

SBORNÍK RECENZOVANÝCH PŘEDNÁŠEK SYMPOZIA **SANACE 2019**

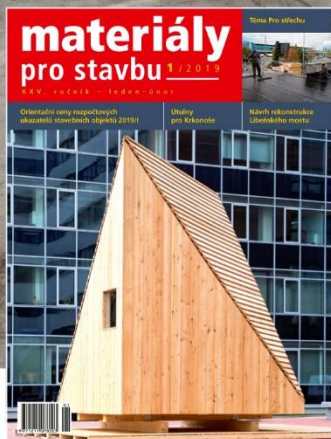


SDRUŽENÍ PRO SANACE
2019
SANACE
KONSTRUKCÍ BETONOVÝCH

27. mezinárodní sympozium, 18. - 19. 5. 2017, Brno
SDRUŽENÍ PRO SANACE BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ

OBSAH

TECHNICKÉ POSÚDENIE REALIZOVATEĽNOSTI ZMENY PRIEPUSTU NA CESTNÝ TUNEL Juraj Bilčík, Július Šoltész	5
SANACE ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE VODOJEMU PASOHLÁVKY Zdeněk Bíza.....	12
SANACE KUBISTICKÉ OBVODOVÉ BETONOVÉ ZDI ĎÁBLICKÉHO HŘBITOVA V PRAZE Zdeněk Bíza, Tomáš Kalábek	19
DAMAGE TO CONCRETE ROADWAY SLABS OF A HIGHWAY DUE TO ALKALI-SILICA-REACTIONS - CAUSES AND EFFECTS Ulrich Diederichs, Dorothea Sklenářová, Dalibor Všianský.....	33
VYUŽITÍ RECYKLÁTU SKELNÝCH VLÁKEN V MATERIÁLECH PRO SANACE BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ Radek Hermann, Aleš Jakubík	44
SANACE CHEMICKY ZATÍŽENÝCH KANALIZAČNÍCH OBJEKTŮ Aleš Jakubík, Radek Hermann	51
SANACE BETONOVÝCH ZÁKLADŮ VEDENÍ VYSOKÉHO A VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ Ivan Kovačík.....	61
AUTOMATIZOVANÉ INSPEKCE DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY NA BÁZI DIGITÁLNÍCH DVOJČAT A STROJOVÉHO UČENÍ Peter Furtner, Ernst Forstner, Albrecht Karlusch, Martin Luňáček, Zdeněk Jeřábek	67
REKONSTRUKCE SKLEPA CHÚV II – 2. ETAPA, TEPLÁRNA TRMICE Libor Šácha	77
VYBRANÉ VADY A PORUCHY ZJIŠTĚNÉ PŘI PROJEKTOVÁNÍ ZÁSAHŮ DO PANELOVÝCH DOMŮ A PŘI PRŮZKUMECH Petr Šimůnek, Ivana Laníková, Rostislav Jeneš	85
VLIV KOROZE PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE NA JEJÍ VLASTNOSTI A MOŽNOSTI SANACE TAKTO VYZTUŽENÝCH BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ Vítězslav Vacek, Jiří Kolísko., Petr Pokorný	95



Odborný časopis určený projektantům, technikům stavebních firem, architektům, stavebním inženýrům a všem zájemcům o novinky v oblasti stavebnictví. Přináší informace především o stavebních materiálech a výrobcích a způsobech jejich použití. Upozorňuje na poruchy vzniklé chybnou volbou technologie či nesprávným postupem a navrhuje možnosti jejich nápravy.

Předplatné je možné objednat na tel.: 225 985 225, 777 333 370
nebo e-mailem: bm@send.cz

Inzerce: Jiří Ladman, jiri.ladman@bmone.cz, tel.: 602 372 312

BETONSERVER – centrum betonu a sanačních technologií

Nový BETONSERVER 2019 – jednoduchý, rychlý, responzivní

On-line služba - vyhledá nejbližší betonárny a firmy z oboru betonových konstrukcí a jejich sanací v libovolném místě České republiky.

Od roku 2000 najdete na doméně www.betonserver.cz

Server je provozován nejen jako nástroj pro zásobování staveb, ale i pro potřeby projektantů a přípravářů výroby. Fixace provozoven dle geografické polohy a výpočet vzdálenosti na konkrétní místo stavby výrazně pomáhá vyšším dodavatelům při hledání reálných možností svých budoucích subdodavatelů a pro optimalizaci výběru poptávaných firem. Zároveň přináší i obsahově velmi kvalitní katalog s komplexním výčtem výrobního sortimentu, prováděných prací a služeb a možnosti způsobu dopravy.

Požadavky ve stavebnictví jsou vždy vázány na konkrétní místo stavby či polohu provozovny. Takový způsob vyhledávání s výpočtem silničních tras nabízí pouze **Betonsserver**.

Žádný vyhledávač či katalog nemůže nabídnout srovnatelné služby a kvalitu informací.

Na Betonsserveru se prezentuje **90 – 95 %** aktivních firem z oboru. Aktualizace se provádějí průběžně a zdarma což zaručuje vždy nejaktuálnější data. S vlastními www prezentacemi jednotlivých firem je server přímo propojen. Není nutné znát stovky www adres či surfovat ve vyhledávačích.

Zaregistrujte Vaši firmu na:

www.betonserver.cz

TECHNICKÉ POSÚDENIE REALIZOVATEĽNOSTI ZMENY PRIEPUSTU NA CESTNÝ TUNEL

TECHNICAL ASSESSMENT OF CONVERSION OF THE SLUICEWAY TO A ROAD TUNNEL

Juraj Bilčík, Július Šoltész

Katedra betónových konštrukcií a mostov,
Stavebná fakulta STU Bratislava

Anotácia:

Technické posúdenie premeny priepustu pre priesakovú vodu na objekt cestnej dopravy sa robilo v rámci požiadavky overenia technickej uskutočniteľnosti takejto zmeny. Diagnostika mala spresniť a rozšíriť informácie o aktuálnom stave železobetónového priepustu a poskytnúť podklady na overenie statickej a dynamickej odolnosti ako aj zostatkovej životnosti tunela najmä z hľadiska korózie výstuže.

Annotation:

The technical assessment of the conversion of the the sluiceway to a road tunnel was made as part of the requirement to verify technical feasibility of such a change. The diagnostics was intended to refine and extend the information about the current state of the reinforced concrete sluiceway and to provide a basis for the verification of static and dynamic resistance as well as the residual lifetime of the tunnel in particular in terms of reinforcement corrosion.

Kľúčové slová:

Priepust, cestný tunel, diagnostika, korózia betónu a výstuže

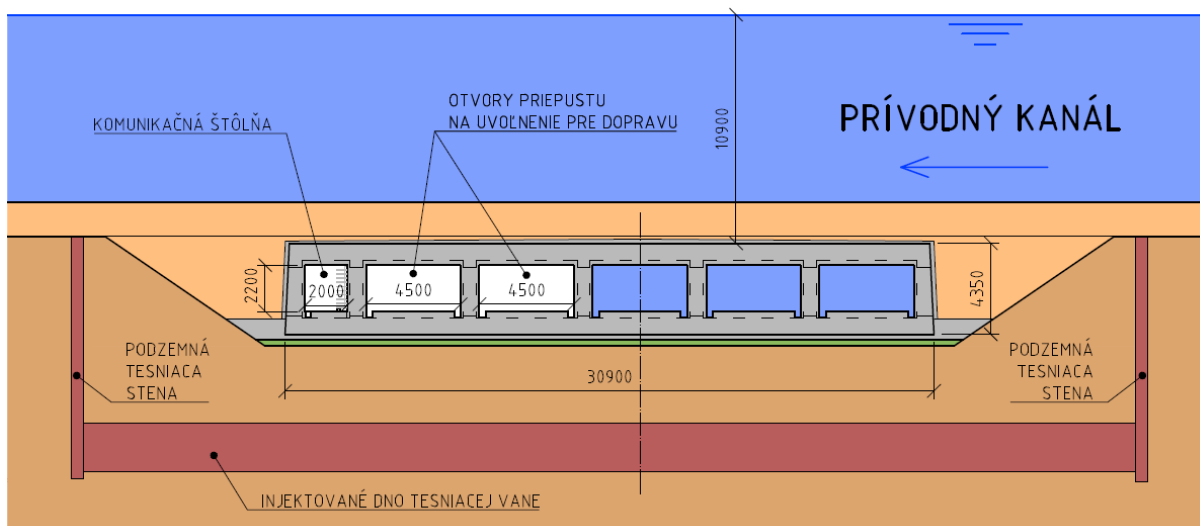
Keywords:

Sluiceway, road tunnel, diagnostics, corrosion of concrete and reinforcement

1. ÚVOD

Cieľom technického posúdenia betónového priepustu pre priesakovú vodu bolo overenie uskutočniteľnosti prestavby časti priepustu na cestný tunel. Zmenou využívania priepustu dochádza k zmenám statického, dynamického a environmentálneho zaťaženia, požiarnej a rázovej odolnosti. Pri hodnotení aktuálneho stavu železobetónového priepustu sa postupovalo podľa STN ISO 13822 [1]. Diagnostikou boli získané podklady pre hodnotenie trvanlivosti priepustu po zmene na cestný tunel. V príspevku sa analyzuje zostatková životnosť na základe korózie betonárskej výstuže iniciovanej karbonatáciou betónu, resp. difúziou chloridov, ako dôsledok zvýšenej agresívnosti prostredia v cestnom tuneli. Na získanie podkladov pre predpovedanie zostatkovej životnosti priepustu sa stručne komentujú použité diagnostické metódy a ich výsledky.

Existujúci priepust v km 4,0 pod prírodným kanálom k VD Gabčíkovo má päť otvorov na prietok vody (vnútorné rozmery otvoru 4,50 x 2,50 m) a jednu komunikačnú štôľňu (vnútorné rozmery 2,0 x 2,20 m) – obr. 1. Dĺžka priepustu je 499,74 m [2].



Obrázok 1.: Priechový rez priepustu v km 4,0 pod prírodným kanálom k VD Gabčíkovo [2]

2. AKTUÁLNY TECHNICKÝ STAV PRIEPUSTU

Nosná konštrukcia priepustu bola projektovaná a realizovaná v roku 1990, ako rámová spriahnutá železobetónová konštrukcia (prefa-monolit), pozostávajúca z 27 blokov. Nosné prvky boli navrhnuté z vodostavebného betónu značky HV4 – 250 a betonárska výstuž z ocele 10 425 (V). V zmysle zrušenej STN 73 2001 [3] sa jedná o hrubostenný (masívny) vodonepriepustný betón s kockovou pevnosťou 250 kp/cm² (25 N/mm²) a stupňom „vodotesnosti“ V4. Na základe STN ISO 13822 v tab. NC. 1 navrhovaný betón zodpovedá podľa STN EN 206 [4] pevnostnej triede C16/20.

2.1 Limitující aspekty návrhu řešení

Návrh řešení cestného tunela v dvouh otvoroch existujúceho priepustu je limitovaný nasledujúcimi skutočnosťami [2]:

- malé svetlé rozmery otvorov priepustu,
- extrémne malý pozdĺžny sklon 0,016 %,
- obmedzené zásahy do nosnej konštrukcie,
- zachovanie funkcionality priepustu,
- veľké výškové rozdiely medzi niveletou priepustu a niveletami napojení na komunikácie (nad úroveň povodňových hladín),
- minimalizácia zásahov do dotknutých stavieb a pozemkov.

2.2 Diagnostika priepustu

Na zistenie skutkového stavu z hľadiska technickej uskutočniteľnosti prebudovania časti priepustu pre cestnú dopravu a kvalifikovaného odhadu zostatkovej životnosti železobetónovej konštrukcie ako cestného tunelu sa použili tieto diagnostické metódy:

- podrobná vizuálna prehliadka,
- stanovenie pevnosti betónu v tlaku z jadrových vývrtov,
- zistenie osovej vzdialenosti, priemerov a hrúbky krycej vrstvy výstuže,
- merania hĺbky karbonatácie betónu.

Plochy zvislých stien boli v čase prehliadky vlhké a mali rôzne formy znečistenia vyplývajúce z dlhodobého styku s priesakovou podzemnou vodou. Neboli zaznamenané významné poruchy ovplyvňujúce odolnosť, použiteľnosť alebo trvanlivosť betónu alebo výstuže stien priepustu. Za účelom zistenia valcovej pevnosti betónu v tlaku a objemovej hmotnosti betónu boli zo steny priľahlej ku komunikačnej štôlni odobrané valcové vývrty priemeru 94 mm. Na základe ich vyhodnotenia bol betón stien priepustu zaradený do pevnostnej triedy C 35/45.

Na základe tvaru povrchu obnaženej výstuže steny z vývrtov bolo zistené, že vodorovná aj zvislá výstuž steny je z betonárskej ocele druhu O 10 425 (V), čo zodpovedá navrhutej výstuži uvedenej vo výkresoch výstuže. Vodorovná betonárska výstuž steny zistená z vývrtov je $\varnothing 12$ a zvislá $\varnothing 16$. Na vývrtoch bolo zistené priemerné krytie vodorovnej výstuže 21 mm a zvislej 33 mm. Hĺbka karbonatácie betónu steny sa zisťovala fenolftaleínovou metódou podľa STN EN 14630 [5]. Hĺbka karbonatácie sa pohybovala od 1 do 5 mm. Väčšie hĺbky karbonatácie betónu boli zistené v blízkosti portálu, kde bola menšia vlhkosť betónu. Na základe uvedeného možno konštatovať, že všetka výstuž steny sa t. č. nachádza v alkalickom prostredí, čo ju chráni proti elektrochemickej korózii ocele.

3. STANOVENIE ZOSTATKOVEJ ŽIVOTNOSTI

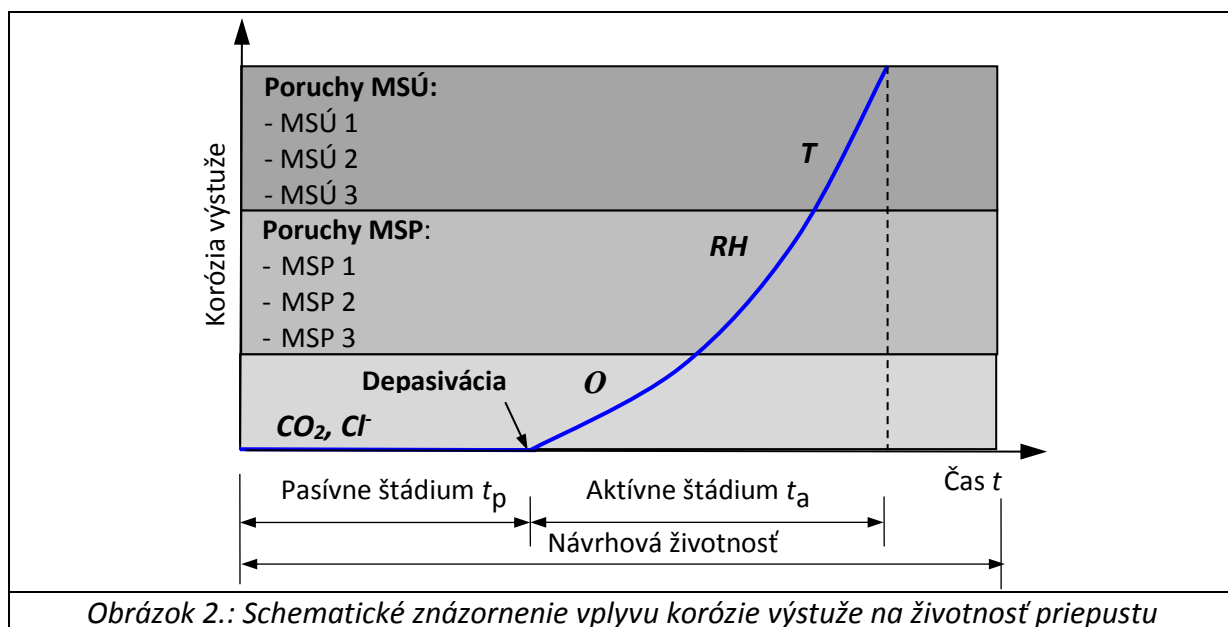
Betónu a výstuži priepustu prospievalo dlhodobo vlhké prostredie priepustu bez zmrazovacích a rozmrazovacích cyklov, čím boli vytvorené priaznivé podmienky pre jeho hydratáciu. Vlhosť betónu navyše spomaľovala jeho karbonatáciu, takže všetka betonárska

výstuž je v súčasnosti v alkalickom prostredí betónu, ktoré vytvára pasivujúci povlak na jej povrchu.

Zmena využitia priepustu na cestný tunel sa výrazne prejaví na zostatkovej životnosti objektu. Cestný tunel bude vystavený stupňom agresívnosti prostredia:

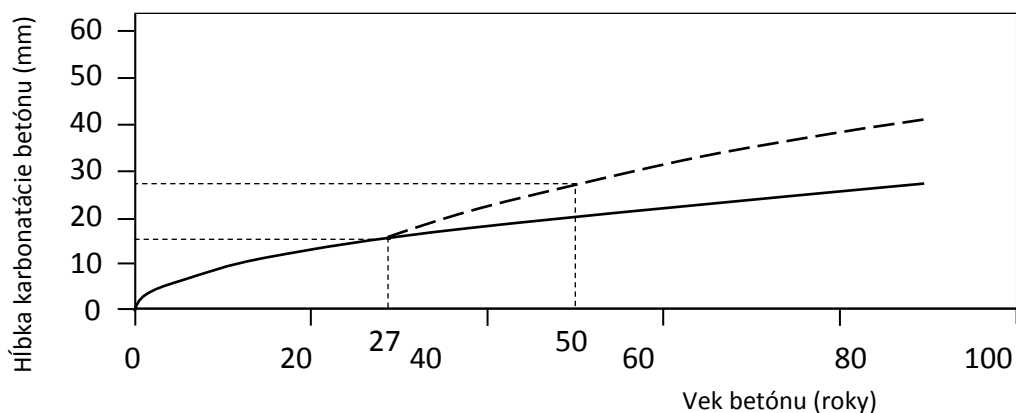
- XC3 z hľadiska karbonatácie betónu,
- XD3 z hľadiska difúzie chloridových iónov z chemických rozmrazovacích látok (ChRL).

Na základe vyššie uvedených skutočností sa posúdenie zostatkovej životnosti sústreďuje na priebeh korózie betónu a betonárskej výstuže iniciovanej karbonatáciou betónu, resp. difúziou chloridov z ChRL, ktoré môžu mať významný vplyv na železobetónový konštrukciu po zmene na cestný tunel z hľadiska medzných stavov únosnosti, použiteľnosti i trvanlivosti (obr. 2).



3.1 Zostatková životnosť z hľadiska korózie výstuže iniciovanej karbonatáciou betónu

Obsah CO_2 v bežnej atmosfére je s hodnotou 0,04 % prakticky konštantný, t. j. približne 800 mg/m^3 . V tuneloch alebo garážach je významne vyšší obsah CO_2 vo vzduchu (do 0,1 %, t. j. 2000 mg/m^3) [6]. Na ochranu výstuže v cestnom tuneli treba preto urobiť opatrenia na spomalenie postupu karbonatácie betónu, napr. náterovým systémom s veľkým difúznym odporom pre CO_2 . Pasívne štádium po zmene využívania priepustu na cestný tunel by sa skrátilo odhadom na $t_p = 50$ rokov od dátumu zhotovenia priepustu, t. j. $t_p = 50 - 27 = 23$ rokov pre vodorovnú výstuž (obr. 3) a $t_p = 40$ rokov pre zvislú výstuž od roku 2017 (plánovaný rok zmeny účelu priepustu na tunel).



Obrázok 3.: Predpokladaný postup karbonatácie betónu priepustu (plná čiara) a po zmene na cestný tunel (čiarkovaná čiara)

Aktívne štádium korózie výstuže sa považuje za ukončené, ak nastane neakceptovateľná strata prierezovej plochy výstuže alebo súdržnosti, prípadne ak sa v betónovej krycej vrstve zistia trhliny vyvolané koróziou výstuže. Pokiaľ nie sú k dispozícii podrobnejšie postupy, potom sa dĺžka aktívneho štádia môže stanoviť napríklad podľa vzťahu v uvedeného v EHE 08 [5].

Celkovú životnosť priepustu po prebudovaní t možno zapísať v tvare: $t = t_p + t_a$

Časový úsek do prejavenia uvedených porúch korózie výstuže sa stanovil výpočtom [7]: $t_a = 36$ rokov pre vodorovnú výstuž a $t_a = 39$ rokov pre zvislú výstuž.

Zostatková životnosť priepustu po prebudovaní na cestný tunel z hľadiska korózie výstuže iniciovanej karbonatáciou betónu:

- vodorovná výstuž $t = t_p + t_a = 23 + 36 = 59$ rokov,
- zvislá výstuž $t = t_p + t_a = 40 + 39 = 79$ rokov.

3.2 Zostatková životnosť z hľadiska korózie výstuže iniciovanej chloridmi

Keď sú betónové konštrukcie vystavené pôsobeniu chloridov (napr. z ChRL), chloridové ióny difúziou prenikajú do betónu, po kontakte s betonárskou výstužou akcelerujú jej koróziu. Dĺžka pasívneho štádia sa vypočítala podľa Model Code 2010 [8] a dĺžka aktívneho štádia podľa [7]. Tabuľka 1 obsahuje zhrnutie výsledkov výpočtu dĺžky pasívneho a aktívneho štádia korózie výstuže, hrúbka krycej vrstvy je uvažovaná hodnotou 27 mm (vodorovná výstuž).

Tabuľka 1.: Zostatková životnosť z hľadiska chloridmi iniciovanej korózie výstuže [9]

Výp. č.	Typ cementu	w/c	Krytie (mm)	Δx (mm)	Cs (%)	Cs,0 (%)	Pasívne štádium (roky)	Aktívne štádium (roky)	Návrhová životnosť (roky)	Hodnotenie životnosti
1.	CEM II	0,40	27	0,0	0,4	0,10	16,94	9,00	25,94	Nevyhovuje
2.	CEM II	0,45	27	0,0	0,4	0,10	11,20	9,00	20,20	Nevyhovuje
3.	CEM II	0,50	27	0,0	0,4	0,10	6,55	9,00	15,55	Nevyhovuje

Poznámka: Pri hodnotení výsledkov životnosti bola minimálna životnosť uvažovaná hodnotou 60 rokov.

4. Záver

Diagnostika priepustu preukázala, že betón i betonárska výstuž sú z hľadiska trvanlivosti vo veľmi dobrom stave. Pri zachovaní súčasného využívania priepustu je jeho zostatková životnosť približne 60 rokov, a to aj bez významnejšej sekundárnej ochrany betónu a výstuže. V prípade zmeny využívania priepustu na cestný tunel dochádza k výraznému zvýšeniu účinkov environmentálneho zaťaženia na betón i výstuž.

V príspevku sa hodnotia účinky zrýchlenej karbonatácie betónu a difúzie chloridových iónov na koróziu betonárskej výstuže.

Z hodnotenia životnosti priepustu z hľadiska chloridovej korózie výstuže vyplýva, že hodnota betónovej krycej vrstvy nevyhovuje požiadavkám pre hrúbku betónovej krycej vrstvy z hľadiska trvanlivosti pre stupeň prostredia XD3. Pri zmene účelu posudzovanej betónovej konštrukcie priepustu na cestný tunel po dobu plánovanej životnosti 60 rokov sa odporúča spomaliť postup CO₂ a zabrániť prenikaniu chloridových iónov z ChRL do betónovej konštrukcie vhodnými náterovými systémami.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol za podpory výskumného projektu VEGA 1/0456/15 „Nelineárna analýza betónových a spriahnutých konštrukcií“ a Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0658.

Literatúra

[1] STN ISO 13822 (2010): Zásady navrhovania konštrukcií. Hodnotenie existujúcich konštrukcií.

-
- [2] Basler a Hofmann: Štúdia uskutočniteľnosti – A. Technická správa (2017)
- [3] STN 73 2001 Navrhování betonových konstrukcí. 1986
- [4] STN EN 206 2013+A1:2017: Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda, 2017
- [5] STN EN 14630 Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Skúšanie hĺbky karbonizácie v zatvrdnutom betóne fenolftaleínovou metódou, 2007
- [6] Stark, J.; Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton. Springer-Verlag, 2013
- [7] EHE 08: Code on Structural Concrete. Ministerio de Fomento (Spain), 2010, 556 str. Annex 9
- [8] Model Code 2010 (Final draft). fib (CEB – FIP), 2011, 676 str.
- [9] Hollý, I.; Bilčík, J.: Diagnostika a životnosť priepustu pod prírodným kanálom VD Gabčíkovo, Stavebnictví 05/2019

Kontakt

Prof. Ing. JURAJ BILČÍK, PhD., tel.: +421 2 59 274 546, Katedra betónových konštrukcií a mostov, SvF STU Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovensko

Doc. Ing. JÚLIUS ŠOLTÉSZ, PhD., tel.: +421 2 59 274 384, Katedra betónových konštrukcií a mostov, SvF STU Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovensko

SANACE ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE VODOJEMU PASOHLÁVKY

REPAIR REINFORCED CONCRETE CEILING CONSTRUCTION OF PASOHLÁVKY WATER TANK

Zdeněk Bíza

SASTA CZ, a.s.

Anotace:

Předmětem komplexní opravy stropní konstrukce vodojemu Pasohlávky bylo provedení sanace a statické zajištění nevyhovující železobetonové konstrukce. Původní stav nebyl vyhovující, docházelo k odpadávání části betonové konstrukce z důvodu koroze oceli a malým krycím vrstvám betonu.

Annotation:

The subject of the complex repair of the ceiling structure of the water reservoir Pasohlávky was the remediation and static provision of the unsatisfactory reinforced concrete structure. The original condition was inadequate, parts of the concrete structure were dropped due to steel due to steel corrosion and small cover layers of concrete.

Klíčová slova:

Oprava, statické zajištění, sanace, sanace betonů, betonáž, strop, vodojem, Pasohlávky.

Keywords:

Repair, static securing, remediation, concrete restoration, concreting, ceiling, water reservoir, Pasohlávky.

1. Úvod

Konstrukce stropní desky vodojemu, která již vykazovala poškození povrchových vrstev a korozi části výztuže v betonu, byla určena k sanaci a generální opravě. Opravy byly prováděny při částečné odstávce vodojemu, pro zachování provozu byla sanace prováděna postupně vždy v jedné ze dvou nádrží. S ohledem na provoz a potřebu zásobování pitnou vodou byla mezi etapami realizace delší časová prodleva.

2. Popis původního stavu konstrukce

Vodojem postavený v šedesátých letech 20. století má základní konstrukci tvořenou železobetonem. Základ byl proveden jako deska tloušťky 400 mm vyztužený u spodního a horního líce desky. Obvodové stěny a vnitřní dělicí stěna je železobetonová, obvodové stěny jsou v tl. 400 mm a vnitřní stěna v tl. 500 mm. Vnitřní rozměr komor je 19,9x10,2 m. V každé komoře jsou umístěny dva železobetonové prefabrikované sloupky 300/300 mm, které jsou vetknuty do základové patky 1,3x1,3 m, která má tvar jehlanu a zajišťuje přenesení zatížení do základové desky na větší plochu, aby nedošlo k protlačení základové desky, protože základová deska není vyztužena smykovou výztuží vůči protlačení konstrukce. Podle dochované části projektové dokumentace jsou konstrukce z vodostavebního betonu V4 – B 250 a vyztuženy ocelí 10 216.

Sloup má rozšířenou hlavu pro uložení železobetonových průvlaků ve dvou směrech. Průvlaky jsou prefabrikované se zmonolitněním vnitřní části. Vnější část nosníků je vyrobena jako prefabrikát a v příčném řezu tvoří písmeno „U“. Zmonolitňující betonová část průvlaku je přetažena z prefabrikované části do stropní desky, která je tvořena z prefabrikovaných stropních panelů, dle dochovaných výkresů se jedná o stropní panely ozn. PZD 65-100/530, které jsou vylehčeny otvory. Panely jsou uloženy na příčné průvlaky, uložené na rozšířené hlavy sloupů a dále na krátké konzoly, které jsou vetknuty do železobetonových stěn.

Prohlídkou pracovníků investora v roce 2015 bylo zjištěno, že stropní konstrukce nad zásobníkem pitné vody vykazuje výraznější degradaci a na základě provedené prohlídky bylo zjištěno, že je obnažena třmínková výztuž na spodním líci stropních desek a průvlaků.

U prefabrikované části konstrukce, kde byla provedena menší krycí vrstva výztuže, a která se nachází přímo nad vodní hladinou, tak byl již povrch betonu narušen v rozsahu, že začalo docházet k odpadávání povrchových vrstev do vodní nádrže. Současně neustálý koloběh vody a vodních par podporuje karbonataci betonu a stálá vlhkost pak urychluje korozi výztuže. Původní železobetonová konstrukce nebyla nijak povrchově upravena.

U svislých stěn a železobetonových sloupů nebylo porušení konstrukce pozorováno. U nosných průvlaků bylo rovnoměrné poškození, při kterém došlo k obnažení třmínkové výztuže. U stropních desek byly viditelné stopy po hlavní nosné výztuži, která byla obnažena

z cca 50 % pohledové plochy. Byl předpoklad, že již došlo k úbytku plochy výztuže na stropních deskách do 30 %.

3. Sanace železobetonové konstrukce stropu

S ohledem na typ konstrukce a její účel byl sanační zásah naplánován v rámci udržovacích prací a dle možností odstávky části vodojemu. Práce byly rozděleny na 2 etapy, vždy se práce prováděly v jedné zásobní komoře, kdy druhá komora byla v provozu.

Tento postup si vyžádal opatření tak, aby nedošlo ke kontaminaci vody v provozované části vodojemu, zejména s ohledem na ztížený přístup do akumulčních nádrží, kdy veškerý materiál, pracovní nástroje a lešení muselo být transportováno ručně bez použití mechanizace. Pro přístup ke konstrukci stropu nacházejícího se ve výšce 6,2m nad úrovní dna bylo zřízeno pracovní lešení s plnou podlahou pod stropní konstrukcí. Pro snížení velmi vysoké vlhkosti v prostoru akumulční nádrže bylo využito průmyslového odvlhčovače vzduchu.

Konstrukce byla nejprve očištěna mechanicky od nesoudržných vrstev betonu na stropních panelech včetně jejich lokálního podepření stojkami. Následně byla konstrukce celoplošně očištěna tryskáním vodním paprskem a očištěna obnažená stávající výztuž mechanicky od rzi. Veškerá obnažená původní výztuž byla natřena po očištění pasivačním nátěrem.

Z důvodu, že na stropní konstrukce je proveden násyp a statickým posouzením bylo zhodnoceno, že konstrukci je nutno zesílit, bylo provedeno zesílení konstrukce stropních panelů osazením doplňkové podélné spodní výztuže do vyfrézovaných drážek v betonu. Konstrukce průvlaků byla zesilována nově přidanou podélnou a smykovou výztuží, na koncích vlepenou do vrtů na chemickou kotevní maltu. Na konstrukci průvlaků byla dále aplikována jako pomocná výztužná síť s oky 40x40 mm.

Konstrukce stropních panelů a průvlaků byla po provedení přidané výztuže celoplošně sanována hrubou tixotropní maltou pro sanace betonových konstrukcí s přísadou inhibitorů koroze. Na stropní panely byla aplikována sanační malta v tloušťce cca 25 mm, u průvlaků byla tloušťka vrstvy cca 50 až 70 mm. Současně byly opraveny a sanovány konzoly na stěnách a rozšířená hlava sloupu pro průvlakly.

Konečná povrchová úprava byla provedena dvousložkovou hydroizolační stěrkou s atestem na přímý styk s pitnou vodou v šedé barvě.

4. Materiálová skladba sanačního systému

- Betosan Densocrete 111 a 222
- Betosan Superfix TH
- Betosan Armobet 40/40/2
- Betosan Unisan TH Crete
- Betosan Waterfin PV šedý

5. Základní údaje o stavbě

- Místo: Pasohlávky, VDJ Pasohlávky
- Investor: Vodovody a kanalizace Břeclav, a.s. (IČO: 49455168)
- Projektant: OK. Atelier s.r.o. (IČO: 60744456)
- Zhotovitel: SASTA CZ, a.s. (IČO: 26240980)
- Stavbyvedoucí: Radek Říčka (SASTA CZ, a.s.)
- Plocha sanovaného stropu: 425 m²
- Termín realizace: 05/2018 - 02/2019 (2 etapy)

6. Závěr

Provedením celkové opravy stropní konstrukce vodojemu zajistil investor delší životnost konstrukce a kvalitu dodávané pitné vody.

Literatura

- [1] OK. Atelier s.r.o.: Projektová dokumentace VDJ Pasohlávky - sanace ŽB stropní konstrukce. 12/2015.
- [2] SASTA CZ, a.s.: Realizační dokumentace SASTA, 2019.

Kontakt

Ing. ZDENĚK BÍZA (technolog), mail: biza@sasta.cz, SASTA CZ, a.s., Votroubkova 546/11, 620 00 Brno, www.sasta.cz.

Fotodokumentace



Obrázek 1.: Zesilování konstrukce přidanou výztuží



Obrázek 2.: Konstrukce před aplikací sanační malty



Obrázek 3.: Aplikace sanační malty



Obrázek 4.: Konstrukce po provedení hrubé sanace



Obrázek 5.: Konstrukce po sanaci



Obrázek 6: Prostor akumulční nádrže po demontáži lešení

SANACE KUBISTICKÉ OBVODOVÉ BETONOVÉ ZDI ĎÁBLICKÉHO HŘBITOVA V PRAZE

RESTORATION OF THE CUBIST PERIPHERAL CONCRETE WALL OF THE ĎÁBLICE CEMETERY IN PRAGUE

Zdeněk Bíza, Tomáš Kalábek

SASTA CZ, a.s.

Anotace:

Předmětem komplexní opravy kubistické ohradní zdi Ďáblického hřbitova bylo provedení sanace a statické zajištění nevyhovující konstrukce zdi. Opravovaná zeď je zapsána na seznamu národních kulturních památek a při opravě bylo nutno postupovat v souladu s požadavky pracovníků národního památkového ústavu. Provedenou opravou bylo zajištěno přetrvání památky a vzácného typu ohradní zdi pro další generace.

Annotation:

The subject of the complex repair of the cubist wall of the Ďáblice Cemetery was the remediation and static securing of the unsuitable wall structure. The repaired wall is on the list of national cultural monuments and during the repair it was necessary to proceed in accordance with the requirements of the staff of the National Heritage Institute. The repair has ensured the survival of the monument and the rare type of enclosure wall for future generations.

Klíčová slova:

Oprava, statické zajištění, sanace, sanace betonů, injektáž, betonáž, sešívání trhlin, helikální výztuž, zeď, hřbitov, Ďáblice.

Keywords:

Repair, static securing, remediation, concrete remediation, grouting, concreting, cracking, helical reinforcement, wall, cemetery, Ďáblice.

1. Úvod

Konstrukce obvodové betonové zdi Ďáblického hřbitova z počátku 20. století byla správcem hřbitova vyhodnocena jako výrazně poškozená a bylo nutno přistoupit k její sanaci a celkové opravě. Hřbitov byl vybudován těsně před 1. světovou válkou v kubistickém slohu podle projektu architekta Vlastislava Hofmana. Sloh je patrný zejména na obvodové zdi a kapli. Zeď byla postavena v době, kdy byly železobetonové konstrukce zaváděny a kvalita betonu byla dosti různorodá. V některých částech není konstrukce prakticky vůbec vyztužena armaturou a hlavně v důsledku nesprávných postupů při stavbě zdi vznikaly četné pracovní spáry, které byly příčinou statických poruch. Obvodová zeď byla narušena trhlinami, do kterých zatékalo, působením vody a mrazu podléhala konstrukce zkáze a náletová vegetace navíc narušovala statiku zdi. U robustní železobetonové zdi byla v minulosti potřeba opravy podceňována, protože se pravděpodobně zdálo, že beton vydrží věčně.

2. Základní informace o Ďáblickém hřbitově

Jedná se o jediný kubistický hřbitov v České republice a v podstatě na celém světě. Na svém místě stojí od roku 1914 (realizace 1912 – 1914) a autorem návrhu, podle kterého byl postaven, byl významný český architekt, urbanista, malíř a grafik Vlastislav Hofman. Vyznačuje se unikátním architektonickým a urbanistickým řešením.

Hřbitov vyniká umělecky cennou hřbitovní zdí a už na první pohled každého zaujme monumentální vstupní brána s pavilony v kubistickém stylu. Také márnice je postavena v kubismu. Nádvoří nese kubistické prvky na lavičkách, odpadkových koších, a dokonce i pumpě na vodu. Také nový hlavní vchod je postaven v neokubistickém stylu. Jedná se o působivé místo s dramatickým a uměleckým charakterem.

Na Ďáblickém hřbitově je přes 20.000 evidovaných hrobů. Se svojí rozlohou téměř 30 ha je po Olšanském hřbitově druhým největším v Praze. Od roku 1943 jsou zde hromadně pohřbívány neidentifikovatelné ostatky sebevrahů a mrtvol po pitvách. Uprostřed hřbitova je pohřebiště jugoslávských a italských partyzánů z druhé světové války a oběti Pražského povstání. Jsou zde pohřbeny osoby mučené a popravené, oběti komunistického režimu, stejně jako padlí účastníci protinacistického odboje – Jan Kubiš nebo Jozef Gabčík.

Ďáblický hřbitov je zapsán na seznamu národních kulturních památek a je památkově chráněn od roku 1984.

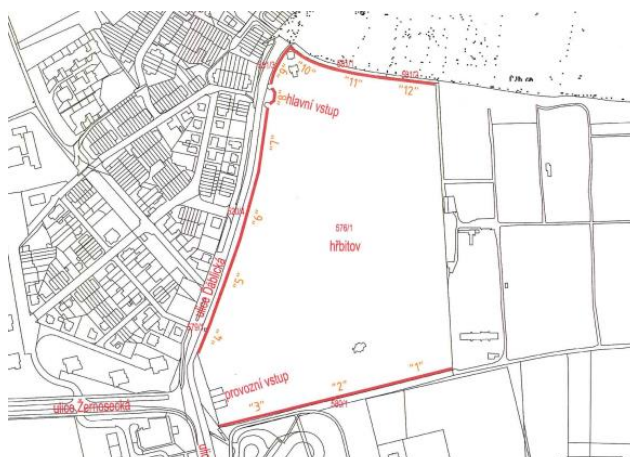
3. Původní stav konstrukce

Obvodové betonové zdi hřbitova kontinuálně ohraničují jeho prostor a jsou tvořeny sloupky a mezi nimi vybetonovanými stěnami. Jednotlivá pole jsou cca 5 až 8 metrů dlouhá, dilatovány byly ve vzdálenosti 2 nebo 3 polí. Koruna stěny je tvořena římsou tvaru

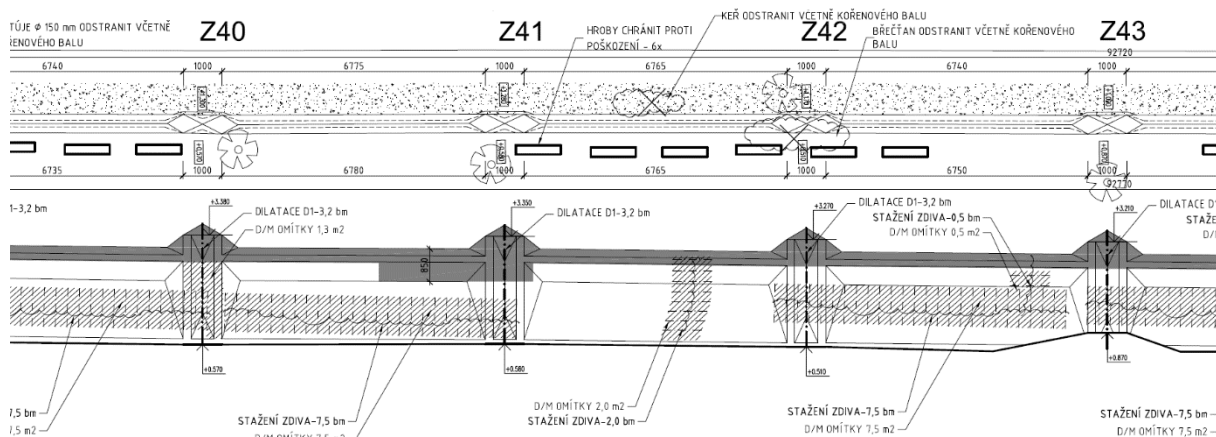
trojúhelníku v západní části, jižní a severní je ve špiči seříznuta. Betonová zeď má tloušťku cca 180 mm, směrem ke sloupkům se kónicky rozšiřuje na cca 500 mm. Celková délka sanované zdi je 1,1 km.

Na konstrukci zdi bylo patrné několik druhů poruch, které měly vliv na trvanlivost a funkčnost konstrukce. Jednalo se zejména o svislé a vodorovné trhliny v dřívku stěny v místech pracovních spár, lokální svislé a vodorovné trhliny v ploše konstrukce a korozi výztuže římsy na koruně stěny, která byla příčinou vzniku trhlin a odpadávajících krycích vrstev betonu nad výztuží. Patrné byly také průniky vody konstrukcí v místě dilatačních spár a v místě výše popsaných vzniklých poruch. Průnik vody do konstrukce byl příčinou porušení konstrukce cyklickým působením mrazu. Lokálně byla koruna obvodové zdi zatížena růstem zeleně, která byla příčinou bio koroze a degradace konstrukce. Současně se na zdi podepsali současní "umělci" a vyzdobili ji graffiti.

Účelem oprav uvedených poruch bylo zajistit řešení nevyhovujícího technického stavu konstrukce, který by bez řádné opravy a následné údržby vedl až ke zborcení některých polí, především v jižní části zdi.



Obrázek 1.: Půdorysné schéma zdi hřbitova



Obrázek 2.: Tvar konstrukce na západní straně



Obrázek 3.: Poškození portálu původní hlavní brány

4. Statické zajištění a sanace zdi

V rámci detailní projektové dokumentace odsouhlasené památkovým ústavem bylo stanoveno několik cílů na opravu betonové zdi tak, aby byla zachována konstrukce pro další generace. Konstrukce byla rozdělena v rámci dokumentace a oprav na 12 sekcí a u každé sekce byly stanoveny jednotlivé parametry a postupy oprav. S ohledem na provoz hřbitova se práce prováděly za jeho provozu, s přerušением činností v době konání smutečních či vzpomínkových obřadů. Veškeré práce probíhaly za dohledu pracovníků národního památkového ústavu.

4.1 Průzkum konstrukce

V rámci dodávky sanačních prací bylo provedení detailního průzkumu původní konstrukce a ověření předpokladů projektu, který vycházel z nižšího stupně průzkumu. Na jednotlivých částech a úsecích konstrukce byly provedeny zkoušky stávajících betonů, a to jak destruktivních tak nedestruktivních. Byly provedeny zkoušky pevnosti v tlaku na provedených jádrových vývrtech, stanovení objemové hmotnosti betonu, stavení pevnosti betonu v tahu povrchových vrstev vč. hloubky karbonatce a nasákavosti. Součástí průzkumů bylo také stanovení krycích vrstev betonu nad výztuží a obsah chloridových iontů v povrchových vrstvách betonu, kde se předpokládal vyšší stupeň zasolení u konstrukce přiléhající k ulici Ďáblická. Součástí byla detailní fotodokumentace původní zdi.

Původní konstrukce vykazovala při zkouškách pevnosti betonu v tahu povrchových vrstev nižší hodnoty na vnějších plochách než na vnitřních, čímž byl potvrzen předpoklad projektu. Podkladní vrstvy vykazovaly průměrné hodnoty od 1,1 do 1,9 MPa, čímž byl zajištěn předpoklad pro provedení sanace.

Pevnost betonu v tlaku stanovená na vývrtech prokázala potřebu náhrady určitých částí konstrukce. Dle průměrné pevnosti ve všech zkoumaných profilech bylo možné beton stěny zařadit do pevností třídy C12/15, některé zkoušené úseky stěny ale dosahovaly průměrné pevnosti pouze pro třídu C8/10, jiné ale zase C20/25. V některých polích byly naměřené hodnoty vzorků výrazně nízké, zejména zkušební pole 04 (jižní strana; 2,6 MPa) a střed stěny úseku 11 a 12 (severní strana; 6,5-8,6 MPa).

Hloubka karbonatace povrchových vrstev se pohybovala v rozpětí 2 až 32mm, při průměrné hloubce 12mm. Výsledky nasákavosti dosahovaly i v jednom průřezu stěny výrazně rozdílných hodnot (4-10%), což ukazovalo na nestejnou kvalitu použitých materiálů - betonů. Výsledky nasákavosti korelovaly s výsledky zkoušek objemových hmotností a pevností v tlaku.

Součástí průzkumných prací bylo zjištění způsobu provedení vyztužení stávající konstrukce, kde se prokázalo, že zeď je minimálně vyztužena. Ve všech zkoumaných profilech zdi nebyla nalezena žádná výztuž v plochách stěny (vodorovná i svislá), taktéž nebyla nalezena žádná svislá výztuž ve sloupcích. Absenci výztuže dokládalo radarové vyšetření zdi. Ve stěně tedy zcela chyběla svislá výztuž. Vodorovná výztuž byla nalezena vždy pouze v hlavě zdi, kde se nacházelo několik prutů hladké výztuže. Průměr výztuže se náhodně mění od 5 do 9 mm. Výztuže byly lokálně narušeny korozí, oslabení výztuže se lišilo na jednotlivých zkoumaných úsecích. Při následných bouracích pracích byly tyto výsledky ověřeny i vizuálně. Tímto se potvrdila domněnka, že ohradní zeď je víceméně zhotovena z prostého betonu.

Zkouškou stanovení obsahu chloridových iontů v povrchových vrstvách bylo prokázáno, že konstrukce není výrazněji poškozena a kontaminace betonu chloridovými ionty vyhovuje pro kategorii železový beton a prostý beton.

Průzkum potvrdil správnost způsobu řešení opravy dle projektu, provedení náhrady hlavy ohradní zdi v celé délce a dalších způsobů sanace.



Obrázek 4.: Provádění jádrového vývrtu z původní konstrukce zdi

4.2 Bourací práce

Na nejvíce poškozených částech zdi bylo rozhodnuto provést náhradu degradovaného betonu za nový, při zachování původního tvaru konstrukce. Před prováděním bouracích prací byly jednotlivé části zdi změřeny pro následnou výrobu atypického bednění. Při bourání konstrukce se využívalo pro minimalizaci poškození zachovávané části konstrukce otřesy diamantové řezání konstrukce, kdy bourané části byly prvně odříznuty a následně vybourány.



Obrázek 5.: Bourání nejvíce poškozených částí zdi

4.3 Náhrada novou konstrukcí

Plně nahrazované části zdi byly prováděny z transportbetonu třídy C30/37 čerpaného do speciálně tvarovaného bednění podle dané části zdi a vyztuženého dle požadavku projektu a kotveného s původní zachovanou částí konstrukce pomocí výztuže vlepené do chemické kotevní malty. Vzhledem k atypickému vzhledu konstrukce byly na bednění použity bednicí dílce upravované speciálně pro každé pole zdi, s formami vyřezávanými z polystyrénu a vkládanými do bednění. Během provádění bylo provedeno nejprve zkušební pole pro ověření kvality a postupů a následně byl postup replikován na celý rozsah zdi.

4.4 Příprava podkladu

Podklad byl připravován dle běžných postupů pro sanace betonových konstrukcí, využito bylo zejména lehké ruční elektrické nářadí – sekací a vrtací kladiva, ruční úhlové brusky s diamantovými kotouči či ocelovými kartáči a na finální úpravu před sanací bylo využito vysokotlakého vodního paprsku.



Obrázek 6.: Atypické bednění hlavy zdi



Obrázek 7.: Složené bednění na hlavu zdi

4.5 Ochrana obnažené výztuže

Lokálně na zachované části konstrukce byla obnažena původní výztuž zdi, která byla očištěna do kovového lesku a ošetřena pasivačním nátěrem na výztuž. V místech, kde byla koroze výraznější a úbytek větší, docházelo většinou k celkové náhradě konstrukce zdi, případně byla výztuž lokálně doplněna.

4.6 Injektáž trhlin

Trhliny byly v konstrukci lokálně velice výrazné, zejména v místě původních pracovních spár. Na části zdi, která nebyla určena k plné náhradě, byly trhliny injektovány epoxidovými pryskyřicemi. S ohledem na tvar a tloušťku konstrukce byly většinou injektovány až po provedení hrubé sanace za pomoci předem instalovaných injektážních pakrů, které byly z

důvodu tloušťky sanace nadstaveny injektážní trubičkou z polyetylénu. Injektáž trhlin probíhala pomocí běžného elektrického čerpadla na epoxidové pryskyřice. Protože se injektáž prováděla na venkovní konstrukci, do které se přes den opírá slunce, bylo nutno použít materiál s delší dobou reakce (Sanax Resilinjekt E1T), aby nedocházelo k ucpávání čerpadla. V letních měsících muselo být přesto přistoupeno k injektáži pouze v ranních hodinách a chlazení injektovaného materiálu. Díky těmto opatřením se podařilo zajistit, že epoxidová směs s velmi nízkou viskozitou pronikla do všech zamýšlených trhlin. Materiál, který vytékal netěsnostmi na povrch konstrukce, musel být před aplikací dalších sanačních vrstev mechanicky odstraněn.



Obrázek 8.: Příprava trhliny pro injektáž, osazené pakry



Obrázek 9.: Čištění povrchu konstrukce, tryskání povrchu před sanací

4.7 Sešívání trhlin

Aktivní trhliny byly zároveň s ohledem na typ konstrukce sešity helikální výztuží aplikovanou do vyfrézovaných drážek a vlepovanými do systémového tmelu dodavatele materiálu. Nejčastěji byly používány kotevní spony v délce 1000 mm.



Obrázek 10.: Sešívání horizontálních trhlin helikální výztuží

4.8 Reprofilace

Pro hrubou sanaci betonové konstrukce bylo využito běžných sanačních hmot od výrobce PCI, materiál PCI Nanocret R4 SM. Sanačními hmotami byly zejména vyplňovány vysekané trhliny a lokální místa vyžadující hloubkovou sanaci. Před aplikací sanačních hmot musela být konstrukce vlhčena, aby bylo dosaženo kvalitního spojení s podkladem a následně chráněna před rychlým vyschnutím. Tloušťky nanášených vrstev byly do cca 25 mm v ploše, ve více poškozených místech lokálně do tloušťky kolem 80 mm.

4.9 Oprava povrchových vrstev

Na konstrukci železobetonové zdi byla původně aplikována sjednocující cementová omítka, nyní již velmi degradovaná a odpadávající. Pracovníci národního památkové ústavu vyžadovali zachování stávajícího vzhledu, kdy je povrch hrubý, je částečně vyplaveno pojivo a na povrch vystupuje hrubší kamenivo použité do omítky. Záměrem zhotovitele bylo na veškeré práce použít certifikované materiály pro sanace betonových konstrukcí pro zajištění stejnoměrné barevnosti a kvality povrchů aplikovaných materiálů. Pod dohledem pracovníků NPÚ byly provedeny zkušební plochy z různých materiálů mnoha výrobců sanačních hmot. Ukázalo se, že povrchová úprava těchto moderních materiálů neodpovídá požadovanému vzhledu, byť určité vzorky vyhovují barevností. Z barevně vyhovujících vzorků materiálů byly následně provedeny další vzorky různě povrchově upravené tak, aby došlo k vytažení hrubého zrna z podkladu a docílilo se vizuálně co nejvíce hrubému povrchu původní zdi. Na základě vybraného vzorku byl vybrán výrobce a typ sanačního materiálu (materiál Hasit 474

FEIN – Betonreparaturmörtel) a technologický postup úpravy povrchu, ověřený na zkušebním úseku několika polí zdi.



Obrázek 11.: Reprofilace betonu

Plochy stávající zdi byly očištěny od původní degradované cementové omítky a celá konstrukce včetně nově betonovaných částí byla opatřena vrstvou sanační hmoty. Během realizace prvních úseků se ukázalo, že pro dodržení stejnoměrnosti vzhledu speciálně upraveného povrchu, musí finální úpravy provádět pouze vybraní pracovníci, protože při větším počtu lidí docházelo k byt' velice malým, přesto viditelným odlišnostem, které nebyly akceptovatelné.



Obrázek 12.: Detail povrchu po sanaci

4.10 Nové dilatování zdi

Původní zeď byla dilatována po 2 až 3 polích, což se ukázalo jako nedostatečné, a tak bylo v rámci projektu navrženo a následně provedeno dodatečné dilatování zdiva v každém sloupu pomocí diamantové pily.



Obrázek 13.: Provádění dodatečných dilatací zdi diamantovým řezáním

4.11 Povrchová úprava

Stávající konstrukce nebyla nijak chráněna proti povětrnostním vlivům a původní povrchové vrstvy tak rychleji degradovaly. V rámci opravy byl jako vrchní ochrana konstrukce proveden transparentní hydrofobizační nátěr, který má prodloužit živostnost opravy a snížit degradaci konstrukce srážkovými vodami. Výběr materiálu probíhal pod dohledem pracovníků NPÚ a nesměl měnit barevnost povrchových vrstev.



Obrázek 14.: Jižní úsek zdi po sanaci

4.12 Zámečnické konstrukce

Součástí dodávky bylo provedení základní opravy (repase) vstupní branky v jižní zdi a vstupní brány hlavního vchodu, která je součástí sanovaného vstupního portálu v západní zdi. Vstup se skládá ze dvou dvoukřídlých postranních bran (z toho jedna pro pěší, druhá neprůchozí) a ze dvou dvoukřídlých vrat. Brány i vrata mají stejnou výšku, liší se šířkou křídla. Konstrukce je prostorová, tvořená z ocelových uzavřených profilů (jeklů), v soklové části opatřena plechem s vytvarováním. Osazení vstupních prvků je do železobetonové konstrukce kubistického tvaru, v minulosti opatřené stříkanou cementovou omítkou.



Obrázek 15.: Hlavní vstup po sanaci

4.13 Doprovodné práce

Součástí opravy zdi bylo provedení zemních prací kolem paty zdi, vysekání a odstranění náletové zeleně degradujících konstrukci zdi včetně dodatečného zaizolování paty zdi a následné úpravy prostranství kolem stěny.

Protože sanační práce probíhaly za provozu hřbitova, bylo třeba vyhovět správě hřbitova a během smutečních obřadů a vzpomínkových akcí stavební práce přerušit nebo provádět práce jen na určitých místech. Současně musely být během prací prováděny práce na ochraně náhrobků proti poškození a ušpinění, zejména v místech, kde jsou umístěny podél zdi, například na západní straně hřbitova.



Obrázek 16.: Západní úsek zdi u ulice Ďáblické po sanaci



Obrázek 17.: Jižní úsek zdi po sanaci

5. Základní údaje o stavbě

- Místo: Ďáblická 564/2a, Praha Střížkov, hřbitov Ďáblice
- Investor: Správa pražských hřbitovů, p.o. Hl.m.Prahy (IČ: 45245801)
- Projektant: ANTRE spol. s r.o. (IČ: 26496399)
- Zhotovitel: SASTA CZ, a.s. (IČ: 26240980)
- Hlavní stavbyvedoucí: Ing. Tomáš Kalábek (SASTA CZ, a.s.)
- Plocha sanované zdi: 5.540 m²
- Délka sanované zdi: 1.100 m
- Termín realizace: 08/2016 - 10/2017

6. Závěr

Provedená celková oprava železobetonové zdi Ďáblického hřbitova prodloužila životnost této nádherné jedinečné kubistické konstrukce a zachovala ji pro další generace a pro klidný odpočinek obyvatel hřbitova.

Literatura

- [1] Antre s.r.o.: Projektová dokumentace Oprava hřbitovního zdiva - Hřbitov Ďáblice, sekce 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12. 2014.
- [2] SASTA CZ, a.s.: Průzkum obvodové stěny hřbitova, Rekonstrukce kubistické ohradní zdi Hřbitov Ďáblice, Praha - Střížkov, Ďáblická 564/2a, 10/2016.
- [3] Památkový katalog - 1000153478 - Ďáblický hřbitov. [online]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/?presenter=ElementsResults&action=element&element=12401343>
- [4] Ďáblický hřbitov na Střížkově. Praha Neznámá: průvodce po pražských čtvrtích [online]. Dostupné z: <https://www.prahaneznama.cz/praha-8/strizkov/dablicky-hrbitov-na-strizkove/>
- [5] Ďáblický hřbitov – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8E%C3%A1blick%C3%BD_h%C5%99bitov
- [6] Největší zajímavost na festivalu Open House: Kubistický Ďáblický hřbitov | Luxury Prague Life. [online]. Dostupné z: <https://www.lifestyle.luxusni-bydleni-praha.com/nejvetsi-zajimavost-na-festivalu-open-house-kubisticky-dablicky-hrbitov>
- [7] Na hřbitově v Ďáblicích zachraňují kubistickou zeď, Metro Praha [online]. Dostupné z: https://www.metro.cz/na-hrbitove-v-dablicich-zachranuji-kubistickou-zed-f82-praha.aspx?c=A161009_191706_praha-metro_jsk
- [8] Před zkázou ji zachrání 19,3 milionu: Kubistickou hřbitovní zeď v Ďáblicích poprvé opraví | Blesk.cz. [online]. Dostupné z: <https://www.blesk.cz/clanek/regiony-praha-praha-zpravy/409938/pred-zkazou-ji-zachrani-19-3-milionu-kubistickou-hrbitovni-zed-v-dablicich-poprve-opravi.html>
- [9] Jediný kubistický hřbitov na světě je v Ďáblicích, opravit zeď stojí milióny [online]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/relax/design/jediny-kubisticky-hrbitov-na-svete-je-v-dablicich-opravit-zed-stoji-miliony.A160731_231102_in-bydleni_toh

Kontakt

Ing. ZDENĚK BÍZA (technolog), mail: biza@sasta.cz, SASTA CZ, a.s., Votroubkova 546/11, 620 00 Brno, www.sasta.cz.

Ing. TOMÁŠ KALÁBEK (hlavní stavbyvedoucí), mail: kalabek@sasta.cz, SASTA CZ, a.s., Votroubkova 546/11, 620 00 Brno, www.sasta.cz.

DAMAGE TO CONCRETE ROADWAY SLABS OF A HIGHWAY DUE TO ALKALI-SILICA-REACTIONS - CAUSES AND EFFECTS

POŠKOZENÍ BETONOVÉHO POVRCHU DÁLNICE VLIVEM ALKALICKO- KŘEMIČITÉ REAKCE - PŘÍČINY A ÚČINKY

Ulrich Diederichs¹, Dorothea Sklenářová¹, Dalibor Všianský²

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,

**Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta

Anotace:

Za účelem stanovení příčin a účinků trhlin a lomů v betonových vozovkách v úseku dálnice v severním Německu byly odebrány a zkoumány jádrové vývrty. Výzkumy ukázaly, že poškození je způsobeno alkalicko-křemičitou reakcí. Reaktivní kamenivo bylo identifikováno jako jemnozrnné křemičité horniny. Ty reagovaly s alkáliemi použitého cementu, které byly unášenými rozmrazovacími činidly. Ty jsou částečně čerpány přes těsnící spoje, během přejíždění desek auty.

Annotation:

In order to determine the causes and effects of cracks and fractures in the concrete roadway slabs of an Autobahn section in Northern Germany, cores were taken and examined. The investigations have shown that the damage is due to alkali-silica reactions. The reactive aggregates have been identified as fine-grained siliceous rocks. They have reacted with the alkalis of the used cement and the entrained de-icing salt. The latter is partially pumped over leaking joint gaskets into the concrete when cars driving over the plates.

Klíčová slova:

Beton, desky vozovky, alkalicko-křemičitá reakce, reaktivní kamenivo drcené jemnozrnné křemičité kamenivo, tvorba gelu, těsnění spár, vnikání zásad, dynamické zatížení, kavitace,

Keywords:

Concrete, roadway slabs, alkali-silica-reaction, reactive aggregates, crushed fine grained siliceous rocks, gel formation, joint sealing, ingress of alkalis, dynamic loading, cavitation

1. Introduction and scope of the investigations

During routine inspections of an about 5.00 km long concrete roadway built in 1996 in Northern Germany various damages were found. There were lots of cracks, which could result in the type and pattern of alkali-silica reactions (ASR). On the other hand, damage due to frost and corrosion of the dowels and anchors used to bridge the joints between the individual slabs or due to dynamic loads could also have created the cracks that have been developed.

It was also observed that when cars passing over the cut joints, water splashed out on leaking joint closures or even flowed out without additional external loading.

With regard to the further use as well to estimate the possible requirement of repair of the roadway, it was necessary to explore the causes for the cracking and damage that occurred. The knowledge would also be required for the necessary determination of the remaining lifetime.

For this purpose, an inspection of the road slabs was first carried out. – At these inspections, the damages listed above were also found. In particular, cracks have been present on the surfaces of the concrete slabs to varying degrees, often extending from one slab over the joints into the adjoining slabs (s. Fig. 1 and 2). Places where the water had leaked out of the cut joints or emerged were clearly visible (s. Fig. 1).

Greater damage was present, especially in the area of the joint crosses (s. Fig. 1). Here, fractures or subsidence of the cracked concrete often appeared (s. Fig. 2).

After the inspection of the damaged lane sections a program for the investigation of the state of preservation of the roadway slabs, for the extraction of cores and material investigations to be carried out were elaborated.



Figure 1: Concrete roadway of the Bundesautobahn A1; here the water comes out of the longitudinal joints (s. arrows).



Figure 2: Close-up view of a joint cross with water outlet from the joints, cracks around the cross and partially collapse and subsidence of the concrete (s. arrow).

2. Experimental program

About 15 samples were to be taken from representative areas of damaged and undamaged concrete and tested according to the elaborated program, which comprised:

- Visual inspection of the 15 cores,
- moist-warm-storage (WMS) of 8 cores (at 40°C and 100% RH over a period of about 3 months with measurement of strains during the WMS, as to ascertain the potential for further ASR,
- identification of modulus of elasticity and bulk densities on 8 cores,
- ascertainment of compressive strengths (7 cores without and 7 cores after FWL),
- determination of the chloride content of samples from the area of influence of the dowels or anchors (from 6 points each with 3 different depths).

The material investigations of the concrete cores, the results achieved and the conclusions to be drawn are listed below.

3. Visual inspection of the slabs and extraction of cores

The visual inspection of the slabs (s. Fig. 1 - 4) revealed the following:

- Water comes out of the longitudinal joints. Usually the environment of the outflow locations has been dark colored. The dark discoloration results on the one hand, from the wetting of the concrete surfaces with water, on the other hand from the deposition of fine dark particles, which apparently have been transported to the surface with the water from the joint (s. Fig. 1 and 2).
- In the concrete slabs there were often more or less wide cracks in the longitudinal direction of the roadway, which also spread over the cut joints. Partly the cracks also branch (s. Fig. 2 and 3).
- Circular fractures in the area of the joint crosses are frequently to be found. The diameter of the fracture lines is in the order of 10 - 50 cm (s. Fig. 3). Sometimes concentric crack patterns are also noticeable.
- In the area of some joint crossings, particularly severe cracking has occurred. Outbreaks from the concrete surface and severe damage to the crack flanks have also developed here.
- In the area of the water outlet points, usually the rubber profiles pressed into the joints were defective (s. Fig. 4) or missing in place.
- Some of the slabs also show cracks that are typical for ASR.
- Also, in the area of the transverse joints or parallel to them, wide cracks often occurred with subsidence of the concrete pieces. The concrete fragments seem to lie loosely on the deeper concrete layers and rattle when crossing.
- The concrete loosened or sagged in the area of the joint crosses has already been removed in many places and replaced by asphalt.

- In some places there were continuous wide longitudinal cracks in the slabs. This suggested that the cracks could have been caused by mechanical overloads due to bending of the slabs when driving on heavy trucks (possibly during the renewal of the opposite lanes) or that the planum has a too high compliance.
- Since some of the cracks continue directly above the cross and longitudinal joints and perpendicular to them, it was also assumed that the cracks may have been caused by corrosion of the dowels and anchors used there.



Figure 3: Extraction point of the core 2, which is located in the area of a longitudinal joint on a crack present there (s arrows).



Figure 4. Close-up of a sealing gasket in the joint. It can be seen that the seal is perforated. Water penetrates through the hole.

Totally 13 cores have been drilled out of the concrete slabs in question, some of them over joints and/or cracks (s. Fig. 3). Fig. 5 shows a typical borehole, Fig. 6 the drilled core.



Figure 5: Borehole of the core 2. Here it can be clearly seen that, starting from the base of the saw cut, a surface-parallel crack has developed (s. arrows).



Figure 6: Mantle surface of the core 2. The carriageway slab consists of two layers. The left part is the actual structural concrete, on the right is the core of the consolidation.

As can be seen, at the root of the cut a crack has formed in the direction of the cut, according to the design (to breaking point) and due thermal restraint to the surface of the slab. However, also a crack parallel to the surface has been formed (s. arrows in Fig. 5).

3. Results and discussion

3.1. Visual inspections of the cores

The tests of the cores of the structural concrete of the roadway slabs revealed the following (s. Fig. 6 and 7):

- The structural concrete cores do not differ from each other in terms of concrete composition and structure. The structural concrete has a good grading (maximum grain size about 32 mm), is well-structured and contains a sufficient fines content, as required to achieve a dense and solid concrete.
- The concrete has been compacted well. It contains only the relatively few coarser and some fine pores due to air entraining during mixing.
- The coarse aggregates consist mainly of crushed, finely crystalline silicate aggregates and natural sand, typical of northern Germany. The concrete contains neither flint stones nor opal sandstone.
- All drilled anchors are completely embedded in dense concrete (s. Fig. 7 and 8).



Figure 7: Mantle surface of the structural concrete of core 6, dipped in water for visualization of cracks present in concrete, during its advanced drying. The concrete is interspersed with AKR-typical cracks. Some of the cracks run through the coarse aggregates (see arrows).

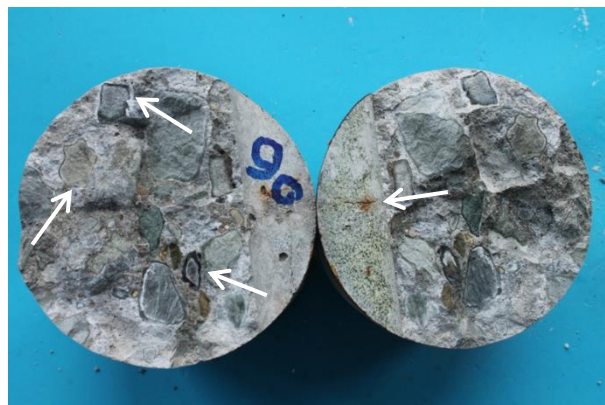


Figure 8: During the MWS at the level of the dowel (see arrow) fracture surfaces which are covered with ASR-gel. The dowel has only a small rust spot on its surface. At the edges of the coarse aggregates the ASR-typical reaction margins are visible (s. arrows).

After immersion in water, cracks appeared on their mantle surfaces during the subsequent drying of the samples. As a rule, these cracks proceeded perpendicularly from the top-surface of the slab to a depth of approximately 5 - 10 cm and then incline into the surface-

parallel direction (s. Fig.6 and 7). This type of cracking is typical for damage by alkali-silica reactions.

In many cases the cracks run along the matrix, but often also directly through the coarse aggregates (s. Fig. 7 and 8). - In some samples, significantly widened cracks have formed, which are visible even without moistening the samples (s. Fig. 7).

3.2. Moist-warm-storage

In order to ascertain whether the formation of the cracks results from alkali-silica reactions (ASR), respectively, to get information concerning the potential for further ASR [1], 8 cores of the structural concrete were exposed to moist-warm-storage (MWS) at 40°C and 100% RH for nearly three month. During this period the expansions of the samples were measured.

However, only in one sample (sample 9o), the elongation increased to 0.35 ‰ in the first three days and rose with the further storage period. After three weeks they already exceeded the critical value of 0.60 ‰. But even then, the elongation increased further to 1.25 ‰. After the termination of the wet-warm-storage, a residual strain of 1.00 ‰ left. These strains seemed to be caused by ASR alone (s. Fig. 7 and 8), because there were no signs of corrosion at the circumference of the anchor embedded in the sample (s. Fig. 8).

Anyway, the specimen 9o broke after the termination of the MWS during handling. The corresponding fracture surfaces are shown in Fig. 8. Clearly visible are the deposits of gel and the reaction edges on the faces of the coarse aggregates (s. Fig. 8).

With all other samples, the expansions remained below 0.35‰ during wet-warm-storage, which is well below the value of 0.60‰ considered as an indicator of ASR damage [1, 2 and 4]. Simultaneously, there were no further damaging reactions (during the MWS) to be found in these samples.

3.3. E-Modulus

In particular, modulus of elasticity tests are suitable for detecting damages to the microstructure.

For the determination of the modulus of elasticity, cylindrical specimens were cut out of the cores (diameters of 100 mm and about 170 - 200 mm long). Then the front surfaces of the sections were ground plane-parallel. Subsequently, the modulus of elasticity tests were carried out.

Only in the first load cycle of the sample 8o an approximately linear increase of the σ - ϵ -lines were measured. All other samples had σ - ϵ -lines with rather flat slopes at lower stress levels. The slopes increased continuously with increasing stress. E.g., σ - ϵ -lines of this kind occur in concretes that have suffered damages at the microscopic level (which, however, not have to

result in reductions of the compressive strengths). Here the damage of the microstructure is due to AS-reactions that have run off in the samples. This is also evident in Fig. 7 and 8).

The moduli of elasticity determined as the secant modulus from the third loading between the lower and upper stress are ranging from 17.300 to 28.800 N/mm², which is much too low for the concrete in question.

For a concrete of class C60/75) one should expect a modulus of elasticity of around 40.000 to 50.000 N/mm²

3.4. Strength and bulk density

In order to determine the compressive strengths and the bulk densities of the structural concrete, samples were sawn out of the cores right after drilling or after carrying out the moist-heat-storage or elastic modulus determinations, resp.

The results of the tests and the bulk densities are summarized in Fig. 9 (s. below).

The samples denoted with Arabic numerals only (samples 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 and 12) were tested after moist-warm-storage, the others (samples 2o, 3o, 4o, 5o, 8o, 11o, and 13o) without previous thermal treatment. - The mean strength of the first group is 87.9 N/mm², the respective value of the latter group amounts to 82.5 N/mm².

It can be deduced from the gathered values facts that during MWS no significant reduction in strength due to damage caused by ASR occurred. Rather, the concrete has achieved a slightly higher strength during the MWS. These increases in strength are generally attributable to additional hydration occurring at the elevated temperatures or to the bonding of crack surfaces with freshly formed AKR gel [1].

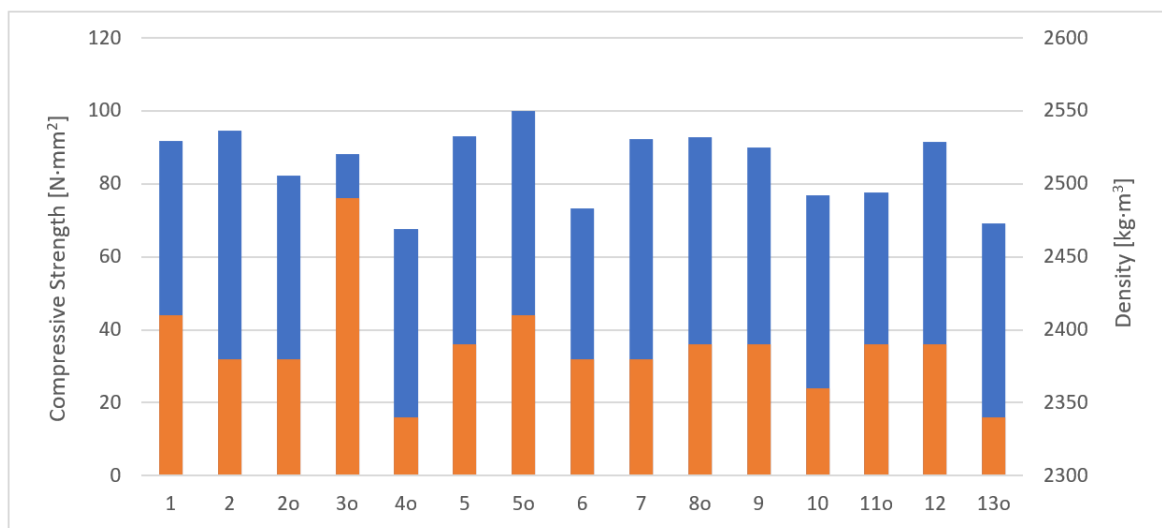


Figure 9: Compressive strength (darker bars) and bulk density of the various specimens (brighter bars); sample no.: 1to 13o.

According to DIN EN 13791 / A20: 2017-02 "Assessment of the Compressive Strength of Concrete in Structures or Structural Elements", modified Approach A, one obtains a 5%-fractal value of 66.7 N/mm^2 . - This allows to classify the structural concrete in compressive strength class C60/75 according to EN 206-1.

The determined bulk densities between 2.34 and 2.49 kg / mm^3 , with an average value of 2.39 kg / mm^3 , are in the range expected for the concrete of the present grade.

3.5. Microstructure

To determine the cause of the occurrence and type of ASR, microscopic examinations of the reaction products were also performed.

For this purpose, samples were sawn into smaller pieces and split along the fracture surfaces running through the coarse aggregates (s. Fig. 10 and 11). The reaction products deposited on the fracture surfaces were examined microscopically by the aid of scanning electron microscope (SEM).

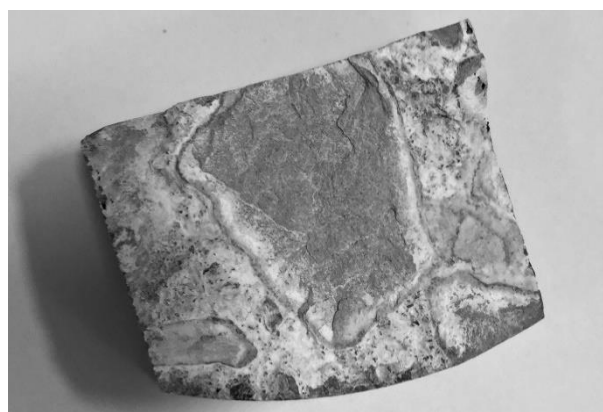
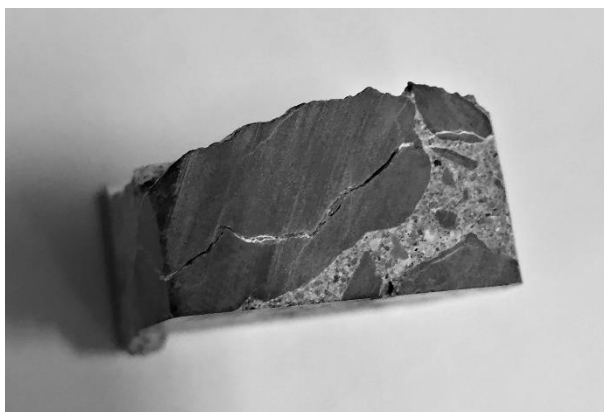


Figure 10: Crack passing a coarse aggregate. Figure 11: Plane of the crack shown in Fig. 9, with deposits of gel and reaction edges.

Figures 12a to 12d show corresponding photographs of the minerals deposited on the fracture surfaces. Figures 12a and 12c clearly show the gel structure along with carbonation products. In Figure 12b, this is an observed region with a large amount of carbonate crystals, that were created by carbonation of ASR gel and in Figure 12d there are evident cracks in the amorphous gel caused by drying.

During SEM microscopy, the determination of the chemical composition of three points was performed by Energy Dispersive Spectrometer (EDS). The results of the chemical analysis are shown in Table 1. The concentrations are given in weight percent. In the spot 1+ the presence high contents of Na, K, Si, Ca, O and C of gel are indicators that due to ASR alkali-silica-hydrate has been formed, and in a later state dried out and carbonated.

Table 1.: The chemical composition of the spots shown in Figures 12c and 12d

	C [wt.%]	O [wt.%]	Na [wt.%]	Mg [wt.%]	Al [wt.%]	Si [wt.%]	K [wt.%]	Ca [wt.%]	Ti [wt.%]
1	4.02	36.55	2.49	-	1.22	14.16	3.36	11.86	-
2	2.15	13.93	-	-	9.22	13.54	6.40	0.87	3.36
3	5.85	40.43	0.94	0.71	1.97	9.93	1.57	14.07	0.07

Very similar chemical composition is in the spot 3+, but according to the specific values of sodium and potassium it contains of less ASR-gel and seems to be carbonated to a higher degree than at spot 1+.

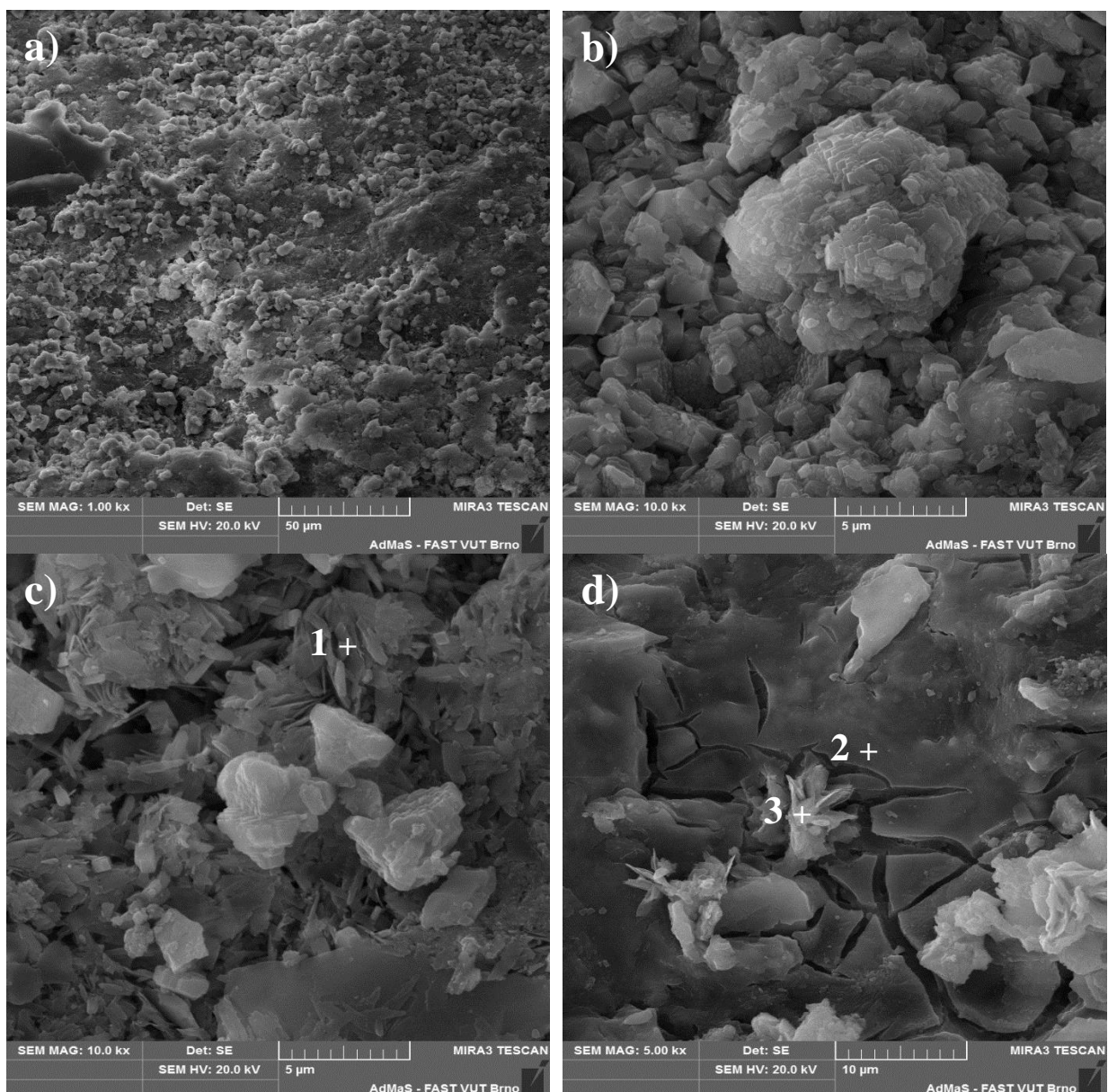


Figure 12.: The fracture surfaces a) observed area, b) K_2CO_3 and $CaCO_3$ crystals, formed by carbonation of ASR-gel, c) structure of ASR-gel (spot 1+) and carbonate crystals, d) cracked gel (spot 2+) and carbonate crystals (spot 3+).

The area around the spot 2+ has a typical morphology of ASR gel. Cracks of the kind to be observed (s. Fig. 12 d) are usually caused by drying of the fresh gel. At admission of air and CO₂ the gel starts to carbonate, and in turn the potassium silicate hydrate transfers in to potassium carbonate. The elemental composition listed in Table 1 suggests exactly this explanation.

4. Conclusions

From the results of the local reviews and material studies, the following conclusion can be drawn:

- The escape of water from the joints results from the fact that surface water (rain, thawed snow) penetrates through leaks in the joint gaskets (rubber profiles) and remains longer in many places. When cars driving over it is compressed by elastic deformation of the concrete and pressed out through leaks in the joint gaskets.
- After compression a very rapid stress relief occurs in the water. The elastic snap back of the surrounding concrete creates such a low pressure in the water that bubbles arise, which tear out particles from the concrete surface when they collapse. Cavitation occurs and undermines the slabs, especially at the edges of the slabs.
- The cause of the cracks in the motorway slabs are clearly the AS-reactions that were running or run in the concrete. Here, apparently, the crashed siliceous rocks of the coarse aggregates react with the alkalis present in the cement and those supplied from the thawing salts.
- With regard to the further use of the roadway slabs, it can be stated that the damage caused by AKR will progressively increase as new salt-laden water is constantly being introduced through the dynamic load from the rolling traffic.

Acknowledgment

This paper has been worked out under the project No. LO1408 "AdMaS UP - Advanced Materials, Structures and Technologies", supported by Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I”.

References

- [1] BÖDEKER, W.: *Alkalireaktion im Bauwerksbeton: Ein Erfahrungsbericht*. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Berlin: Beuth, 2003, 91 p. ISBN 3-410-65739-2. 0171-7197.
- [2] HEIN, S., J. VALA a U. DIEDERICHS. Škody na mostních stavbách způsobené reakcí alkalického oxidu křemičitého v severním Německu. In: *Sanace: Sborník přednášek*. Brno: SSBK, 2004, s. 251-260. ISSN 1211-3700.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, UA „Alkalireaktion im Betonbau" Empfehlung für die Schadensdiagnose und Instandsetzung von Betonbauwerken, die infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion geschädigt sind. In: *beton* 53 (2003) Heft 9, S. 438-443

- [4] ROSTÁSY, F.S.: *Baustoffe*. Stuttgart: Kohlhammer, 1983, 243 p. ISBN 3-17-007928-X.
[5] LOCHER, F.W. a S. SPRUNG. Ursache und Wirkungsweise der Alkalireaktion. *Beton*. Düsseldorf, 1974, 1973(23), 101-123.

Contact

Prof. Dr.-Ing. ULRICH DIEDERICHS, mail: ulrich.diederichs@uni-rostock.de, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

VYUŽITÍ RECYKLÁTU SKELNÝCH VLÁKEN V MATERIÁLECH PRO SANACE BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

THE POSSIBILITIES OF THE USAGE OF RECYCLED FIBERGLASS IN MATERIALS FOR CONCRETE REMEDIATION

Radek Hermann¹, Aleš Jakubík²

¹ Vysoké učení technické v Brně,

² Redrock Construction s.r.o.

Anotace:

V této práci je zkoumána problematika využití odpadního skla z výroby skelných vláken a možnosti využití odpadního skla jakožto suroviny částečně nahrazující pojivo a plnivo pro vytvoření ekonomicky nenáročného silikátového kompozitu na cementové bázi. Jsou zkoumány možné problémy, které jsou s využitím tohoto materiálu spojeny.

Annotation:

This paper deals with the problematics of the usage of waste glass from the production of fiberglass and studies possibilities of the usage of waste glass as a partial substitution of binder and filler in economically undemanding cement-based silicate composite. The paper studies problems which can occur by usage of this material.

Klíčová slova:

Odpadní sklo, skelná vlákna, alkalicko-křemičitá reakce, druhotná surovina

Keywords:

Waste glass, fiberglass, alkali-silica reaction, secondary raw material

1. Úvod

Cílem této prezentace je přiblížit možnosti využití odpadního skla v silikátových kompozitech a představit problematiku, kterou při jeho využití řešíme. Dnešní doba tlačí výrobce ve všech odvětvích k postupnému snižování produkce emisí, ke zvyšování využívání odpadů a obecně ke snižování ekologické ale také ekonomické náročnosti vyráběných produktů. Během posledních 20 let se začaly hojně využívat materiály, které jsou schopny částečně nahrazovat pojivo především v cementových kompozitech. Využití materiálů nahrazujících primární pojivo, kterými jsou například elektrárenské popílky, vysokopecní struska, či křemičité úlety z výroby křemíku vedly k pozitivním dopadům na ekologickou stránku výroby cementu. Díky využití druhotných surovin dochází ke snižování produkce oxidu uhličitého (CO₂) a ke zpomalení čerpání nerostných surovin využívaných pro produkci pojiv.

Jedním z odpadů, který je možné pro tyto účely využít je i odpadní sklo. V roce 2013 bylo pouze v Americe vyprodukováno 11,54 milionů tun odpadního skla, z čehož bylo pouze 27,3 % recyklováno a využito zpět do výroby [1]. Velké množství odpadního skla je stále nerecyklováno a skládkováno.

2. Odpadní sklo

Sklo je poměrně dobře recyklovatelný materiál. Porušené obaly, střepy atd. lze opět využít při výrobě skla, rozdrčené sklo snižuje energetické nároky výroby o 40 % oproti výrobě ze sklářského písku. Z pohledu laika by se mohlo zdát, že je sklo nekonečně recyklovatelné a jakékoliv střepy lze znovu rozdrtit, roztavit a vytvořit z nich nový prvek. Toho však nejsme, ani v dnešní době, ve větším – průmyslovém měřítku schopni dosáhnout. Příčina je jednoduchá, vzniká odpadní sklo s velice proměnlivou kvalitou/nehomogenním složením s obsahem často některých toxických prvků, či znečištěných různými oxidy kovů, které nelze jednoduše odstranit (Oxidy kovů se využívají pro barvení například obalového skla). Obalové sklo je jedním z druhů skel, které je relativně jednoduše recyklovatelné v čiré formě, problémy nastávají, když se v kontejneru na bílé sklo objevují střepy skel barevných, či ve chvíli, kdy je třídící linka nedokonalá a je do tříděného materiálu vnášeno množství nečistot, které následně ovlivňuje jakost finálního produktu. Nejčastěji používaným sklem je v dnešní době sklo sodnovápenaté (obalové sklo, okenní výplně, kuchyňské výrobky). V tabulce č. 1 je popsáno chemické složení běžného odpadního obalového sodnovápenatého skla. Oproti čirému/bílému sklu obsahují barevná obalová skla oxidy železa, které sklu propůjčují barevný odstín (hnědá skla – sulfid železnatý – FeS, zelená skla – oxid chromitý – Cr₂O₃). Hustota skla se pohybuje v rozmezí 2,5-3,0 g·cm⁻³.

Tabulka 1.: Chemické složení běžného obalového skla

Zastoupení v hm %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
71,0	1,70	0,7	-	10,4	2,3	0,3	13,0	-

2.1. Využití odpadního skla jako substituce pojiva

Celé řada studií a prací se zabývají možností využití odpadního skla pro výrobu stavebních hmot. Existují způsoby, jak efektivně využívat odpadní sklo jako částečnou náhradu cementu či jako částečnou náhradu plniva. Sklo je inertní materiál s vysokým obsahem SiO_2 v amorfni podobě, což vybízí k využití v silikátových kompozitech na bázi cementu díky potenciální pucolánové aktivitě.

Pucolánové vlastnosti mletého skla byly prokázány u skelného prachu, který byl pomlet na zrnitost o střední velikosti částic nižších než $38 \mu\text{m}$. Beton, ve kterém bylo nahrazeno 30 % cementu takto pomletým sklem dosahoval po 28 dnech zrání nižších pevností v tlaku než hmota referenční, po 90 dnech zrání však dosahoval vyšších pevností než hmota referenční díky probíhající pucolánové reakci [2].

Obecně platí, že čím menší je velikost částic, zjednodušeně čím jemnější je použitá skleněná frakce, tím vyšší je její potenciální pucolánová aktivita. Zvýšení pevností lze samozřejmě dosáhnout také zvýšením teploty hmoty. Co nás motivovalo k další práci, byly studie, které dokazovaly, že při pouze 10% substituci cementu jemně mletým sklem dochází k významnému zvýšení odolnosti betonu proti průniku chloridových iontů a je zvýšena odolnost proti průsaku tlakovou vodou [3]. Z hlediska použitelnosti se nejčastěji uvádí maximální míra substituce cementu do 30 %. Nové studie však testují náhradu až 60 % cementu jemně mletým sklem se zajímavými výsledky. Při testování experimentálních hmot s takovým obsahem substituce byly u zatvrdlé hmoty pozorovány v raných fázích hydratace a i po 7 dnech zrání nižší pevnosti než u referenčních hmot. Bylo však zjištěno, že se výrazným způsobem zlepšují vlastnosti hmoty z pohledu mikrostruktury především v oblasti tranzitních zón, což vedlo ke zvýšení kompaktnosti a ke zvýšení hutnosti celé hmoty. Takto připravené zkušební vzorky dosahovaly také zvýšených odolností vůči působení agresivních látek. Pozor ale, při příliš vysoké náhradě cementu může docházet k jevu, kdy se již ve směsi nenachází jeho dostatečné množství pro vytvoření nezbytného počtu C-S-H fází a tím, vzhledem ke zvýšenému vodnímu součiniteli (voda/cement) může docházet ke zvýšení pórovitosti hmoty v důsledku nedostatečných prostředků pro umožnění zaplnění celkového pórového systému C-S-H gely [4].

2.2. Využití odpadního skla jako substituce plniva

Jelikož se jedná o homogenní a inertní materiál, který má materiálové vlastnosti podobné vlastnostem křemičitého písku přímo se nabízí jeho využití jako částečné, či úplné náhrady kameniva v cementových směsích. Během 20. století proběhla řada studií zabývajících se možnostmi využití odpadního skla jako plniva do betonu.

Při použití skla o určité zrnitosti nastává velký problém s alkalicko-křemičitou reakcí (ASR). K ASR dochází, dojde-li ke kombinaci a společného působení amorfniho SiO_2 , zásaditého/alkalického prostředí a za přítomnosti volné vody. Amorfni SiO_2 se nachází samozřejmě ve skle, ale může se nacházet také v některých druzích kameniva, které obsahují například kristobalit, tridymit, či například sopečné sklo. Alkalické prostředí je reprezentováno především zásaditou povahou portlandského cementu, někdy však může být alkalické prostředí do této rovnice dodáno i externě (například z některých druhů kameniva,

přísad, druhotných surovin, rozmrazovacích solí). Pro vznik reakce je také potřebná dostatečná vlhkost. K ASR nedochází, pokud je relativní vlhkost nižší než 80 %. Se stoupající vlhkostí však dochází k urychlení reakce [5]. Při chemické reakci dochází ke vzniku alkalicko-křemičitého gelu v tranzitní zóně mezi kamenivem a cementovou matricí. Vznikající gel má velkou schopnost absorbovat okolní vlhkost a při jejím dostatku časem dochází k jeho expanzi a tvorbě tlaků, které převyšují tahovou pevnost matrice. Tato reakce vede k tvorbě mikro a následně také makro trhlin, které mohou zapříčinit až porušení statické únosnosti betonu. Poznávacími rysy ASR jsou: tvorba „mapových“ trhlin, deformace, lokální porušování betonu, vytlačování spojovacího izolačního materiálu mezi prvky, odprýskávání povrchových vrstev, změny barvy povrchu a vylučování gelu.

Na následujícím obrázku č. 1 je znázorněna betonová konstrukce, u které probíhá alkalicko-křemičitá reakce.



Obrázek 1.: Alkalicko-křemičitá reakce [5]

Na možnosti využití odpadního skla jakožto substituentu plniva má značný vliv jeho frakce. Studie, které se zabývaly touto problematikou zjistily, že se expanze díky ASR zvyšovala s velikostí použitých zrn odpadního skla. Bylo srozumitelně prokázáno, že při náhradě 20 % plniva s velikostí zrn menších než 1,18 mm nedochází k žádným negativním projevům ASR a zároveň díky vyloučení malého množství alkalicko-křemičitého gelu dochází k lepšímu vyplnění celé hmoty a lepšímu zakotvení celého systému a hydratačních produktů [6]. Jen připomenu, jak jsem uvedl výše, že se snižující se velikostí zrn skla dochází ke zvýšení pucolánové reaktivity.

3. Využití odpadního skla z výroby skelných vláken

V rámci našeho výzkumu jsou zkoumány a stanovovány možnosti využití odpadního skla vznikajícího jako vedlejší produkt výroby skelných vláken. Pro účely vzorové studie jsme vybrali vzorky skla GFR153 v podobě, ve které se nachází po zpracování (viz. obrázek č. 3). Jedná se o nehomogenní materiál obsahující různou frakci skla a skelných vláken.

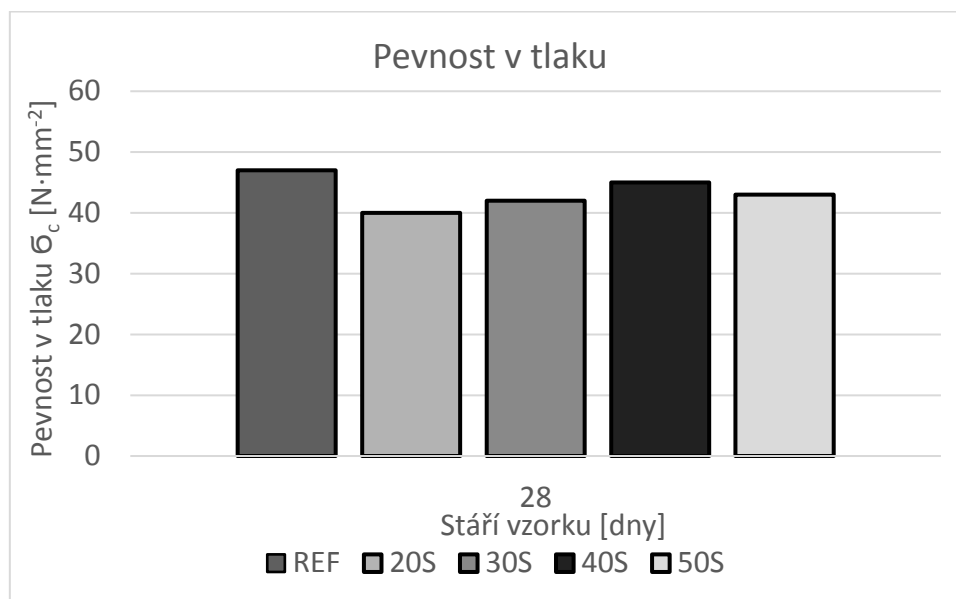
Materiál obsahuje jemný prach, zároveň se v něm však nacházejí několik centimetrů dlouhá vlákna. Z výše uvedených poznatků byla rozvinuta teorie využít tento materiál jako substituci pojiva, ale zároveň také plniva. Byl proveden síťový rozbor a byla oddělena frakce využitelná jako substituce plniva. Vyšší než použitelná frakce, tj. >1,0 mm byla speciálně předupravena na velikost částic menších než 63 μm a byla využita jako substituce portlandského cementu.



Obrázek 3.: Vzorek použitého odpadního skla z výroby skelných vláken

Pro účely studie byly vyrobeny a testovány různé varianty směsí s možností substituce portlandského cementu v míře až 50 % a možností substituce jemné frakce kameniva v míře až 25 %. Referenční hmota obsahovala 380g cementu na 1kg směsi, plnivem byla vybraná směs křemičitého kameniva a hmota byla vyvážena pomocí speciálních přísad. Referenční hmota byla schopná splňovat základní parametry vyžadované EN 1504-3 pro správkovou hmotu.

Z výše uvedených variant experimentálních receptur byly vyrobeny zkušební vzorky a na následujícím obrázku č. 3 jsou znázorněny výsledky jejich pevností v tlaku po 28 dnech zrání. Stále u nich probíhá měření, díky kterým je možné potvrdit, že vzhledem k pucolánovým vlastnostem použitého materiálu, se s delším časem hydratace parametry fyzikálně-mechanických vlastností zkoumaných hmot zvyšují.



Obrázek 3.: Pevnosti v tlaku zkušebních vzorků po 28 dnech zrání

4. Závěr

Probíhající výzkum a vývoj nám potvrzuje, že lze využít odpadní sklo z výroby sklených vláken jako vhodný substituční materiál pro částečnou náhradu pojiva a částečnou náhradu plniva. V rámci stávající práce bylo dokázáno, že při až 50% substituci pojiva jemně mletým odpadním sklem lze s úspěchem zachovat základní fyzikálně mechanické vlastnosti směsi a díky pucolánovému charakteru použitého substituentu lze předpokládat další navýšení těchto vlastností v čase. V současnosti probíhají další části výzkumu, kdy je mimo jiné sledován vliv odpadního skla na dlouhodobé vlastnosti zkoumaných hmot, včetně vlivu na mikrostrukturu a mineralogické složení navržených směsí.

Literatura

- [1] Advancing Sustainable Materials Management: 2013 Fact Sheet: Assessing Trends in Material Generation, REcycling and Disposal in the United States [online]. EPA, 2015. Dostupné z: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2013_advncng_smm_fs.pdf.
- [2] SHAO, Yixin, Thibaut LEFORT, Shylesh MORAS a Damian RODRIGUEZ. Studies on concrete containing ground waste glass. Cement and Concrete Research. 2000, 30(1), 91-100. DOI: 10.1016/S0008-8846(99)00213-6. ISSN 00088846.
- [3] MATOS, Ana Mafalda a Joana SOUSA-COUTINHO. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement. Construction and Building Materials. 2012, 36, 205-215. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.027. ISSN 09500618.

-
- [4] DU, Hongjian a Kiang Hwee TAN. Waste Glass Powder as Cement Replacement in Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014, 12(11), 468-477. DOI: 10.3151/jact.12.468. ISSN 1346-8014.
- [5] THOMAS, M D A, B FOURNIER, Folliard K J a Resendez Y A. *Alkali-Silica Reactivity Field Identification Handbook*. Washington, DC: Transtec Group, 2011-12.
- [6] IDIR, Rachida, Martin CYR a Arezki TAGNIT-HAMOU. Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars. *Construction and Building Materials*. 2010, 24(7), 1309-1312. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.12.030. ISSN 09500618.

Kontakt

Ing. RADEK HERMANN, mail: hermann.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. ALEŠ JAKUBÍK, mail: jakubik@redrock.cz, Redrock Construction s.r.o., Újezd 40/450, 118 00 Praha 1

SANACE CHEMICKY ZATÍŽENÝCH KANALIZAČNÍCH OBJEKTŮ

REHABILITATION OF CHEMICALLY ATTACKED SEWERS

Aleš Jakubík¹, Radek Hermann²

¹ Redrock Construction s.r.o.,

² Vysoké učení technické v Brně

Anotace:

Příklad sanace kanalizačních objektů, šachet a komor v prostředí historického centra města se zvýšenou zátěží chemickou-biogenní koroze. Možné příčiny a důsledky pro původní i nově budované stavební konstrukce. Způsob úpravy navrženého řešení, včetně návrhu vhodné skladby konstrukce a řešení technologie instalace.

Annotation:

Example of rehabilitation of sewerage facilities, shafts and chambers in an environment of the historic city center with increased loads of chemical-biogenic corrosion. Possible causes and consequences for both, original and newly constructed, building structures. Modification of the proposed solution, including the design of an appropriate construction structure and installation technology solution.

Klíčová slova:

Sanace, kanalizace, biogenní koroze, čedič

Keywords:

Rehabilitation, sewage systems, biogenic corrosion, basalt tiles

1. Úvod

Cílem tohoto příspěvku je především na konkrétních příkladech ukázat možné situace při sanacích objektů kanalizačních sítí ve složitých podmínkách center historických měst. Upozornit na některá rizika spojená s degradací stavebních konstrukcí biogenní koroze a ukázat některé možné způsoby řešení. Postupně vás seznámíme jak s příčinami a důsledky biogenní koroze stavebních konstrukcí stok, s místem realizace tohoto projektu, kterým je historické centrum Krakowa, tak s i navrženým a realizovaným způsobem konstrukčního řešení. Přednáška je nad rámec tohoto příspěvku doplněna řadou fotografií dokumentujících jednotlivé příklady.

2. Biogenní koroze

Na jedné straně oceňujeme schopnost mikroorganismu degradovat určité látky na straně druhé býváme překvapeni, jak některé z nich dokážou svou činností postupně likvidovat celé konstrukce. Něco na tom přísloví o dobrém sluhovi, ale zlém pánu je.

Biodeteriorace jsou biologické procesy pomocí, kterých se narušuje přirozená struktura nejrůznějších materiálů a tím dochází k jejich dalšímu znehodnocení což vede k zhoršení jejich funkčních vlastností i vzhledu. Můžeme tedy zkonstatovat, že biodeteriorace je opakem biodegradace. Jejím typickým projevem je biokoroze.

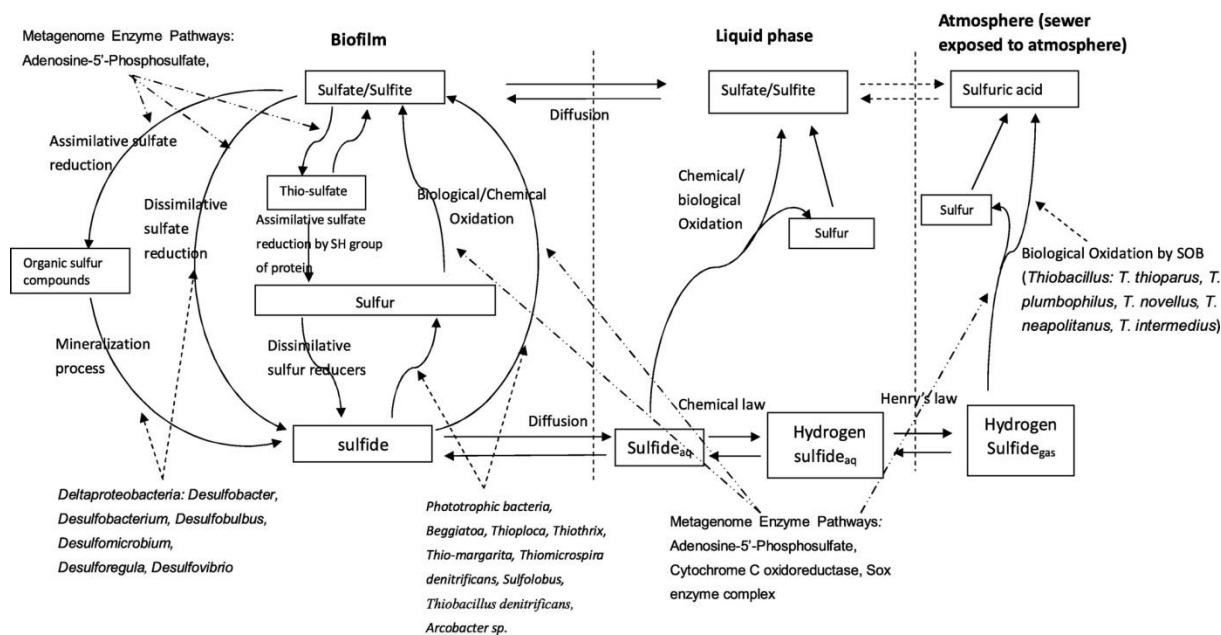
Biokoroze se u materiálů projevuje buď fyzikálně, anebo chemicky. Mechanicky je materiál poškozován v důsledku přímé aktivity organismů, jejich pohybem nebo růstem. Chemické poškození je možné rozdělit na asimilační a disimilační. Chemická asimilační biodeterioraci je pro běžné stavby běžnější, materiál je pro biodeteriogeny potravou. My se zaměříme na chemické disimilační poškození, které nastává, když je materiál poškozován produkty metabolismu (např. organickými kyselinami či oxidem uhličitým).

Tady jsou naši protivníci. Malé, ale za určitých podmínek až neskutečně agresivní, nitrifikační, sírné a desulfurikační bakterie.

Wasserbauer ve své práci uvádí, že nitrifikační bakterie kromě jiného způsobují vyluhování vápenaté složky stavebního kamene, ten se pak stává poréznějším a postupně ztrácí soudržnost. K tomuto procesu dochází v důsledku dvoufázového průběhu nitrifikace. V prvním stupni se amoniakální dusík oxiduje na dusitany pomocí bakterií rodů *Nitrosomonas*, *Nitrosobolus*, *Nitrospira* a *Nitrosovibrio*. Ve druhém jsou vzniklé dusitany oxidovány na dusičnany mikroorganismy *Nitrobacter*. Vzniklé kyseliny pak reagují s vápenatými složkami stavebních materiálů za vzniku dusitanu nebo dusičnanu vápenatého. Zdrojem dusíku může být amoniak v dešťové vodě, v odpadních vodách, v organických zbytcích apod.

Sírné bakterie jsou významnými škůdci betonu i stavebního kamene. Sírné bakterie jsou aerobní, a proto se většinou nacházejí v povrchových vrstvách materiálu. Tyto bakterie postupně oxidují síru v nižším oxidačním stupni na kyselinu sírovou. Vzniklá kyselina sírová může reagovat se složkami betonu za vzniku síranů, což se projevuje nejprve jako křusta na povrchu stavebních prvků (betonu, kamene apod.). Síraný jsou dále vodou transportovány do pórů a tam při rekrystalizaci vytváří expanzní tlaky, které mají za následek destrukci materiálu. Sírné bakterie vegetují na anorganických substrátech, vyskytují se v půdě, ve vodě a všude tam, kde je dostatečná vlhkost a přítomnost zdrojů síry.

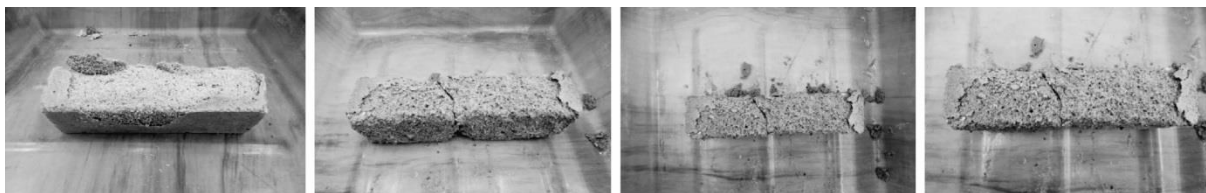
Desulfurikační bakterie pak redukuje sloučeniny obsahující síru ve vyšším oxidačním stupni až na sulfan. Kyslík, který při tom získají, využívají pro svůj růst. Jejich korozní aktivita spočívá v přísunu sírných sloučenin pro další oxidaci sírnými bakteriemi. Cyklus účinků síry znázorněn na následujícím obrázku č. 1.



Obrázek 1.: Cyklus účinků síry v kanalizačním prostředí

Trochu srozumitelněji by to šlo shrnout, že biokorozi betonových (rozuměj i cementových) materiálů tedy způsobují jak sulfát oxidující bakterie rodu Thiobacillus, které produkují kyselinu sírovou, tak sulfát redukující bakterie rodu Desulfovibrio a Desulfotomaculum, které naopak redukuje síraný na sirovodík. Uvedené bakterie jsou součástí přirozeného koloběhu síry, na kterém se podílejí zejména disimilačně. Avšak jedním z negativních vlivů tohoto procesu je už zmíněná biokoroze betonu, ale také všech ostatních prvků a materiálů.

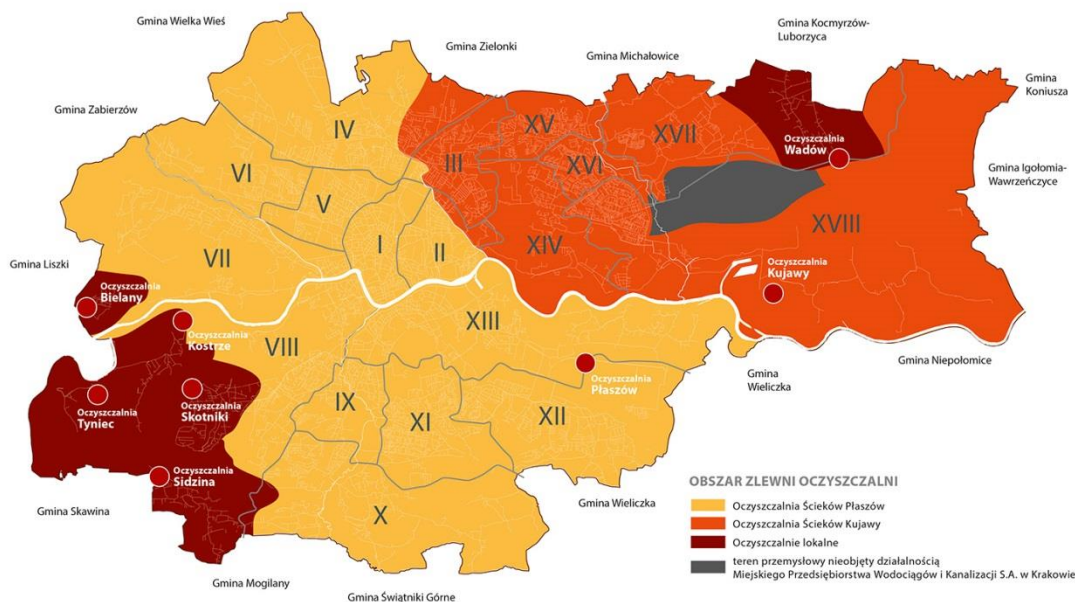
To, co dokáže agresivní kyselé prostředí s materiálem s cementovou matrací nejlépe ilustruje přiložený obrázek č. 2.



Obrázek 2.: Trvanlivost vzorků běžného cementového kompozitu byla testována v 5% roztoku HCl a 5% roztoku H₂SO₄

3. Místo projektu

Místem řešení bylo historické město Kraków. První informace o kanalizační síti pochází ze čtrnáctého století. V současnosti se kanalizační síť města skládá ze dvou hlavních systémů, které mají vlastní čistírny odpadních vod. První systém slouží asi 500. tisícům obyvatelům a druhý, asi 250. tisícům obyvatel. Oba hlavní systémy pracují jako gravitační. V oblastech, kde gravitační odvod odpadních vod do centrálního systému není možný, existují místní kanalizační systémy s místními čistírnami odpadních vod. Délka kanalizační sítě s přípojkami činní dnes téměř 1870 km, dvě hlavní čistírny odpadních vod, šest čistíren lokálních, sedmdesát pět přečerpávacích stanic.



Obrázek 3.: Orientační mapa řešených oblastí

V rámci projektu rekonstrukce bylo třeba obnovit 54 km kanalizačních systémů. Renovace takto rozsáhlé sítě v historickém městě, s hustě zástavbou a silnou dopravní infrastrukturou byla na jedné straně nezbytnou nutností a na straně druhé velkou technickou výzvou. Mezi hlavní problémy, které musel projekt, jako celek řešit, patřily netěsnosti stávajících

kanalizačních potrubí a stok, netěsné přípojky, porosty kořenů, sedimentace, a znečištění (a z toho vyplývající nedostatečný anebo omezený výkon), porušení konstrukcí korozí a chemickým zatížením (biokoroze), praskliny (strukturální poškození), zhroucení části úseků.

Zvláštním úkolem pak bylo řešení sanace konstrukcí soutokových, přečerpávacích, akumulacních, retenčních a uklidňovacích komor. Problém s výraznou biokorozí na celé stávající stokové síti je způsoben omezením odvětrání příslušné větve stoky na povrch. V minulosti bylo historické odvětrání uzavřeno, aby se možný zápach nešířil do centra města. Toto inženýrsky zcela necitlivé opatření mělo za důsledek nárůst vlhkosti a snížení výměny vzduchu. K negativním vlivům, jako je stoupající vlhkost a koncentrace plynů, je nutné přičíst i vznik mechanicky generovaného aerosolu, který vzniká a koncentruje se právě v objektech komor.

Důsledkem všech negativních vlivů je nárůst biokoroze na neomyvaných površích konstrukce kanalizačního objektu (svislé stěny, stropy). Jako řešení byl původně navržen celoplošný obklad těchto povrchů obkladem prvků z taveného čediče. Ty samy o sobě vykazují velmi vysokou odolnost agresivnímu prostředí (na stěnách dochází z výše uvedených procesů ke vzniku kyseliny sírové H_2SO_4). Zároveň se ale jedná o prvky (dlaždice a tvarovky) které jsou velmi hladké. Může tak snadno docházet na jejich povrchu k vysrážení (ze vzdušné vlhkosti, z aerosolu) a následnému transportu vysrážené kapaliny po těchto dlaždicích do spár a detailů. Zde by pak mohla při standartním řešení (použití spárovací hmoty s cementovou matricí, která má vyšší nasákavost než čedičový prvek) narůstat koncentrace agresivních látek a v její důsledku by mohlo docházet k významnému napadání těchto spár.

Řešení, která se v té chvíli nabízela, byla relativně jednoduchá a jejich účinek byl snadno předpověditelný. Obnovení původního odvětrání sítě, anebo omezeně umožnit odvětrání konkrétních kanalizačních objektů ohrožených vyšší expozicí zátěže (viz.: komory, stanice, šachty apod.). Naplánovat a provádět pravidelnou údržbu těchto objektů tak, aby docházelo k omývání vzdušných líců (neomyvaných částí) konstrukcí a tím snižování koncentrace agresivních látek. A v neposlední řadě použití nových materiálů pro spárování čedičových prvků, které dokáží uzavřít spáru a tím omezí možnost vnikání agresivních látek do konstrukce. Spolu s čedičovým obkladem vytvoří vysoce odolnou a kompaktní ochranu objektu. To vše za podmínky nutnosti instalace těchto materiálů in situ (na stavbě) v prostředí s vysokou vlhkostí. Tento soubor opatření se ukázal jako správný, i když opatření spočívající v lepším odvětrání sítě byla realizována jen omezeně a lokálně.

4. Použité materiály prvky z taveného čediče

Ve snaze předcházet poruchám stok se došlo k závěru, že nejučelnější řešení bude takové, které bude minimalizovat počet spár v části dna stoky a pro které se použije stavební materiál s co možná nejdélší životností. Pro své klíčové parametry spočívající mimo jiné ve vysoké odolnosti proti abrasivním účinkům suspendovaných a po dně sunutých anorganických materiálů a praktická netečnost proti agresivnímu působení látek obsažených

v odpadních vodách byly vybrány právě prvky z taveného čediče. Proto tak pro použití v kanalizacích, vyvinul jejich výrobce ve spolupráci s odborníky výrobky, které slouží k výstavbě, ale i rekonstrukci stokových sítí a objektů.

Taveným čedičem, resp. výrobky z tohoto materiálu rozumíme odlitky vyrobené roztavením, opětovným vytvarováním a vychlazením vhodných přírodních hornin, zejména pak olivinických čedičů. Pod tímto označením se vyrábí široký sortiment dlaždic, trub, tvarovek a dalších speciálních odlitků.

Vybrané vlastnosti výrobků z taveného čediče

Tvrдость podle Mohse	minimálně 8 stupeň
Objemová hmotnost	2900 - 3000 kg.m ⁻³
Nasákavost	0 %
Pevnost v tlaku	min. 300 – 450 MPa
Pevnost v ohybu	min. 45 MPa
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	0 - 100°C, max. 8.10 ⁻⁶ K ⁻¹
Rozpustnost v kyselině sírové	max. 9 % hm.
Obrusnost	max. úbytek 5 cm ³ /50cm ²
Odolnost proti opotřeбенí	max. úbytek 110 mm ³

Všeobecně lze říci, že tavený čedič má pěti až dvacetinásobně vyšší otěruvzdornost než speciální legované litiny a ocele, vysokou chemickou odolnost, nulovou nasákavost, vynikající mrazuvzdornost i další mechanické parametry.

Stokové žlaby, bočnice, kruhové segmenty, dlaždice a další tvarovky minimalizují abrasivní účinky průtoku odpadních vod, transportují anorganické částice různé velikosti, zejména u dna stoky. Současně mají výrazně menší počet i délku podélných ložných i styčných spár oproti cihelnému zdivu. Proto nehrozí nebezpečí vymílání spár, pronikání odpadní vody do zdiva a za rub vyzdívky, jak se tomu stává u běžného cihelného zdiva stok.

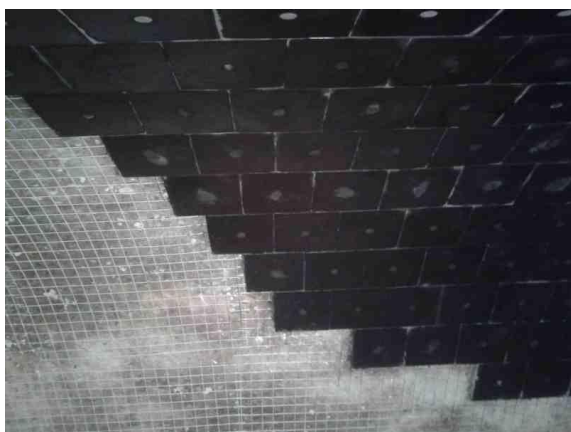
Pro sanaci objektů komor a přečerpávacích stanic byly použity standartní kanalizační prvky pro dna a horizontální plochy. Pro vertikální plochy stěn a plochy stropů byly použity čedičové tvarovky s možností mechanického kotvení.

Standartní skladba vertikální stěny tak spočívala v opravě betonového podkladu speciální sanační maltou dle EN 1504-3 se speciální výztuží. Malta byla nanášena tak, aby nedocházelo k zachycování vzduchu pod materiálem. Po nahození malty na povrch opravovaného betonu zednickou lžící maltu se vrstva zapracovala do pórů a nerovností pomocí plochého štětce s kratšími štětinami. Důkladné přilnutí první vrstvy v celé ploše je základní podmínkou dosažení vysoké výsledné přídržnosti. Vrstva byla doplněna na projektovanou tloušťku vhodnou technikou nahazování a natahování tak, aby se nevytvářela nevyplněná místa. Úprava povrchu opravy byla provedena polystyrénovým hladítkem.

Na takto vyrovnaný a připravený podklad byly bezdutinově nalepeny čedičové tvarovky. Lepící hmota byla nanášena tak, aby nedocházelo k zachycování vzduchu pod materiálem. Malta byla nanášena na připravený povrch zednickou lžící v požadované tloušťce od 5mm

do 40mm. Do takto připraveného maltového lože byla položena tvarovka z taveného čediče a poklepem gumovým kladívkem usazena do konečné polohy. Mezi jednotlivými prvky byly dodržovány předepsané spáry 5-7 mm. Tvarovka byla po počátečním náběhu pevnosti lepící malty mechanicky zakotvena. Spárování prvků se provádělo po počátečním náběhu pevnosti maltového lože.

Zamíchaná speciální spárovací hmota byla nanášena do spár diagonálně gumovou stěrkou. Spáry byly zcela vyplněny spárovací hmotou. Po prvním zavadnutí spárovací hmoty byl povrch omyt čistou vodou a spáry uhlazeny vlhkou houbou. Pro vytvoření dokonalého povrchu, spárovací hmota opět zavadla a následně bylo provedené finální umytí a vyhlazení spáry. Pohyb mycí houby vždy směřoval šikmo ke spárám a houba se musela dostatečně vlhčit. Vytvrzení spárování proběhlo do 24hodin, plné vyžrání do 96hodin od aplikace.



Obrázek 4.: Příklad rozpracované skladby Obrázek 3.: Spárování konstrukce komory stěny

5. Použité materiály ukládání, lepení a spárování

Standartně se využívají pro ukládání, lepení a kotvení čedičových prvků materiály na bázi speciálních polymercentových směsí. Pro použití v prostředí kanalizačních objektů pak doporučujeme materiály, které vykazují řadu dalších parametrů odolností ve srovnání s běžnými stavebními lepidly a hmotami. Z dlouhodobého výzkumu v této oblasti vyplynuly zobecněné podmínky pro konstrukci těchto speciálních PCC směsí.

Prvními jsou mechanické vlastnosti. Pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu vyjadřují mechanickou odolnost lepidla a obvykle jsou udávány v závislostech na čase. Závislost nárůstů hodnot pevností v čase určuje charakter lepidla a možnosti jeho použití, jinými slovy umožnit správnou instalaci prvků před zavadnutím a následným náběhem pevností. Zpracovatelnost zase sleduje schopnost zpracovávat materiál po určitou dobu bez ztráty jeho vlastností. Je třeba, aby byl materiál dostatečně plastický (dobře se zpracovával zednický) ale zároveň dostatečně tixotropní (bylo ho možné nanášet nejen na vodorovné, ale i na svislé povrchy), a aby materiál udržoval tvar připraveného maltového lože. Smršťování hmoty

v průběhu tuhnutí a zrání výrazně ovlivňuje její další vlastnosti (pevnosti, odolnosti, nasákavost, mrazuvzdornost apod.) proto musí být volné smrštění malty sledováno a ověřováno. Klíčovou hodnotou pro tyto speciální hmoty je přídržnost k podkladu (betonovému) a přídržnost k vlastnímu čedičovému prvku (a to pro všechny kombinace uložení (normální, ve vodě, tepelné stárnutí apod.). Ze základních požadovaných parametrů zbývá již jen vodotěsnost a nasákavost, a s nimi spojená mrazuvzdornost a odolnost působení chemických látek, teplotní roztažnost a v neposlední řadě parametr modulu pružnosti. Jak z výčtu sami vidíte není toho málo, co je třeba u takových materiálů sledovat.

Přesto to v prostředí s aktivní biokorozí nemusí stačit. Při konkrétních měřeních v prostředí přečerpávacích stanic a uklidňovacích šachet jsme naměřili na povrchu vzdušního líce těchto konstrukcí koncentraci kyselého prostředí dosahujícího pH až 1,0. Takové hodnoty jsou nad síly i vysoce modifikovaných PCC směsí. Bylo proto nutné přistoupit k návrhu úpravy technologie ukládání čedičových prvků a k ochraně konstrukce využít odolnější kompozity.

Pro vlastní uložení čedičových prvků byla využita původní technologie ukládání čedičových prvků do speciální kompatibilní PCC směsi. Tak aby došlo jak k vyrovnání připraveného betonového podkladu, tak k řádnému ukotvení prvku. Ve druhém kroku bylo nutné dokonale uzavřít všechny spáry tak, aby byla konstrukce co nejlépe chráněna.

Návrh limitujících podmínky instalace, ve všech objektech je relativně vysoká vlhkost a není reálně možné zajistit vysušení těchto spár a detailů. Formulovaly jsme proto speciální hmoty na bázi epoxydových pryskyřic kompatibilních s vodou.

Epoxidové pryskyřice jsou polymerní syntetické sloučeniny, které obsahují oxiranové (epoxidové, ethylenoxidové) jednotky ve strukturní molekule. Epoxidová skupina neboli epoxid, je cyklický ether se třemi atomy v kruhu. Díky tomu, že tyto atomy tvoří téměř rovnostranný trojúhelník, je molekula epoxidu energeticky bohatá a tím velice reaktivní. Vysoká reaktivita pryskyřic, jako i chemická odolnost, nízké smrštění při vytvrzování, a především vysoká přilnavost k mnoha materiálům nás vedla k využití této suroviny.

Správně vytvrzené epoxidové pryskyřice totiž vykazují vlastnosti, které jsou pro navržené použití žádoucí. Jsou to především: Chemická odolnost – díky přítomnosti C–C vazeb je pryskyřice a tím i finální směs odolná vůči zásadám a zředěným roztokům kyselin (odolnost stoupá s délkou řetězce a stupněm zesílení), Malá smrštitivost směsi při vytvrzení – smrštitivost pryskyřic ovlivňuje typ vybraného tvrdidla, Pryskyřice vykazují dobrou adhezi k většině materiálů podkladu, k prvkům z taveného čediče a vysokou mechanickou pevnost.

Základem kompozitního materiálu je matrice neboli pojivo (spojitá fáze systému), do které se přidává nespojitá fáze, kterou představuje plnivo nebo výztuž. Druh částic, jejich velikost a distribuce ovlivňují výrazným způsobem vlastnosti kompozitního materiálu. Trend v oblasti zlepšování vlastností směřuje k vývoji tzv. hybridních kompozitních materiálů. Mezi hybridní kompozity patří právě materiály, u kterých jedna matrice obsahuje různé typy plniva, obsahuje směs vláknového a částicového plniva.

Vznikl tak zcela nový systém spárovací hmoty na epoxidové vodní bázi bez rozpouštědel a emisí těkavých látek. Systém, který úspěšně vyřešil většinu požadavků tohoto projektu. Nová spárovací hmota nabídla snadnou přípravu a aplikaci, a to i na vlhký podklad, následnou velmi dobrou čistitelnost (vytvoří se uzavřený hladký povrch), hmota vykazuje vysokou mechanickou odolnost, po vytvrzení je neporézní a tím i nenasákavá disponuje vysokou chemickou a biologickou odolností (zejména pak odolností na kyselé prostředí). Pro ilustraci zde uvádíme několik klíčových parametrů:

Fyzikální vlastnosti nové hmoty

Pevnost v ohybu	> 30 MPa
Pevnost v tlaku	> 45 MPa
Smrštění	< 1,5 mm/m
Nasákavost vodou po 240 min	< 0,1 g

Vybrané chemické odolnosti nové hmoty

Kyselina dusičná	25%	odolný/změna barvy
Kyselina chlorovodíková	10%	odolný/změna barvy
Kyselina sírová	5%	odolný/změna barvy
Kyselina fosforečná	10%	odolný/změna barvy
Kyselina mléčná	2%	odolný
Kyselina vinná	10%	odolný

6. Odběr vzorku odpadních vod při průzkumu

Při provádění průzkumu v kanalizaci v místě aplikace byly provedeny po 12 měsících od provádění odběry materiálu ze stěn stoky včetně vzorků odpadní vody. Bylo zjištěno, že díky velmi špatné ventilaci dochází v tomto kanalizačním systému k hromadění sulfanu (H_2S) a k jeho kondenzaci na stěnách stok, kde dochází díky bakteriálnímu působení k vylučování kyseliny sírové (H_2SO_4), místy ve vysokých koncentracích. V rámci rozboru odpadní vody byly nalezeny také komplexní organické sloučeniny, mezi které se řadí například i kyselina octová, jedna z nejagresivnějších kyselin, jejíž působení má již v nízkých koncentracích zásadní vliv na trvanlivost většiny epoxidových pryskyřic. Při kombinaci těchto negativních vlivů záleží v maximální míře na korektnosti provedení stavebních prací. V závislosti na kvalitě provedení je výrazně ovlivněna životnost celého systému.

7. Závěr

Současné možnosti moderních stavebních materiálů a technologií jsou obrovské. S každým dalším dnem jejich vývoje se navíc otevírají nové a nové možnosti. Dokážeme chránit konstrukci mnohem lépe, postupovat rychleji, nemusíme se tolik omezovat v našich rozhodnutích a přáních. Přesto bývá moudré nezapomínat na zkušenosti generací našich předků, a vždy se snažit najít tu nejefektivnější variantu řešení.

Kontakt

Ing. ALEŠ JAKUBÍK, mail: jakubik@redrock.cz, Redrock Construction s.r.o., Újezd 40/450, 118 00 Praha 1

Ing. RADEK HERMANN, mail: hermann.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

SANACE BETONOVÝCH ZÁKLADŮ VEDENÍ VYSOKÉHO A VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ

REMEDICATION OF CONCRETE FOUNDATIONS OF HIGH AND VERY HIGH VOLTAGE LINES

Ivan Kovačik

Nekap s.r.o.

Anotace:

Stabilita dodávek elektrické energie je strategickým zájmem státu. Spolehlivost celého systému závisí mimo jiné i na kvalitě přenosové sítě.

Základními prvky venkovního vedení vysokého a velmi vysokého napětí jsou stožáry – ocelové konstrukce, jejichž stabilita je zajištěna usazením do betonových bloků, tzv. patek.

Beton patek je vystaven dešti, mrazům, prudkým změnám teploty a často není schopen těmto podmínkách dlouhodobě odolávat. Dochází k postupnému poškození betonu, které by mohlo vyústit až ohrožení stability stožárů. Beton patek je třeba sanovat tak, aby se životnost patek prodloužila až o několik desítek let.

Annotation:

The stability of electricity supply is a strategic concern for the state. The reliability of the entire system depends, among other things, on the quality of the transmission network.

The main elements of the high and very high voltage outdoor lines are poles - steel structures whose stability is ensured by settling into concrete blocks, the so-called feet.

The bead concrete is exposed to rain, frost, severe temperature changes and is often unable to withstand these conditions in the long term. There is a gradual damage to the concrete, which could result in the stability of the masts. Bead concrete needs to be refurbished so that the lifetime of the feet is extended by several decades.

Klíčová slova:

Sanace betonu, betonové patky, stabilita stožáru

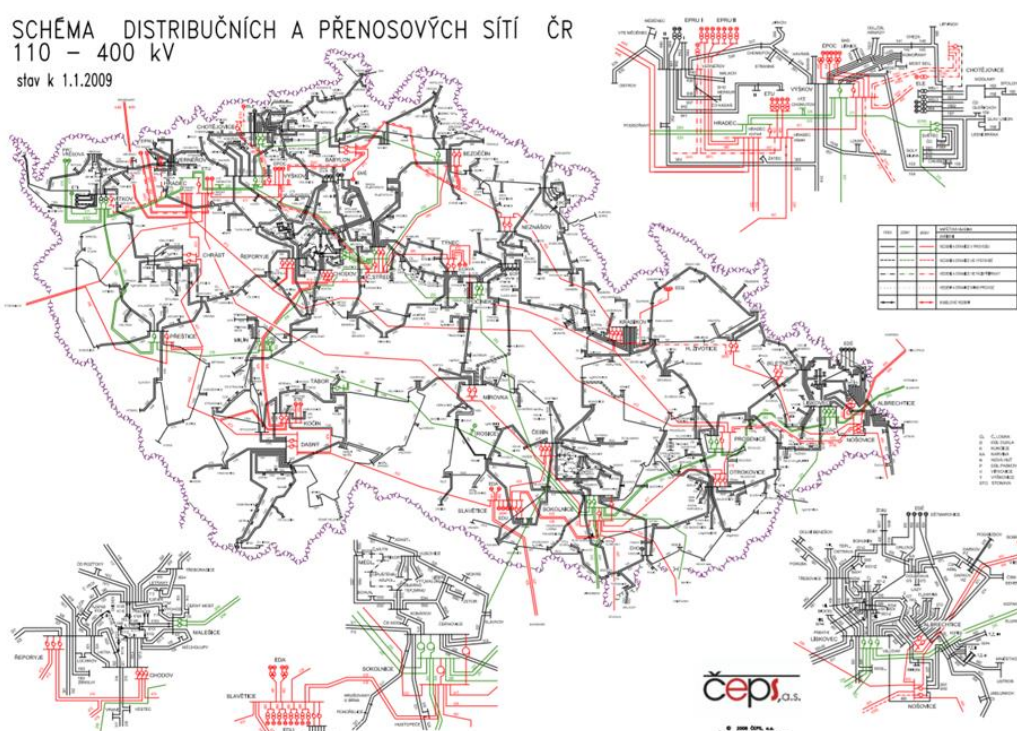
Keywords:

Concrete remediation, concrete footings, mast stability

1. Sanace betonových základů vedení vysokého a velmi vysokého napětí

Nadzemní elektrické vedení je celosvětově nejpoužívanějším způsobem přenosu elektrického proudu. Alternativou je umístění kabelů pod zem, zejména z cenových důvodů se toto řešení používá pouze výjimečně, hlavně v městských zástavbách.

Nadzemní vedení je tvořeno kabely vedoucími elektrický proud a stožáry, které tyto kabely podpírají a zároveň zajišťují bezpečnou vzdálenost kabelů od země. Spolehlivá stabilita stožárů je tedy důležitá jak pro spolehlivou dodávku elektrické energie, tak kvůli bezpečnosti osob, zvířat, ale i budov nacházejících se v blízkosti vedení.



Obrázek 1.: Schéma distribučních a přenosových sítí v ČR

Stožáry jsou kovové konstrukce různých tvarů, jejichž nadzemní část je obvykle dělena na nohu a hlavu stožáru. Nohy stožáru musí být spolehlivě ukotveny v zemi, aby nebyla stabilita stožáru ohrožena ani ve vysokém větru. Ukotvení betonu se nazývá pata nebo patka a je tvořeno betonovým základem, jehož rozměry a hmotnost zajišťují stabilitu stožáru.

Je samozřejmě nezbytné provádět pravidelnou údržbu celé konstrukce stožárů. Nadzemní části musí být pravidelně natírány a je nutné kontrolovat pevnost spojů.

Pozornost je ale třeba věnovat i betonovým patkám, které jsou částečně skryté pod úrovní terénu. Značná část vedení byla postavena před rokem 1990 a kvalita betonů použitá při výstavbě stožáru kolísala. Často se ale jednalo o betony míchané přímo na místě, které nebyly provzdušněné a nebyly tedy schopné dlouhodobě odolávat v podmínkách, kterým byly vystaveny.



Obrázek 2.: Typ stožáru 3



Obrázek 3.: Typ stožáru VVN

Od poloviny devadesátých let probíhá postupná revize a případná revitalizace patek na jednotlivých liniích vysokého a velmi vysokého napětí. Součástí postupu je odkrytí patky, diagnostika stavu betonu, určení sanačního postupu.

Původní sanační postupy předepisovaly ošetření povrchu betonu stěrkami na bázi epoxidů nebo polyuretanů. Někde se používala pouze uzavírací disperze typu Sokrat nebo nátěry na bázi epoxidů nebo polyuretanů. Vzhledem k tomu, že tyto materiály nejsou prostupné pro vodní páry a zároveň patky nejsou izolovány, docházelo po velmi krátké době k porušení celistvosti povrchu vlivem difuze vodních par, postupnému odmrznutí povrchové vrstvy a následné další degradaci konstrukce betonové patky.

V roce 1999 připravila společnost Nekap ve spolupráci se společností Betosan s.r.o. postup sanace betonových patek, který toleroval prostup vodní páry původním betonem patek a zároveň zajistil spolehlivou dlouhodobou ochranu patek proti nepříznivým podmínkám.

Navržený systém byl poprvé použit při sanaci patek na vedení kV 220 Lískovec – Polsko v roce 2000. Po dokončení aplikace proběhlo vyhodnocení funkčnosti celého systému. Zásadním pozitivem pro dlouhodobou spolehlivost systému je, že finální úprava pomocí materiálu Xypex Modified neuzavírá povrch patky a umožňuje betonu dýchat, tj. odvětrávat vodní páry, které patkou prostupují. Ve stejný okamžik zamezuje průniku dešťové vody do patky a dokáže dotěsnit nepohyblivé trhliny až do 0,4 mm.

V první dekádě tohoto století byl uvedený postup použit při sanacích několika úseků vysokého a velmi vysokého vedení. Dobré zkušenosti s výslednou sanací vedly v roce 2010 ke spoluúčasti společnosti Nekap s.r.o. při tvorbě směrnice kodifikující sanaci patek. Tato směrnice byla vytvořena společností ČEZ Distribuce a přesně specifikovala zásady při opravách jak nadzemních, tak podzemních částí konstrukcí stožárů, vč. betonů patek.

Dokument byl poprvé zveřejněn v roce 2013 pod názvem "Metodika - oprava betonových základů a souvisejících částí konstrukcí", kterou vydal ČEZ Distribuce a.s. Součástí směrnice je část zaměřující se na sanaci patek. Výše uvedená směrnice je používána od roku 2013 nejen v rámci ČEZ Distribuce, ale také na vedeních patřících největšímu správci vedení 200 – 400 kV v ČR společnosti ČEPS a.s. (TN 49/18 – oprava betonových zhlaví stožárových

konstrukcí). Dále si do svých technických norem zařadili výše uvedené postupy i společnosti PRE a.s. a E-ON, a.s.



Obrázek 4.: Trhliny na patce



Obrázek 5.: Ošetření pomocí materiálu Xypex

Směrnice dělí patky do tří základních skupin dle míry poškození a dle potřebných sanačních zásahů, určuje také přesný technologický postup jejich opravy. Jedná se o tyto tři skupiny:

A/ Patky s menším narušením.

B/ Patky s lokálním narušením povrchů do hloubky 3 cm.

C/ Patky silně narušené.



Obrázek 6.: Patka před sanací



Obrázek 7.: Patka po sanaci

Součástí postupu je vždy odkrytí patky, její důkladné očištění tlakovou vodou a odstranění špatného či uvolněného betonu.

V případě lokálního narušení je třeba patku reprofilovat, tj. nahradit chybějící beton kvalitní mrazuvzdornou cementovou maltou, např. Monocrete PPE TH. U silně narušených patek je třeba chybějící beton doplnit betonovou směsí. Vrstva nového betonu musí být mechanicky přikotvena k původnímu betonu tak, aby byla zajištěna dlouhodobá soudržnost obou vrstev. Všechny patky, bez ohledu na stupeň poškození jsou na závěr sanace ošetřeny krystalickým nátěrem Xypex Modified a ošetřujícím nástřikem Xypex Gamma Cure.

Xypex se dnes používá nejenom při sanaci starších patek, ale nalézá uplatnění i při výrobě nových patek, kde pomáhá zajistit prodlouženou životnost betonů. Na těchto projektech se používá Xypex ve formě přísady do čerstvého betonu, čímž se zjednodušuje a urychluje proces výstavby.

2. Závěr

Sanace patek vysokonapětového vedení probíhá již 20 let a za tuto dobu byly sanovány patky na stovkách kilometrů vedení. Kvalita provedených sanací je pravidelně a dlouhodobě kontrolována, stav patek zůstává výborný i mnoho let po aplikaci. Alternativou sanace patek by byla jejich kompletní nová betonáž, která by byla výrazně náročnější, jak časově tak i finančně, navíc by vznikalo velké množství odpadu, který by bylo třeba likvidovat.

Uvedené sanační postupy jsou ve velké míře aplikovatelné i na podobné betonové konstrukce zatížené změnami teploty a byly již mnohokrát úspěšně použity na betonových konstrukcích, které vykazovaly různé stupně mrazového poškození.

Kontakt

IVAN KOVAČÍK, mail: kovacic@xypex.cz, Nekap, spol. s r.o., Výhradní prodejce v ČR, Thákurova 7, 160 00 Praha 6

AUTOMATIZOVANÉ INSPEKCE DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY NA BÁZI DIGITÁLNÍCH DVOJČAT A STROJOVÉHO UČENÍ

AUTOMATED INFRASTRUCTURE INSPECTION BASED ON DIGITAL TWINS AND MACHINE LEARNING

**Peter Furtner¹, Ernst Forstner², Albrecht Karlusch²,
Martin Luňáček³, Zdeněk Jeřábek³**

¹ VCE Vienna Consulting Engineers ZT GmbH,

² Palfinger Structural Inspection GmbH,

³ INFRAM a.s.

Anotace:

Jedním z klíčových úkolů v naší moderní společnosti je vytvoření a poskytování bezpečné dopravní infrastruktury. Správci odpovídající za tuto infrastrukturu musejí dodržovat předpisy, které vyžadují, aby byly velké infrastrukturní celky periodicky kontrolovány na možné poškození, a aby se toto zjistilo dříve, než se to stane bezpečnostním rizikem.

Při standardní kontrole konstrukcí cestuje stavební technik se speciální kvalifikací k takovému objektu, aby jej na místě zkontroloval. Připraví si poznámky, náčrtky a fotografie pro následnou zprávu. Tito inspektoři se musejí dostat na obtížně přístupná místa pomocí zvláštní těžké inspekční techniky. Během takového testu nelze objekt používat buď vůbec nebo jen částečně, což má za následek přerušeni nebo zdržení dopravy, dopravní zácpy a tím i značné náklady z důvodů nedostupnosti takové části infrastruktury.

V posledních letech se stále častěji objevují postupy využívající ke kontrole konstrukcí drony. Tyto postupy jsou omezeny na vizuální kontrolu vytvořených optických snímků.

Použitím nových technologií lze provést objektivnější a rychlejší kontrolu konstrukcí, a to za nižší cenu. Aby se dosáhlo nejvyšší možné úrovně automatizace, vlastní zkouška se již neprovádí na reálném objektu, nýbrž na digitálním dvojčeti dané konstrukce. Vyhodnocení poškození a hlášení se provádějí automaticky.

Annotation:

One of the key challenges in our modern society is the provision of safe transport infrastructure. Infrastructure managers are subject to regulations requiring major infrastructures to be periodically checked for damage before it becomes a safety hazard.

In the standard structural inspection, specially qualified civil engineers travel to the object to be inspected on site. Notes, sketches and photos are prepared for the subsequent report. The inspectors are introduced to non-directly accessible locations with special, heavy inspection equipment. During such a test the object is not or only partially usable, which leads to interruptions, delays, traffic jam and thus considerable non-availability costs.

In recent years, approaches of a drone-based structural inspection are increasingly noticeable. These are mainly limited to a visual inspection of the created optical images.

By using new technologies, a more objective and faster structural inspection can be carried out at a lower cost. In order to achieve the highest possible level of automation, the actual test is no longer performed on the real object, but on a digital twin of the construction. The assessment of damages and reporting is carried out automatically.

Klíčová slova:

Infrastruktura, digitální dvojče, dron

Keywords:

Infrastructure, digital twins, drone

1. Úvod

Stavební konstrukce musí splňovat požadavky, pokud jde o jejich periodické kontroly prováděné v co nejpravidelnějších intervalech. Ve všech průmyslových zemích existují v této souvislosti zákony a nařízení. Např. v Německu to jsou DIN 1076 a RI-EBW-Prüf a v Rakousku jsou to dokumenty RVS řady 13.03.XX a dokument „06.01.02 údržba//plán údržby“ společnosti ÖBB Infrastruktur AG.

V tomto pojednání je předložena koncepce a implementace pilotního projektu týkajícího se použití inovativních technologií při inspekci konstrukcí. Servisní podpora na bázi bezpilotních leteckých prostředků (UAV – Unmanned Aerial Vehicles tj. “dronů”) a dalších platforem, jakož i technologií digitálního zpracování obrazu, zejména metod umělé inteligence, by měly být dány k dispozici pro kontrolu stavebních konstrukcí. Cílem je zajistit konkretizovanou a pochopitelnou detekci poškození, a to při minimalizaci nákladově náročného procesu (uzavírka silnic, uzavírka pro nákladní dopravu, pod mostní konstrukcí se pohybující inspekční jednotky atd.).

Jako vedlejší produkt aplikace těchto technologií a postupů je vytvořeno digitální dvojče dané reálné konstrukce, které lze rovněž použít pro další aplikace, např. pro digitalizaci existující konstrukce, BIM (Building Information Modelling) modely skutečného provedení, řízení postupu konstrukce, plánování údržby apod.

2. Využití pro správce infrastruktury

Během vývoje koncepce pilotního projektu, se účastníci projektu věnovali základním úvahám týkajícím se použití UAV v procesu kontroly konstrukce. Očekávané výhody této technologie jsou shrnuty v následujícím textu.

2.1. Výhody

Sběr dat

- Rychlé, bezpečné a kompletní zachycení objektů.
- Účinná kontrola (inspekce) těžko dostupných konstrukcí (jako jsou velké viadukty).
- Žádná / minimální provozní omezení v průběhu inspekce (při nejmenším, pokud není nutné létat přímo nad místem, kde probíhá provoz.)
- Omezení provozu, jsou-li požadována, mohou být významně zkrácena díky menším časovým nárokům kontroly.
- Úplný záznam a přesná lokalizace dat týkajících se stavu konstrukce.

Vyhodnocení dat

- Na automatizaci založená, konkretizovaná a kompletní klasifikace poškození konstrukce.
- Na místě výskytu nezávislé vizuální vyhodnocení stavu konstrukce experty na základě dat získaných pozorováním ze vzduchu.
- Georeferenční posouzení získaných dat s možností vyhodnocení na základě od polohy odvozených dat a to skrze dočasné změny poškozených oblastí konstrukce / anomálií apod.
- Bezpečná a poloautomatická detekce a kvantifikace změn stavu a poškození, a to periodickými prohlídkami konstrukce.
- Objektivní a opakovatelná detekce poškození.

Vizualizace a dokumentace dat

- • Pracovní základna pro klienta, nezávislé zkušební techniky a pro účtování základních prostředků.
- • Softwarově nezávislé web-GIS mapování a přísun BIM dat.
- • Strukturované archivování a možnosti vyhledávání dat o existující konstrukci a dat o stavu konstrukce.
- • Rozhraní pro integraci dat pro plánování.
- • Použití trojrozměrné prezentace konstrukce jako plánovací základny pro nezbytná opatření týkající se renovace a údržby.
- • Snadná tvorba přesných plánů konstrukce ze získaných výsledků.
- • Neomezená (nebo klientem definovaná) skupina uživatelů.
- • Data představují základ pro řízení životního cyklu.

2.2. Inovace a další rozvoj

Pořizování dat

Pořizování záznamu konstrukcí s žádným či jen minimálním dopadem na jejich používání v momentě záznamu se provádí optickými a multispektrálními snímači s přesností

dostatečnou k jasnému vyhodnocení i k jiným plánovaným úlohám. Získané informace se kombinují tak, aby vytvořily trojrozměrný digitální obraz dané konstrukce s použitím fotogrammetrických metod. Tento trojrozměrný model vytváří základ pro další plánované úkoly.

Informace získané při pořizování dat jsou geo-referenční. Veškeré informace týkající se stavu dané konstrukce mohou být jasně a kontinuálně přiřazovány ke konkrétním pozicím. Je tak možné vytvořit hodnocení současného vývoje stavu konstrukce.

Vyhodnocování dat

Editování informací o stavu konstrukce. Nástroje k editaci zobrazení a k analýze se automaticky používají ke zjišťování stavu konstrukce. Vedle vizuálně zjišitelných poškození konstrukce (např. změna barvy, praskliny, geometrické anomálie, které umožňují usuzovat na průnik vody, růst mechu, odloupávání betonu nebo sulfátovou degradaci betonu apod.) může být fyzický stav materiálu také vyhodnocován z informací získaných multispektrálními metodami. Dodatečná komprese dat týkajících se místního stavu konstrukce se může provádět na základě přesně lokalizovaných informací získávaných dalšími fyzikálně-chemickými snímači /analýzami.

Vizualizace a řízení dat

Finální produkt přístupný pro klienta prostřednictvím web-GIS nezávislého softwaru, může být jako modul integrován do existujících databází pro správu konstrukce pomocí linků nebo jako samostatný modul. Systém autorizace zajišťuje kontrolu dostupnosti informací dle konstrukce a tím i důvěrnost dat.

Úvodní stránka web-GIS umožňuje klientovi zvolit si požadovanou konstrukci s podobnou funkcí jako Google Maps. Kliknutím na konstrukci zobrazenou jako objekt umístěný na mapě, se otevře trojrozměrné fotorealistické zobrazení, které lze zvětšovat (přibližovat/vzdalovat) a otáčet ve třech dimenzích.

Na zaznamenaném nebo automaticky vytvořeném záznamu jako jsou fotografie a defekty se mohou uplatnit filtrační funkce (časový filtr, vrstva) nebo kliknutím na odpovídající pozici na 3D objektu z podkladové databáze a zhodnoceny expertně/komentovaně/kategorizačně (=> tagged (s příznakem)). Příslušná informace je rovněž uložena v podkladové databázi a lze ji vyhledat strukturovaným způsobem s použitím filtračních funkcí.

3. Cíle pilotního projektu

Pilotní projekt byl uskutečněn v průběhu společného výzkumného projektu s ÖBB. Hlavním cílem tohoto pilotního projektu bylo vyhodnocení rozsahu, v němž může být inspekční proces u ÖBB podpořen použitím UAV (dronů) na reálném mostním objektu – mostu Falkensteinbrücke. V průběhu tohoto projektu se uskutečnila demonstrace pořizování dat pomocí UAV.

4. Popis techniky a metody použité v pilotním projektu

4.1 Dron

Jako nosná platforma byla použita moderní multikoptéra. Volba leteckého bezpilotního prostředku je založena na zvolených palubních snímačích (kamerách). Řízení letu dronu se provádí (polo-)automaticky nebo ručně v závislosti na situaci. Soulad trajektorie s plánem letu se primárně dosahuje použitím GPS-RTK a pomocí snímačů vzdálenosti. Zejména v omezených prostorech (např. pod mostní konstrukcí, mezi pilíři) se stabilní letové podmínky doplňkově zajišťují přímým ovládním pilotem.

4.2 Plánování letu a průzkum ze vzduchu

Pro vytvoření přesného 3D modelu založeného na fotografiích je nezbytné získat snímky obsahující co nejvíce informací. Proto hraje klíčovou roli přesné plánování letu. Plánování letu pro průzkum mostu ze vzduchu se může provést dvěma způsoby – s využitím již dříve provedeného 3D plánovaného letu nebo plánováním letu na místě v terénu. Volba metody závisí na dostupných údajích, které se mohou lišit vzhledem k pracovnímu zatížení. K 3D plánování letu je nezbytný již existující 3D model. Ten umožní průzkum ze vzduchu poloautomatizovat a identifikovat kritické body, jakož i místa vzletů a přistání, a to předem v kanceláři. Jestliže 3D model není k dispozici, postupuje se následovně: nejprve se provede ručně řízený hrubý let, potom se naplánuje 3D let a nakonec se provede vlastní let s měřením. V tomto případě se musí plánování letu provést v terénu. Jen tímto způsobem je možné identifikovat kritická místa, jakož i stanovit místo vzletu a přistání předtím, než se let uskuteční.

4.3 Snímače

Ústřední snímač na palubě dronu je kamera pracující s vysokým rozlišením pro záznam v rozsahu RGB. Objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností s nejvyšší možnou světelností jsou kalibrovány před použitím a po použití. RGB kamera reprodukuje vše, co vidí lidské oko. Je třeba vzít v úvahu heterogenní světelné podmínky (přirozené světlo), což se týká použití fotoblesku nebo osvětlení pro nahrávání videa a odpovídající implementaci v kontextu vývoje, na nějž je práce zaměřena. Lze se vyhnout přímému slunečnímu záření a ostrým stínům tím, že se let naplánuje na den s mírně zataženou oblohou.

4.4 Zpracování obrazu a programové vybavení pro vyhodnocení

3D model mostu je založen na zaznamenaných snímcích. K tomuto účelu se používá programové vybavení pro fotogrammetrické vyhodnocení. S použitím algoritmů pro nastavení svazku se dosahuje přesné vzájemné orientace snímků. Tento proces je podporován použitím pre-geodeticky zaměřených kontrolních bodů. A dále, správné prostorové umístění objektu v nadřazeném souřadnicovém referenčním systému se dosahuje pomocí těchto kontrolních bodů. Výstupem fotogrammetrického vyhodnocení jsou

3D data pro vizualizaci, jakož i přesně umístěné a korigované snímky jako základ pro detekci poškození betonu.

Detekce poškození konstrukce na jednotlivých snímcích se provádí s použitím metod umělé inteligence. Za tímto účelem se používá plně automatizovaný software založený na tzv. neuronální síti.

4.5 3D vizualizace

Na základě dat získaných ze vzdušného průzkumu (data vztahená k bodům a fotografie ze vzduchu) s pomocí plánů týkajících se stavu konstrukce a informací o mostním objektu získaných od klienta se vytvářejí 3D modely pro vizualizaci konstrukce. Vizualizace obsahuje a) vytvoření fotorealistického modelu z dat ze vzdušného průzkumu a b) vytvoření 3D aproximačního modelu mostu jako BIM modelu. Vizualizace se vytvářejí softwarově nezávislým způsobem přes síťové prohlížeče. Vizualizace se vyhledává přes web-GIS sloužící k lokalizaci dat databáze procesu. Přístup na web-GIS je rovněž softwarově nezávislý přes vyhledávací rutinu sítě. Web-GIS má oprávnění k řízení, což umožňuje sdílet data a věnovat přitom pozornost různým hierarchickým úrovním organizace. Data mohou být k dispozici široké základně uživatelů prostřednictvím webových služeb. Uživatel může používat veškerou funkčnost web-GIS a 3D zobrazovače, a to bez speciálního programového vybavení. A vedle vizualizace testovaného objektu, web-GIS se může použít rovněž k uložení strukturovaných dat. Vedle lokalizace informací (fotografie poškození, zkušební zprávy, ...) se informace může ukládat strukturovaným způsobem s možností filtrování a snadným vyhledáváním dle přiřazených příznaků a pomocí informace časového filtru.

4.6 Detekce poškození betonu

Detekce poškození betonu probíhá na základě snímků pořízených palubním snímačem. K tomu se používá programové vybavení k vyhodnocování obrazu a rozpoznávání vzorce. Jednotlivé pixely fotografického snímku se rozdělí do různých tříd na základě vlastností týkajících se jejich absorpce a odrazu. Oblasti se známými spektrálními vlastnostmi se označí předem a potom se používají jako referenční. S použitím algoritmů strojového učení se tento proces může automatizovat s tím, jak se počet zpracovávaných záznamů zvyšuje.

Zjištěné vady zahrnují např. změnu barvy, odloupávání, obnažení ocelové výztuže, mech, praskliny, deformace, známky koroze atd. Vedle detekce se stanovuje i přesné místo výskytu daných vad. Praskliny v betonu jsou klasifikovány dle své délky a šířky.

4.7 Stanovení vlhkosti betonu

Vlhkost betonu se stanovuje v blízké infračervené oblasti při vlnové délce kolem 970 nm. Výsledky současného vlastního výzkumu se zapojením Technické university v Grazu (Technische Universität Graz) slibují smysluplnější hodnoty při použití vlnové délky cca 1420 nm. Plánují se další vývojové práce týkající se kamery, osvětlení a vyhodnocování: nejprve v laboratoři, potom v přirozeném testovacím prostředí a následně na reálných testovacích objektech založené na metrologickém šetření s použitím dronu.

Stanovení vlhkosti betonu pomocí termokamer je ojedinělé a nejeví se nadějně, ovšem lze si představit použití tohoto systému jako přídatného snímače.

4.8 Stanovení obsahu chloridu

Chlorid jako příčinu poškození na betonových konstrukcích lze stanovit na povrchu pomocí dálkových snímacích metod. První experimenty provedené společně s Technickou univerzitou v Grazu ukazují spektrální zobrazení chloridu v oblasti cca 1420 nm – podobná oblast spektra jako při stanovení vlhkosti. Je proto možné použít k zobrazení a měření multispektrální snímače.

5. Pilotní projekt Falkensteinbrücke

Most Falkensteinbrücke blízko Obervellachu, který má délku 396 m, je nejdelší železniční most společnosti ÖBB Tauern a překlenuje východní stranu údolí Möll.

Ke vzdušnému průzkumu mostu Falkensteinbrücke byla vybrána severní polovina jižního oblouku. To odpovídá zhruba čtvrtině celého mostu. V rámci projektu jsme se zaměřili na mostovku, oblouk a na pilíře 10–13 (obr. 1).



Obrázek 1: Pilíře v zaznamenané oblasti

Let se uskutečnil 27. listopadu 2017 za dobrého počasí s hexakoptérou společnosti Skyability GmbH. Dron ovládal ze země pilot ručně, a to s pomocí pozorovatele a datového linku FPV. Vzdálenost mezi mostem a dronem byla v průměru 3–5 m. Snímače mohly být namontovány volitelně na spodní nebo vrchní straně dronu, aby se mohly otáčet a naklánět.

Použitým snímačem byla kamera Sony Alpha 7RII s rozlišením 42 MP s full frame snímacím čipem. Tato kamera byla namontována částečně nad a částečně pod dronem. Kamera byla uváděná do činnosti pilotem ručně. Poloha při snímání byla volena tak, aby všechny povrchy byly snímány čelně a diagonálně v co největší možné míře. Přesah snímků je asi 80 %.

Pro následné geodetické porovnání 3D modelu bylo geodeticky zaměřeno na mostě cca 40 kontrolních bodů v geodetickém systému M31 Land Survey System.

6. Vyhodnocení a vizualizace dat

6.1 3D modelování

K vytvoření 3D modelu z fotografií pořízených ze vzduchu je použita fotogrammetrická metoda – Dense Image Matching. Operační princip tohoto algoritmu spočívá ve vyhledávání totožných bodů na několika obrázcích (alespoň na dvou) a ve výpočtu jejich souřadnic. Výsledkem tohoto procesu je mračno bodů, které může následně sloužit jako základ pro BIM nebo 3D síťový (mesh) model.

Z celkového počtu 3599 pořízených fotografických snímků bylo vybráno 2919 pro modelování a konečné využití. Rozmazané, příliš tmavé nebo opakující se snímky se nepoužily. Pro urychlení procesu byly použity souřadnice globálního navigačního satelitního systému (GNSS) fotografických snímků pořízených z dronu.

Výsledkem tohoto kroku je "řidké mračno (spojovacích) bodů", zlepšené souřadnice a zlepšená orientace pořízených snímků na základě kalibrace kamery. V posledním kroku bylo vytvořeno "husté mračno bodů". Při celkovém počtu 2919 fotografických snímků je tento proces velkou výzvou pro hardware.

6.2 Analýza obrazů

Jak již bylo uvedeno analýza obrazů a detekce poškození na pořízených snímcích se provádí s použitím metod umělé inteligence. V tomto pilotním projektu se k tomuto účelu použily neurální sítě. Dalšími vyvinutými softwarovými nástroji jsou FALCO a IRIS, přičemž FALCO se používá jako průprava pro neurální síť a IRIS pro analýzu velkého počtu obrázků, a to pomocí klasifikátoru vytvořeném ve FALCO.

Všechny obrázky jsou zkoumány na přítomnost různých typů poškození konstrukce, jako jsou praskliny, odlupování (drolení), pronikání vlhkosti a obsah chloridu. Detekovaná poškození jsou vyznačena na obrázcích pomocí křivky nebo polygonu v případě povrchového poškození a potom zapsány do databáze. Je tak uložen typ poškození a souřadnice snímku k danému poškození. V následujícím kroku jsou poškození uložena do databáze přiřazena ke konkrétním místům v prostoru (geo-referenced) pomocí speciálního softwaru.

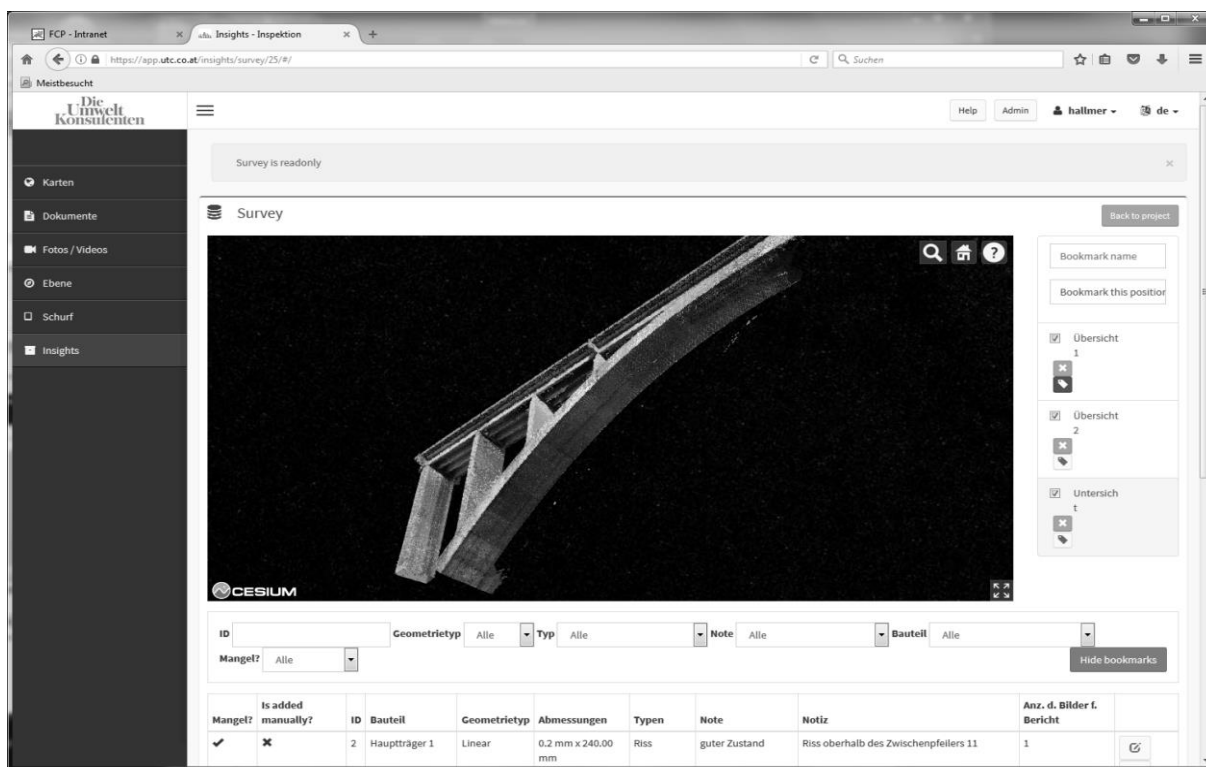
6.3 Vizualizace

Tzv. programové vybavení web-GIS bylo vyvinuto pro vizualizaci vyhodnocených výsledků. To umožňuje reprezentaci 3D modelu se všemi detekovanými poškozeními v modelu (obr. 2). Reprezentace poškození ve web-GIS probíhá dynamicky – všechna data jsou stažena do 3D prohlížeče a do tabulky přímo z databáze, kde jsou uloženy také změny provedené vyhodnocovacím týmem. Každý defekt má definovanou ID, kterou je také označen.

V programovém vybavení web-GIS jsou dvě znázornění s reprezentací dat. Je to hlavní znázornění sestávající z 3D prohlížeče a seznamu poškození, kde jsou ukázána a popsána veškerá poškození. Pro posouzení bylo vytvořeno detailní znázornění, kde je ukázán každý jednotlivý defekt s příslušnými fotosnímky a s popisem.

Výsledky prezentované ve web-GIS (vizualizace, seznam poškození v tabulkové formě a klasifikační detaily) budou zkontrolovány, interpretovány a vyhodnoceny v následujícím kroku zkušeným stavebním technikem.

Toto programové vybavení obsahuje rovněž generátor zpráv, který podporuje editor při vytváření zpráv.



Obrázek. 2: Vizualizace web-GIS

7 Závěr

V tomto příspěvku je prostřednictvím pilotního projektu představen potenciál nových technologií v oblasti inspekce a testování stavu stavebních konstrukcí. Zejména v případě velkých objektů, jako je zde uvedený most Falkensteinbrücke, kde podrobná prohlídka s

použitím prostředků konvenčního přístupu není možná nebo jen s vysokými náklady, mohou tyto technologie poskytnout cennou podporu. Současně s tím to znamená možnost minimalizovat náklady, které by jinak vznikly z důvodů omezení dopravy.

Další přidaná hodnota může pramenit z budoucího použití další snímačů (multispektrálních kamer, laserových scannerů apod.) na platformě nosiče. Úvodní testy ukazují potenciál pro měření vlhkosti povrchu nebo pro zjišťování stavu povrchu, pokud jde o chemické složení (např. obsah chloridů).

Literatura

[1] MORGENTHAL, G., HALLERMANN N., ACHTERLIK M.: Unbemannte Fluggeräte zur Zustandsermittlung von Bauwerken, Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 2971, Fraunhofer IRB Publishing House; 2015, ISBN 978-3-8167-9589-6.

[2] TÜV Rheinland on behalf of the Federal Highway Research Institute in Germany, 2014, Research paper FE-No. 15.0602/2014/LRB: Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovativ digitale Bildauswertung – Pilotstudie.

[3] VCE & Angst-Group (UTC) for ÖBB Infrastruktur AG, 2016, Concept for an ÖBB pilot project: Unterstützung der Bauwerksprüfung mit UAV – Pilotprojekt Falkenstein, Leistungsbeschreibung

Kontakt

Ing. MARTIN LUŇÁČEK, Ph.D., mail: lunacek@infram.cz, INFRAM a.s., Pelušková 1407, 19800 Praha 9 - Kyje.

REKONSTRUKCE SKLEPA CHÚV II – 2. ETAPA, TEPLÁRNA TRMICE

RECONSTRUCTION OF THE CHÚV II BASEMENT, 2ND PART - STEAM GENERATION PLANT TRMICE

Libor Šácha

BETVAR a.s.

Anotace:

Článek popisuje provedení opravy betonových konstrukcí sklepa CHÚV v Teplárně Trmice. Díky nízkým pevnostem v tlaku betonu stávajících konstrukcí bylo provedeno statické posouzení. Na základě tohoto posouzení byly navrženy konkrétní technologie opravy pro jednotlivé části betonových konstrukcí. Výrazným faktorem komplikujícím provádění prací byla vysoká teplota prostředí způsobená zařízením a rozvody tepla uvnitř sklepa CHÚV.

Annotation:

The paper describes repairing of concrete constructions of the CHÚV basement at the steam generation plant Trmice. Due to the low compressive strength of existing concrete structures, a static assessment was performed. Based on this assessment, specific repair technologies have been proposed for individual parts of concrete structures. A significant factor complicating the execution of the works was the high ambient temperature caused by the equipment and the heat piping inside the CHÚV basement.

Klíčová slova: statické posouzení, nízká pevnost betonu v tlaku, vysoká teplota prostředí
Keywords: static assessment, low compressive strenght of concrete, high ambient temperature

1. Úvod

Koncepce řešení opravy spočívala v návrhu zvýšení únosnosti železobetonových prvků objektu sklepa do té míry, aby byla splněna především podmínka bezpečnosti konstrukce. Stav většiny nosných prvků byl již natolik závažný, že jakýkoli sanační zásah byl prakticky neodkladný. Práce byly prováděny za plného provozu všech zařízení uvnitř sklepa, což bylo potřeba také zohlednit už ve fázi přípravy celé opravy.



Obr. 1 – Průvlak – stav před opravou



Obr. 2 – Detail korozí napadené výztuže

2. Popis stavu před provedením opravy

Provedený stavebně technický průzkum (STP) prokázal závažné materiálové vady některých nosných prvků. Zejména se jednalo o nízké pevnosti stávajícího betonu (zjištěná zaručená třída pevnosti betonu v tlaku pouze C 8/10), nízká soudržnost betonu, značná karbonatace a s tím související velmi silná koroze výztužných prvků.

Stavebně technickým průzkumem bylo dále zjištěno, že vrstva vyztuženého stříkaného betonu, kterou byly nosné prvky někdy v minulosti sanovány, je téměř v 70% plochy oddělena od původního podkladu. Z toho důvodu bylo navrženo její odstranění v celém rozsahu. Vzhledem ke stavu celé konstrukce byla nutná spolupráce se statikem. S tím byly také konzultovány postupy a technologie navrhované pro statické zajištění a zesilování jednotlivých nosných prvků.

3. Popis opravy

Před zahájením prací na opravách konstrukcí bylo nutné provést tato opatření:

3.1. Odvětrání celého prostoru sklepa

Nejen kvůli emisi prachu vzniklého v souvislosti s odstraňováním poškozeného betonu, ale také kvůli značně vysoké teplotě prostředí musel být vyřešen odvod a přívod vzduchu do

prostoru sklepa, ve kterém jsou umístěna technologická zařízení související s výrobou a distribucí tepla. Z toho důvodu teplota někdy převyšuje i 40°C. Pro účinné odvětrání prostoru byly použity 3 ks elektrických ventilátorů s výkonem cca 8000 m³/hod + 4 ks ventilátorů s výkonem cca 4000 m³/hod. Pro odvod/přívod vzduchu z exteriéru bylo navrženo flexi potrubí \varnothing 400 mm. V průběhu provádění se i toto opatření ukázalo jako nedostatečné a v oblasti č. 1 a 2 muselo být provedeno dočasné vybourání jednoho pole stropní desky tak, aby bylo zajištěno větrání prostoru sklepa i přirozenou cestou s využitím komínového tahu. Z praktického hlediska byla vybrána pole s největším rozsahem poškození, jejichž nahrazení novou stropní deskou bylo efektivnější, než jejich oprava.

3.2. Ochrana technologických zařízení před poškozením

Byly použity různé typy ochrany. Horké části, tzn. potrubí parovodu a horké vody, byly ochráněny obalením minerální vlnou a překrytím hliníkovou fólií. Tímto opatřením bylo eliminováno jednak poškození potrubí a jednak riziko popálení pracovníků, kteří prováděli sanační práce. Ostatní „studené“ rozvody byly ochráněny pomocí obalení vícegramážní geotextilií s překrytím PE fólií nebo pevnou ochranou (z prken, podlážek, apod.) v případech, kde byly bourací práce většího rozsahu a odbourané kusy byly větší a těžší a mohly tak při pádu tato zařízení poškodit.

Aby bylo možné provést opravu i těch konstrukcí, do kterých byly kotveny nosné prvky parovodního potrubí, byla pro toto potrubí navržena dočasná ocelová podpěrná konstrukce. Po plné aktivaci podpěrné konstrukce bylo potrubí uvolněno z původního zakotvení.

Opravovaná část prostoru sklepa byla rozdělena na 4 sekce (oblasti) vymezené následujícím způsobem:

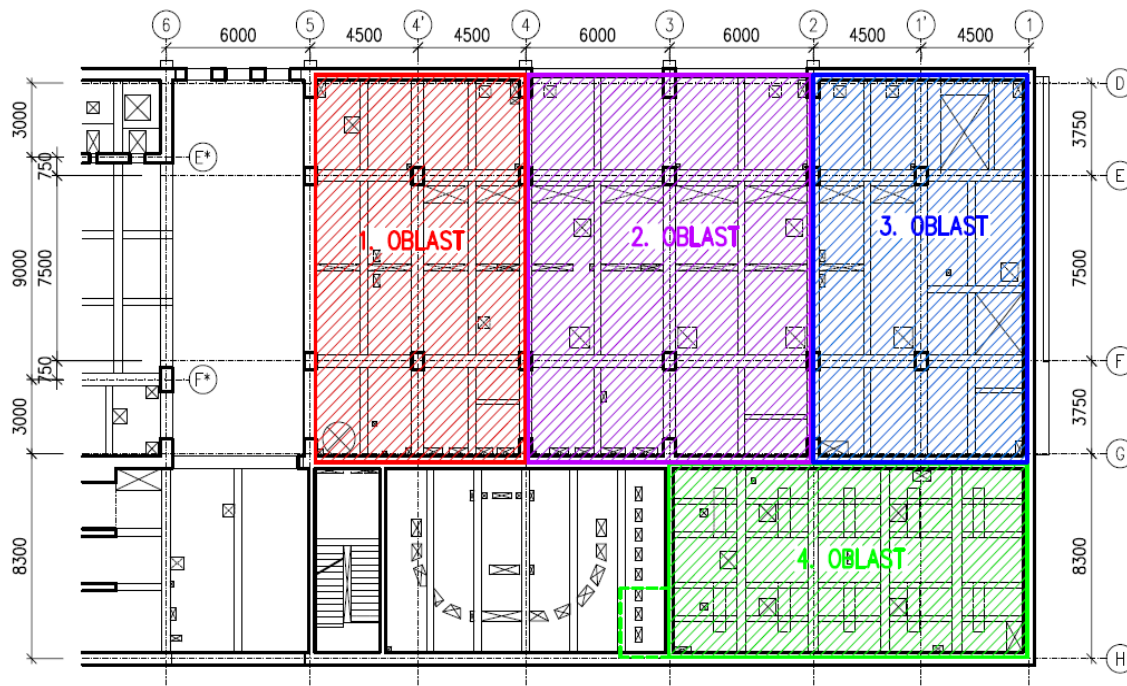
SEKCE 1 – osa 4-5/D-G

SEKCE 2 – osa 2-4/D-G

SEKCE 3 – osa 1-2/D-G

SEKCE 4 – osa 1-3/G-H + výklenek 1,9 x 2,6 x 2,0 m

Práce byly realizovány postupně, a to od sekce 1 k sekci 4.



Obr. 3 – Vyznačení oblastí 1 - 4

SLOUPY

Práce byly zahájeny stavbou lešení v oblasti č. 1 odstraňováním původní vrstvy nesoudržného torkretu. Vzhledem k poměrně husté síti produktovodů, kabelových lávek a ostatních zařízení teplárny nebylo možné pro zřízení přístupu k opravovaným konstrukcím použít lehké systémové lešení. Složitý byl i návrh a konstrukce lešení trubkového, které bylo pro přístupy použito.

Při odstraňování nesoudržné vrstvy původního torkretu a degradovaného betonu ze sloupů bylo nutné svislou výztuž, která byla na většině plochy zcela odkryta, dočasně staticky zajistit proti vybočení opásáním výztuží $\varnothing 20$ mm. Po dočištění betonu VVP a očištění výztuže byla doplněna výztuž dle statického návrhu. Nově navržená výztuž byla buď kotvena k výztuži stávající, nebo k trnům vlepeným na chemickou kotvu. Pro doplnění průřezu sloupu byl použit beton třídy C25/30 s max. zrnem kameniva 8 mm. Ten byl do systémového bednění, kterým byly sloupy zaklopeny, dopravován a ukládán pomocí pístového čerpadla. Pouze ve dvou případech nebylo možné použít technologii doplnění průřezu sloupu klasickou betonáží, a to z důvodu umístění technologických rozvodů teplárny přímo na prvku, resp. v jeho těsné blízkosti. Tyto rozvody nebylo možné dočasně demontovat, přeložit ani jinak zajistit. Tyto prvky byly reprofilovány ručně aplikovanými sanačními maltami.

Stejná technologie opravy sloupů byla použita i v oblasti 2, 3 a 4.



Obr. 4 – Sloup – doplněná výztuž



Obr. 5 – Sloup po opravě

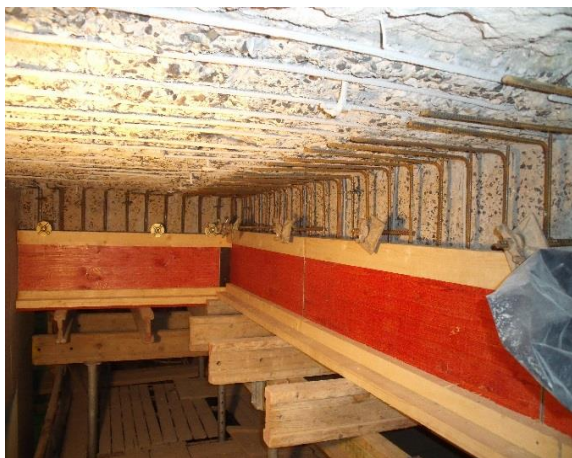
PRŮVLAKY A TRÁMY

U průvlaků a trámů byly původně zvažovány 3 metody jejich opravy. Bylo to použití stříkaného betonu, obednění prvků a doplnění průřezů klasickou betonáží nebo reprofilace ručním způsobem. Po odstranění původních sanačních vrstev, degradovaného betonu a zkorodované výztuže z prvků a posouzení výsledného stavu konstrukcí po dočištění byla zvolena metoda opravy pomocí klasické betonáže. V této fázi rozhodování byla stejně tak posouzena stropní deska v místě polí s tím výsledkem, že bude v těchto místech zesílena její tloušťka doplněním betonu pod stropní desku stávající.

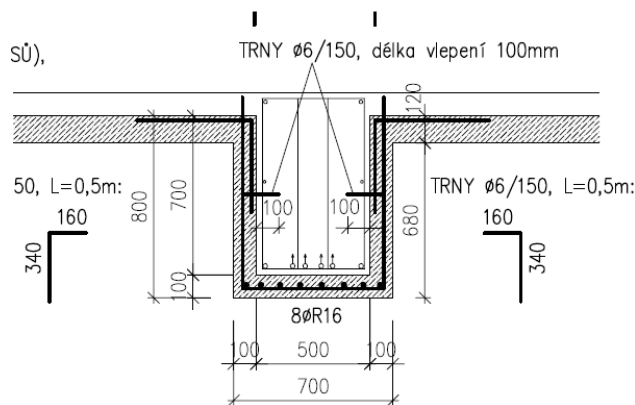
Bednění průvlaků a trámů bylo prováděno z překližkových desek tl. 22 mm. Boky průvlaků a trámů byly obedněny pouze cca do 2/3 výšky prvku, a to z toho důvodu, aby bylo možné zbývajícím nezabedněným prostorem provést betonáž. Byl použit beton třídy C25/30 s max. zrnem kameniva 8 mm. Zbytek průřezu průvlaků a trámů byl dobedněn a betonován až spolu s betonem stropní desky. Beton byl opět jako u sloupů dopravován pomocí pístového čerpadla.

V některých průvlacích a trámech byly lokalizovány trhliny. Ty bylo nutné ještě před zaklopením prvků bedněním zainjektovat nízkoviskózní injektážní pryskyřicí.

Výjimkou z výše uvedeného postupu opravy byly pouze průvlakky v oblasti 4, u nichž byla provedena pouze injektáž trhlín a poté reprofilace ručně aplikovanými sanačními maltami.



Obr. 6 – Pohled na bednění průvlatku



Obr. 7 – Schéma dovyztužení průvlatku – OBLAST

1

STROPNÍ DESKA – oblasti mezi průvlatky a trámy

Pro statické zajištění stropní desky v oblastech mezi průvlatky a trámy bylo navrženo její zesílení a dovyztužení pomocí svařovaných sítí KARI ve dvou vrstvách. Typy svařovaných sítí se v jednotlivých oblastech lišily dle statického návrhu. Svařované sítě byly po očištění stávající konstrukce stropní desky kotveny k jejímu spodnímu líci na vlepené trny. Trny byly vleповány v rastru 300x300 mm pomocí chemických kotev. Distance mezi vrstvami KARI sítí zajišťovaly ocelové distanční prvky.

Způsob a postup, jak dostat beton do prostoru pod spodním lícem stávající stropní desky, musel být vyřešen ještě před zahájením sanačních prací na průvlatcích a trámec, neboť od něj byl přímo odvislý i návrh konstrukce bednění jak průvlatků a trámů, tak i stropní desky. Pro ukládku betonu byly ještě před instalaci výztuže z KARI sítí zřízeny otvory (\varnothing 80 -120 mm) ve stávající stropní desce. Otvory byly vytvořeny ve stropní desce pomocí jádrových vrtů v rastru cca 1,2 x 1,2 m, a to z prostoru nad sklepem CHÚV II. Dále byly provedeny vrty v problematických oblastech (např. kouty, styk strop/průvlat/trám, apod.). Teprve po takto provedené přípravě mohl být strop zaklopen bedněním.

Bednění stropní desky bylo vytvořeno tak, aby navazovalo na ponechané bednění boků průvlatků a trámů a byly tak vytvořeny podmínky jak pro betonáž desky, tak pro dobetonování zbytků průřezů jednotlivých průvlatků a trámů. Konstrukce vodorovného bednění byla vytvořena vložením bednicích desek na horní líce svislého bednění trámových prvků. Následně bylo v těchto místech sepnuto. Teprve poté byla pod těmito deskami vytvořena skruž, provedena její rektifikace a fixace.



Obr. 8 – Pohled na rastr otvorů pro ukládku betonu stropní desky



Obr.9 – Podpěrná skruž stropní desky

Betonáž byla prováděna betonem s vyšší tekutostí třídy C25/30 s max. zrnem kameniva 8 mm. Betonáž probíhala postupným plněním bednění stropu skrz vrty, a to tím způsobem, že plnění betonu jedním vrtem bylo ukončeno až tehdy, kdy již nebylo možné tímto vrtem žádný beton protlačit a kdy beton již z větší části vyplňoval prostor pod vedlejšími vrty. Beton byl dopravován pomocí pístového čerpadla.

Stávající prostupy, kotevní prvky, atd. byly ponechány a zabetonovány. Pouze v případech, kde bylo možné kotevní prvky demontovat, bylo kotvení těchto prvků nahrazeno (průvlakové kotvy, chemické kotvy apod.). Stávající kotevní prvky, které zasahovaly do umístění nové výztuže (nebylo možné jí uložit tak jak uváděla PD) byly vyřezány.

Skladby podlah v místnostech nad sklepním prostorem, které byly poškozeny prováděním jádrových vrtů a pracemi spojenými s opravou stropní desky, byly ve větší míře nahrazeny skladbami novými, případně byly skladby doplněny pouze lokálně.

SANACE

Po dokončení statického zajištění stropní konstrukce a demontáži bednění byla provedena finalizace povrchu aplikací difúzně otevřeného sjednocujícího nátěrového systému a bylo demontováno trubkové prostorové lešení.

Závěrem zbývalo dokončit opravu svislých konstrukcí, které nebylo nutné staticky zesilovat. Pro opravu byly navrženy standardní sanační postupy, při kterých byl povrch řádně očištěn od degradovaných a jinak poškozených částí betonu, očištěna a ošetřena výztuž a aplikovány reprofilační malty určené pro ruční aplikaci. Finální úpravu povrchu tvořil opět difúzně otevřený sjednocující nátěrový systém.

4. Závěr

Realizace opravy beze zbytku splnila cíl, pro který byla oprava navržena, tzn. byla zajištěna nejen stabilita a bezpečnost stropní konstrukce. Navíc provedená oprava betonových konstrukcí sklepních prostor zvýšila uživatelský komfort celého sklepního prostoru a významným způsobem prodloužila životnost betonových konstrukcí.



Obr. 10 – Stav před opravou



Obr. 11 – Stav před dokončením nátěrového systému

Kontakt

Ing. LIBOR ŠÁCHA, BETVAR a.s., Nákupní 995, 252 42, Jesenice, tel. 221 540 244, e-mail: sacha.libor@betvar.cz

VYBRANÉ VADY A PORUCHY ZJIŠTĚNÉ PŘI PROJEKTOVÁNÍ ZÁSAHŮ DO PANELOVÝCH DOMŮ A PŘI PRŮZKUMECH

SELECTED IMPERFECTIONS AND FAILURES DETECTED DURING DESIGN OF CONSTRUCTION WORK AND SURVEY OF PANEL BUILDINGS

Petr Šimůnek, Ivana Laníková, Rostislav Jeneš

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Anotace:

Příspěvek prezentuje některé vybrané problémy panelových domů, které byly zjištěny při projektování zásahů v objektech, resp. při průzkumech v posledních několika letech.

Annotation:

The paper deals with some selected imperfections and failures detected during design of construction work and survey of panel buildings within last few years.

Klíčová slova:

Panelový dům, panelová soustava, vady, poruchy, rekonstrukce, trhlina, železobeton.

Keywords:

Panel building, panel precast construction, reconstruction, crack, reinforced concrete.

1. Úvod

Článek prezentuje vybrané problémy panelových domů, které byly zjištěny během několika posledních let při projekční činnosti a také v rámci řešení projektu č. TB030MMR001 „Úpravy konstrukcí panelových domů“, viz [1] a [2].

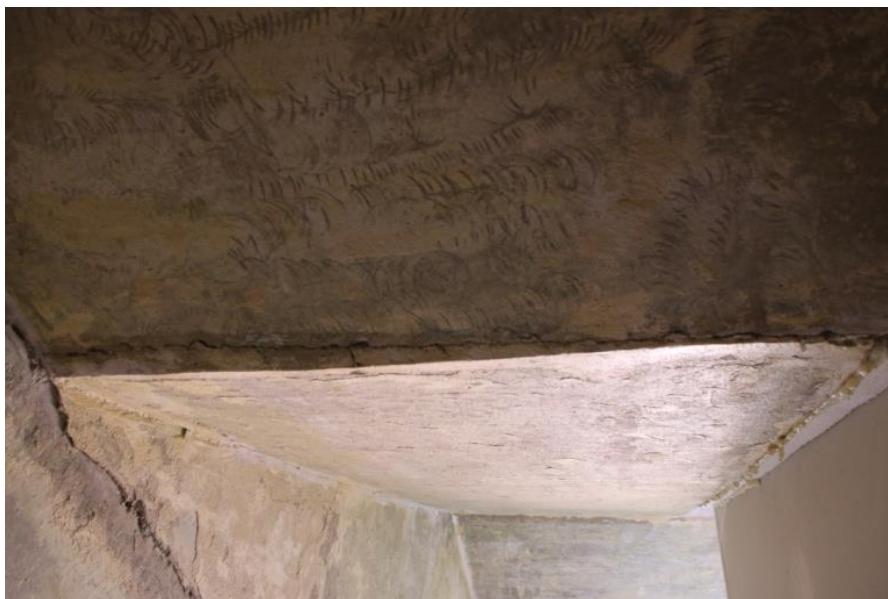
2. Nedostatky při výrobě prvků nebo při montáži

2.1. Odchytky v umístění výztuže v železobetonovém prvku

Při průzkumu panelového bytového domu (Brno město, panelová soustava T06B, objekt s 8 obytnými podlažními) byly zjištěny příčné trhliny na spodním líci schodišťového ramene, nejvýraznější byly přibližně uprostřed rozpětí (schodišťové rameno působí jako prostý nosník). Průzkum probíhal v době rekonstrukce, kdy byla odstraněna omítka ze všech společných prostor schodiště a vstupu. Trhliny byly zjištěny na několika ramenech, šířka trhlin byla až do cca 1,0 mm, viz Obrázek 1. Spolu s trhlinami byly na ramenech zjištěny viditelné průhyby, viz Obrázek 2. Popsané poruchy ukazují na nedostatečné vyztužení nebo nesprávnou polohu výztuže. Bližší průzkum majitelé objektu odmítli. V případě realizace sanace (zesílení) je možné použít přidání výztuže v podobě např. lepených lamel na bázi uhlíkových vláken. Možnosti sanací a modernizací panelových objektů z hlediska statického viz např. [5].



Obrázek 1.: Trhliny v rameni schodiště v panelovém bytovém domě, soustava T06B, Brno.



Obrázek 2.: Deformace schodišťového ramene, v popředí uložení spodní části ramene na podestový panel, soustava T06B, Brno.

Podobným problémem byla/jsou např. umístění výztuží ve stropních panelech soustavy B60, které byly vyráběny v Brně Chrlicích ve svislých bateriích a kde krytí výztuže bylo místo projektovaných 10 mm místy až 40 mm, viz [4].

Opačným problémem je nedostatečné krytí výztuže betonovou vrstvou, mnohdy až nulová krycí vrstva, a to jak u vnitřních, tak venkovních prvků, viz Obrázek 3 a 4.



Obrázek 3.: Pohled na spodní povrch schodišťového ramene, soustava T06B, Brno.



Obrázek 4.: Viditelné vyztužení v u horního povrchu lodžiovém panelu, krycí betonová vrstva je minimální nebo nulová, soustava T06B, Brno.

2.3. Důsledky nižší kvality práce při montáži, osazení a vyplnění styků, použití poškozených prvků

Nepřesná montáž svislých prvků (stěnových panelů) se může projevit buď odchýlením od svislé polohy, nebo osazením prvku půdorysně mimo plánované umístění, popřípadě kombinací výše zmíněného. Nepřesná montáž vede ke snížení únosnosti stěnových prvků, zjištěné odchylky nezdědká přesahují předpokládané imperfekce, které předepisuje pro tlačené prvky norma ČSN EN 1992-1-1. Na Obrázku 5 jsou vyobrazeny vzájemně posunutě stěnové panely o více jak 12 mm. Zjištěné odchylky byly zjištěny po odstranění omítky během rekonstrukce schodišťového prostoru. Při běžném průzkumu (mimo prostor schodiště) je obvykle běžnými postupy nemožné zjistit vzájemnou polohu nad sebou umístěných stěnových panelů.

Trhliny na stykách jednotlivých prvků jsou v panelových objektech zcela běžným jevem. Zvýšená šířka trhliny se může projevit v důsledku nedostatečně probetonovaného styku, viz Obrázek 6 vlevo, kde je patrná široká spára mezi obvodovým a vnitřním stěnovým panelem. Dutiny byly zjištěny po odstranění omítky ve schodišťovém prostoru. Nedostatečné probetonování styků má za následek snížení tuhosti styku a možnost rozvoje koroze stykovací výtže.

Nedostatečné probetonování bylo zjištěno i na dalších místech, např. v okolí nestandardně prováděných dobetonávek u bytových jader, viz Obrázek 6 vpravo.



Obrázek 5.: Nepřesnost osazení jednotlivých prvků, při průzkumu zjištěny i odchylky více jak 12 mm, soustava T06B, Brno. Stav objektu při rekonstrukci schodišťového prostoru (prvky jsou bez omítky).



Obrázek 6.: Vlevo - nedostatečné vyplnění styku, soustava T06B, Brno. Stav objektu při rekonstrukci schodišťového prostoru (prvky jsou bez omítky). Vpravo - nedostatečné probetonování oblasti u bytového jádra, T06B – KDU, Židlochovice.

V některých případech došlo k zabudování prvků, které byly poškozeny buď při vlastní montáži, nebo k jejichž porušení došlo již při dopravě a skladování. Na Obrázku 7 je porušená horní část stěnového panelu, na kterém je uložen stropní panel. V místě poruchy je obnažená lemovací výztužná vložka a porušená horní hrana betonového prvku. Pro zajištění spolehlivého přenosu zatížení bylo navrženo dodatečné podepření pomocí ocelového L nosníku, který byl přikotven ke hlavě stěnového panelu.



Obrázek 7.: Poškozený stěnový panel v místě uložení stropního panelu. Stav zjištěn při rekonstrukci po odstranění původního bytového jádra, T06B – KDU, Židlochovice.

3. Vybrané problémy při stavebních úpravách stávajících panelových objektů

3.1. Dodatečné zásahy do nosných prvků

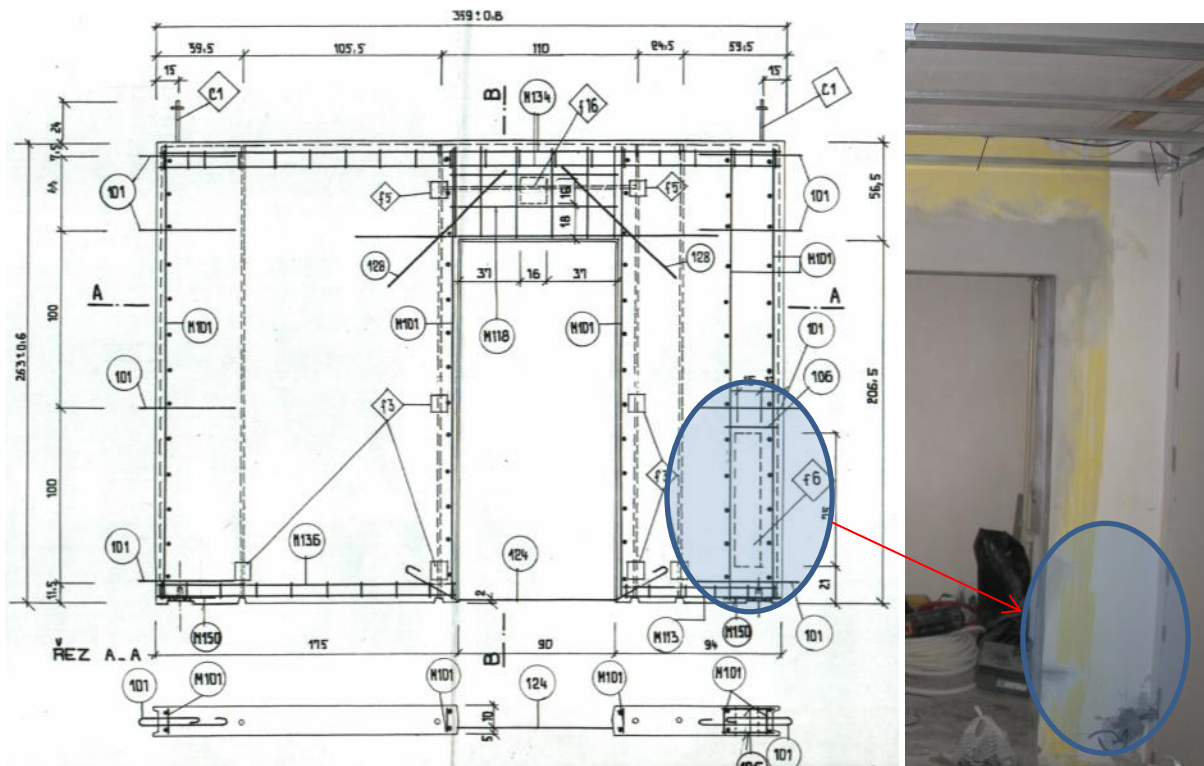
Při provádění dodatečných otvorů do nosných prvků je nutné (kromě jiného) provést podrobný průzkum, zjištění typu panelu, jeho vyztužení a třídy betonu, tak aby mohlo být provedeno řádné ověření statické způsobilosti při oslabení, a případně provést nezbytná opatření (zesílení oslabené části, ocelové lemování apod.).

Mimo jiné je nutné ověřit, jak byl panel proveden/vyztužen. Např. při dodatečném provedení otvoru do stěnového panelu projektant neověřil provedení železobetonového stěnového panelu a byla pominuta plynosilikátová vložka, která významně oslabuje zbylou část panelu po provedení otvoru, viz Obrázek 8. Další pravidla a upozornění při dodatečném provádění otvorů jsou uvedeny v [3].

3.2. Provádění drážek do nosných prvků panelové soustavy

Nosné stěnové panely jsou obvykle tlusté 140 mm a jedná se o málo vyztužené prvky, které se posuzují jako prostý beton. Vzhledem k běžné výšce 2,8 se jedná o štíhlé prvky. Při stavebních úpravách a rekonstrukcích bytů dochází také k výměně elektroinstalace. Byly zjištěny drážky o hloubkách až 40 mm, které významně oslabují nosné prvky. Nebezpečné

jsou zejména průběžné vodorovné drážky, viz Obrázek 9. Obdobný problém je u stropních panelů, kde je malá betonová krycí vrstva (obvykle cca 10 mm) a při provádění drážek se tak snadno přeruší výztužné vložky.



Obrázek 8.: Stěnový nosný panel soustavy B70/R, položka f6 v pravém spodním rohu je plynosilikátový prvek. Vpravo je panel s dodatečně provedeným otvorem, zbylá část je oslabena plynosilikátovou vložkou.



Obrázek 9.: Drážky provedené pro elektro instalaci hluboké až 40 mm v nosných stěnových panelech tloušťky 140 mm. Soustava B70/R, Brno.

3.3. Rozdílné objemové změny a interakce jednotlivých konstrukčních prvků

Na Obrázku 10 jsou vyobrazeny trhliny v zateplovacím systému horní části panelového objektu. Objekt je osazen dodatečně prováděnou lodžíí, která je ve svislém směru uložena na ozubu v dolní části objektu a po výšce je vodorovně kotvena do stěnových panelů pomocí kotev. V důsledku rozdílných teplotních objemových změn může docházet k interakci mezi lodžíí a kontaktním zateplovacím systémem. Pokud není umožněna dilatace a napojení pláště je provedeno tuze, může docházet ke vzniku trhlin nebo tlakových deformací, viz Obrázek 10.

Trhliny mohou vznikat také v důsledku průhybu subtilního lodžiového vodorovného panelu, viz Obrázek 11.



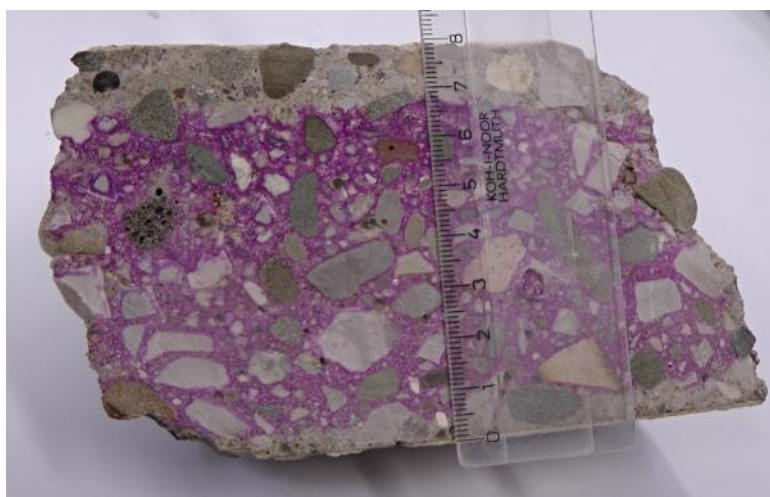
Obrázek 10.: Poškozený dodatečně prováděný kontaktní zateplovací systém. Porucha je na styku s dodatečně prováděnou železobetonovou konstrukcí lodžie, soustava T06B, Brno.



Obrázek 11.: Trhlina na styku vodorovného panelu dodatečně prováděné lodžie (druhé podlaží) a kontaktního zateplovacího systému (cca ½ rozpětí lodžie), soustava T06B-KDU, Žďár nad Sázavou.

3.4. Kontrola hloubky karbonatice a posouzení ochrany výztuže proti korozi

Panelové železobetonové objekty dosahují stáří cca od 30 po více než 60 roků. V průběhu této doby dochází ke karbonataci povrchových vrstev betonu a tím k poklesu alkality betonu, která je jedním z předpokladů k zajištění ochrany výztuže před korozi. Hloubku karbonatice je proto vhodné kontrolovat zejména u prvků, jejichž povrch je vystaven účinkům a vlivům vnějšího prostředí a jsou tím náchylnější ke vzniku koroze výztuže. Jedná se zejména o obvodové konstrukce, lodžiové konstrukce apod. Postup kontroly a případné sanační práce jsou uvedeny např. v [1]. Na Obrázku 12 je ilustrativně zobrazena hloubka karbonatice na části příčkového panelu stáří 37 roků (vnitřní konstrukce jsou před vlivy vedoucími ke vzniku koroze výztuže obvykle dobře chráněny).



Obrázek 12.: T06B KDU, Židlochovice, stáří cca 37 roků, hloubka karbonatice 3-12 mm, betonová příčka, beton 170 (BII; C10/13,5), stav 06/2016.

3. Závěr

Při rekonstrukcích a sanacích v panelových domech je nezbytné respektovat specifika těchto staveb. Průzkumy, projekční činnost a vlastní stavební práce musí provádět zkušení pracovníci, kteří rozumějí chování panelových domů a jsou obeznámeni s konstrukčním systémem.

Zásah do nosné konstrukce objektu by měl být posouzen také s ohledem na již provedené stavební úpravy v ostatních podlažích nebo okolních bytech.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“. Byly použity také podklady získané ve spolupráci s Českým vysokým učením technickým v Praze

při řešení grantového projektu č. TB030MMR001 „Úpravy konstrukcí panelových domů“ podporovaného TA ČR.

Literatura

- [1] WITZANY, J. a kol.: Metodické a technické pokyny pro posuzování stavebních úprav a zásahů do nosné konstrukce panelových domů, certifikovaná metodika, Praha: ČVUT v Praze, VUT v Brně, VŠB, 2016, [cit. 12. 5. 2019]. Dostupné na:
http://www.sfrb.cz/fileadmin/user_upload/metodika_otvory_final.pdf
- [2] WITZANY, J. a kol.: Metodické a technické pokyny pro rekonstrukce, opravy, popř. výměnu a dodatečné zřizování lodžii a balkonů, certifikovaná metodika, Praha: ČVUT v Praze, VUT v Brně, VŠB, 2016, [cit. 12. 5. 2019]. Dostupné na:
http://www.sfrb.cz/fileadmin/user_upload/metodika_lodzie_final.pdf
- [3] WITZANY, J., Vrba, J., Honzík, V.: Otvory v panelových domech, ČKAIT 2014, ISBN: 978-80-87438-55-8
- [4] Kolektiv autorů: Komplexní regenerace stavebních soustav panelových domů – jihomoravské varianty, ČKAIT, 2004, Praha
- [5] ŠTĚPÁNEK P., BAŽANT Z.: Modernizace a sanace panelových objektů ze statického hlediska. Sborník „Regenerace panelových domů“, Brno 9/1998.

Kontakt

Ing. PETR ŠIMŮNEK, Ph.D., mail: simunek.p@vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Doc. Ing. IVANA LANÍKOVÁ, Ph.D., mail: lanikova.i@vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. ROSTISLAV JENEŠ, mail: jenes.r@vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

**VLIV KOROZE PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE NA JEJÍ VLASTNOSTI
A MOŽNOSTI SANACE TAKTO VYZTUŽENÝCH
BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ**

**INFLUENCE OF CORROSION ON PRESTRESSED REINFORCEMENT ON
ITS PROPERTIES
AND THE POSSIBILITIES OF RESTORATION AS REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES**

Vítězslav Vacek, Jiří Kolísko., Petr Pokorný

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

Anotace:

Předpínací výztuž byla široce používána k vyztužení předem i dodatečně předpjatých betonových konstrukcí. Nedávné poruchy některých předpínaných mostních konstrukcí, způsobené korozí výztuže, vyvolaly velký zájem inženýrů o problém koroze předpínací výztuže a její protikorozi ochrany. Článek prezentuje naše zkušenosti z diagnostiky zkorodovaných předpjatých konstrukcí v návaznosti na možnosti jejich sanace.

Annotation:

The prestressing reinforcement has been widely used to reinforce pre-stressed and post-tensioned concrete structures. The recent failures of some prestressed bridge structures, caused by corrosion of the prestressing reinforcement, had generated strong interest from engineers in the problem of reinforcement corrosion and its corrosion protection. The paper presents our experience in the diagnostics of corroded prestressed structures in connection with the possibilities restoration of them.

Klíčová slova:

předpínací výztuž, koroze, koroze indukovaná chloridy, tahová zkouška, možnosti sanace

Keywords:

prestressing reinforcement, corrosion, chloride-inducts corrosion, tensile test, restoration options

1. Úvod

Předpínací výztuž ze zušlechtěné oceli se již dlouhou dobu široce používá pro vyztužení předem i dodatečně předpínaných betonových konstrukcí. První předpjatá mostní konstrukce byla na našem území provedena v roce 1948 a jednalo se o most u Koberovic cca 9 km od Humpolce [1]. Havárie některých mostních objektů z nedávné doby, spojené s korozí výztuže nasměrovaly pozornost odborné veřejnosti k problematice koroze předpínací výztuže a její protikorozní ochraně. Současně otevírají otázku spolehlivosti a životnosti předpjatých konstrukcí. U starších konstrukcí byla protikorozní ochrana z velké části zajišťována pouze alkalickým působením obetonování a/nebo cementové injektáže předepnutých prvků v kanálcích. V tomto příspěvku bychom chtěli, na velmi omezeném prostoru, prezentovat některé naše poznatky týkající zjištěných vlastností použitých předpínacích drátů a/nebo lan, zasažených korozí získané při zkoumání takových objektů.

2. Poruchy a havárie

Problematika koroze ocelových předpínacích lan, přitáhla pozornost nejen odborné veřejnosti v souvislosti s nešťastným zřícením lávky pro pěší v Praze - Troji, která spojovala vltavské břehy Císařského ostrova a Troji. Došlo zde ke zranění 4 osob a hmotné škodě velkého rozsahu. Elegantní lávka, s převážně prefabrikovanou železobetonovou nosnou konstrukcí ve formě předpjatého visutého pásu, stála od roku 1983 v oblasti napojení ulic Povltavská – Vodácká s křížením na lávku navazující ulice Pod Havránkou, až do soboty 2.12.2017, kdy došlo podle informací zveřejněných sdělovacími prostředky, k její havárii cca ve 13:30 z.č.. Zásadním problémem tohoto typu konstrukce bylo, že k náhlému kolapsu došlo v řádu desítek vteřin a bez jakéhokoli zjevného varování.



Obrázek 1.: Pohled na neporušenou lávku. Zdroj [4]



Obrázek 2.: Trojská lávka po havárii, prosinec 2017, Zdroj: archiv autora

V souvislosti s touto havárií se rozběhly mimořádné kontroly technického stavu podobných, ale často i konstrukčně zcela odlišných mostních konstrukcí. Jednou z velmi podobných konstrukcí byla i lávka pro pěší přes Labe v Nymburce, jejíž diagnostika ukázala závažné indicie staticky nepredikovatelného stavu, chování a bylo doporučeno její uzavření (včetně lodního provozu pod ní) a bezodkladná oprava nebo snesení. Město Nymburk (vlastník stavby) volilo po úvaze demolici, která proběhla 3. až 8.8.2018 a výstavbu lávky nové, na jejíž návrh byla obratem vypsaná veřejná soutěž.

Problematiku a nedůvěru v předpjaté mostní konstrukce ještě významně rozvířil a podlomil kolaps Morandiho mostu na frekventované dálnici v Janově na severu Itálie. Objekty lávek a Morandiho mostu jsou konstrukčně zcela rozdílné, avšak mají něco společného. Vysoce problematický přístup k antikorozi ochraně použité předpínací výztuže a problematický návrh z hlediska množství spár (segmentové lávky) či vysoký potenciál vniku spár a trhlin (obetonované závěsy), kterými se mohla voda, případně i s chloridy, dostat k výztuži a iniciovat její korozi.

3. Koroze předpínacích lan

Pracovníci Kloknerova ústavu ČVUT v Praze měli možnost zkoumat stav obou shora uvedených lávek tj. lávky v Troji po kolapsu a lávky v Nymburce před odstraněním a nyní probíhá ještě šetření i po jejím odstranění. Obě lávky měly téměř shodné konstrukční řešení [6]. Jednalo se o třípolovou lávku tvořenou předpjatým pásem vytvořeným z betonových prefabrikátů délky 3 m, šíře 3,8 m a výšky 0,3 m. V obou případech byla jako předpínací výztuž použita sedmidrátová lana 15,5 mm. Lana byla navržena ve dvou systémech značených A a B. Systém A nosných lan pro montáž prefabrikátů (umístěn do bočních rýh vytvořených v prefabrikátech) a systému předpínacích lan B umístěných do kanálků ve středové desce prefabrikátu, určených k předpětí a konečnému vyrovnání napětí v lanech.

Ze získaných informací jsme dospěli k některým zjištěním o mechanismu korozního napadení nosných předpínacích lan a charakteru jejich koroze.

U obou konstrukcí o třech polích byla zaznamenána velmi rozvinutá lokální koroze předpínacích lan a to místy včetně úplného překorodování mnoha jejich drátů (Obrázek 3. a 4.).



Obrázek 3.: Korozního stavu předpínacích lan systému B v desce visutého pásu lávky, železobetonový prefabrikát poškozený pádem, nezainjektované kanálky.

Zdroj: archiv autora



Obrázek 4.: Příklad lokálního překorodování drátů, resp. celých předpínacích lan systému B.

Zdroj: archiv autora

Obě lávky nesly zřetelné stopy nedostatečného vyplnění kanálků s dodatečně vloženými předpínacími lany v desce prefabrikované mostovky i kaveren mezi nosnými lany, dodatečně zabetonovanými v krajních rýhách prefabrikátů po jejich montáži.

Vedle dutin a kaveren s rozvinutým korozním napadením ocelových lan se zásadně korozně poškozené oblasti vyskytovaly v místech příčných spár mezi prefabrikáty, ale také dokonce až v polovině délky prefabrikátu, tj. cca 1,5 -2 m pod netěsnou spárou ve směru podélného sklonu mostovky. Korozně nejhorší stav předpínacích lan byl v obou případech zjištěn přibližně v oblasti údolnicového lomu středního pole, tzn. nejnižší části uprostřed délky nosné konstrukce, resp. nad nejhlubším úsekem kříženého říčního koryta.

V betonu, zbytcích injektážních výplní i v korozních produktech lan byly na mnoha místech zaznamenány vysoké koncentrace chloridových iontů. Vedle průniku agresivních vodných roztoků k předpínacím lanům byla, dle našich zjištění, zdrojem vlhkosti resp. kyslíku pro korozní procesy i kondenzace vodní páry v dutinách a kavernách.

Voda v kapalně fázi migrovala nejen zřetelnými mezerami či trhlinami, ale také působením kapilárních sil ve zdánlivě sevřených spárách. Vnikající voda dále zjevně v některých případech migrovala po povrchu drátů předpínacích lan, gravitačně jimi stékala ve směru podélného sklonu mostovky. Vlhkostní stav v kanálcích a žlabech jistě ovlivnilo i působení záplav na lávku v Troji, která byla během povodně 2 x pod vodou.

Vlhkostní stav uvnitř konstrukce kolísal v závislosti na vnějších podmínkách, teplotních cyklech, vlhkosti vzduchu i výškových pohybech samotné mostovky např. od denního chodu teploty. V oblasti údolnice měl vlhkostní stav dominantně akumuláční charakter, ve výše položených částech mostovky bez trvalé přítomnosti kapalné fáze, byly korozní procesy lan intenzifikovány transportními jevy v podobě střídavého ovlhčení a vysychání.



Obrázek 5.:Příklad výrazně odlišného korozního stavu předpínacích lan, uložených ve svazku těsně vedle sebe (sonda do mostovky shora) Zdroj: archiv autora



Obrázek 6.: Endoskopická fotografie stavu výztuže v dutině mezi neprobetonovanými svazky lan systému A s rozvinutou korozí Zdroj: archiv autora

Z vizuálního korozního průzkumu povrchů předpínací výztuže vyplývá, že korozní poškození má obvyklou elektrochemickou formu. Korozní předpínací výztuže má jak plošný (Obrázek 6), tak lokalizovaný průběh (Obrázek 5). Je zřejmé, že korozní poškození drátů lana bylo indukováno a stimulována řadě oblastí (nikoli však všude) chloridovými anionty (Cl⁻). Přítomnost chloridů v korozních produktech byla prokázána chemickými analýzami. Bylo také zjištěno, že při hodnocení předpínací výztuže je nutno brát v potaz uspořádání drátů v lanech, která mají významné dutiny mezi středovým a obvodovými dráty. V těchto místech nelze vyloučit činnost koncentračních článků, způsobených lokálně omezeným přístupem kyslíku (tzv. diferenční aerace) k povrchu středového drátu lana a případně korozi pod lokálními korozními úsadami. Nelze také vyloučit mechanismus koroze pod napětím indukovaný chloridovými anionty, ačkoli tuto hypotézu se nepodařilo jednoznačně potvrdit.

4. Ilustrace vlivu koroze na chování předpínací výztuže

Následující obrázky s pracovními diagramy tahových zkoušek ilustrují negativní vliv koroze předpínací výztuže na mechanickou pevnost lana, ale současně i na tzv. tažnost lana. Na Obrázcích 7. a 8., jsou fotografie ilustrující lano bez viditelného významného korozního napadení a povrchově korozně napadené lano. Průměrnou průřezovou plochu vzorku lana vzdorující působícímu namáhání, lze stanovit z vážení hmotnosti a délky testovaného vzorku. Další způsob stanovení kritické průřezové plochy lana je možný výpočtem vzdorující plochy v okamžiku porušení, z předpokládaného napětí, které má být materiál lana (ocel) schopen přenést.

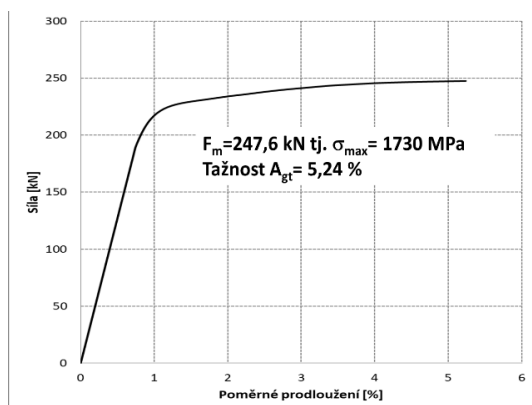


Obr. 7: Lano referenční bez koroze

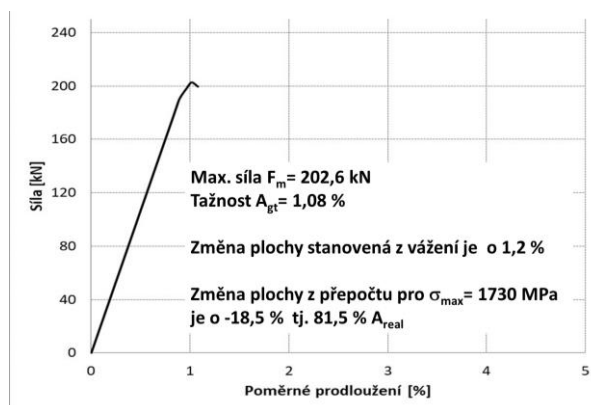


Obr. 8: Lano s relativně málo rozvinutou povrchovou korozí, lano po tahové zkoušce

Na dalších obrázcích 9 a 10 jsou výsledky tahových zkoušek lana bez koroze tedy lana referenčního s vyhovující pevností i tažností a lana se zdánlivě malou povrchovou korozí jak ukazují předchozí obrázky 7. a 8.



Obr. 9: Příklad pracovního diagramu lana prakticky bez koroze, vyhovující pevnost a tažnost



Obr. 10: Příklad pracovního diagramu lana s relativně málo rozvinutou povrchovou korozi, nevyhovující pevnost a tažnost

5. Shrnutí korozních aspektů

Je zcela zřejmé, že za vhodných korozních podmínek předpínací výztuž rychle, snadno a masivně koroduje. Z poslední doby jsou známé konstrukce, kde v průběhu cca 34 let došlo ke kompletnímu překorodování předpínacích sedmidrátových lan průměru 15,5 mm. Koroze probíhá v mnoha formách tj. plošná i lokalizovaná (důlková, štěrbinová...).

Koroze předpínací výztuže s úbytkem průřezové plochy nad 5% je chápána normou ČSN 73 6221 jako havarijní stav konstrukce. Úbytek průřezové plochy lana do 5% je hodnocen jako stupeň stavebního stavu VI, do 1% jako stupeň stavebního stavu V. Pro lano 15,5 mm již zcela nepatrný rovnoměrný korozní úbytek 0,013 mm tj. 13 mikrometrů po obvodu jednotlivých drátů znamená ztrátu plochy lana 1%.

Zmenšení průřezové plochy lana již v řádu jednotek procent zásadně ovlivňuje celkovou tažnost lana a nosnost lana vyjádřenou v kN. Nosnost je přímo úměrná průřezové ploše v nejslabším místě lana. Stanovení průřezové plochy lana neboli jeho korozního poškození, v tomto nejslabším místě, není u koroze napadeného lana jednoduché.

Zmenšení plochy lana vlivem koroze zahrnuje nejen plošnou korozi, ale také lokalizovanou formu koroze s případným lokálním narušením mikrostruktury oceli. Vizuálně lze míru tohoto poškození obtížně jednoznačně popsat a hodnotit. V případě koroze s odlupujícími se korozními zplodinami lze doporučit uvažovat přítomnost lokalizované formy koroze. Tato koroze ještě více zmenší skutečnou plochu lana přenášejí zatížení. Bez reálných testů nelze prozatím prezentovat realistický vztah mezi plošnou a lokalizovanou korozi.

V současnosti není známá spolehlivá NDT metoda pro věrohodnou a průkaznou detekci korozního stavu předpínací výztuže přímo v konstrukci. Bohužel se stále jako nejúčinnější a průkazné ukazují klasické lokální semidestruktivní bourané sondy. V případě semidestruktivních sond do kanálků pro posuzování stavu výztuže lze analýzou korozních zplodin zjistit, zda koroze je indukována chloridy či nikoli.

6. Možnosti sanací betonových konstrukcí s korodující předpínací výztuží

Betonové konstrukce využívající předpínací výztuž reagují na její oslabení mj. korozí, způsobem, který odpovídá jejich statickému uspořádání. U převážně ohýbaných nosníků lze zaznamenat vznik a rozvoj tahových trhlin v tažené části nosníku, nárůst průhybů atp. V případě tažených konstrukcí, jako jsou visuté pásy, je porušení náhlé a zjevné signály o jeho nebezpečí přicházejí prakticky až ve chvíli kolapsu konstrukce. Zásadním faktorem u tohoto typu konstrukcí je vliv zatížení změnou teploty, který souvisí s jejich deformacemi (průhyby) a velmi významnými změnami napětí předpínacích lan.

Tyto okolnosti je třeba při návrhu sanace správně zohlednit. Významné korozní oslabení předpínací výztuže je zpravidla spojeno i s obvykle nevratnou ztrátou předpětí a konstrukce může přejít do staticky nepredikovatelného stavu; havarijní situace, kdy nastává vysoká pravděpodobnost vzniku havárie.

Havarijní situace je dle definice souhrn podmínek a okolností, které představují bezprostřední ohrožení zdraví, života, majetku nebo životního prostředí. Většina havarijních událostí vyžaduje naléhavý zásah, aby se zabránilo zhoršení situace, i když v některých situacích zmírnění není možné a příslušné složky mohou pouze reagovat až na následky. Některé události mohou být neovlivnitelné (např. přírodní katastrofa), jiné události vyžadují subjektivní stanovisko pozorovatele (nebo dotčené strany) s cílem rozhodnout, zda stav je způsobit k označení jako nouzový [7].

Vedle předpínacích lan, obsahují betonové konstrukce zpravidla i běžnou betonářskou výztuž, především měkkou, která ovšem v těchto případech nebývá součástí hlavního nosného systému. I tato výztuž však může být korozí napadena, zpravidla lokálně a druhotně také přispívat k degradaci konstrukce poškozováním krycí vrstvy atp. Tento stav je do jisté míry možno sanovat obvyklými sanačními technologiemi, i když tu může být významným problémem vysoký obsah CL^- v materiálu konstrukce, typicky u mostů pozemních komunikací nebo lávek, na nichž se v zimním období užívají k provozní údržbě CHRL.

Z technického hlediska je korozní oslabení předpínací výztuže sanovatelné pouze zesílením konstrukce, resp. náhradou oslabeného nosného systému. Druhou variantou je její snesení; demolice a náhrada novou konstrukcí. Obě varianty mají mj. svá technologická, časová, provozní, cenová i bezpečnostní specifika, která je nutno v individuálních případech konkrétně a komplexně zvažovat.

7. Závěr

Podle našich dosavadních zkušeností je evidentní, že v oblasti detekce, popisu charakteru, příčin a hodnocení koroze předpínacích lan je potřeba aktualizovat stávající postupy a na základě vyhodnocení nových poznatků vytvořit nové podklady pro využití v praxi.

Pouze relevantní diagnostické výstupy mohou být podkladem k odpovídajícímu posouzení stavu stávající betonové konstrukce.

Rozhodování o možnosti a způsobu sanace konstrukce s korodujícími předpínacími lany provází v současnosti množství rizik a nejistot, která není snadné technicky správně zhodnotit, zejména z pohledu bezpečnosti již existujících konstrukcí.

Kontrolovatelnost, udržovatelnost a opravitelnost nově navrhovaných betonových konstrukcí s předpínacími lany, by podle našeho názoru měla být, odpovídajícím způsobem promítnuta do hodnocení jejich životního cyklu mj. z hlediska zajištění bezpečnosti a celkových nákladů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu TAČR - TH02020373 Zvýšení životnosti a urychlení výstavby infrastrukturních dopravních staveb využitím moderního vysokohodnotného materiálu UHPC.

Literatura

- [1] Vítek J.: Historie předpjatého betonu. Informační centrum ČKAIT 2016, ISBN 978-80-87438-84-8
- [2] Voves B.: Trvanlivost konstrukcí z předpjatého betonu, SNTL Nakladatelství technické literatury 1988, 04-706-88
- [3] Voves B.: Technologie předpjatého betonu, SNTL Nakladatelství technické literatury 1976, 04-710-86
- [4] https://www.metro.cz/trojska-lavka-slavi-narozeniny-stoji-uz-30-let-fom-/praha.aspx?c=A140706_095752_co-se-deje_jbs
- [5] https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/italie-most-zriceni-janov.A180814_124236_zahranicni_dtt/foto/JB755335_rr1.jpg
- [6] Stráský J.. The stress-ribbon footbridge across the river Vltava in Prague, In: L'Industria Italiana del Cemento 10/1987
- [7] http://eozp.vubp.cz/wiki/index.php/Havarijn%C3%AD_situace

Kontakt

Ing. VÍTĚZSLAV VACEK, CSc., email: vitezslav.vacek@cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6,

Doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., email: jiri.kolisko@cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6.

Ing. PETR POKORNÝ, Ph.D., email: petr.pokorny@cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6.



Sborník recenzovaných přednášek
28. mezinárodního symposia SANACE 2019

23. - 24. 5. 2019

Sdružení pro sanace betonových konstrukcí a
Fakulta stavební VUT v Brně

Vydavatel: Vysoké učení technické v Brně
Editor: Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
Rok vydání: 2019

ISBN 978-80-214-5749-2