou harmonizaci je tzv. připomínkové řízení, kterým musí každé ETA projít. Po zpracování návrhu ETA je Schvalovací osoba povinna rozeslat ETA ostatním členům EOTA, a případné připomínky zapracovat na základě konsensu - společné dohody. Schvalovací osoba musí zajistit souhlas všech členů EOTA, jinak nelze ETA oficiálně vydat a proměnit jej tím v platný dokument na úrovni harmonizované evropské normy. Může

se tedy stát, že v případě kontroverzního technického řešení je ETA zablokováno.

Vedle tvorby ETA na základě ETAG (dnes k dispozici 29 platných) existuje možnost zpracovat tzv. CUAP. CUAP je podobný návod jako ETAG, ale není zpracováván pracovní skupinou, nýbrž přímo Schvalovací osobou. Připomínkovácí a schvalovací procedura je podobná jako v případě ETA. Z toho plyne, že CE značku je díky činnosti členů EOTA možné získat na téměř jakýkoliv výrobek nepokrytý harmonizovanou evropskou normou. Záleží také na tom, jak je předmětný výrobek pokryt podpůrnými normami a jaká je zkušenost s jeho posuzováním. Od toho se potom odvíjí náročnost schvalovací procedury. Je tedy výhodné postupovat tímto způsobem u výrobků, které nejsou pokryty harmonizovanými normami, ale nějaké harmonizované (nebo třeba i jen národní) normě se přibližují. K dnešnímu dni existují stovky výrobků, které jsou značeny CE díky posouzení přes CUAP a ETA a jedná se opravdu o širokou škálu - od složitějších sestav jako např. kompletní řešení pro fasády, střechy, dřevostavby apod. přes hydroizolační kity, netradiční izolační materiály až po relativně jednodušší výrobky jako jsou přísady do betonu, zvláštní cementy, přípevnovací prostředky, šindele...

Je třeba dodat, že existují případy, kdy nelze uplatnit výše uvedené postupy. Evropská komise nemusí z určitého důvodu, jako při brzkém očekávání přijetí harmonizované evropské normy pro předmětný výrobek, nebo jiného důvodu udělit mandát pro zpracování ETAG či CUAP.

2. Závěr

Díky činnosti Schvalovacích osob při vydávání Evropských technických schválení existují již řadu let poměrně široké možnosti pro získání evropského průkazu shody (např. certifikátu) pro stavební výrobky. V České republice je tato možnost bohatě využívána zejména v oboru kontaktních tepelně izolačních systémů, předpokládá se využívání výše uvedených postupů pro čím dál širší spektrum stavebních výrobků.

Kontakt

Ing. Václav Hadrava, tel: 00420 734 439 964, e-mail: hadrava@tzus.cz,
Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., Hněvkovského 77, 617 00 Brno.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

EKONOMICKÉ OTÁZKY KVALITY V ETAPE VYUŽÍVANIA STAVBY

ECONOMIC ASPECTS OF THE QUALITY IN THE STAGE OF CONSTRUCTION USING

Ľubomír Pepucha, Milan Valuch, Peter Fraňo

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta

Anotace:

Zameranie príspevku je na nástroje zabezpečenia kvality v etape využívania stavby. Predmetom sú premenné parametre stavby, ako znaky kvality, ktoré bezprostredne pociťujú zákazníci stavebného diela. V podmienkach cestného hospodárstva ide o povrchové vlastnosti vozovky. Ďalej predmetom sú programy na podporu rozhodovania o efektívnosti návrhov technológií stavebných úprav (opráv vozoviek a obnovy ich povrchových vlastností) v procese reprodukcie a modernizácie cestnej siete.

Annotation:

The paper is focus on the tools, which can ensure the quality of the construction in the stage of using, it means during the lifetime of the construction. The objects are variable technical parameters of the pavement construction like a quality criteria. These parameters are the most important quality parameters from the view of the road users, because we can sense it like the customers in the field of road administration. The next part of the paper is focus on computer software developed for supporting of the decision making processes in the field of designing of the maintenance and repair technologies and its application economic effectiveness.

Klíčová slova: kvalita, systém, hospodárenie s vozovkou, efektívnosť, obstarávacia cena, užívateľské náklady, externé náklady, prínosy.

Keywords: quality, pavement management system economic effectiveness, costs, road user costs, external costs and benefits.

1. Úvod

O kvalite sa síce rozhoduje už vo fáze predprojektovej prípravy, ale teoretické predpoklady z tejto fázy sa prakticky prejaví zákazníkovi až vo fáze využívania stavebného diela. Fáza využívania stavebného diela je teda praktickým preukazovaním toho, do akej miery sa naplnili teoretické predpoklady z fázy predprojektovej prípravy. Podobne, ako si zasluhuje pozornosť príprava stavebného diela, jeho realizácia, rovnako je potrebné venovať pozornosť kvalite aj vo fáze využívania stavebného diela. Zameranie je na tzv. premenné parametre, ktorých kvalita sa využívaním mení, resp. zhoršuje. V podmienkach cestného hospodárstva ide o premenné parametre charakterizujúce povrchové vlastnosti vozovky – drsnosť, pozdĺžna a priečna nerovnosť, stav povrchu vozovky a jej zvyšková životnosť. Jedným z nástrojov na riešenie tejto problematiky je transformačný systém hospodárenia s vozovkou a jeho aplikácia v programovom prostredí. Systém transformuje nevyhovujúce premenné parametre vozovky na jeho vstupe, na vyhovujúce na jeho výstupe. Súčasťou systému je rozhodovacia procedúra o efektívnosti návrhu technológie stavebnej úpravy vozovky, na základe ktorej je navrhnutá technológia vybratá, alebo je potrebný iný návrh z knižnice technológií stavebných úprav vozovky.

2. Riešenie problematiky

V súčasnosti sa ako efektívny nástroj pre zabezpečenie optimálnych povrchových vlastností vozoviek na cestnej sieti Slovenskej republiky, ďalej len SR využíva Systém hospodárenia s vozovkami, ďalej len SHV. V princípe tento systém pracuje na základe diagnostických meraní technického stavu vozoviek a ekonomickej efektívnosti obstarávacích nákladov navrhutej technológie stavebnej úpravy vozovky (opravy vozovky, alebo obnovy jej povrchových vlastností).

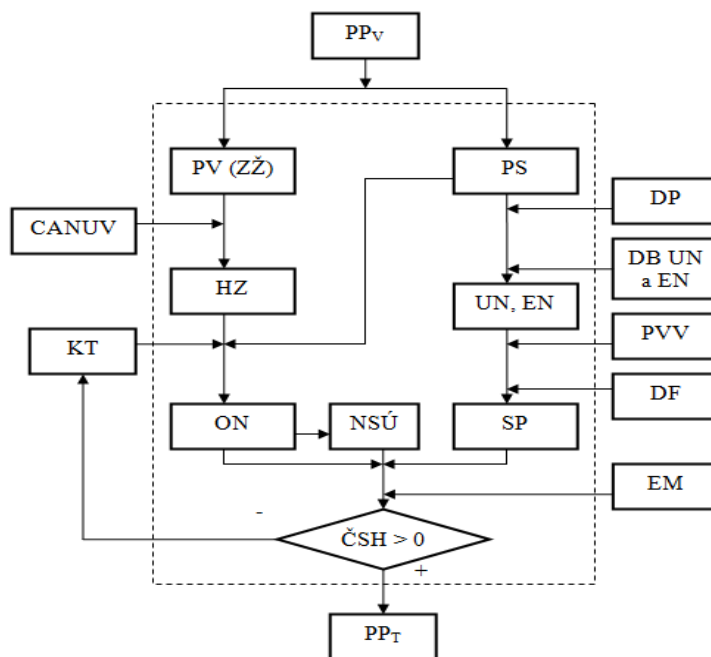
SHV má technické a ekonomické prvky a väzby. Dá sa konštatovať, že návrhom technológie stavebnej úpravy vozovky, končí tzv. technická časť SHV. Ocenením vybratej technológie začína ekonomická časť. V tejto časti sú ako potrebné vstupy ekonomické parametre navrhutej stavebnej úpravy, a to: obstarávacia cena (náklady stavebníka spojené s prípravou (vrátane diagnostiky), realizáciou stavebnej úpravy a úspešným odovzdaním tejto technológie. Ďalším ekonomickým parametrom sú prínosy užívateľov cestnej siete, resp. užívateľské prínosy z vykonanej stavebnej úpravy (skrátene cestovného času, zvýšenie bezpečnosti, zníženie prevádzkových nákladov užívateľov a pod. ako pokles nákladov po zrealizovaní stavebnej úpravy). Ďalej sú ekonomickým parametrom tzv. externé prínosy z vykonanej stavebnej úpravy (zlepšenie životného prostredia a zníženie nehodovosti). K ekonomickým parametrom patria ešte

náklady na súvislú údržbu (obnova povrchových vlastností vozovky) a životnosť technológie stavebnej úpravy v závislosti od dopravného, príp. klimatického zaťaženia.

Pri ekonomickom hodnotení navrhutej technológie stavebnej úpravy sa využívajú tie iste ekonomické kritéria a metódy, ako v prípade investícií, teda: Index efektívnosti (Benefit Cost Ratio), Čas splatenia investície (Payback Period), Čistá súčasná hodnota (Net Present Value) a Vnútorne výnosové percento (Internal Rate of Return).

Ekonomické hodnotenie vychádza z navrhnutého technického riešenia, teda z navrhutej technológie stavebnej úpravy vozovky. Predpokladá sa, že návrhu technológie stavebnej úpravy prechádzajú diagnostické merania a na základe týchto je s využitím už uvedených matematických metód navrhnutá technológia stavebnej úpravy vozovky. Rozhodovacia procedúra môže byť vykonaná až po doplnení rozhodujúcich charakteristík navrhutej technológie.

Ako ukazuje obr. 1, predmetný systém hospodárenia s vozovkami je transformačný, teda nevyhovujúce premenné parametre povrchových vlastností a zvyškovej životnosti vozovky na vstupe, sú nahradené na výstupe vyhovujúcimi. Systém obsahuje technické aj ekonomické väzby. Cieľom predmetného podsystemu je dostatočná prevádzková spôsobilosť a výkonnosť vozoviek cestnej siete SR.



Obr. 1 Bloková schéma ekonomickej časti SHV

Kde:

PP_V – vstupné premenné parametre popisujúce stav vozovky z hľadiska PV a PS

PV – prevádzková výkonnosť

PS – prevádzková spôsobilosť

$ZŽ$ – zvyšková životnosť

HZ – hrúbka zosilnenia

ON – obstarávacie náklady stavebnej úpravy

$NSÚ$ – náklady na súvislú údržbu

UN – užívateľské náklady

EN – externé náklady

SP – spoločenské prínosy

$ČSH$ – čistá súčasná hodnota

$CANUV$ – údaje získané meraním na vozovke systémom CANUV

KT – knižnica technológií

DP – dopravné parametre

$DB_{UN\&EN}$ – databáza užívateľských a externých nákladov

PVV – povrchové vlastnosti vozovky

DF – degradačné funkcie

EM – ekonomické metódy

PP_T – premenné parametre transformované (výstupné) – cieľ systému: dostatočná prevádzková spôsobilosť a výkonnosť vozoviek cestnej siete.

Uvedený systém je v SR aplikovaný do programového prostredia pod názvom: Integrovaný systém ekonomického hodnotenia (ISEH). Pozostáva z troch podprogramov:

- Prioritný program sa využíva sa na začiatku prípravy technológie opravy vozovky, keď sú k dispozícii výstupy z diagnostických meraní a program sám vyberá technológie opravy, ocení ich a posúdi orientačnú obstarávaciu cenu.

- Základný program sa využíva sa v závere etapy prípravy technológie opravy vozovky, keď je k dispozícii realizačná dokumentácia, a teda navrhnutá technológia a jej predpokladaná cena..

- Optimalizačný program sa využíva pre plánovanie stavebných úprav na obdobie do 10 rokov. Podobne ako prioritný program, sa využíva na začiatku prípravy stavebných úprav vozoviek na cestnej sieti SR, keď sú k dispozícii výstupy z diagnostických meraní a program sám podľa meniaceho sa technického stavu (na základe predikčných funkcií a rastu dopravného zaťaženia), meniacej sa ceny stavebnej úpravy a meniaceho sa ekonomického výsledku, navrhne optimálny rok stavebnej úpravy pre jednotlivé úseky cestnej siete. Výhodou je možnosť posunu niektorých akcií na stavebnú úpravu, podľa možnosti zdrojov financovania.

3. Hlavné činitele v rozhodovacom procese

Ekonomický výsledok závisí okrem navrhnutého technického riešenia aj od exaktnosti kvantifikácie rozhodujúcich činiteľov vstupujúcich do rozhodovacej procedúry. Pre rozhodnutie o ekonomickej efektívnosti navrhutej stavebnej úpravy potrebujeme vypočítať :

- Prínosy (úspory) užívateľov cestnej siete, resp. užívateľské prínosy z vykonanej stavebnej úpravy, ktoré vyjadrujú rozdiel vyšších nákladov užívateľov v prípade, ak sa stavebná úprava nevykoná a nižších nákladov, ak sa stavebná úprava realizuje (ide o skrátenie cestovného času, zvýšenie bezpečnosti, zníženie prevádzkových nákladov užívateľov a pod.). Kvantifikácia týchto prínosov je možná pri simulovaní cestovnej rýchlosti a nehodovosti v závislosti od technickej úrovne cestnej komunikácie a prevádzkovej spôsobilosti vozovky. K takýmto výpočtom potrebujeme databázu užívateľských nákladov.

- Prínosy užívateľov za celé obdobie využívania technológie stavebnej úpravy, ďalej len SÚ, sa stanovujú ako rozdiel vyšších nákladov užívateľov v prípade, ak sa stavebná úprava nevykoná a nižších nákladov, ak sa stavebná úprava realizuje, a to v prvom roku po stavebnej úprave. Tento rozdiel sa v ďalších rokoch využívania technológie stavebnej úpravy upravuje koeficientmi rastu dopravného zaťaženia a degradácie prevádzkovej spôsobilosti.

$$OPUN_t = (UN_{BEZOPR} - UN_{PRIOPR})_{T,OPR} * (1 - (t/n)^B) * k_{KRDZ}$$

Kde:

OPUN_t – očakávané prínosy na užívateľských nákladoch za obdobie t, €
 UN_{BEZOPR} – užívateľské náklady pri nevykonaní opravy, za prvý rok po predpokladanej oprave, €

UN_{PRIOPR} – užívateľské náklady pri vykonaní opravy, za prvý rok po predpokladanej oprave, €

B – koeficient degradácie

k_{KIRDZ} – koeficient rastu dopravného zaťaženia

t – roky 1 až n

- Prínosy (úspory) na externých nákladoch z vykonanej stavebnej úpravy vyjadrujú rozdiel vyšších externých nákladov užívateľov a obyvateľov okolia stavebnej úpravy v prípade, ak sa stavebná úprava nevykoná a nižších nákladov, ak sa stavebná úprava realizuje (zlepšenie životného prostredia – zníženie hluku, exhalátov, vibrácií, prašnosti a zníženie nehodovosti). Kvantifikácia prínosov je možná pri simulovaní cestovnej rýchlosti a nehodovosti v závislosti od technickej úrovne cestnej komunikácie a prevádzkovej spôsobilosti vozovky. K takýmto výpočtom potrebujeme databázu externých nákladov.

Podobne ako užívateľské prínosy sú kvantifikované prínosy na externých nákladoch za celé obdobie využívania technológie stavebnej úpravy. Tie sa stanovujú ako rozdiel vyšších externých nákladov v prípade, ak sa stavebná úprava nevykoná a nižších externých nákladov, ak sa stavebná úprava realizuje, a to v prvom roku po stavebnej úprave. Tento rozdiel sa v ďalších rokoch využívania technológie stavebnej úpravy upravuje koeficientmi rastu dopravného zaťaženia a degradácie prevádzkovej spôsobilosti.

$$OPEN_t = (EN_{BEZOPR} - EN_{PRIOPR})_{T,OPR} * (1 - (t/n)^B) * k_{KRDZ}$$

Kde:

$OPEN_t$ – očakávané prínosy na externých nákladoch za obdobie t , €

- Obstarávacia cena (obstarávacie náklady stavebníka spojené s prípravou- realizáciou a úspešným odovzdaním technológie stavebnej úpravy vozovky). Obstarávacia cena stavebnej úpravy je výstupom rozpočtu stavebných nákladov, ale aj nákladov spojených s prípravou stavebnej úpravy (diagnostika, dokumentácie projektu, rozpočtová rezerva a pod.). Je uvedená v knižnici technológií.

$$OONSÚ_t = SNSÚ_t + OONSÚ_t$$

$$SNSÚ_t = ZRNSÚ_t + VRNSÚ_t$$

Kde:

$OONSÚ_t$ – očakávané obstarávacie náklady na SÚ za obdobie t , €

$SNSÚ_t$ – stavebné náklady na stavebnú úpravu, za obdobie t , €

$OONSÚ_t$ – ostatné obstarávacie náklady na stavebnú úpravu (prípravné práce – diagnostika, dokumentácie a pod.), za obdobie t , €

$ZRNSÚ_t$ – základné rozpočtované náklady na SÚ za obdobie t , €

$VRNSÚ_t$ – vedľajšie rozpočtované náklady na SÚ za obdobie t , €

- Náklady na súvislú údržbu technológie stavebnej úpravy (obnova povrchových vlastností vozovky), odpovedajú stavebným nákladom a nákladom na prípravné práce (diagnostika, dokumentácie projektu, rozpočtová rezerva a pod.). O tieto náklady sú znížené užívateľské a externé prínosy. Tieto náklady sú uvedené v knižnici technológií.

$$OONOPVV_t = SNOPVV_t + OONOPVV_t$$

$$SNOPVV_t = ZRNOPVV_t + VRNOPVV_t$$

Kde:

$OONOPVV_t$ – očakávané obstarávacie náklady na súvislú údržbu vozovky, resp. obnovu povrchových vlastností vozovky za obdobie t , €

- Životnosť technológií stavebnej úpravy v závislosti od dopravného, príp. klimatického zaťaženia. Je uvedená v knižnici technológií.

4. Aplikácia systému do programového prostredia

Predmetná ekonomická časť SHV je aplikovaná do programového prostredia ako program pod už spomínaným názvom: Integrovaný systém ekonomického hodnotenia technológií stavebných úprav vozoviek. Program má tri podprogramy: základný, prioritný a optimalizačný. Základný program je kostrou prioritného aj optimalizačného programu.

Prioritný program pracuje na základe údajov o aktuálnom stave technickej úrovne cestnej komunikácie a aktuálnom stave prevádzkovej spôsobilosti a výkonnosti jej vozovky. Umožňuje stanoviť poradie naliehavosti stavebných úprav jednotlivých úsekov cestnej siete na základe ekonomickej efektívnosti navrhnutej technológie stavebnej úpravy, jej ceny a spoločenských prínosov.



Obr. 2 Úvodné okno programu ISEH

Optimalizačný program pracuje na základe údajov o aktuálnom stave a vývoji technickej úrovne cestnej komunikácie a aktuálnom stave prevádzkovej spôsobilosti a výkonnosti jej vozovky a ich vývoji podľa predikčných funkcií jednotlivých premenných parametrov. Umožňuje stanoviť poradie naliehavosti stavebných úprav jednotlivých úsekov cestnej siete na základe ekonomickej efektívnosti navrhnutej technológie stavebnej úpravy, jej ceny a spoločenských prínosov v hodnotenom období, v jednotlivých rokoch podľa meniacej sa

prevádzkovej spôsobilosti a výkonnosti vozovky, meniacej sa technológie stavebnej úpravy, jej ceny a spoločenských prínosov.

5. Záver

Riešenie problematiky dodržiavania kvality vo všetkých fázach životného cyklu cestnej komunikácie, osobitne v etape jej využívania, je jednou z funkcií SHV. Ekonomická časť SHV je finálnym produktom, pretože umožňuje komplexné posúdenie účinnosti technického riešenia stavebnej úpravy, jej spoločenských prínosov, obstarávacej ceny technického riešenia a nákladov spojených so súvislou údržbou. Kritéria ekonomickej efektívnosti (rok návratnosti, čistá súčasná hodnota a vnútorné výnosové percento) umožňujú navrhnutú technológiu stavebnej úpravy posúdiť a rozhodnúť o použití, alebo nepoužití návrhu. Kritéria ekonomickej efektívnosti, umožňujú stanoviť poradie naliehavosti stavebných úprav na jednotlivých úsekoch cestnej siete podľa aktuálneho technického stavu, ale tiež podľa vývoja technického stavu vozovky.

Hodnotenie projektov opráv a údržby nestačí len na základe technického stavu, resp. technických parametrov, príp. ich vývoja. Potrebné je komplexné vyhodnotenie podľa technicko-ekonomických parametrov, akými sú spoločenské prínosy, obstarávacie náklady technického riešenia, udržiavacie náklady technického riešenia, životnosť technológie stavebnej úpravy a pod.. Prostredníctvom analýzy nákladov a prínosov sa takto stanovené dopady prevedú na toky prínosov a nákladov vo finančnom vyjadrení a stanovia sa rozhodujúce ekonomické ukazovatele.

Výpočtami ekonomickej efektívnosti tak dostávame odpoveď na otázku, do akej miery je navrhnutá kvalita stavebných úprav jednotlivých úsekov na úrovni cestnej siete efektívna aj z pohľadu užívateľov cestnej siete, pre ktorých je kvalita vozovky, a tým aj ich rýchlosť a bezpečnosť prioritnou požiadavkou.

Poděkování

„Tento příspěvek bol vypracovaný s podporou Agentúry na podporu výskumu a vývoja, zmluva č. LPP-0402-09“.

Literatúra

- [1] VALUCH, M., FRAŇO, P.: Systém ekonomického hodnotenia prevádzkovej spôsobilosti vozovky, záverečná správa, Žilina 1998
- [2] SCHLOSSER, F., TROJANOVÁ, M., ZGÚTOVÁ, K., A KOLEKTÍV: Technológia stavebných prác, VŠ učebnica, ŽU EDIS, Žilina, 2005

Kontakt

Ing. Ľubomír Pepucha, PhD., tel: 00421 41 513 58 61, e-mail: lubomir.pepucha@fstav.uniza.sk, Stavebná fakulta, Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko.

Doc. Dr. Ing. Milan Valuch, PhD., tel: 00421 41 513 58 55, e-mail: milan.valuch@fstav.uniza.sk, Stavebná fakulta, Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko.

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

**MANAGEMENT RIZIK S PODPOROU
EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ JAKO NADSTAVBA
FORMALIZOVANÝCH INTEGROVANÝCH
SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ**

**RISK MANAGEMENT WITH THE SUPPORT
OF THE EXPERT SYSTEMS AS THE SYSTEM
UPGRADE OF THE STANDARDIZED INTEGRATED
MANAGEMENT SYSTEMS**

**Tomáš Vymazal, Petr Misák, Barbara Kucharczyková,
Petr Daněk, Ondřej Pospíchal, Dalibor Kocáb**

VUT v Brně, Fakulta stavební,

Anotace:

IMS (Integrated Management System) - Integrovaný systém řízení je velmi účinný nástroj risk managementu aktivně zapojeného do systému řízení organizace. Příspěvek popisuje implantaci některých požadavků IMS a pravidel risk managementu do prostředí stavebních dodavatelských organizací a výrobců produktů pro stavebnictví s podporou expertních systémů.

Annotation:

IMS (Integrated Management System) is very effective instrument of risk management, which is actively involved in management system of organization. The article deals with implantation of some requirements of the IMS and rules of the risk management in building supplier organizations and producers of products for building industries with the support of the expert systems.

Klíčová slova: Řízení kvality, risk management, expertní systém

Keywords: Quality control, risk management, expert systems

1. Úvodem

Management rizik se zabývá tvorbou navzájem provázaných činností, které se snaží zamezit nebo zmírnit výskyt rizik. Ve většině společností by mělo být v současném podnikatelském prostředí a finanční krizi řízení rizik prioritou. Cílem řízení podnikových rizik je identifikovat potenciální události, které by mohly ovlivnit fungování, a řídit rizika v souladu s přijatou strategií tak, aby společnost mohla plnit cíle, které si vytyčila. Efektivní řízení rizik se stává nedílnou součástí firemní kultury, interních procesů a myšlení lidí.

2. Jak je to s řízením rizik v ČR?

Z tiskové zprávy Evropské federace asociací řízení rizik z roku 2009 (FERMA) [3], tentokrát zaměřenou na úlohu řízení rizik ve vztahu k současné globální krizi finančních trhů vyplývá, že ačkoli řízení rizik představuje specializovaný obor, v době globalizovaných příležitostí a ohrožení růstu (i díky pozornosti médií) nejen všeobecné povědomí o významu vhodně zvolených strategií, ale také význam sdílených zkušeností z této oblasti.

Podle průzkumu současného stavu řízení rizik v podnicích a organizacích v ČR [4] lze konstatovat, že organizace si uvědomují nutnost rizika řídit a 70 % z nich rizika řídí a chápe toto řízení jako příležitost a konkurenční výhodu. Organizace však ve vysoké míře řídí svá rizika intuitivně. Z průzkumu vyšlo najevo, že v České republice je stále silný důraz na odpovědnost vlastníka a top managementu za řízení rizik, přičemž tato odpovědnost je zdůrazňována zejména v menších podnicích a organizacích, které si často nemohou dovolit využívat služeb profesionálních risk managerů. Pokud již ke spolupráci s risk managerem dochází, lze sledovat spíše využívání služeb externích risk managerů v případě menších subjektů a interních risk managerů v případě subjektů větších. Z odpovědí respondentů dále vyplynulo, že osoba odpovědná za řízení rizik by nejlépe měla pracovat v organizaci jako zaměstnanec a měla by disponovat vysoce rozvinutou schopností řešit problémy, důvěryhodností a kompetencí k plánování a organizování času, stejně tak jako by měla být schopna efektivní komunikace a přijetí odpovědnosti za svá rozhodnutí.

Respondenti odhalili také poměrně vysokou míru neochoty ke spolupráci s externími subjekty na řízení rizik. Tuto skutečnost lze vysvětlit zřejmě jistou nedůvěrou v tyto externí risk managery, neboť mají přístup ke strategickým informacím firem a neexistuje dostatečná záruka proti zneužití či poskytnutí těchto informací třetí osobě, nebo disponují nedostatkem informací o samotném

řízení rizik, jež může vést k obavám ze snížení flexibility a finanční ztrátovosti těchto aktivit.

3. Integrovaný systém managementu a řízení rizik

Efektivním propojením požadavků na systém řízení kvality (ISO 9001), šetrný vztah k životnímu prostředí (ISO 14001), řízení bezpečnosti práce (OHSAS 18001) a bezpečnosti informací (ISO/IEC 27001) dojde k velmi modernímu systému řízení, který významně pomůže k řízení organizace a k vysokému snížení rizik. Základním předpokladem k účinnému integrovanému systému řízení je splnění požadavků na integraci požadavků všech norem do logického celku, vytvoření jednoduchých účelných a přehledných standardů pro pracovníky, vyhnutí se kopírování struktur norem, protože jsou odlišné, zpracovávání jednotlivých dokumentací společně, využití společné struktury příručky kvality a tím integrovat další systémy.

4. Analýza významnosti rizik pomocí expertních systémů

Expertní systém (ES) je počítačový program, který má za úkol poskytovat expertní rady, rozhodnutí nebo doporučit řešení v konkrétní situaci. ES jsou navrženy tak, aby mohly zpracovávat nenumerné a neurčité informace a řešit tak úlohy, které nejsou řešitelné tradičními algoritmickými postupy. ES má dvě základní komponenty, které jsou na sobě relativně nezávislé. Řídící (inferenční) mechanismus pro odvozování závěrů a bázi znalostí.

ES jsou konstruovány tak, aby bylo možné převzít znalosti experta (expertů), vhodně je reprezentovat a používat s podobným výsledkem. Ve velké míře se ES využívají v případech, kdy rozhodnutí experta může být výrazně ovlivněno subjektivním názorem na řešenou problematiku nebo kdy je počet rozhodovacích kritérií a jejich variant příliš vysoký. V těchto případech je možné využít ES jako relativně objektivní rozhodovací aparát.

V posledních letech se nejčastěji využívají jako ES tzv. *Fuzzy inference systémy (FIS)*, které jsou založeny na teorii fuzzy množin a fuzzy logice.

4.1. Teorie fuzzy množin a jejich využití

V technické i vědecké praxi existuje velký rozpor mezi poznáním chování a schopností popisu chování systému v kvantitativní podobě. Tento rozpor je způsoben tím, že klasická matematická logika a konvenční prostředky systémové

analýzy (tj. například diferenciální nebo diferenční rovnice) nejsou vhodné pro vyjádření vágnosti přirozeného jazyka, který často hraje určující roli. Alternativní přístup je založen na myšlence, že určujícím prvkem lidského myšlení nejsou čísla, ale názvy, tj. třídy objektů, ve kterých příslušnost do dané třídy se mění pozvolna a nikoli skokem. Schopnost manipulace s názvy a následné vyvození závěru je jednou z nejvýznamnějších charakteristik lidského myšlení, která odlišuje inteligenci lidskou od strojové. Využití teorie fuzzy množin k vyhodnocování a predikci rizik umožňuje sestavení dostatečně přesného modelu na základě vágních informací ve formě slovního nebo kvantitativního hodnocení [12].

Základní problém, se kterým se setkáváme, formuloval zakladatel teorie fuzzy množin L. A. Zadeh. Jedná se o tzv. **Princip inkompatibility**, který lze formulovat následujícím způsobem [12]:

Roste-li složitost nějakého systému, klesá naše schopnost tento systém popsat přesně. Po překročení určité hranice složitosti systému se přesnost a relevantnost popisu stávají vzájemně se vylučujícími charakteristikami.

Pro odstranění neslučitelnosti relevantnosti a přesnosti popisu se v praxi uplatňují dva základní přístupy:

- *Klasický přístup*, který spočívá ve zjednodušení předpokladů popisu.
- *Fuzzy přístup*, který je založen na snížení úrovně přesnosti popisu připuštěním práce s vágními pojmy a informacemi.

Zavedení zjednodušujících předpokladů (klasický přístup) sebou nese celou řadu nevýhod. Zásadním nedostatkem je rozdíl mezi reálným a popisovaným systémem. Tento rozdíl je způsoben tím, že nejsme schopni odhadnout a kvantifikovat vliv zjednodušení. To často vede k nespolehlivosti výsledků formálně přesného analytického modelu. Druhý přístup (často nazývaný *fuzzy přístup*) také snižuje úroveň přesnosti modelu, protože pracuje s vágními pojmy. Tato nepřesnost je však vyvážena tím, že modelovaný systém je zpracováván v celé své složitosti (nejsou zavedeny zjednodušující předpoklady). Další bezesporu nezanedbatelnou výhodou je snížení celkových nákladů, z důvodu větší dostupnosti nepřesných informací a dat.

4.2. Fuzzy množiny a fuzzy logika

V klasické teorii množin lze konstatovat, že daný prvek do množiny patří či nikoli. Příslušnost prvku do množiny je určena tzv. *charakteristickou funkcí*, která nabývá hodnot 0 nebo 1. Teorie fuzzy množin vlastně zobecňuje klasickou

teorii množin, a to tak, že umožňuje, aby prvek do množiny patřil jen částečně. Je zde zavedena tzv. *funkce příslušnosti*, která na rozdíl od charakteristické funkce mapuje celý interval $\langle 0;1 \rangle$:

$$\mu: U \rightarrow \langle 0;1 \rangle, \quad (1)$$

kde U je univerzum, tedy referenční množina. Hodnota $\mu(x)$ prvku $x \in U$ je tzv. *stupeň příslušnosti*. Fuzzy množina A je potom jednoznačně určena uspořádanou dvojicí (μ_A, U) .

V technických aplikacích se většinou používají tři základní tvary funkcí příslušnosti, a to tvar trojúhelníku, lichoběžníku a Gaussovy křivky.

S fuzzy množinami, stejně jako s klasickými množinami, lze provádět všechny základní operace, jako průnik, sjednocení, doplněk atd. Existuje mnoho způsobů jak tyto operace definovat, avšak musí být splněny určité podmínky, které jsou dány funkčností na klasických množinách [12].

Dalo by se namítnout, že fuzzy množiny pro popis neurčitosti vlastně nepotřebujeme, protože máme k dispozici rozsáhlý statistický aparát, a že funkce příslušnosti je vlastně forma hustoty pravděpodobnosti. Tak tomu ale není, neboť statistika se především zabývá tím, jestli nějaký jev nastane s určitou pravděpodobností, čili vnějšími projevy jevů. Teorie fuzzy množin se však zabývá neurčitostí, která je v jevech okolního světa skryta, tady samotnou podstatou jevů.

Stejně jako na klasickou teorii množin úzce navazuje klasická logika, tak i na teorii fuzzy množin navazuje fuzzy logika, která využívá pojmů fuzzy výrok, fuzzy implikace a jazyková proměnná. *Jazyková (lingvistická) proměnná* je proměnná, jejíž hodnoty tvoří slova nebo věty přirozeného jazyka s významem, který je definován prostřednictvím fuzzy množin. Takovou proměnnou může být například kvalita betonu s hodnotami: nedostatečná, špatná, dobrá, velmi dobrá.

4.3. Fuzzy inference systémy

Nejčastější aplikací teorie fuzzy množin a fuzzy logiky nejen ve stavebním inženýrství jsou tzv. *fuzzy inference systémy* (FIS). V posledních letech se ve velké míře využívají při rozhodování, řízení a modelování procesů, ve kterých vystupují veličiny, které nelze, nebo lze velice obtížně a tedy nákladně popsat pomocí konvenčních matematických prostředků. Výhodou FIS je možnost využití jak kvalitativních tak i kvantitativních znalostí o modelovaném systému.

Obecná struktura FIS je podrobněji popsána např. v [12]. Obsahuje fázi *fuzzyfikace*, *inferenční proces*, *bázi dat*, *bázi pravidel* a fázi *defuzzyfikace*. Vstupem fáze fuzzyfikace jsou ostré hodnoty vstupních proměnných, které jsou dány jejich příslušnými univerzy, tedy referenčními množinami. Výstupem fáze fuzzyfikace je funkce příslušnosti fuzzy množiny.

Fuzzyfikovaná vstupní hodnota (hodnoty) dále vstupuje do inferenčního procesu. Zde se na základě báze dat a báze pravidel provede výpočet řešení. Výstupem inferenčního procesu je fuzzy množina daná svou funkcí příslušnosti. Pro praktické účely je však výstup ve formě fuzzy množiny nevhodný, proto je nutné provést převedení na ostrou hodnotu. To má za úkol fáze defuzzyfikace. Defuzzyfikačních metod existuje celá řada, nejčastěji se používá metoda těžiště (centroid), kdy výstupní ostrá hodnota se určí jako těžiště plochy pod grafem výstupní fuzzy množiny z inferenčního procesu.

Báze pravidel se skládá z podmíněných pravidel typu *if – then*, které tvoří základ FIS. Všechny informace o charakteru těchto pravidel a o vstupních a výstupních proměnných jsou uloženy v bázi dat [12].

Velice často využívanými FIS jsou expertní systémy typu Mamdani [12]. Důležité je velice pečlivě sestavovat bázi dat a bázi pravidel. Tento úkol má v praxi na starosti tým odborníků na řešenou problematiku a na fuzzy systémy, kteří na základě různých metodik (např. brainstorming, Paretova analýza, atd.) navrhnou vstupní a výstupní proměnné spolu s jejich jazykovými hodnotami a sestaví podmíněná pravidla. Velice často bývá takto konstruovaných expertních systémů využíváno v rizikovém inženýrství a to například při kvantifikaci rizik nebo pro výběr optimálního konstrukčního řešení.

5. Krátce o vybrané praktické aplikaci

Předmětem zvolené aplikace systému řízení rizik s podporou expertních systémů je výroba tzv. betonových výrobků pro nekonstrukční použití. Název oboru (číslo podle *Přílohy 1 MPA 50-01-09 K aplikaci ČSN EN ISO/IEC 17021:2007 Posuzování shody – Požadavky na orgány provádějící audit a certifikaci systémů managementu v akreditačním systému České republiky* [13]) je „Výroba cementu, vápna a sádry, betonových, sádrových, vápenných a cementových výrobků (16)“, kód CZ NACE je 23.5 a 23.6.

Pro kvantifikaci kvalitativních, environmentálních a bezpečnostních rizik a rizik spojených s neshodným posouzením shody byly sestaveny fuzzy inference systémy (FIS) podle podkladů dodaných výrobcem betonového zboží.

První z FIS byl konstruován pro hodnocení rizik spojených s neshodným posouzením shody a kvalitativních a environmentálních rizik. Vstupní (nezávislé) proměnné jsou kritéria pro hodnocení rizik a výstupní (závislá) proměnná je míra sledovaného rizika. Druhý FIS byl navržen pro kvantifikaci bezpečnostních rizik, která jsou posuzována podle jiných kritérií než ostatní rizika. Vstupní proměnné jsou tedy pravděpodobnost výskytu rizika a poranění vzniklé při realizaci rizika. V obou případech se jedná o FIS typu Mamdani s defuzzyfikací centroid (těžiště plochy), kde logické spojky *and* a *or* jsou konstruovány prostřednictvím operací *minimum* a *maximum*. Báze dat a báze pravidel byla stavěna na základě expertních zkušeností s danou problematikou.

Pro slovní hodnoty výstupní proměnné byl v obou FIS zvolen tvar trojúhelníku při počtu 5. Pro vstupní proměnné byly zvoleny tři slovní hodnoty pokrývající interval (univerzum) $<0; 1>$. Funkce příslušnosti těchto slovních hodnot jsou ve tvaru trojúhelníku a lichoběžníku s hladinou průseku 0,5. Pouze proměnná vyjadřující poranění při realizaci rizika je definována čtyřmi slovními hodnotami s funkcemi příslušnosti ve tvaru trojúhelníku.

Z aplikace jednoznačně vyplývá, že pro vypracování rámce řízení rizik je nutné stanovit kontrolní body technologického procesu. Definování cílů a nastavení mechanismů kontrolujících jejich dodržování, vyhodnocení podnikových rizik, definování strategií pro řízení rizik, návrh postupů pro řízení rizik, sledování jejich fungování, vyhodnocení jejich fungování a případné zdokonalování a podpora procesu dodáváním potřebných informací. K získání přehledu nebo jako pomůcka pro vytvoření standardů managementu rizika mohou sloužit normy [5], [6], [7], [8] a [9]. [9] je určena pro projekty všech typů, obsahuje obecné zásady a postupy. Na rozdíl od některých jiných norem ISO má tato pouze doporučující charakter a není proto zamýšlena pro účely certifikace. Co je asi nejdůležitější, [9] není návodem pro řízení jednotlivého projektu, mnohem více je zaměřena na procesy při řízení projektu a zvyšování jejich kvality, což se dá pro management rizik velmi efektivně využít. Pokud aplikaci těchto norem ještě doplníme o informace, návody a techniky popsané v [10] a [11] je úspěch již téměř zaručen.

Z dosavadních praktických aplikací vyplývá možnost řešení problémů s analýzou a klasifikací rizik jak klasickým přístupem (tj. jednoduchá statistika, pravděpodobnost, atd.), tak prostřednictvím expertních systémů. Expertní systémy navíc umožňují zadání vstupních hodnot ve formě slovního hodnocení, což při využití kreativních technik analýzy významnosti rizik jako např. brainstorming, brainwriting, crawford slip nebo metoda Walta Disneye je velmi

výhodné, neboť využitím teorie fuzzy množin je možné snadno a efektivně popsat vágnost přirozeného jazyka.

6. Závěr

Je velmi obtížné (ne-li nemožné) dodržet při výstavbě všechny legislativní požadavky oblastí kvality, bezpečnosti a environmentu a podaří-li se alespoň v některých procesech uplatnit prvky a metody risk managementu, pak je to výsledek opravdu tvrdé práce a obrovské podpory top managementu té či oné firmy. Uplatnění složitějších metod risk managementu v dodavatelské stavební výrobě je téměř nemožné, neboť pro stavební firmy zpravidla platí, že v jednoduchosti je síla. To se nakonec i odráží v přístupech při řešení problematiky hodnocení kvalitativních, bezpečnostních a environmentálních aspektů pro potřeby řízení rizik certifikovaných systémů řízení.

Rozvoj risk managementu ke konci roku 2008 začala brzdit tzv. ekonomická krize. Nelze se totiž zcela ztotožnit např. s článkem Ing. Petry Adáskové *Ekonomická krize zvyšuje zájem firem o řízení rizik* [4], ve kterém se píše: „*Nutnost řízení rizik si uvědomuje více než sedmdesát procent organizací v České republice, (...) řízení rizik na počátku letošního roku realizovalo celkem 71 % respondentů, zbylých 29 % respondentů svá rizika nijak neřídilo. Z toho 22 % respondentů uvažuje o řízení rizik do budoucna na základě zkušeností z právě probíhající hospodářské krize.(...) I přes tíživou situaci dopadů globální ekonomické krize, nebo možná právě kvůli ní, 31,5 % respondentů deklarovalo úmysl v průběhu následujícího roku zlepšovat postupy identifikace a řízení rizik ve svých společnostech, 47 % tuto možnost stále zvažuje a 21 % tuto možnost odmítlo.*“ Podle zkušeností autorů s dodavatelskými firmami a firmami produkující právě stavební hmoty a/nebo stavební výrobky se v článku jedná o rizika spojená s kolísáním cen vstupů, kolísáním cen zahraničních měn, apod., rozhodně se však nejedná o technologická/výrobní rizika nebo o rizika návrhu a vývoje, případně dalších oblastí rozvoje které vyžadují nějaké vyšší investice. V této oblasti zájem o vynakládání dalších prostředků na řízení rizik značně ochladl.

Jednou možností jak se informovat o stavu řízení procesů a je benchmarking [15]. Díky ČSJ [14] je Česká republika od roku 2002 členem Global Benchmarking Network (GBN), mezinárodní sítě národních benchmarkingových organizací. Členy GBN jsou např. Dánsko, Finsko, Indie, Irsko, Itálie, Jihoafrická republika, Maďarsko, Moldávie, Německo, Nový Zéland, Portugalsko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Velká Británie a další. V benchmarkingu sice není přímo definováno téma řízení rizik jako jedno

z témat pro porovnávání, ale jsou tam témata, ze kterých je možno úspěšně vycházet, např. téma 3: Management procesů, téma 4: Týmové řešení problémů, téma 6: Klíčové výsledky výkonnosti, téma 10: Vývoj a inovace, téma 11: management IS/IT. Takovéto benchmarkingové porovnávání, tedy sledování výkonnosti lze realizovat za předpokladu manažerské podpory vedení, zapojení zaměstnanců a spoluúčasti vlastníků procesu.

Další rozvoj této oblasti poznání a aplikace je spojen s problematikou zobecnění teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky prostřednictvím zmiňované teorie fuzzy množin a fuzzy logiky. Při sledování parametrů výrobních procesů, systémů a jejich prvků se často setkáváme s různě nepřesnými informacemi o podmínkách provozu a/nebo o vlastnostech produkce. Ze zdrojů nepřesnosti lze zejména uvést např. záměrné zkreslení údajů uživatelem anebo výrobcem, nízká úroveň nebo zkušenost obsluhy, nevhodná údržba, neúplné sledování výrobku v provozu, konstrukční a materiálové změny výrobku a vliv provozních podmínek. Jednotlivé údaje s různou věrohodností můžeme vyjádřit pomocí fuzzy reálných čísel. Tento přístup umožňuje modelovat chování objektu (systému i jeho prvků) pomocí fuzzy spolehlivosti, která nabývá fuzzy reálných hodnot. Takový model sice nevede ke zpřesnění výsledných informací, ale dovoluje posoudit hodnoty sledovaných charakteristik v celém možném rozsahu včetně stupňů příslušnosti jejich jednotlivých hodnot jako měř jejich věrohodnosti. Podrobněji o této problematice viz např. [16].

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

- [3] ČADILOVÁ, K. Význam řízení rizik a současná krize finančních trhů (2008) [online]. Datum publikování 4. 12. 2008, [cit. 4. 12. 2008]. Dostupné z <www.risk-management.cz/index.php?clanek=82&cat2=1&lang=>.
- [4] ADÁSKOVÁ, P. Ekonomická krize zvyšuje zájem firem o řízení rizik (2009) [online]. Datum publikování 11. 6. 2009, [cit. 11. 6. 2009]. Dostupné z <www.risk-management.cz/index.php?clanek=98&cat2=1&lang=>.
- [5] ČSN EN ISO 9000:2006 Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník, ČNI Praha 2006.

-
- [6] ČSN EN ISO 9001:2009 Systémy managementu kvality – Požadavky, ÚNMZ Praha, 2009.
 - [7] ČSN EN ISO 14001:2005 Systémy environmentálního managementu - Požadavky s návodem pro použití, ČNI Praha, 2005.
 - [8] ČSN OHSAS 18001:2008 Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci – Požadavky, ÚNMZ Praha, 2008.
 - [9] ČSN ISO 10006: Systémy managementu jakosti – Směrnice pro management jakosti projektů, ed. 2, ČNI Praha, 2004.
 - [10] TICHÝ, M.: Ovládání rizika, Praha, 2006, 80-7179-415-5.
 - [11] DOLEŽAL, J., MÁCHAL, P., LACKO, B., A KOLEKTIV Projektový management podle IPMA, Grada, 2009, ISBN 978-80-247-2848-3.
 - [12] MISÁK, P. Vlastnosti fuzzy inference systémů a jejich aplikace, Diplomová práce, VUT FSI Brno, Brno. 2006.
 - [13] MPA 50-01-09 K aplikaci ČSN EN ISO/IEC 17021:2007 Posuzování shody – Požadavky na orgány provádějící audit a certifikaci systémů managementu v akreditačním systému České republiky.
 - [14] www.csq.cz
 - [15] www.benchmarking.cz
 - [16] KARPÍŠEK, Z. Fuzzy spolehlivost. In Sborník konference REQUEST '06. Praha, Centrum pro jakost a spolehlivost výroby. 2007. p.164 - 177. ISBN 978-80-01-03709-6.

Kontakt

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.

POZNÁMKY:

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

POZNÁMKY:

POZNÁMKY:

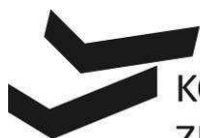
5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

POZNÁMKY:

POZNÁMKY:

5. – 6. října 2010, FAST VUT v Brně

Vysoké učení technické v Brně



KONFERENCE
ZKOUŠENÍ A JAKOST
VE STAVEBNICTVÍ

Sborník recenzovaných příspěvků konference
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2010

5. - 6. října 2010, Fakulta stavební VUT v Brně

Editoři:

Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Náklad: 130 ks

Rok vydání: 2010

Kontaktní adresa:

VUT v Brně, Fakulta stavební

Ústav stavebního zkušebnictví

Veveří 95, 602 00 Brno

ISBN 978-80-214-4144-6