Zpravodaj WTA CZ

číslo 1-2 září 2023

- WTA V ČESKÉ REPUBLICE
- VLIV MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NA ODOLNOST NOVÉHO TYPU ZDÍCÍ HMOTY NA BÁZI PORTLANDSKÉHO CEMENTU PRO SANACI KANALIZAČNÍCH KONSTRUKCÍ
- POSOUZENÍ ŠKOD ZPŮSOBENÝCH HAVÁRIÍ TEPLOVODU PRŮMYSLOVÉHO OBJEKTU LUKRA A NÁVRH ŘEŠENÍ
- CHOVÁNÍ DŘEVO-CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ PŘI ROZDÍLNÉ VZDUŠNÉ VLHKOSTI
- VÝVOJ SILIKÁTOVÝCH KOMPOZITŮ S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH VLÁKEN
- INŽENÝRSTVÍ ZAVĚŠENÝCH A VISUTÝCH MOSTŮ: OD MINULOSTI DO SOUČASNOSTI
- CERTIFIKOVANÉ SANAČNÍ OMÍTKOVÉ SYSTÉMY WTA-INTER
- CERTIFIKOVANÉ INJEKTÁŽNÍ HMOTY PROTI KAPILÁRNÍ VLHKOSTI

Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky

Obsah / Content

ÚVODNÍ SLOVO / INTRODUCTORY WORD
- *Pavel Reiterman* 2

WTA V ČESKÉ REPUBLICE / Pracovní skupiny 4

VLIV MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NA ODOLNOST NOVÉHO TYPU ZDÍCÍ HMOTY NA BÁZI PORTLANDSKÉHO CEMENTU PRO SANACI KANALIZAČNÍCH KONSTRUKCÍ
THE EFFECT OF THE MATERIAL COMPOSITION ON THE DURABILITY OF A NEW TYPE OF MASONRY MORTAR BASED ON PORTLAND CEMENT FOR THE REHABILITATION OF SEWER STRUCTURES
- *Petr Figala, Rostislav Drochytka, Vít Černý* 5

POSOUZENÍ ŠKOD ZPŮSOBENÝCH HAVÁRIÍ TEPLOVODU PRŮMYSLOVÉHO OBJEKTU LUKRA A NÁVRH ŘEŠENÍ
- *Petr Čeliš* 13

CHOVÁNÍ DŘEVO-CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ PŘI ROZDÍLNÉ VZDUŠNÉ VLHKOSTI
BEHAVIOUR OF WOOD-CEMENT COMPOSITES AT DIFFERENT ATMOSPHERIC HUMIDITY
- Silvestr Vasas, Tomáš Melichar, Šárka Keprdová, Jiří Bydžovský, Pavel Schmid 17

VÝVOJ SILIKÁTOVÝCH KOMPOZITŮ S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH VLÁKEN
DEVELOPMENT OF COMPOSITES ON SILICATE BASE WITH NATURAL DISPERSED REINFORCEMENT
- *Jitka Peterková, Jiří Bydžovský, Jiří Zach, Azra Korjenic* 23

INŽENÝRSTVÍ ZAVĚŠENÝCH A VISUTÝCH MOSTŮ: OD MINULOSTI DO SOUČASNOSTI
THE ENGINEERING OF SUSPENSION AND CABLE-STAYED BRIDGES: FROM PAST TO PRESENT
- *Eva Tůmová* 30

CERTIFIKOVANÉ SANAČNÍ OMÍTKOVÉ SYSTÉMY WTA-INTER 38

CERTIFIKOVANÉ INJEKTÁŽNÍ HMOTY PROTI KAPILÁRNÍ VLHKOSTI 41

Zpravodaj WTA CZ
Vydavatel: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky z.s. (WTA CZ),
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1, IČO: 75088762, tel.: 221 082 397, e-mail: wta@wta.cz, www.wta.cz
Vychází: 2 až 4x ročně Číslo vychází: 15. 9. 2023
Redakční rada / Editorial Board: Ing. Lenka Mészárosová, Ph.D. (šéfredaktor), Ing. Radka Pernicová, Ph.D. (zástupce šéfredaktora), prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c., prof. Ing. Pavel Kuklík, CSc., Ing. arch. Karel Doubner, prof. Ing. Tibor Ďurica, CSc., prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht, prof. Dr.-Ing. Rolf P. Gieler, doc. Ing. Tomáš Klečka, CSc., prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer, prof. dr. ir. Luc Schueremans, prof. dr hab. inż. Jacek Śliwiński, Ing. Václav Sokol, CSc., doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
Litografie a tisk: Expressprint
Registrace povolena na Ministerstvu kultury ČR pod číslem MK ČR E 13411, ISSN 1213-7308
Za obsah a původnost článků odpovídají jejich autoři. Odborné články byly recenzovány. Názory v příspěvcích se nemusejí shodovat s názory redakce.
The authors are responsible for the content and originality of the contributions. The contributions were reviewed. The opinions of editors can be inconsistent with those of the authors.

ÚVODNÍ SLOVO

Vážení a milí kolegové,

v úvodu tohoto prvního letošního čísla bych vám chtěl přestavit některé důležité informace související s činností WTA CZ. Na konci minulého roku proběhl v Brně již 44. ročník konference Sanace a rekonstrukce staveb a souběžně s ním i 24. ročník mezinárodní konference CRRB - Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings. Oproti minulým ročníkům se výrazně zvýšil počet zahraničních účastníků, což přispívá k rozvoji WTA CZ. Za vynikající přípravu a organizaci konference bych chtěl velice poděkovat především prof. Drochytkovi, Lence Mészárosové a Jindřichu Melicharovi. Rád bych však touto cestou poděkoval i všem ostatním osobám podílejících se na organizaci konference, kteří pro účastníky na půdě Fakulty stavební VUT v Brně zajistili příjemné a přátelské prostředí. Na konferenci již tradičně navazovala valná hromada, která je dle nových stanov pořádána každoročně. Za dlouhodobý přínos k rozvoji společnosti WTA CZ i oboru sanace bylo uděleno doc. Ing. Karlovi Kolářovi, CSc. čestné členství. Na základě usnesení Valné hromady bude společnost WTA CZ pokračovat v pořádání vzdělávacích akcí, transferu směrnic WTA, pořádání soutěží a dalším prohlubování spolupráce s ostatními národními skupinami. WTA CZ bude i nadále při jednáních WTA International zastupovat doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D., která byla zvolena členkou jeho prezidia. V souvislosti s činností WTA International bych rád připomněl přípravu řady nových směrnic, do jejichž zpracování je možné se aktivně zapojit. Sledujte prosím web: https://www.wta-international.org/

Mezi klíčové aktivity společnosti patří i udělování autorizací pro oblast sanace betonu a sanace zděných staveb proti vlhkosti, které zájemci mohou získat na základě prokázaných znalostí a zkušeností.

V letošním roce již proběhl ve spolupráci s SSBK přípravný seminář pro autorizaci WTA v oblasti sanace betonových konstrukcí včetně navazujícího autorizačního řízení. Rovněž v oblasti sanace zděných staveb proti vlhkosti již proběhl přípravný seminář i vlastní autorizační řízení. Pro osoby s končící platností autorizace WTA CZ bude uspořádán samostatný kurz zaměřený na aktuality v tomto oboru. Další cyklus seminářů a autorizačních řízení proběhne během podzimu letošního roku.

Závěrem mi dovolte popřát všem hodně zdraví a osobní pohody, ke které, věřme, bude přispívat i postupně zlepšující se počasí.

Pavel Reiterman

INTRODUCTORY WORD

Dear colleagues,

at the beginning of this first issue of the year, I would like to present some important information in relation to WTA CZ activities. At the end of last year, the 44th edition of the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings conference took place in Brno, and also the 24th edition of the international conference CRRB - Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings ran concurrently. The number of foreign participants increased significantly when compared to previous years, this is a contributary factor in the development of WTA CZ. I would like to thank prof. Drochytka, Lenka Mészárosová and Jindřich Melichar with regard to the excellent preparation and organisation of the conference. However, I would also like to take this opportunity to thank all the other people involved in organising the conference, those who provided a pleasant and friendly environment for the participants at the Faculty of Civil Engineering UT in Brno. The conference was traditionally followed by a general meeting, which is held annually in accordance with the new statutes. For long-term contribution to the development of WTA CZ and the field of remediation, doc. Ing. to Karel Kolář, CSc. honorary membership. Based on the General Assembly resolution, WTA CZ will continue to organise educational events, transfer WTA guidelines, organise competitions and deepen cooperation with other national groups further. WTA CZ will continue to represent doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D., who was elected a member of its presidium. In connection with WTA International's activities, I would like to remind you of the preparation of a number of new guidelines, whereby it is possible to be actively involved in the elaboration. Please follow: https://www.wta-international.org/

The granting of authorisations for the fields for concrete rehabilitation and the rehabilitation of masonry buildings against moisture is among the company's key activities, which interested parties can obtain based on proven knowledge and experience.

This year, in cooperation with the SSBK, a preparatory seminar for WTA authorisation in the field of concrete structures rehabilitation, including the subsequent authorisation procedure has already been held. Also in the field of rehabilitation of masonry buildings against moisture, a preparatory seminar and the authorisation process itself have already taken place. A separate course focused on current affairs in this field will be organised for people with an expiring WTA CZ authorisation. The next cycle of seminars and authorisation procedures will take place during autumn this year.

In conclusion, allow me to wish everyone good health and personal well-being, and we believe that the gradually improving weather will contribute to this.

Pavel Reiterman

WTA V ČESKÉ REPUBLICE

Činnost je obdobná jako ve WTA, pokrývá 10 pracovních skupin a v roce 2023 bude **Rada WTA CZ** pracovat ve složení:

Předseda:
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c., VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 95, 602 00 Brno
tel.: 541 147 500, 608 503 938, e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz

Členové:
doc. Ing. Eva Burgetová, CSc. - předseda dozorčí rady, ČVUT Praha, FSv, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 224 354 681
Ing. Petr Čeliš, Realsan Group SE, Ruprechtická 732/8, 460 01 Liberec, tel.: 485 246 501-3
Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D., Betosan, s.r.o., Na dolinách 28, 147 00 Praha 4, tel.: 602 149 443
Ing. arch. Karel Doubner, Chodská 17, 120 00 Praha 2, tel.: 603 433 611
Ing. Aleš Jakubík, Redrock Construction s. r. o., Újezd 40/450, Michnův palác, 118 00 Praha 1, tel.: 283 893 533
doc. Ing. Tomáš Klečka, CSc., ČVUT Praha, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6, tel.: 224 353 520
doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., ČVUT Praha, Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6, tel.: 224 353 537
prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc., VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 95, 602 00 Brno, tel.: 541 147 409
Ing. Tomáš Plicka, MC-Bauchemie s.r.o., Skandinávská 990, 267 53 Žebrák, tel.: 311 545 155
Ing. Pavel Šťastný, CSc., Remmers s.r.o., Modletice 141, 251 01 Modletice, tel.: 323 604 877

Dalšími členy Rady WTA CZ jsou níže uvedení vedoucí odborných pracovních skupin (OPS)

Odborné pracovní skupiny

Pracovní skupina	Odborné zaměření	Vedoucí referátu	Pracoviště	Telefon / e-mail
Pracovní skupina 1	Sanace a ochrana dřeva	doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.	VUT v Brně, fakulta stavební Veveří 95, 602 00 Brno	605 449 831 vanerek.j@fce.vutbr.cz
Pracovní skupina 2	Povrchové úpravy	Ing. Radka Pernicová, Ph.D.	Kloknerův ústav ČVUT v Praze Šolínova 7, 166 08 Praha 6	777 683 727 radka.pernicova@cvut.cz
Pracovní skupina 3	Přírodní a umělý kámen	RNDr. Kateřina Krutilová, Ph.D.	Zkušebna kamene a kameniva Husova 675, 508 01 Hořice	604 747 968 ao@zkk.cz
Pracovní skupina 4	Sanace a ochrana zdiva	Ing. Jaroslav Pánik	Sanace a vysoušení staveb s.r.o. Otická 32, 746 01 Opava	603 158 612 info@sanace-staveb.cz
Pracovní skupina 5	Sanace a ochrana betonu	doc. Ing. Pavel Reiterman, Ph.D.	Experimentální centrum FS ČVUT Thákurova 7, 166 29 Praha 6	224 354 376 pavel.reiterman@fsv.cvut.cz
Pracovní skupina 6	Fyzikálně-chemické zásady	doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.	VUT v Brně, fakulta stavební Veveří 95, 602 00 Brno	603 416 247 bydzovsky.j@fce.vutbr.cz
Pracovní skupina 7	Analýza únosnosti staveb	prof. Ing. Pavel Kuklík, CSc.	ČVUT v Praze, fakulta stavební Thákurova 7, 160 00 Praha 6	224 354 486 kuklikpa@fsv.cvut.cz
Pracovní skupina 8	Hrázděné a roubené stavby	Ing. Bohuslav Vykouk	Projekční kancelář V. ateliér Na Stráži 193, 273 02 Tuchlovice	608 367 995 v.atelier@seznam.cz
Pracovní skupina 9	Požární ochrana	Ing. Petr Beneš, CSc.	VUT v Brně, fakulta stavební Veveří 95, 602 00 Brno	541 147 405 benes.p@fce.vutbr.cz
Pracovní skupina 10	Ocel a sklo	doc. Ing. Martina Eliášová, CSc.	ČVUT v Praze, fakulta stavební Thákurova 7, 160 00 Praha	224 354 921 eliasova@fsv.cvut.cz

Sekretariát společnosti:
Ing. Helena Šubrtová, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1, tel.: 221 082 397, e-mail: wta@wta.cz

VLIV MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NA ODOLNOST NOVÉHO TYPU ZDÍCÍ HMOTY NA BÁZI PORTLANDSKÉHO CEMENTU PRO SANACI KANALIZAČNÍCH KONSTRUKCÍ

THE EFFECT OF THE MATERIAL COMPOSITION ON THE DURABILITY OF A NEW TYPE OF MASONRY MORTAR BASED ON PORTLAND CEMENT FOR THE REHABILITATION OF SEWER STRUCTURES

Petr Figala, Rostislav Drochytka, Vít Černý

Abstrakt:

Tato práce se zaměřuje na makroskopické posouzení stavu zkušebních těles, po vystavení vysoce koncentrované kyselině sírové a roztoku síranových solí, v závislosti na materiálovém složení nové sanační zdicí malty na bázi portlandského cementu (PzdíC). Chemická odolnost zkušebních těles byla stanovena dle DIN 19573. PC byl substituován v míře 20 - 40 hm. % vybranými druhotnými surovinami: cementářskými odprašky, amfibolitovým filerem a vysokoteplotním popílkem. Výsledky jednotlivých zkoušek chemické odolnosti se značně lišily, ale zlepšení bylo prokazatelně dosaženo v případě 20 % substituce PC popílkem. Na základě získaných výsledků byla vybrána výsledná hmota pro další výzkum, který není součástí této práce, jehož cílem bude posouzení mikrostrukturních projevů chemického napadení struktury cementového kompozitu.

Abstract:

This work focuses on the macroscopic assessment of the condition of the test samples, after exposure to highly concentrated sulfuric acid and a solution of sulfate salts, depending on the material composition of the new rehabilitation masonry mortar based on Portland cement (PC). The chemical resistance of the test samples was determined according to DIN 19573. PC was substituted (in the amount of 20 - 40 wt. %) by suitable secondary raw materials. The results of individual chemical resistance tests varied greatly, but an improvement was demonstrably achieved in the case of 20 % substitution of PC with fly ash. Based on the obtained results, the final mortar was selected for further research, which is not part of this work, the aim of which will be to assess the microstructural manifestations of chemical attack on the cement composite structure.

Key words: *Chemical resistance; secondary raw material; masonry mortar; sulphate attack; biogenic sulfuric acid attack; fly ash; cement dust; amphibolite filler;*

1. ÚVOD

Pod pojmem cementový kompozit na bázi portlandského cementu si je možné představit celou řadu odlišných typů hmot, nejen klasické polymercementové malty. Avšak testování chemické odolnosti tohoto typu malt stále představuje relativně okrajovou problematiku a většina výzkumných prací se zaměřuje na testování chemické odolnosti např. tzv. geopolymerů. Vzhledem k tomu, že metodiku laboratorního testování je možné replikovat i pro potřeby této práce, bude se při studiu teoretických podkladů problematiky chemického namáhání cementových kompozitů tato práce opírat i o výzkumné práce zabývajících se výzkumem geopolymerů.

Cement představuje stavební materiál se širokým spektrem využití a jeho spotřeba meziročně celosvětově stále roste. Roste však výrobní i koncová cena cementu. Navíc je známo, že výroba portlandského cementu představuje energeticky velmi náročný proces, při kterém se do ovzduší uvolňuje značné množství CO_2. [1] Z hlediska ochrany životního prostředí je výroba cementu jedním z hlavních přispěvatelů do celosvětové produkce emisí CO_2. Uvádí se, že se při výrobě 1 tuny portlandského cementu uvolní 0,7 - 0,9 tuny CO_2. [1,2] Emise uhlíku představují majoritní příčinu globálního oteplování (65 % z celkových klíčových skleníkových plynů). [1,3] Konkrétně je produkci portlandského cementu připisováno cca 8 % z globální produkce emisí CO_2. Jedná se tak o třetí největší, člověkem produkovaný, zdroj emisí CO_2. [3,4] Z uvedených důvodů čelí cementářský

průmysl otázce udržitelnosti, což se celá řada producentů stavebních materiálů snaží řešit využitím alternativních surovin. Mezi tyto suroviny patří mletý vápenec, metakaolin nebo také druhotné suroviny jako struska, popílky, mikrosilika nebo různé typy odprašků ze zpracování primárních surovin. Tyto suroviny se vyznačují latentní hydraulicitou nebo pucolánovým charakterem. Existuje řada výzkumných prací zaměřujících se na prokázání pozitivního přínosu alternativních surovin, částečně substituujících portlandský cement, na fyzikálně mechanické charakteristiky cementových kompozitů. [3,4,5,6]

Kromě fyzikálně mechanických vlastností stavebních materiálů představuje trvanlivost stěžejní konstrukční parametr, nejinak je tomu u kompozitů na bázi portlandského cementu. Vysoká odolnost je žádaná pro dosažení maximální možné životnosti konstrukce a zároveň minimálních požadavků na údržbu. [4]

U betonových konstrukcí se můžeme setkat s řadou způsobů degradace. Přičemž jedním ze základních, který zároveň představuje obrovskou výzvu při správném návrhu betonu, představuje vystavení cementového kompozitu působení chemicky agresivním sloučeninám. Mezi typické způsoby degradace cementových kompozitů, jimž se věnuje řada výzkumů a vědeckých prací, patří expozice kyselinami a solemi. [7,8]

Jedním z charakteristických expozičních prostředí, ve kterém je možné se setkat s řadou chemicky agresivních látek, jsou kanalizační systémy. Jedná se o prostředí s vysokými požadavky na odolnost a dlouhou životnost použitých stavebních materiálů. Při sanaci stok je cílem obnovit nebo prodloužit původní životnost celé stavební konstrukce. [9] Problematika degradace betonových odpadních systémů byla definována již na počátku minulého století. [10,11]

V rámci kanalizační sítě v ČR se nejčastěji vyskytují stoky zděné, betonové či železobetonové. Dle statistik z roku 2018 byla celková délka Pražských zděných stok z ostře pálených cihel 546 km. Naopak v Brně je většina kanalizační sítě tvořena betonem, v celkové délce 673 km představují 60 % z celkové délky tamní kanalizační sítě. [12,13] Běžné stavební hmoty či prefabrikované prvky z materiálů na bázi portlandského cementu nedisponují v základu zvýšenou odolností vůči chemickému napadání. Na nové prvky je možné nanést korozivzdorný nátěr, avšak v případě sanace se jedná, vzhledem k zvýšené vlhkosti, k poměrně komplikovanému řešení. V případě zděných konstrukcí se setkáváme s obdobným problémem. Samotné zdící prvky vykazují značnou chemickou odolnost, avšak slabinu konstrukce představují zdící a spárovací hmoty. Řešením mohou být polymerní materiály, avšak vzhledem k vysoké pořizovací ceně a náročnějšímu provádění jsou stále běžně využívány hmoty na bázi portlandského cementu.

V rámci studia a predikce síranové koroze byla vyvinuta řada teoretických modelů pro popis chování degradace betonu a predikci trvanlivosti betonu vystavených působení roztokům síranových solí. [14,15]. Avšak i přes velké množství teoretických i praktických výzkumů zůstávají podrobné mechanismy síranového napadání na mikromechanické vlastnosti C-S-H gelu stále z části neobjasněné. [8]

Výsledkem síranové koroze je mj. vznik novotvarů s expanzním charakterem. Rozsah expanze, resp. míra porušení kompozitu je považována za typický projev mechanického napadání silikátového kompozitu. Avšak při síranové korozi betonu může docházet také k významnému mikrostrukturálnímu poškození sítí trhlin, a to bez zjevné makroskopické expanze. [16]

Obecně platí, že principem síranového napadání je narušování pórové struktury betonu vlivem působení roztoku síranů. Během napadání dochází k transportu síranů do pórové struktury betonu. Zde dochází k chemické reakci produktů hydratace betonu a vzniká sádrovec, ettringit, monosulfát či jiné novotvary. [16] Za specifických podmínek, mj. dostupnost uhličitanů či hydrogenuhličitanů, vysoké vlhkosti a nízké teploty, může docházet i ke vzniku thaumasitu. Typ a poměr vzniklých novotvarů závisí na řadě faktorů, mj. na typu a koncentraci síranů, změnách teploty a vlhkosti, umístění konstrukce nebo na materiálovém složení. [17] Ke spotřebovávání portlanditu a vzniku ettringitu dochází v alkalických podmínkách s pH > 10,7. [18] Jak uvádí Brown a Badger, v závislosti na síranový gradient se ve struktuře betonu vytváří zóny, v nichž převládají jednotlivé minerály. Ve svrchní vrstvě kompozitu se hromadilo větší množství síranů, kde byly k dispozici pro tvorbu sádrovce. Hlouběji ve struktuře začal postupně vznikat ettringit a následně monosulfát. [19]

Pro eliminaci síranové koroze, kompozitů na bázi portlandského cementu, existují tzv. síranuvzdorné cementy. Avšak ani cementy s nulovým podílem C_3A nejsou zcela imunní vůči síranové korozi. Clark a Brown ve své práci prokazují, že i C_4AF potenciál reagovat se sírany za vzniku sádrovce, ettringitu a dalších novotvarů. [20] Brown a Badger ve své práci popsali jevy typické pro napadání betonových konstrukcí vystavených síranovým půdám. I přes použití síranuvzdorného cementu došlo k degradaci kompozitu a popsali nedostatečnost ochrany betonu bez značného důrazu na snížení jeho propustnosti [19].

Vzhledem k vyššímu množství oxidu hliníku v minerálních příměsích betonu, vzrůstá při využití směsných cementů pravděpodobnost vzniku ettringitu. [16] Avšak Al-Amoundi ve své práci popisuje, že i přes zvýšený potenciál vzniku ettringitu jsou směsné cementy obecně považovány za odolnější vůči síranovému napadání. [21] Také mnoho dalších vědeckých prací, prezentujících výsledky polních i laboratorních výzkumů, tvrdí, že využití druhotných surovin s pucolánovým charakterem, jakožto částečné náhrady portlandského cementu, může vést ke zlepšení (nejen) síranové odolnosti betonu, ale také odolnosti vůči kyselinám. [8,22 25]

Pucolánová reakce druhotných surovin jako vysokopecní struska, vysokoteplotní popílek, křemičitý úlet či metakaolin, spotřebovává rozpustný portlandit a dochází ke vzniku sekundárních C-S-H fází s nižšími poměry C/S. [25] Využitím metakaolinu vzniká tzv. C-A-S-H gel, jež vykazuje vyšší odolnost vůči kyselinám než běžný C-S-H gel. [25], [26] Uvedené procesy mají dvojí význam. Zaprvé se sníží množství kyselinám a síranům neodolného portlanditu, zadruhé dochází snížení poréznosti cementového kompozitu a s tím souvisí nižší propustnost vůči průniků agresivních látek do struktury betonu. [8] Yang a kol. uvádí, že příměsí strusky do cementové pasty může být

Tab. 1: Materiálové složení modifikovaných surovinových variant vyvíjené chemicky odolné zdící hmoty

Surovina	Obsah v receptuře [hm. %]	
Cement CEM I 42,5 R	23,0	38,3
Směs přísad [hm.% z mc] [a)]	2	
Krystalizační přísada [hm.% z mc]	1,5	
Druhotná surovina (VP/CO/AO) [b)]	7,6	15,3
Křemičitý písek 0,18 - 4,0 mm	47,7	
Mletý vápenec	7	
Mletý živec	7	

a) Směs sypkých přísad + polypropylenová vlákna.
b) Substituce cementu v míře 20 - 40 hm.% vysokoteplotním popílkem (VP), cementářskými odprašky (CO), resp. amfibolitovými odprašky (AO).

snížena adsorpční kapacita síranů v C-A-S-H gelu a dojde ke zlepšení stability mechanických vlastností cementového kompozitu v prostředí síranového napadání. [8]

Jak bylo uvedeno výše, kromě koroze betonu vlivem napadání sírany se často setkáváme i s napadáním organickými i anorganickými kyselinami. Typické expoziční prostředí představuje kyselina sírová. Konstrukční betonové prvky se mohou dostat do kontaktu s agresivní kyselinou sírovou v řadě případů, přičemž mimo kanalizační odpadní vody mezi hlavní zdroje degradace patří kyselé deště, průmyslové odpadní vody nebo podzemní vody. [1,7] Principem napadání betonu na bázi portlandského cementu kyselinou sírovou je vyplavování vápenatých iontů z hydratačních produktů cementu, vznik vápenatých solí kyseliny sírové, zvýšení poréznosti kompozitu a výsledné snížení pevnosti a životnosti celé konstrukce či její části. [7]

Jako hlavní původci narušování betonu byly identifikovány skupiny sirných bakterií produkujících H_2SO_4 a H_2S. Jejich působení na beton dochází k nahromadění reakčních produktů v pórech a kapilárách hmoty betonu. Jedná se o sádrovec a ettringit, minerály s podstatně vyšším objemem, než mají původní hydratační produkty cementu, na povrchu i uvnitř betonu tedy dochází k destrukci struktury kompozitu vlivem působení vysokého krystalizačního tlaku. [27]

Počátek koroze betonu biogenní kyselinou sírovou v prostředí kanalizací nastává v anaerobním prostředí, kdy při rozpadu organické hmoty v odpadních vodách může dojít k bioredukci síranů sírany redukujícími bakteriemi na sulfan (H_2S) a následnému koloběhu síry s důsledku reakčních procesů. Během turbulence a poklesu pH H_2S těká do aerobní atmosféry kanalizace, oxiduje se na síru, která je dále oxidována acidofilními sirnými bakteriemi na kyselinu sírovou. [27] Dle Fečka jsou, při tomto typu koroze, postiženy ve velké míře odpadní a kanalizační potrubí z vnitřní strany. Vzniklá kyselina sírová reaguje s cementovým kamenem, přičemž při vysokém stupni biokoroze dochází k úbytku či kompletnímu rozpadu cementového kamene, což představuje jeden z nejčastějších důvodů porušení kanalizačních sítí. [28]

Tab. 2: Soubor testovaných surovinových variant vyvíjené chemicky odolné hmoty

Surovinová varianta	Náhrada pojiva	Označení receptury
Referenční	-	ZH-R
Modifikovaná	-	ZH-M
Vysokoteplotní elektrárenský popílek (VP)	20 %	ZH-VP20
	30 %	ZH-VP30
	40 %	ZH-VP40
Cementářské odprašky (CO)	20 %	ZH-CO20
	30 %	ZH-CO30
	40 %	ZH-CO40
Amfibolitové odprašky (AO)	20 %	ZH-AO20
	30 %	ZH-AO30
	40 %	ZH-AO40

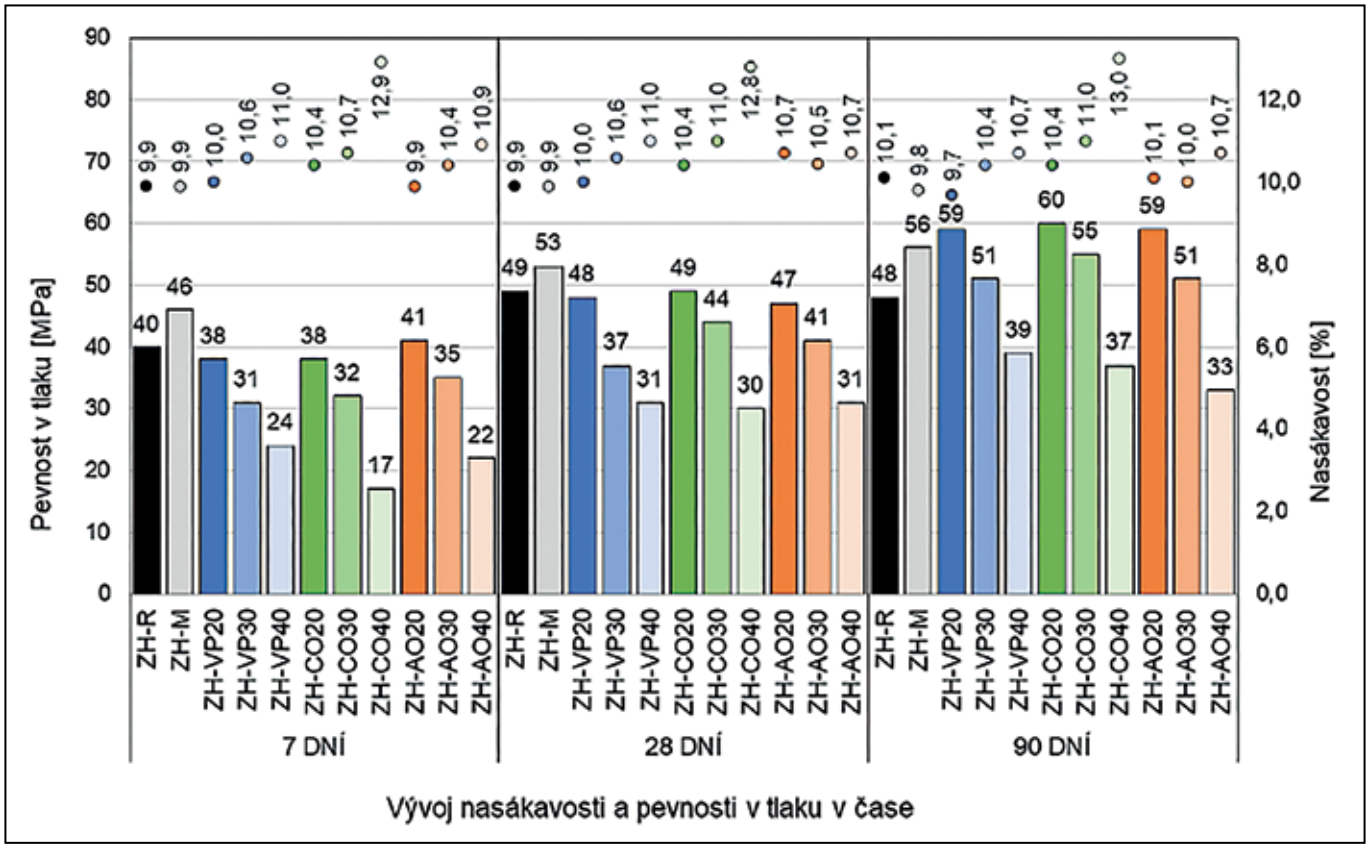
Tato práce se zaměřuje na makroskopické posouzení stavu zkušebních těles, vyvíjené zdící na bázi portlandského cementu se zvýšenou chemickou odolností, a posouzení trvanlivosti, vůči vysoko koncentrované kyselině sírové a roztoku síranových solí, v závislosti na materiálovém složení jednotlivých surovinových variant. Cílem této práce je laboratorním testováním zvolit optimální druhotnou surovinu pro částečnou náhradu pojiva a zároveň nalezení optimální míry substituce cementu vybranými druhotnými surovinami. Zároveň bude, pro další navýšení odolnosti vyvíjené hmoty, použita krystalizační přísada. Její přínos byl ověřen v rámci předcházejícího výzkumu. [29]

Vzhledem k faktu, že v době vývoje této hmoty v EU neexistovala žádná komplexní norma, která by poskytovala informace o materiálech vhodných pro výstavbu či sanaci zděných kanalizačních těles, byla pro metodiku laboratorního testování chemické odolnosti vybrána německá národní norma DIN 19573. [30] V rámci této normy jsou definovány roztoky H_2SO_4 a Na_2SO_4 pro zrychlenou laboratorní simulaci expozičního prostředí kanalizační stoky. Zároveň daná norma předepisuje metodiku laboratorního testování, vyhodnocování a požadavky specificky kladené na materiály na bázi portlandského cementu. [9]

2. MATERIÁLY A METODY

Výsledky prezentované v rámci této práce byly získány v rámci vývoje nové chemicky odolné hmoty pro výstavbu nových, či sanaci stávajících zděných kanalizací, případně jiných zděných konstrukcí vystavených zvýšenému chemickému napadání. Práce navazuje na předcházející výzkum, v jehož rámci byla testována možnost modifikace referenční hmoty přídavkem krystalizační přísady s cílem zvýšit hutnost struktury cementového kamene, a tím související zvýšení odolnosti vlivem sekundární krystalizace. [29]

V Tab. 1 je uvedeno materiálové složení testovaných surovinových variant vyvíjené chemicky odolné zdící hmoty. Referenční hmotu představuje základní receptura na bázi portlandského cementu (CEM I 42,5 R), mletého vápence a živce pro vyšší hutnost, směs



Obr. 1: Grafické vyjádření závislosti pevnosti v tlaku a nasákavosti na době zrání

křemičitých písku s optimalizovanou křivkou zrnitosti ve frakci 0,18 - 4,0 mm, směs práškových přísad (plastifikační přísada, regulátory tuhnutí, aj.) a polypropylenová vlákna pro eliminaci vzniku mikrotrhlin při počátku tuhnutí a tvrdnutí. Dále byla testována tzv. modifikovaná receptura, tedy surovinová varianta s optimální dávkou krystalizační přísady. Na základě modifikované receptury byly navrhovány samotné surovinové varianty optimalizované příměsí vybraných druhotných surovin. Ty byly voleny s ohledem na dosavadní zkušenosti laboratorních výzkumů a zohledněna byla dostupnost potenciálně vhodných druhotných surovin a náročnost předúpravy. Těmito druhotnými surovinami byl substituován portlandský cement v míře 20 - 40 hm.%. Použit byl elektrárenský vysokoteplotní popílek (VP) z klasického spalování hnědého uhlí v elektrárně Tušimice, dále cementářské odprašky (CO) z cementárny Mokrá, u nichž je využití formou přimíchávání do cementu jen velmi omezené, jedná se tedy o druhotnou surovinu, a amfibolitové odprašky (AO) pocházející ze zpracování drceného kameniva v kamenolomu Želešice. Kompletní seznam testovaných surovinových variant je uveden v Tab. 2.

Průběh laboratorního testování a výběru optimálních surovinových variant byl rozdělen do dvou navazujících fází. V rámci první fáze byl zkoušen širší soubor surovinových variant, s cílem zvolit optimální míru substituce cementu druhotnými surovinami. Pro tyto účely byl sestaven soubor laboratorních zkoušek zaměřujících se primárně na fyzikálně-mechanické charakteristiky vyvíjené hmoty, zároveň byly testovány základní parametry odolnosti. V druhé fázi byl, u zúženého souboru surovinových variant, rozšířen soubor fyzikálně-mechanických charakteristik a zároveň byla testována odolnost vůči chemicky agresivním látkám.

Tab. 3: Výsledky základních parametrů odolnosti surovinových variant vyvíjené chemicky odolné zdící hmoty

Označení receptury	Stáří těles	∑ cyklů	CHRL [a]	Mrazuvzdornost		
	-	-	$\sum \rho_a$	Ø $f_{t(90)}$	Ø $f_{t(T100)}$	T_{100} [b]
	[dny]	[-]	[g×m^{-2}]	[MPa]	[MPa]	[-]
ZH-R	90	100	628	8,6	6,9	0,80
ZH-M			523	8,8	7,5	0,85
ZH-VP20			435	8,5	7,5	0,88
ZH-VP30			442	8,1	7,1	0,88
ZH-VP40			471	7,7	6,7	0,87
ZH-CO20			403	9,1	7,7	0,85
ZH-CO30			382	8,8	7,2	0,82
ZH-CO40			461	8,5	6,6	0,78
ZH-AO20			426	9,2	7,8	0,85
ZH-AO30			398	9,0	7,5	0,83
ZH-AO40			483	8,3	6,5	0,78

a) Odolnost vůči působení chemických rozmrazovacích látek
b) Součinitel mrazuvzdornosti

Při výrobě čerstvé hmoty byl poměr voda / cement (w) byl zvolen tak, aby konzistence jednotlivých čerstvých malt odpovídala zvolené optimální konzistenci 145 ± 5 mm. Konzistence byla malty stanovena v souladu s normou ČSN EN 1015-3 pomocí střásacího stolku. Vliv přísady jednotlivých druhotných surovin na spotřebu záměsové vody byl zanedbatelný a hodnota "w" byla u všech testovaných směsí téměř shodná. Podrobný postup přípravy suchých směsí i samotných zkušebních těles je podrobně popsán v [9].

I. fáze laboratorního testování. Kromě stanovení konzistence čerstvé malty (dle ČSN EN 1015-3) byla stanovena pevnost v tlaku zkušebních těles v souladu s ČSN EN 12190:1998, přičemž zkouška byla prováděna u zkušebních těles ve stáří 7, 28, 90 dnů. Na fragmentech zkušebních těles byla, v souladu s ČSN 72 2448, stanovena absorpce vody.

Pro základní posouzení odolnosti jednotlivých hmot byly provedeny zrychlené laboratorní zkoušky odolnosti vůči chemickým rozmrazovacím látkám (CHRL - dle ČSN 73 1326) a odolnosti vůči mrazu (ČSN 13 1222). Obě zkoušky byly zahájeny po 90 dnech zrání zkušebních těles a u obou zkoušení se shodoval i počet 100 cyklů teplotního zatěžování.

Tab. 4: Výsledky základních parametrů odolnosti surovinových variant vyvíjené chemicky odolné zdící hmoty

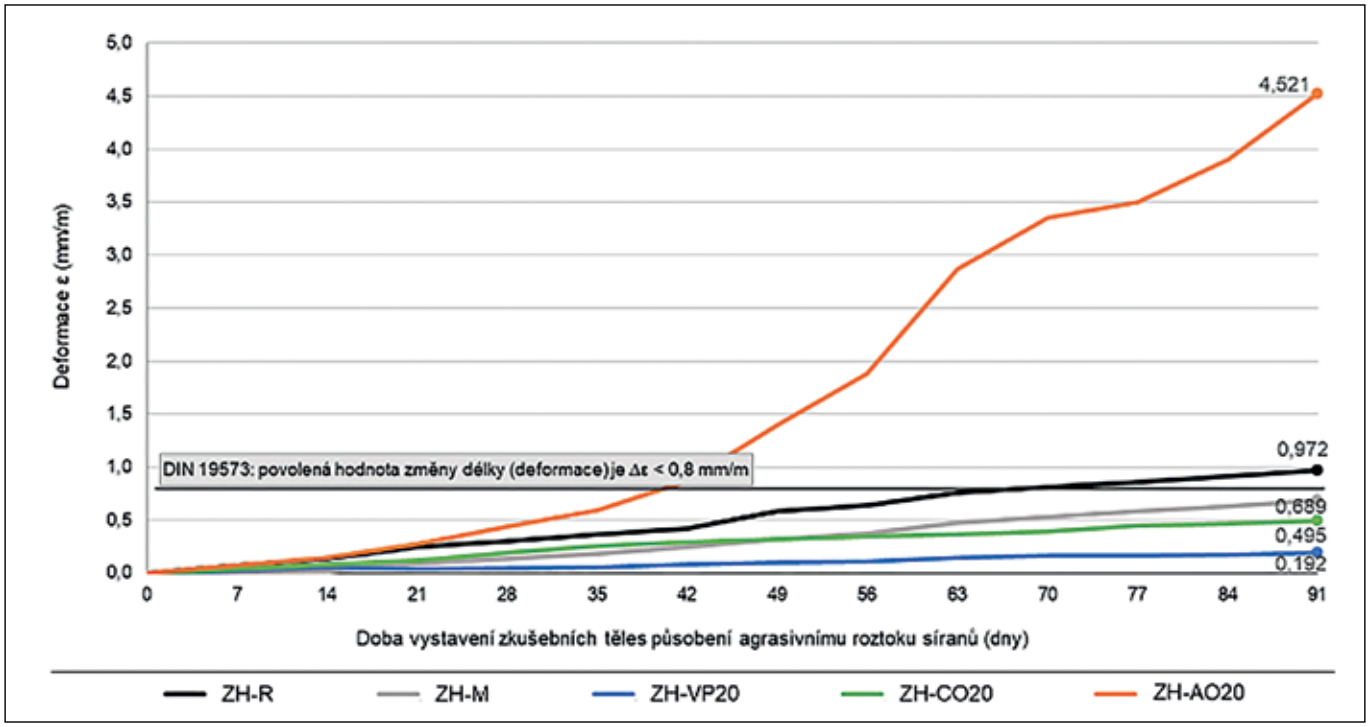
Označení receptury	Obsah vzduchu v ČM [%]	Soudržnost s podkladem [MPa]	Odpor ke kap. absorpci [kg×(m²×h^0,5)^-1]	Odolnost vůči obrusu [cm³×50cm^-2]
ZH-R	5,24	2,20	0,42	19,6
ZH-M	5,12	2,40	0,31	18,7
ZH-VP20	5,05	2,50	0,25	18,2
ZH-CO20	5,05	2,45	0,27	18,3
ZH-AO20	5,16	2,40	0,29	19,2

II. fáze laboratorního testování. V druhé fázi byl, u zúženého souboru surovinových variant, rozšířen soubor sledovaných fyzikálně-mechanických charakteristik. V souladu s ČSN EN 1015-7 byl tlakovou metodou stanoven obsah vzduchu v čerstvé maltě. Dále, již u zkušebních těles po 28 dnech zrání ve vodním uložení. byla stanovena soudržnost s podkladem (v souladu s ČSN EN 1542), odolnost vůči obrusu metodou Böhme dle ČSN EN 13892-3 a odpor ke kapilární adsorpci podle ČSN EN 13057.

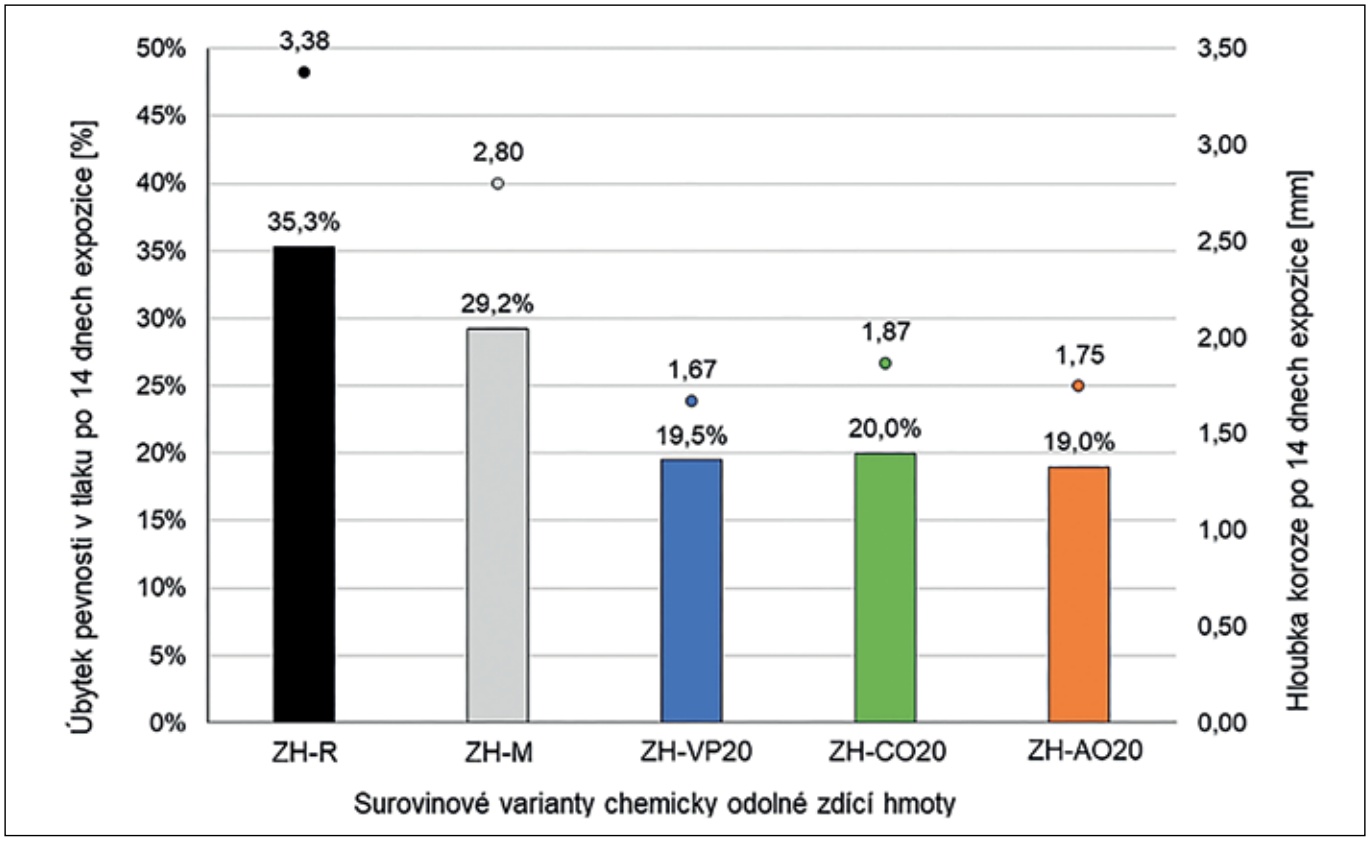
Pro stanovení chemické odolnosti v prostředí kanalizačních systémů byla využita metodika zrychlené laboratorní simulace dle normy DIN 19573 [30]. Tato metodika byla pro potřeby vývoje zdící hmoty upravena. Primárně šlo o úpravu samotné kádě pro roztok kyseliny sírové. Výsledky jsou však porovnávatelé s výsledky jiných studií.

V první řadě byla stanovena odolnost zkušebních těles vybraných surovinových variant vůči napadání biogenní kyseliny sírové. Zkouška byla započata po 90 dnech zrání zkušebních těles. Samotné vystavení zkušebních těles působení roztoku kyseliny sírové o koncentraci ($c(H_2SO_4)$ = 1,0 mol×l^{-1}) trvala po dobu 14 dní, po kterou byla požadovaná koncentrace kyseliny pravidelně obnovována. Po ukončení expozice byla tělesa patřičně upravena a byla provedena zkouška stanovení pevnosti v tlaku dle ČSN EN 196-1. Ze získaných parametrů byla výpočetně stanovena relativní zbytková pevnost v tlaku a také efektivní hloubka koroze.

Druhý parametr chemické odolnosti představuje odolnosti vůči síranům. Pro potřeby této zkoušky byly vyhotoveny sady specifických zkušebních těles (10×40×160 mm), která byla, po 90 dnech zrání, na dobu 91 dní vystavena



Obr. 2: Grafické vyjádření časového průběhu délkových změn, zkušebních těles vystavených působení síranů



Obr. 3: Grafické vyjádření relativní zbytkové pevnosti v tlaku a efektivní hloubky koroze zkušebních těles vystavených působení biogenní kyselině sírové

působení roztoku síranových solí o koncentraci 29,8 g×l^{-1} (44 g×l^{-1} Na_2SO_4). Na každé zkušební těleso byly umístěny měřící terče jejichž vzdálenost byla v pravidelných intervalech měřena úchylkoměrem s přesností 0,001 mm. Tímto způsobem byly průběžně zaznamenávány délkové změny, které byly při vyhodnocení porovnány s referenčními tělesy umístěnými v nasyceném roztoku $Ca(OH)_2$. Norma DIN 19573 definuje hraniční hodnotu délkové změny ($\Delta\varepsilon$ < 0,8 mm×m^{-1}).

Podrobný popis úpravy zkušebních těles, průběhu chemického zatěžování i proces vyhodnocování výsledků je podrobně popsán v práci [9], jež se také zaměřovala na stanovení těchto charakteristik odolnosti.

3. VÝSLEDKY LABORATORNÍHO TESTOVÁNÍ

Výsledky závislosti doby zrání zkušebních těles na pevnosti v tlaku a nasákavosti jsou uvedeny na Obr. 1.

V případě modifikované receptury (ZH-M) je patrný nárůst pevnosti v tlaku a pokles nasákavosti v porovnání s referenční hmotou ZH-R, přičemž rozdíl mezi oběma recepturami se s delší dobou zrání navyšoval. Vzhledem k tomu, že jediným rozdílem mezi surovinovým složením obou hmot je přídavek krystalizační přísady, a s tím související mírné navýšení vodního součinitele v řádu jednotek ml/kg suché směsi (hmota ZH-M), potvrdil se tak pozitivní přínos této přísady na hutnost cementového kamene a pevnostní charakteristiky.

Z uvedených výsledků také vyplývá, že s rostoucí mírou substituce pojiva, jednotlivými druhotnými surovinami, klesala pevnost v tlaku a zároveň rostla nasákavost. Avšak obecně platí, že s délkou doby zrání se rozdíly s dosažených hodnotách, dvou sledovaných charakteristik, mezi hmotou ZH-M a optimalizovanými surovinovými variantami, postupně zmenšují. Po 90 dnech zrání je, v případě všech tří surovinových variant s 20% mírou substituce cementu, dosaženo vyšší pevnosti v tlaku, než u původní hmoty ZH-M. A rozdíly v nasákavosti jsou maximálně 0,6 % v prospěch receptury ZH-M. V případě receptury ZH-VP20 bylo dokonce dosaženo v obou parametrech lepších výsledků.

V Tab. 3 jsou uvedeny výsledky základních parametrů odolnosti zkušebních těles.

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že se stanovením odolnosti vůči CHRL i mrazuvzdornosti opětovně prokázal přínos krystalizační přísady na odolnost testované zdící hmoty.

Zároveň platí, že s u všech hmot s příměsí druhotné suroviny bylo dosaženo vyšší odolnosti vůči působení CHRL, než tomu bylo u modifikované receptury ZH-M. Výsledky mrazuvzdornosti potvrdily trend přínosu příměsi druhotné suroviny, avšak již v menší míře. Vyššího součinitele mrazuvzdornosti bylo dosaženo v případě všech optimalizovaných hmot s 20% mírou substituce cementu.

Na základě získaných výsledků bylo provedeno zúžení souboru testovaných hmot, a to na referenční a modifikovanou hmotu + tři surovinové varianty s 20% mírou substituce cementu testovanými druhotnými surovinami. V následující Tab. 4 jsou uvedeny výsledky širšího souboru fyzikálně-mechanických parametrů.

Ze všech výše uvedených výsledků vyplývá, že substitucí 20 % portlandského cementu vybranými druhotnými surovinami je možné dosáhnout lepších či alespoň stejných fyzikálně-mechanických charakteristik jako v případě původní receptury (ZH-M).

Na následujícím Obr. 2 je graficky vyjádřen průměrný průběh délkových změn zkušených těles, jednotlivých surovinových variant, jež byla po dobu 91 dní vystavena působení roztoku Na_2SO_4.

Referenční hmota ZH-R zjevně nevyhověla kritériu maximální délkové změny 0,8 mm/m. Vlivem použité krystalizační přísady bylo, u zkušebních těles ponechaných po dobu 90 dní ve vodním uložení, dosaženo omezení délkových změn o necelých 30 %.

Surovinová varianta s 20% příměsí amfibolitových odprašků zjevně nevyhověla a maximální povolená hodnota délkové změny byla několikanásobně překročena. Naopak v případě zbývajících dvou optimalizovaných receptur bylo dosaženo dalšího zlepší. Konkrétně, ve srovnání s hmotou ZH-M, došlo příměsí 20 % vysokoteplotního popílku ke zlepšení o 72 %, v případě hmoty s 20% příměsí cementářských odprašků došlo ke zlepšení o bezmála 30 %.

Na posledním Obr. 3 jsou uvedeny výsledky odolnosti vyvíjených hmot vůči působení biogenní kyselině sírové. Tato tělesa byla vystavena agresivnímu roztoku kyseliny sírové o koncentraci pH = 0 ($c(H_2SO_4)$ = 1,0 mol/l) po dobu 14 dnů. Norma DIN 19573 definuje, že minimální relativní zbytková pevnost chemicky odolných opravných malt musí být pro toto řešení expozice > 55 % a maximální efektivní hloubka koroze < 5,2 mm.

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že odolnost testovaných směsí vůči napadení biogenní kyselinou sírovou má obdobné trendy, jako předchozí výsledky odolnosti proti napadení roztokem síranů. V případě všech tří optimalizovaných surovinových variant došlo, ve srovnání s modifikovanou hmotou ZH-M, k významnému navýšení odolnosti, a to v míře 30 - 40 % v efektivní hloubce koroze a ± 10 % v relativní zbytkové pevnosti v tlaku.

4. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo, na základě výsledků laboratorních analýz, nalezení optimální druhotné suroviny pro částečnou náhradu pojiva a zároveň nalezení optimální míry substituce portlandského cementu vybranými druhotnými surovinami. Mimo jiné byla, na základě dosavadních výzkumů, pro účely této práce sestavena nová aparatura pro testování odolnosti vůči působení biogenní kyseliny sírové.

Výsledky této práce potvrzují závěry předcházejících výzkumů, že využitím krystalizační přísady lze dosáhnout zlepšení vybraných fyzikálně-mechanických charakteristik a kriticky důležitých parametrů odolnosti zdící hmoty s požadavkem na zvýšenou chemickou odolnost v prostředí kanalizací.

Z výsledků I. fáze testování vyplývá, že částečná substituce portlandského cementu vhodně vybranými alternativními surovinami je přínosná. V případě 20% náhrady vysokoteplotním popílkem došlo ke zvýšení pevnosti v tlaku i snížení nasákavosti kompozitu, v případě totožné náhrady cementářskými či amfibolitovými odprašky došlo k zachování původní pevnosti v tlaku, nasákavost však mírně narostla.

V II. fázi testování byl zúžen soubor testovaných surovinových variant, avšak byl rozšířen soubor sledovaných parametrů. Potvrdily se výsledky řady zahraničních studií, jež tvrdí, že částečná náhrada portlandského cementu, vhodnými alternativními surovinami, má za následek nejen zvýšení odolnosti vůči působení roztoku síranů, ale i vůči působení biogenní kyseliny sírové.

Zejména v případě vysokoteplotního popílku se projevil pucolánový charakter příměsi a došlo k významnému zlepšení fyzikálně-mechanických charakteristik i odolnosti, testované dle DIN 19573, v expozičních podmínkách charakteristických pro prostředí kanalizačních systémů. Surovinová varianta ZH-VP20, s 20% mírou substituce portlandského cementu vysokoteplotním popílkem, tedy byla vybrána jako optimální hmota pro nadcházející výzkum.

Laboratorní analýzy použité v rámci této práce se zaměřovaly na makroskopické posouzení stavu zkušebních těles, vyvíjené zdící na bázi portlandského cementu se zvýšenou chemickou odolností, a posouzení trvanlivosti, vůči vysoko koncentrované kyselině sírové a roztoku síranových solí, v závislosti na materiálovém složení jednotlivých surovinových variant. V nadcházejících fázích výzkumu budou použity analýzy zaměřující se na sledování mikro mechanických projevů degradace a vlivu příměsi druhotných surovin na výsledné vlastnosti cementového kompozitu. Bude tak sledován vliv druhotných surovin na změnu pórového a kapilárního systému kompozitu, na množství jednotlivých hydratačních produktů cementu a na kvantitativní i kvalitativní analýzy novotvarů, vzniklých vlivem degradace nového kompozitu v expozičním prostředí kanalizačních systémů.

Mezi další přínosy práce patří praktické využití normového postupu pro stanovení chemické odolnosti dle DIN 19573. Jedná se o poměrně jednoduchou a rychlou metodu, zároveň však přináší kvalitní výsledky pro posouzení odolnosti dané hmoty. Reálné chemické zatěžování cementových kompozitů v prostředí kanalizací je však mnohem komplikovanější proces, který může ovlivnit velké množství faktorů. Je tedy vhodné výsledky této zrychlené laboratorní metody porovnávat s odolností stanovenou in situ.

5. LITERATURA

[1] ALZEEBAREE, R. & kol. *Mechanical properties and durability of unconfined and confined geopolymer concrete with fiber reinforced polymers exposed to sulfuric acid*, Construction and Building Materials, 2019, 215, 1015-1032. ISSN 09500618

[2] SATA, V. & kol. *Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack, Cement and Concrete Composites*, 2012, 34(5), 700-708. ISSN 09589465

[3] HU, L.; HE, Z. *A fresh perspective on effect of metakaolin and limestone powder on sulfate resistance of ce-ment-based materials*, Construction and Building Materials, 2020, 262. ISSN 09500618

[4] ANDREW, R. M. *Global CO_2 emissions from cement production*, Earth System Science Data, 2018, 10(1), 195-217. ISSN 1866-3516

[5] AL-AKHRAS, N. M. *Durability of metakaolin concrete to sulfate attack*, Cement and Concrete Research, 2006, 36(9), 1727-1734. ISSN 00088846
[6] HOU, P. & kol. *Comparison study on the sulfate attack resistivity of cement-based materials modified with nanoSiO$_2$ and normal SCMs: Pore structure and phase composition*, Construction and Building Materials, 2019, 228. ISSN 09500618
[7] KURI, J. C. & kol. *Sulphuric acid resistance of ground ferronickel slag blended fly ash geopolymer mortar*, Construction and Building Materials, 2021, 313. ISSN 09500618
[8] YANG, J. & kol. *Effect of sulfate attack on the composition and micro-mechanical properties of C-A-S-H gel in cement-slag paste: A combined study of nanoindentation and SEM-EDS*, Construction and Building Materials, 2022, 345. ISSN 09500618
[9] FIGALA, P. & kol. *Study of the properties of chemically resistant repair mortar with the use of secondary raw materials*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1209(1). ISSN 1757-8981
[10] OLMSTEAD, W.; HAMLIN, H. *Converting portions of the Los Angeles outfall sewer into a septic tank*, Engineering news, 1900, 44.19: 317-318
[11] PARKER, C. D. *Species of Sulphur Bacteria Associated with the Corrosion of Concrete*, Nature, 159. 1947. ISSN 0028-0836
[12] *Městské standardy vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy: Kanalizační část*, Praha, 2017
[13] *Metodika magistrátu města Brna: Městské standardy pro kanalizační zařízení*, Brno, 2010.
[14] MARCHAND, J. & kol. *Theoretical analysis of the effect of weak sodium sulfate solu-tions on the durability of concrete*, Cement and Concrete Composites. 2002, 24 (3-4), 317-329. ISSN 09589465
[15] 15. SOIVE, Anthony, Emmanuel ROZIERE a Ahmed LOUKILI. *Parametrical study of the cementitious materials degradation under external sulfate attack through numerical modeling*. Construction and Building Materials. 2016, 112, 267-275. ISSN 09500618
[16] BROWN, P.W. *Thaumasite formation and other forms of sulfate attack*, Cement and Concrete Composites, 2002, 24(3-4), 301-303. ISSN 09589465
[17] RAHMAN, M. M.; BASSUONI, M. T. *Thaumasite sulfate attack on concrete: Mechanisms, influential factors and mitigation*, Construction and Building Materials, 2014, 73, 652-662. ISSN 09500618
[18] MYNENI, S. C. B. & kol. *Ettringite solubility and geochemistry of the $Ca(OH)_2.Al_2(SO_4)_3.H_2O$ system at 1 atm pressure and 298 K*, Chemical Geology, 1998, 148 (1-2), 1-19. ISSN 00092541
[19] BROWN, P. W.; BADGER, S. *The distributions of bound sulfates and chlorides in concrete subjected to mixed NaCl, $MgSO_4$, Na_2SO_4 attack*, Cement and Concrete Research, 2000, 30(10), 1535-1542. ISSN 00088846
[20] CLARK, B. A.; BROWN, P. W. *Phases formed during hydration of tetracalcium aluminoferrite in 1.0M magnesium sulfate solutions*, Cement and Concrete Composites, 2002, 24 (3-4), 331-338. ISSN 09589465
[21] AL-AMOUDI, O. S. B. *Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments*, Cement and Concrete Composites, 2002, 24(3-4), 305-316. ISSN 09589465
[22] GOLLOP, R. S.; TAYLOR, H. F. W. *Microstructural and microanalytical studies of sulfate attack. IV. Reactions of a slag cement paste with sodium and magnesium sulfate solutions*, Cement and Concrete Research, 1996, 26(7), 1013-1028. ISSN 00088846
[23] MARDANI-AGHABAGLOU, A. & kol. *Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point*, Construction and Building Materials, 2014, 70, 17-25. ISSN 09500618
[24] IRASSAR, E. F. & kol. *Sulfate attack on concrete with mineral admixtures*, Cement and Concrete Research, 1996, 26(1), 113-123. ISSN 00088846
[25] KOENIG, A. & kol. *Resistance of alkali-activated binders to organic acid attack: Assessment of evaluation criteria and damage mechanisms*, Construction and Building Materials, 2017, 151, 405-413. ISSN 09500618
[26] ROY, D. M, & kol. *Effect of silica fume, metakaolin, and low-calcium fly ash on chemical resistance of concrete*, Cement and Concrete Research, 2001, 31(12), 1809-1813. ISSN 00088846
[27] Ledererova, J. & kol. *Biokorozní vlivy na stavební díla*, 1. ed., Praha: Silikátový svaz, ISBN 978-80-86821-50-4
[28] FEČKO, P. *Environmentální biotechnologie*, Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství, 2004. 179 s. ISBN 80-248-0700-9
[29] FIGALA, P. & kol. *Monitoring of Chemical Resistance of New Grouting Materials*, Key Engineering Materials, 2021, 898, 27-33. ISSN 1662-9795
[30] DIN 19753 *Draft on mortars for construction and rehabilitation sewer systém*, La Plaine Saint-Denis Cedex, 2017

Ing. Petr Figala
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců
figala.p@fce.vutbr.cz

prof. Ing. Rostislav Drochytka CSc., MBA, dr. h. c.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců
drochytka.r@fce.vutbr.cz

Ing. Vít Černý Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců
cerny.v@fce.vutbr.cz

Poděkování

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory z prostředků projektu FAST-J-22-8072 "Vývoj zkušební aparatury pro laboratorní stanovení odolnosti silikátových materiálů vůči působení biogenní kyseliny sírové".

POSOUZENÍ ŠKOD ZPŮSOBENÝCH HAVÁRIÍ TEPLOVODU PRŮMYSLOVÉHO OBJEKTU LUKRA A NÁVRH ŘEŠENÍ

Petr Čeliš

Abstrakt:

Jaký vliv na celkový stav budovy může mít havárie teplovodu, která je objevena až po 3 týdnech? Mohou být 16 let staré hydroizolace a sanační opatření funkční i po takové události? To jsou některé z důležitých otázek, které jsme měli za úkol zodpovědět v rámci zpracování znaleckého posudku. Na základě zjištěných a naměřených dat jsme pak vytvořili i prognózu potenciálních škod v budoucnu a navrhli řešení, jak těmto škodám zabránit.

ÚVOD

Na jaře r. 2022 jsem byl kontaktován vlastníkem budovy, ve které v Rumburku sídlí firma Lukra - Contakt s.r.o. Důvodem byl požadavek na vypracování znaleckého posudku, který by posoudil rozsah škod vzniklých v důsledku havárie teplovodu v bezprostřední blízkosti tohoto objektu.

V r. 2006 prošel objekt částečnou rekonstrukcí, kdy byly v celém 1.PP provedeny sanační omítky a realizována technologie vysoušení zdiva elektroosmózou Matrolan ve 2.PP. O rok dříve byly také v celém 1.PP provedeny nové podlahy včetně nových hydroizolací.

Na základě informací firmy Innogy Česká republika a.s. praskl zhruba 14. 12. 2021 teplovod v těsné blízkosti objektu a do objektu začalo vnikat denně cca 16 - 20 m^3 vody. A protože v budově z důvodu celozávodní dovolené nikdo nebyl, ke zjištění této závady došlo až 4. 1. 2022, kdy se do objektu dostalo již asi 280m^3 vody. Vzniklo tak namáhání 1.PP a sníženého sklepa 2.PP tlakovou vodou, která zde dosahovala výšky cca 50 cm a způsobila výrazné škody jak na obvodovém zdivu, tak na vnitřních stěnách.

Obvodové zdivo bylo v minulosti zasypáno propustnou zeminou a tyto zásypy tlakovou vodu rozvedly po celém obvodu objektu. Zdivo tak bylo namáháno horkou vodou, která byla navíc kontaminována dle zástupce Innogy Česká republika a.s. siřičitanem sodným, fosforečnanem sodným a chloridem sodným.

CÍL POSOUZENÍ

Naším úkolem bylo posoudit vzniklé škody, jejich rozsah, účinnost současných sanačních opatření po zatížení tlakovou vodou a návrh řešení oprav včetně odstranění škod. Zároveň pak na základě zjištěných dat vytvořit prognózu možných škod v budoucnu, pokud se navržená sanační opatření neprovedou případně provedou jen částečně.

ZPŮSOBY POSOUZENÍ

Pro posouzení byla použita následující kombinace metod měření vlhkosti a škodlivých solí:

1. ***Vážková metoda v nezávislé akreditované laboratoři včetně chemického rozboru zdiva***

Dne 1. 3. 2022 byl v objektu proveden odběr 18 vzorků zdiva a bylo zjištěno, že 9 vzorků se pohybovalo v rozmezí zemní vlhkosti **11,2-22,9 %**. Norma ČSN P 730610 specifikuje vysokou vlhkost v hodnotě 10 %.

Obr. 1: Stavba o celkové výměře 751m^2 stojí v Rumburku v Komenského ulici

Obr. 2: Ve 2:PP dosahovala tlaková voda výšky až 50 cm

Nález poměrně přesně identifikuje extrémní hodnotu vlhkosti až o více než 100% vyšší, než je definovaná vysoká vlhkost v normě, přičemž místo s nejvyšší hodnotou vlhkosti je v 1.PP na obvodové zdi, kudy podle svědků havárie došlo k vnikání vody pod tlakem do zděné konstrukce obvodového zdiva. Z tohoto místa pocházely i dva vzorky vyhodnocené na vysokou koncentraci škodlivých solí, konkrétně chloridů a jeden vzorek na zvýšenou koncentraci chloridů.

2. Mikrovlnné měření přístrojem MOIST

Hloubkové měření vlhkosti mikrovlnnou technologií přístrojem Moist 200 bylo v objektu provedeno dne 29. 3. 2022. Při tomto měření se nedestruktivním způsobem měří vlhkost v hloubce zdiva až 25 cm od povrchu stěny.

Výsledky tohoto měření potvrdily extrémně vysokou vlhkost, která byla identifikována již vážkovou metodou a ukázaly, že v některých lokálních místech dosahuje vlhkost v hloubce 25 cm až 21,4%.

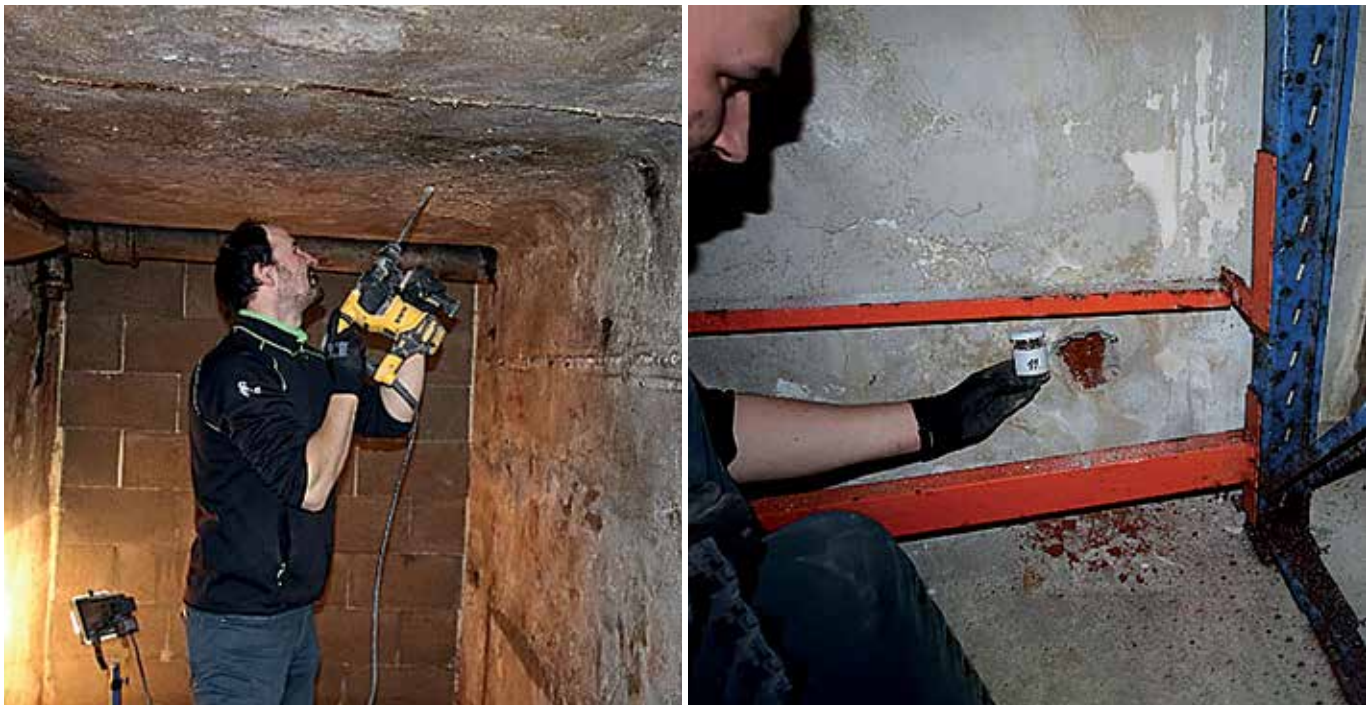
3. Měření relativní vlhkosti a teploty v místnosti

Účelem tohoto měření bylo posouzení, zda je objekt namáhán i kondenzační vlhkostí v prostorách zasažených tlakovou vodou na obvodovém zdivu. Z tohoto měření vyplynulo, že v 1. PP ke kondenzační vlhkosti nedochází (vlhkost se zde pohybovala kolem 50% při teplotách 18 - 19°C), ale v 2.PP ano (hodnoty vlhkosti dosahovaly 90% při teplotách 15 - 16°C).

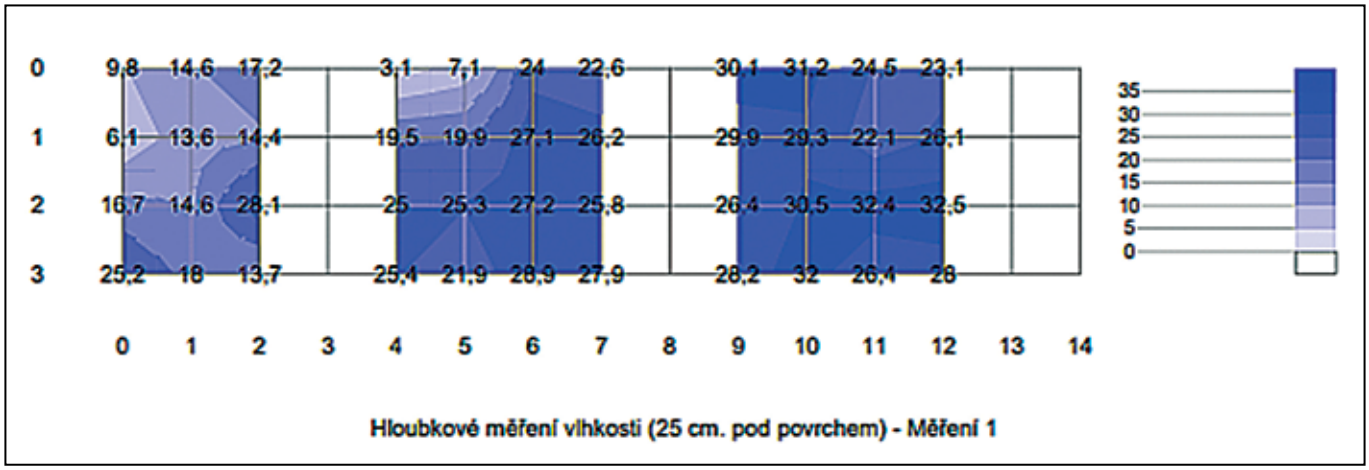
ZJIŠTĚNÁ ÚČINNOST A SPOLEHLIVOST PŮVODNÍCH SANAČNÍCH OPATŘENÍ PO HAVÁRII V R. 2021

Bylo zjištěno, že elektroosmóza Matrolan, jejíž účinnost se měřila přístrojem GANN HYDROMETTE UNI 2 dle metodiky HAMATROL dne 9.9.2022 (tedy 9 měsíců po havárii teplovodu a 16 let po instalaci elektroosmózy), již není funkční, protože v porovnání s měřením ze dne 20.9. 2006 (před původní instalací elektroosmózy Matrolan), došlo ke zvýšení vlhkosti o **15,8 %**.

V porovnání s kontrolním měřením ze 17.10. 2006 (cca 14 dní po původní montáži elektroosmózy) pak dokonce o **23,8 %**.



Obr. 3: Odběr vzorků zdiva vážkovou metodou



Obr. 4: Ukázka výstupu z měření MOIST - Při měření se postupuje šachovnicovitě od shora dolů a zleva doprava. Výstupem je grafické vyjádření průběhu vlhkosti v rovině řezu zdí 25 cm pod povrchem.

Stejně tak byly vlivem tlakové vody a působením škodlivých solí poškozeny i sanační omítky Baurex SMS a Baurex N (dvou komponentní omítky), u kterých lze předpokládat i budoucí degradace vlivem látek, které horká voda z porušeného teplovodu obsahovala (chlorid sodný, fosforečnan sodný, siřičitan sodný).

Důsledky havárie se začínají projevovat i prasklinami a odlupováním omítky na fasádě. Vzhledem k tomu, že vlhkost zděných konstrukcí snižuje mechanické vlastnosti, především pevnost v tlaku a analýzou vzorků byly zjištěny hodnoty vlhkosti ve zdivu až 22 %, může za určitých podmínek docházet i ke statickým poruchám.

NÁVRH ŘEŠENÍ OPRAV A ODSTRANĚNÍ ŠKOD

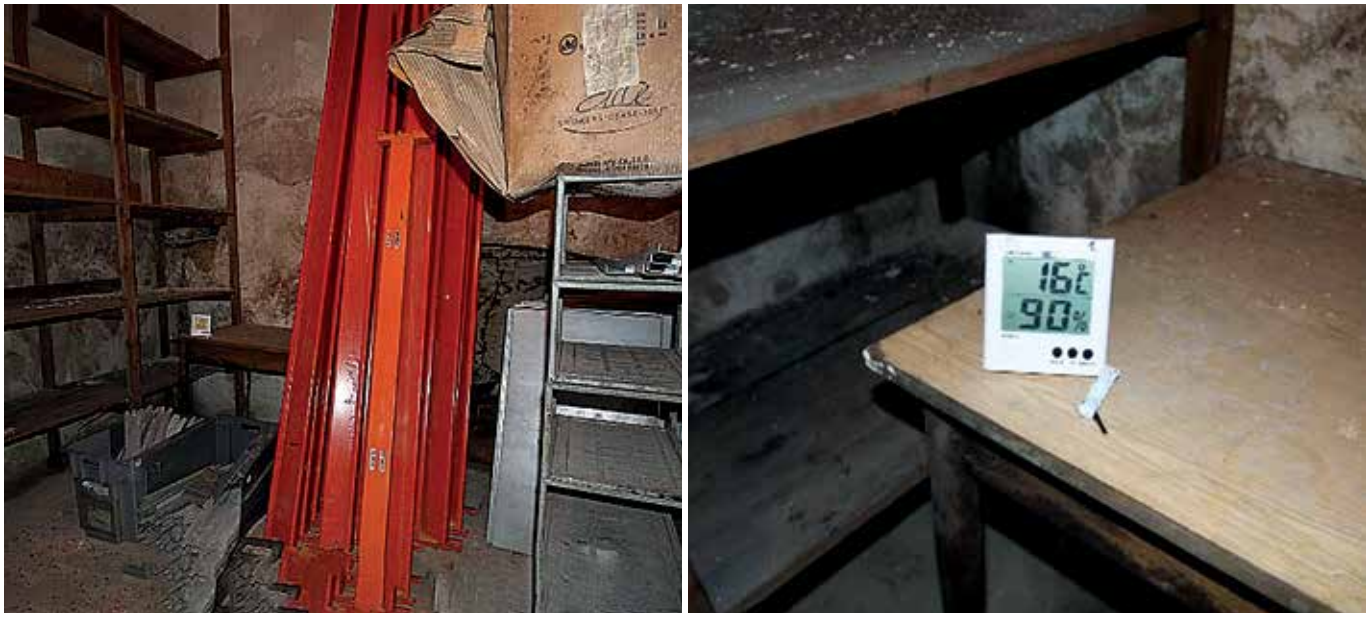
Byla navržena celkem 3 sanační opatření:

1. Zvýšení účinnosti a kapacity v oblasti odstranění příčiny zemní vlhkosti pomocí pulsní elektroosmózy PU AKJI ECBS2.

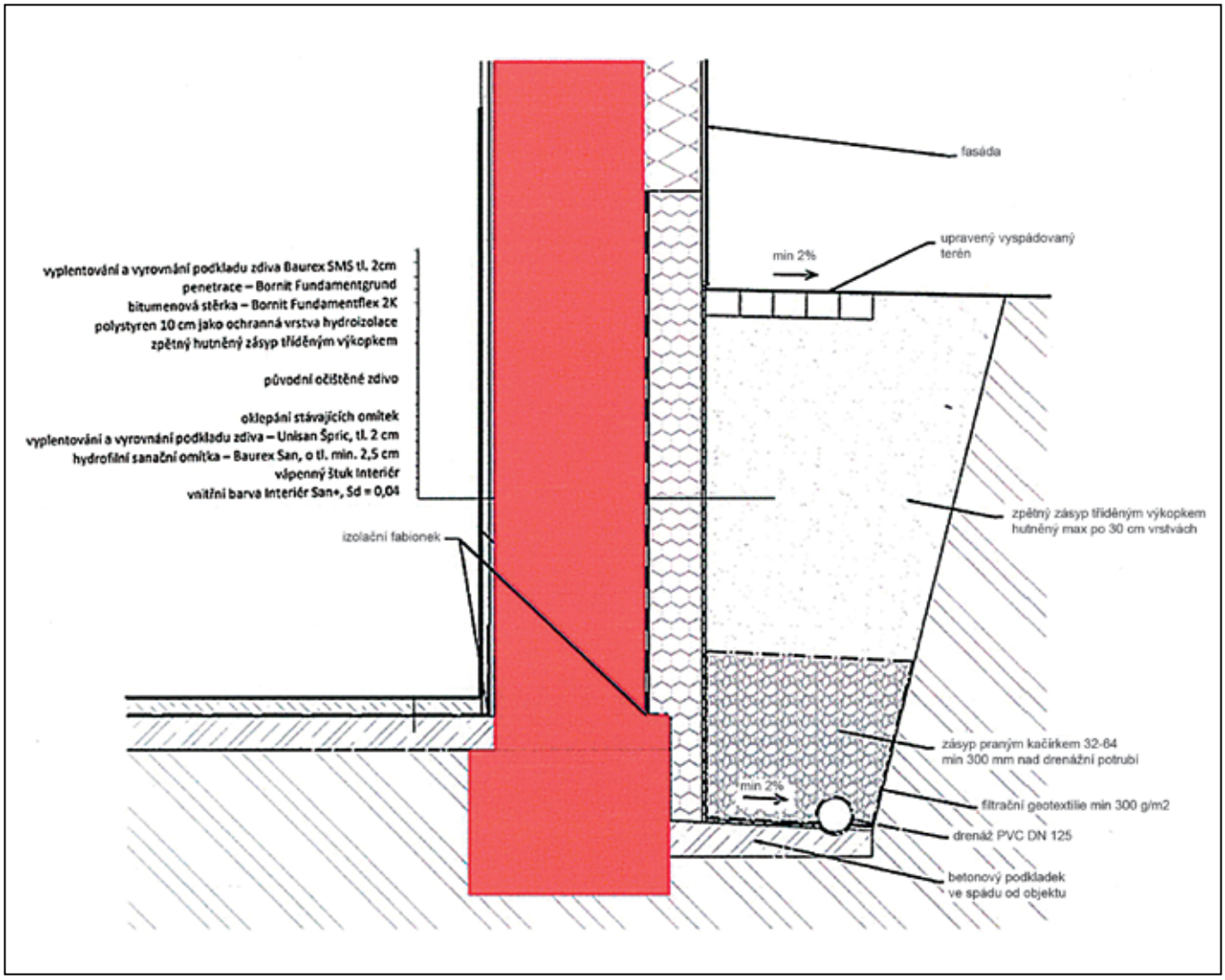
Technologie funguje tak, že se střídá pulzující jednosměrné elektrické pole s obdobím nečinnosti. Pulzující jednosměrné elektrické pole se skládá z impulzu kladného napětí, následovaného pulzem záporného napětí. Potom následuje období klidu, kdy se nepoužívá žádné napětí. Z těchto tří sekvencí má kladný napěťový impulz nejdelší dobu trvání a způsobuje, že kationty a spojené molekuly vody se mohou pohybovat ze suché strany (od anody) směrem k mokré straně (katodě), proti směru proudění vyvolaného hydraulickým gradientem, čímž se zabrání pronikání vody skrze konstrukci.

2. Odstranění příčiny boční vlhkosti ve vertikálním směru pomocí hydroizolační dvou komponentní stěrky Bornit Fundamentflex 2K.

Bornit Fundamentflex 2K je dvousložkový, polystyrenem plněný a polymerem modifikovaný živičný silnovrstvý nátěr (PMBC), který po proschnutí tvoří pevný a zároveň vysoce flexibilní základový nátěr odolný vůči všem agresivním látkám vyskytujícím se v přírodní zemině.



Obr. 5: Ukázka z měření relativní vlhkosti ve 2.PP



Obr. 6: Navržení svislých hydroizolací Fundamentflex 2K a sanačních omítek Baurex-SAN

3. Odstranění důsledků zemní vlhkosti a škodlivých solí pomoci kapilárně aktivních, hydrofilních sanačních omítek.

V tomto případě byla navržena sanační omítka Baurex-SAN - jednovrstvá, jednokomponentní, hydrofilní jádrová sanační omítka s tepelně-izolačními a sušícími účinky na bázi hydraulického vápna určená pro povrchovou úpravu stěn ve vnitřním prostředí.

První a třetí sanační opatření jsou navržena, protože ta současná již v důsledku havárie nejsou funkční.

Druhé sanační opatření chrání vlastníka objektu před dlouhodobým zatížením zemní vlhkostí a vznikem možných dalších škod, zároveň chrání budoucího zhotovitele oprav a nových sanačních prací v záruční době. Pokud se totiž v tomto stavu neprovede posílení technologie v oblasti oprav a sanačních prací, hrozí riziko, že vlastníkovi objektu vzniknou dodatečně další škody, které dnes ještě nelze prokazatelně identifikovat a které by však později nebylo možné uplatnit v rámci reklamace.

ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ

Objekt v současném stavu čelí od doby havárie teplovodu již více než 10 měsíců:

- tlakové kontaminované vodě
- extrémním hodnotám vlhkosti zděné konstrukce zdiva při přesahující o více než 100% maximální hodnotu vysoké vlhkosti 10 % podle ČSN P 730610
- vysokým koncentracím škodlivých solí převážně chloridu sodného NaCl, fosforečnanu sodného Na_3PO_4 a siřičitanu sodného Na_2SO_3.

Porovnáním dříve naměřených a současných dat bylo zjištěno, že elektroosmóza Matrolan zprovozněná v r. 2006 neplní svoji úlohu a je nefunkční. Zděná konstrukce není vysoušena a dochází ke škodám.

V případě, že se neobnoví nefunkční sanační opatření z roku 2006 a neposílí se dalšími navrhovanými metodami pro komplexní sanaci vlhkého zdiva, bude objekt vystaven dalším možným škodám v budoucnosti, které již nebude možné uplatnit a majitel objektu bude vystaven riziku, že na provedené pouze částečné sanační práce nebude schopen žádný kompetentní dodavatel poskytnout záruku.

Ing. Petr Čeliš
jednatel společnosti
soudní znalec v oblasti sanace
a hydroizolace staveb
Realsan Group s.r.o.
Pálkova 1416/2, 460 01 Liberec
www.realsan.cz

CHOVÁNÍ DŘEVO-CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ PŘI ROZDÍLNÉ VZDUŠNÉ VLHKOSTI

BEHAVIOUR OF WOOD-CEMENT COMPOSITES AT DIFFERENT ATMOSPHERIC HUMIDITY

Silvestr Vasas, Tomáš Melichar, Šárka Keprdová, Jiří Bydžovský, Pavel Schmid

Abstrakt:

Článek prezentuje výzkum zaměřený na změny chování dřevo-cementových kompozitů (cementotřískových desek) při kolísající vzdušné vlhkosti. Chování těchto kompozitů do značné míry ovlivňují stabilizované smrkové třísky. Nepřímo byl analyzován vliv stabilizace smrkových třísek z hlediska rozdílného složení matrice kompozitů. Konkrétně byly testovány 3 varianty (portlandský, struskoportlandský a struskoportlandský cement modifikovaný škvárou). Bylo zjištěno, že stanovené sorpční izotermy prokázaly rozdílné chování desek během nárůstu a poklesu okolní vzdušené vlhkosti, které byly desky vystaveny vždy po takovoudobu, aby došlo k ustálení jejich hmotnosti. Složení směsi pro výrobu cementotřískových desek má vliv mimo jiné i na stabilizaci smrkových třísek, což se projevilo při testování hygroskopicity desek.

Abstract:

This paper presents research focused on changes in the behavior of wood-cement composites (cement-bonded particleboards) with fluctuating atmospheric humidity. The behavior of these composites is largely influenced by stabilized spruce chips. The influence of the stabilization of spruce chips was indirectly analyzed in terms of the different composition of the matrix of the composites. Specifically, 3 variants were tested (Portland, Portland blast furnace slag and Portland blast furnace slag cement modified with power plant slag). It was found that the determined sorption isotherms showed a different behavior of the plates during the rise and fall of the ambient atmospheric humidity, which the plates were always exposed to for such a period of time that their weight stabilized. The composition of the mixture to produce cement-bonded particleboards has an effect, among other things, on the stabilization of spruce chips, which was shown when testing the hygroscopicity of the boards.

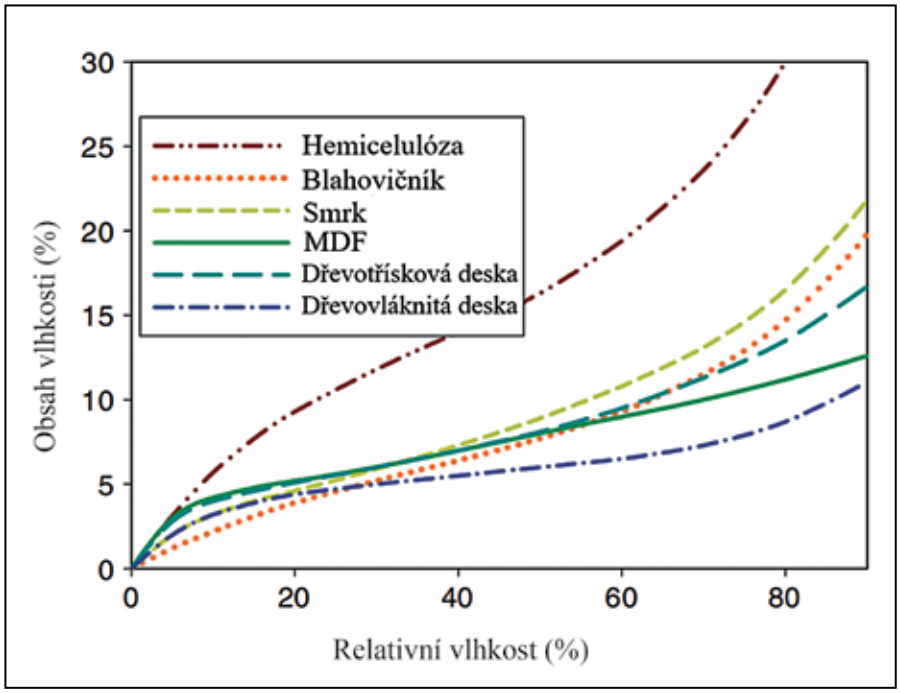
Key words: *Building material; Cement-bonded particleboard; Slag; Composition; Modification; Stabilisation; Humidity*

1. ÚVOD

Cementotřískové kompozity jsou tvořeny ze smrkových třísek a cementu, které jsou spojeny dohromady pomocí cementového tmelu. Běžně se používá ve stavebnictví jako podlahové systémy, obložení stěn, střešní krytina, protipožární aplikace, podhledy, ztracená bednění a další. Cementotřískové kompozity si v poslední době získaly popularitu díky své pevnosti, trvanlivosti, požární odolnosti a udržitelnosti. V konstrukci jsou cementotřískové kompozity vystaveny kontaktu s vlhkostí, které májí negativní vliv na vlastnosti dřevní hmoty. Dochází u nich ke změně jak fyzikálních, tak chemických vlastností. Důležitými parametry jsou pro nás pevnostní charakteristiky, pružnost a změna rozměru (objemu).

Dřevo se skládá z celulózy, hemicelulózy, ligninu a příp. dalších minoritních složek. Některé složky dřeva do určité míry mohou negativně ovlivnit vlastnosti dřeva (viz Obr. 1) a tím i cementotřískového kompozitu. Proto je vhodná úprava vlastností, resp. složení dřeva je nutné upravit. Tato „úprava" se nazývá mineralizace, která nevratně změní strukturu a chemické složení dřeva. Tato změna může docílit zejména k odstranění hemicelulózy, změně struktury celulózy nebo depolymerace uhlovodíků s dlouhými řetězci a ligninu. Hemicelulóza je problematická nejen z hlediska absorpce zvýšeného množství vody, ale také kvůli negativnímu vlivu během zrání cementové matrice. Máme několik typů mineralizací například: mechanickou, chemickou, tepelnou, hydrotermální a biologickou. Hlavním cílem je zlepšit odolnost proti absorpci vody a zvýšit rozměrovou stabilitu.

Výrobu cementotřískových desek lze shrnout do několika bodů. Úprava dřevěné kulatiny na třísky. Smíchání třísek s portlandským cementem CEM I 42,5 R (nebo portlandským směsným cementem CEM II 42,5 R), hydratačními přísadami a vodou. Po mísení je směs dávkována na vrstvící linku. Vrchní a spodní vrstva obsahuje jemné třísky pro hladší povrch, zatím co jádrová vrstva obsahuje třísky hrubší pro lepší mechanické vlastnosti. Takto navrstvená směs je štosována na ocelových plátech, které jsou následně transportovány do lisu. Hydraulickým lisem je navrstvená směs stlačena na 1/3 sypané tloušťky. Po slisování probíhá proteplení desek v parní komoře po dobu 8 hodin při teplotě 60 °C a relativní vlhkosti 95 %.



Obr. 1: Sorpční izoterma hemicelulózy, vybraných dřevin a dřevotřískových desek [1]

Tímto jsou dosaženy manipulační pevnosti. Po vytvrzení putují do klimatizační komory na 7 dní. Desky se potom vysuší na vlhkost max. 9 % a formátují na požadovanou velikost.

2. VSTUPNÍ SUROVINY, NAVRŽENÉ HMOTY A METODIKA EXPERIMENTŮ

Cementotřískové desky pro experimenty byly vyrobeny v závodu spol. CIDEM Hranice, a.s. Referenční receptury se skládaly z 63 % dřeva ve formě třísek, 25 % portlandského cementu nebo cementu směsného (CEM I 42,5 R a CEM II 42,5 R), 10 % vody a 2 % hydratačních přísad [2.]. Dále byla navržena receptura s přidáním teplárenské škváry z lokality Oslavany, která byla pomleta na měrný povrch cca 500 m^2/kg. U této receptury byl nahrazen portlandský směsný cement v 10 %. Pro výzkum byly navrženy tyto receptury:

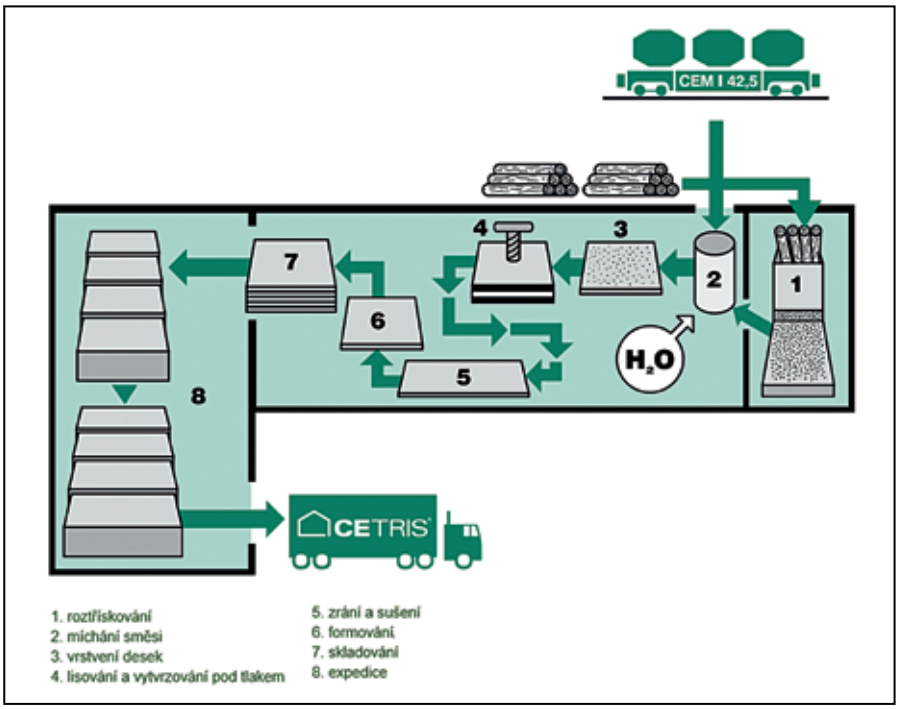
- Receptura Po - standardní referenční receptura na bázi portlandského cementu CEM I 42,5 R;
- Receptura Sm - receptura na bázi směsného portlandského cementu CEM II 42,5 R;
- Receptura Sm/Šk - receptura na bázi směsného portlandského cementu CEM II 42,5 R a jemně mleté teplárenské škváry (10% náhrada cementu);

Škvára vznikala v dnes již bývalé černouhelné elektrárně Oslavany, kde byla odkládána na haldu. Je to jeden z mnoha použitelných vedlejších produktů. Využití ve stavebnictví má jako částečná náhrada křemičité nebo cementové složky. U cementotřískových desek má možnost zlepšit pevnost, trvanlivost, snížit cenu a snížit dopad na životní prostředí.

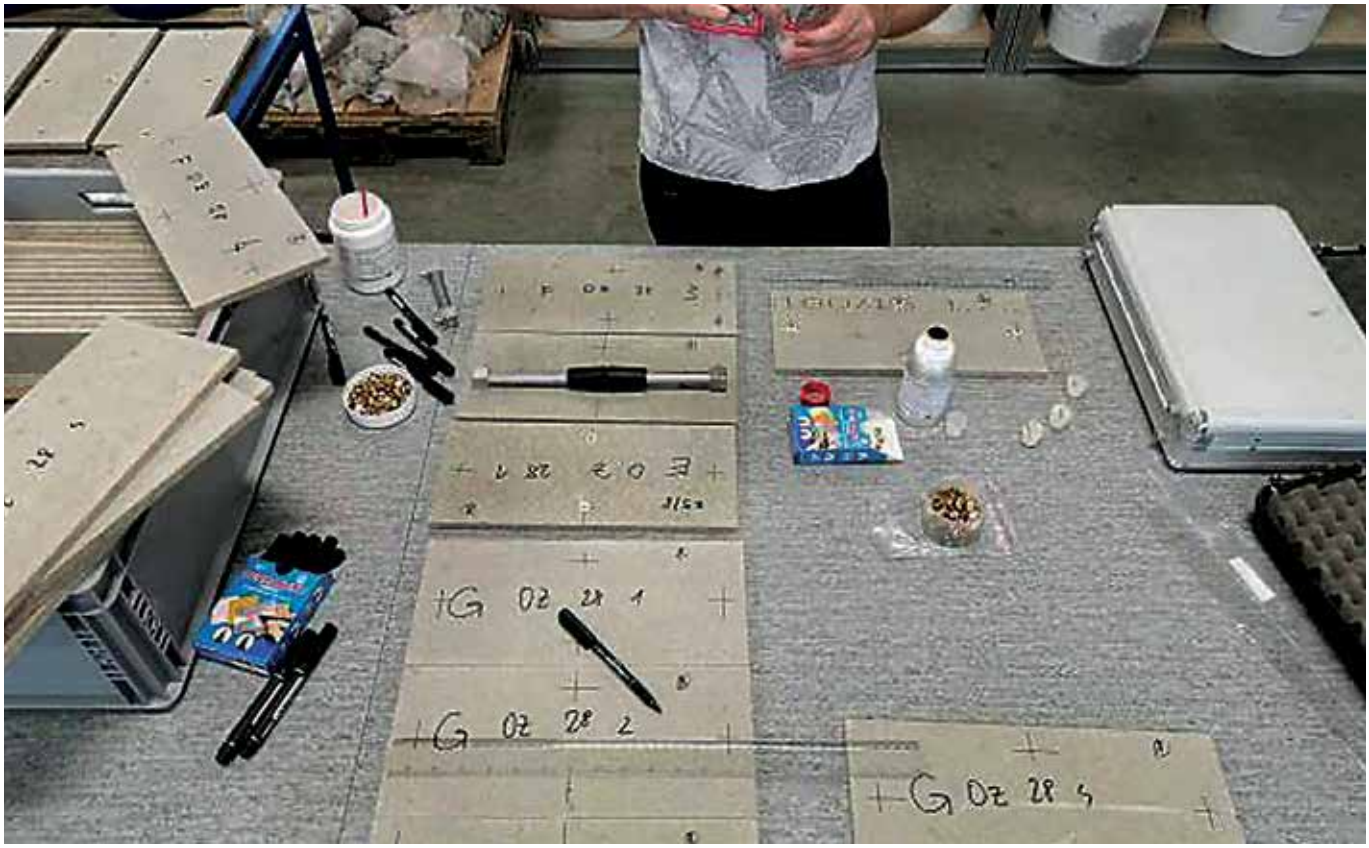
Zkušební postup byl inspirován technickou normou ČSN EN 318, která definuje tělesa o rozměrech (300 ± 2) mm × (50 ± 2) mm × t. Pro účely experimentu byl postup modifikován tak, že byla použita zkušební tělesa o rozměrech lépe charakterizující reálně používané cementotřískové desky ve stavebních konstrukcích. Cementotřískové kompozity byly vyrobeny o rozměrech 350 mm × 150 mm × 12 mm. Od každé receptury byla připravena 4 tělesa pro každý sledovaný parametr.

Norma ČSN EN 318 specifikuje podmínky stanovení adsorpce v rozmezí relativní vlhkosti 65 % až 85 % a desorpce pak v intervalu 65 % až 30 %. Tyto hranice byly upraveny pro detailnější popis a pochopení chování desek při větším rozsahu změn relativní vlhkosti. Konkrétně probíhalo testování v intervalech po 10 % změně relativní vlhkosti v rozmezí 0 % (vysušená tělesa) až 90 %, resp. 96 %. Z takto stanovených hodnot (rozměry, hmotnosti atd.) byly vytvořeny sorpční izotermy vždy pro jednotlivý sledovaný parametr. Vlastnosti byly při každé změně relativní vlhkosti stanoveny až po ustálení hmotnosti zkušebních těles. Stav zkušebního tělesa se považuje za ustálený, pokud se hmotnost neliší o více jak 0,1 % po 24 hodinách (2 po sobě následující stanovení).

Měření objemových změn bylo provedeno mechanickým dilatometrem pomocí mosazných terčů s kuželovými otvory pro umístění hrotů dilatometru.



Obr. 2: Zjednodušené schéma výrobního postupu [3]



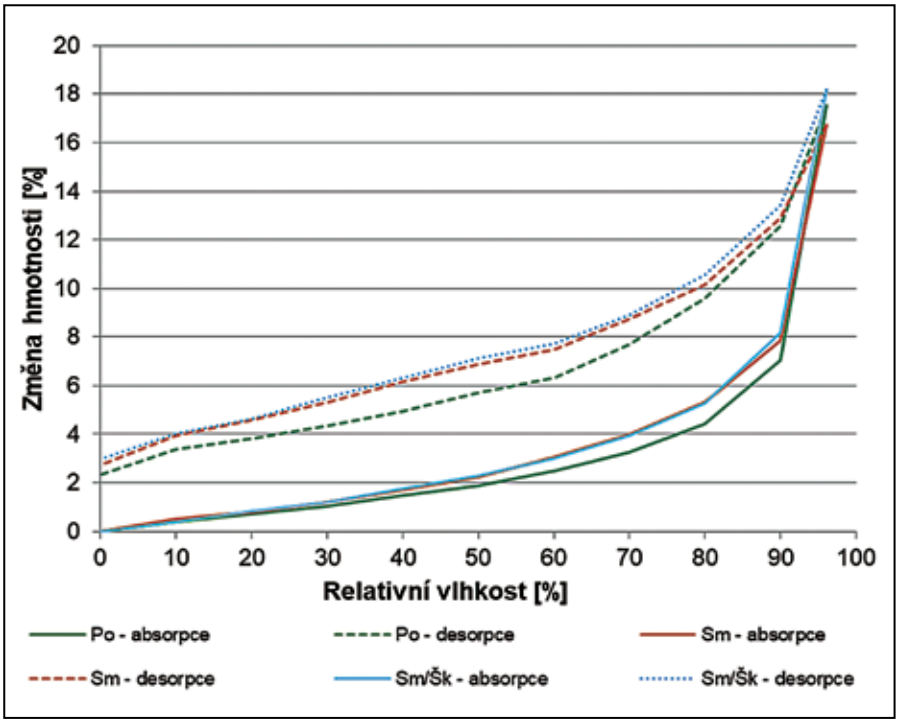
Obr. 3: Příprava zkušebních těles pro testování objemových změn vlivem kolísání vzdušné vlhkosti [4]

Terče byly fixovány lepidlem na přesně vyměřená místa ve vzdálenosti 300 mm pro vzdálenost ve směru délky a 100 mm pro vzdálenost ve směru šířky tělesa. Přesnost měření byla 0,001 mm.

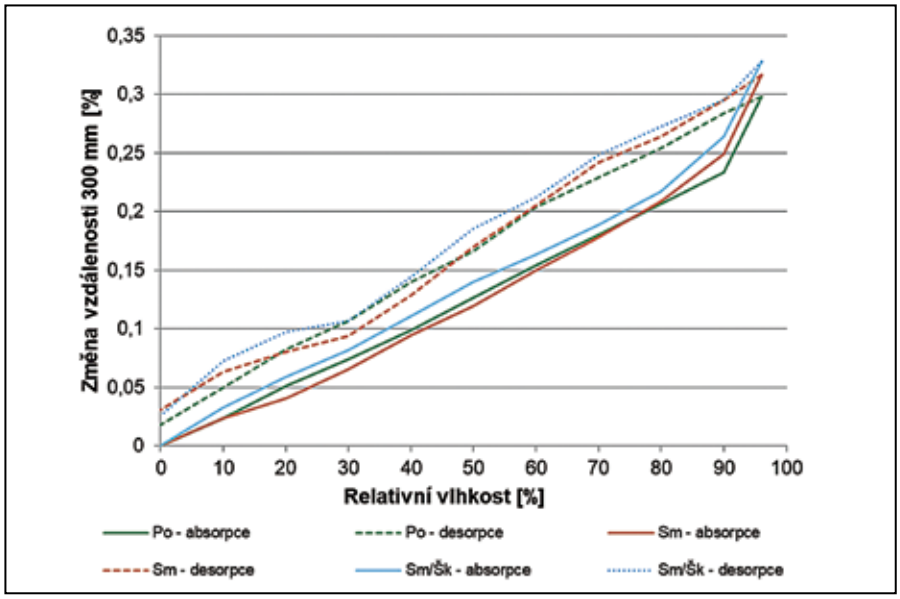
3. VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE

Vlivem změn relativní vlhkosti vzduchu došlo k absorpci a desorpci, kdy v případě parametru hmotnosti byly zaznamenány nejvýraznější změny, tj. až přibližně 18 %. Výsledky poukazují na skutečnost, že vliv složení není z hlediska hygroskopicity zanedbatelný. Nejlépe je možné hodnotit desky Po, tj. referenční na bázi portlandského cementu. Naopak nejvýrazněji se proměnlivá relativní vlhkost projevila změnou hmotnosti u desek obsahujících teplárenskou škváru (Sm/Šk). Z grafu (viz Obr. 4) je také patrné, že k nejvyššímu nárůstu hmotnosti došlo při relativní vlhkosti 80 % a více. Trendy sorpčních křivek jsou podobné, ale lze si všimnout rozdílů, což je charakterizováno hysterezí, kdy určité množství vody se ze vzdušné vlhkosti do struktury cementotřískových desek naváže (v rozmezí 2,3 % až 3,1 %) a ani při vysušení tato vlhkost není odbourána.

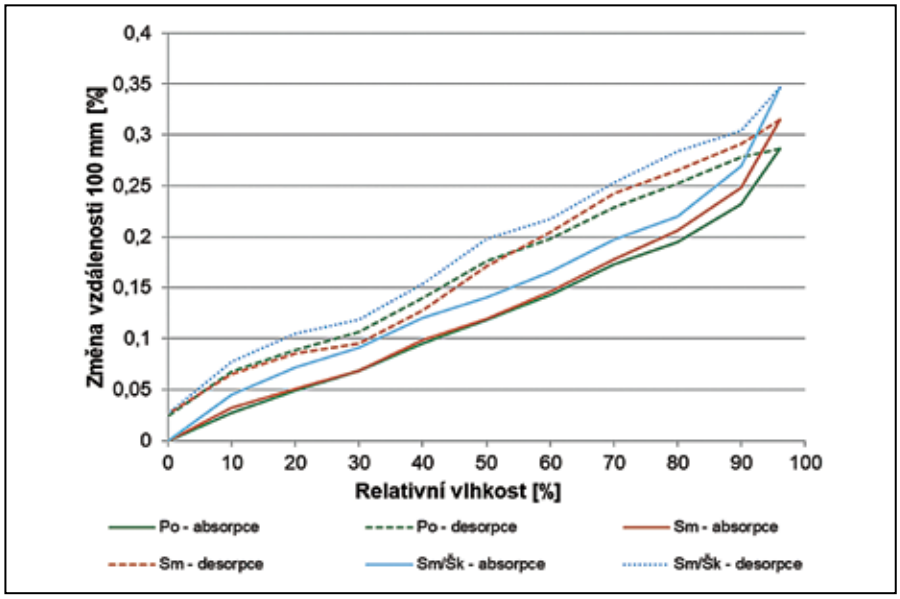
Dalším sledovaným a hodnoceným parametrem byly rozměrové změny v podélném směru desek na úsečkách definovaných mosaznými terči vzájemně vzdálenými 300 mm, a to na rubové i lícové ploše. Dále v grafu (viz Obr. 5) jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty pro každou sadu. Nejlépe lze s maximální změnou v lineárním směru hodnotit desky Po, tj. 0,30 %. Naopak nejvíce podléhaly změnám relativní vlhkosti desky Sm/Šk tj. 0,33 %. Sorpční křivky



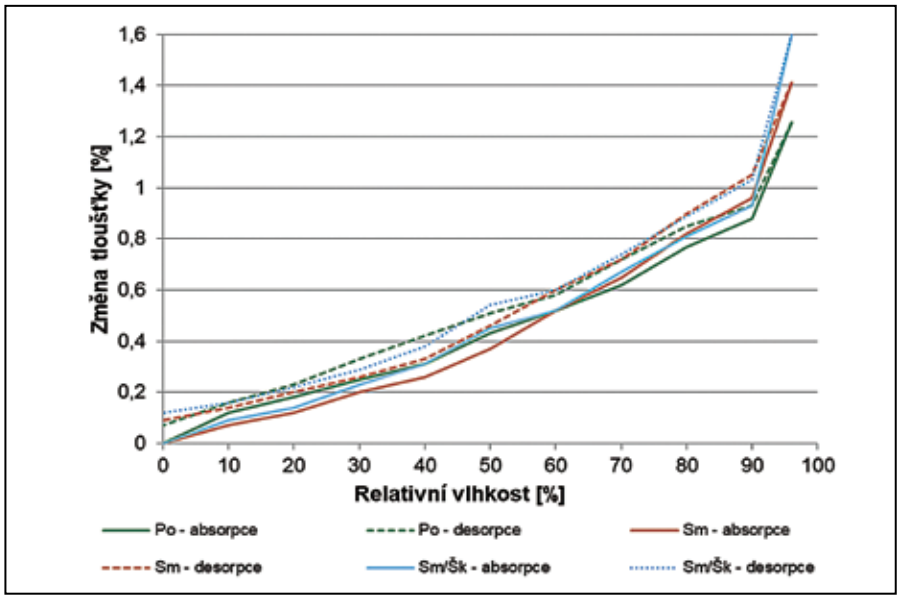
Obr. 4: Sorpční křivka - změna hmotnosti



Obr. 5: Sorpční křivky - změny stanovené dilatometrem ve směru délky



Obr. 6: Sorpční křivky - změny stanovené dilatometrem ve směru šířky



Obr. 7: Sorpční křivky - změny stanovené mikrometrem ve směru tloušťky

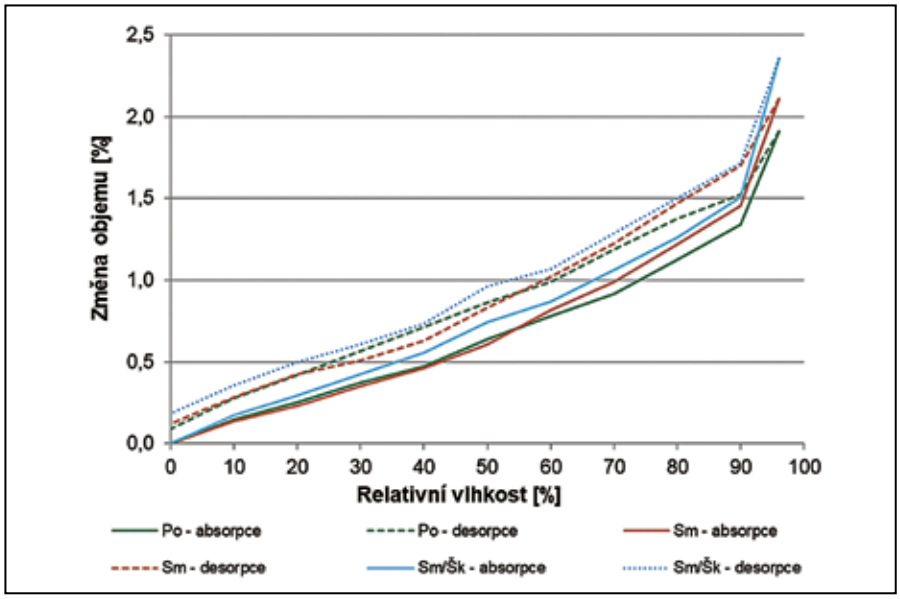
jsou poměrně plynulé, až na nárůst z 90 % na 96 %. Zde je patrná strmější expanze v podélném směru, a to u všech receptur.

Posuzovaným parametrem byly také rozměrové změny v příčném směru desek na úsečkách definovaných mosaznými terči vzájemně vzdálenými 100 mm a to na rubové i lícové ploše. Dále v grafu (viz Obr. 6) jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty pro každou sadu. Trendy vyhodnocených křivek prokazují podobnost průběhu lineárních změn testovaných desek v příčném směru. Nejlépe lze s maximální změnou v příčném směru hodnotit desky Po, tj. 0,29 %. Naopak nejvíce podléhaly změnám relativní vlhkosti desky Sm/Šk tj. 0,35 %.

Rozměrové změny ve směru tloušťky dosahují nejvyšších změn (viz Obr. 7). Z hlediska rozměrových změn a jejich vzájemných rozdílů je podstatná orientace smrkových třísek v cementotřískových deskách. Poměrně názorně je toto popsáno v [5.]. Autoři uvádí CT snímky, které prokazují orientaci radiálního a tangenciálního směru třísek převážně kolmo na rovinu desky, čímž lze zdůvodnit největší rozměrové změny právě ve směru tloušťky. Významné rozměrové, resp. objemové změny dřeva v radiálním a tangenciálním směru zkoumali a zjistili autoři v [6.][7.].

V případě všech testovaných receptur se největší změna odehrává v rozmezí relativní vlhkosti 90 % a 96 %, kdy maximální stanovená změna tloušťky byla 1,6 % (receptura Sm/Šk). Nejlépe je možné hodnotit opět referenční desky Po, tj. změna 1,3 %. Je ovšem patrné, že rozdíly nejsou v porovnání s ostatními změnami rozměrů tolik patrné. Jev hystereze se u tloušťky projevil přibližně dvojnásobně v porovnání s ostatními hodnocenými změnami rozměrů.

Sorpční izotermy charakterizující změny objemu (viz Obr. 8) dosahují maxima při vystavení desek relativní vlhkosti 96 %. Maximální expanzní změny se pohybují v rozmezí 1,9 % až 2,4 %, kdy hystereze nepřesahuje 0,18 %. Z průběhu křivek je zřejmé, že nejlépe odolné vůči změnám relativní vlhkosti jsou desky referenční, tj. Po. Nejvýraznější změny objemu lze zpozorovat u receptury s použitím škváry Sm/Šk. Náhrada cementu teplárenskou škvárou má nejvýrazněji negativní vliv na chování desek za proměnlivých vlhkostních podmínek.



Obr. 8: Sorpční křivky - změny objemu

Výsledky poukazují na skutečnost, že složení cementotřískových desek dokáže výrazně ovlivnit jejich hygroskopicitu, což souvisí s chováním desek a změnami jejich vlastností, především objemových změn za proměnlivé relativní vlhkosti okolí. Nejvíce rezistentní vůči objemovým a hmotnostním změnám je standardně vyráběná cementotřísková deska na bázi portlandského cementu (receptura Po). Nejvíce naopak podléhají změnám desky obsahující teplárenskou škváru cementotřískových desek jako substituenty primárních složek směsi. Nejvýraznější změny byly ze sledovaných parametrů zaznamenány v případě hmotnosti (v porovnání se změnami jednotlivých rozměrů a objemu). Hystereze dřeva byla zaznamenána kolem 0,1 % změny objemu. Složení směsi pro výrobu cementotřískových desek má vliv mimo jiné i na stabilizaci smrkových třísek, což se projevilo při testování hygroskopicity desek.

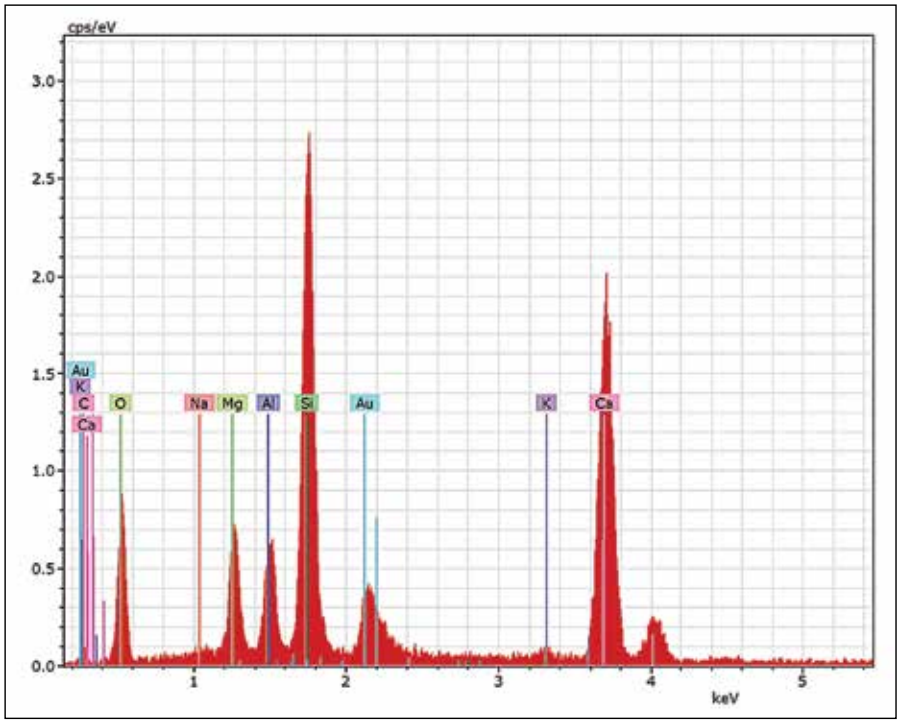
Bylo potvrzeno, že teplárenská škvára z Oslavan se projeví převážně jako inertní plnivo bez aktivního zapojení do hydratačních reakcí. Toto také souvisí se stabilizací smrkových třísek, což se projevilo výraznějšími rozměrovými, resp. objemovými změnami (sorpční izotermy - viz Obr. 8). Níže na snímku (Obr. 9) je zachyceno zrno škváry, což bylo potvrzeno i prvkovou analýzou (viz Obr. 10). Jak je patrné ze snímku, kde je zachycena mikrostruktura desky Sm/Šk po vystavení zvýšené vlhkosti, matrice se jeví jako značně hutná a kompaktní.

4. ZÁVĚR

V návaznosti na dosažené výsledky je patrné, že složení cementotřískových desek ovlivňuje jejich hygroskopicitu, což souvisí s chováním desek a změnami jejich vlastností, především objemových změn za proměnlivé relativní vlhkosti okolí. Složení matrice cementotřískových desek má také mimo jiné vliv na stabilizaci obsažených smrkových třísek.

Stanovené sorpční izotermy prokázaly rozdílné chování desek během nárůstu a poklesu okolní vzdušené vlhkosti, které byly desky vystaveny vždy po takovou dobu, aby došlo k ustálení

Obr. 9: Mikrostruktura desky Sm/Šk před (vlevo; s vyznačením lokality prvkové analýzy) a po (vpravo) vystavení proměnlivé relativní vlhkosti okolí



Obr. 10: Prvková analýza (lokalita - viz Obr. 9, vlevo)

jejich hmotnosti. Výsledky a zjištěné poznatky prokazují či poukazují na následující skutečnosti:

- Nejvíce rezistentní vůči objemovým a hmotnostním změnám je standardně vyráběná cementotřísková deska na bázi portlandského cementu (receptura Po).
- Nejvíce naopak podléhají změnám desky obsahující teplárenskou škváru jako substituent primárního pojiva směsi.
- Nejvýraznější změny byly ze sledovaných parametrů zaznamenány v případě hmotnosti (v porovnání se změnami jednotlivých rozměrů a objemu).
- Stanovené diference mezi jednotlivými recepturami nejsou příliš výrazné, což přibližně koresponduje s kompatibilitou a množstvím surovin ve směsi pro výrobu cementotřískových desek.
- Hystereze byla zaznamenána kolem 0,1 % změny objemu, což je v porovnání s výsledky prezentovanými jinými autory mírně nižší hodnota. Jednalo se ale o desky s vyšším obsahem alternativních složek a mnohdy i složek nižší kvality (např. odpadní papír [7.], atd.).
- Složení směsi pro výrobu cementotřískových desek má vliv mimo jiné i na stabilizaci smrkových třísek, což se projevilo při testování hygroskopicity desek.

5. LITERATURA

[1] Manuel Raul Pelaez-Samaniego, Vikram Yadama, Eini Lowell, Raul Espinoza-Herrera, A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties, Wood Science technologie (2013) 47: str. 1285-1319

[2] Cetris. [online]. [2013-12-14]. Dostupné z: https://cetris.lmcore.cz/

[3] Cetris. [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: http://www.cetris.cz/pagedata_cz/download/511_ppp_kap-02.pdf

[4] Vasas, S. Změny vlastností cementotřískových desek vlivem kolísání vzdušné vlhkosti. Brno, 2023. 73 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

[5] Melichar, T., Meszarosova, L., Bydzovsky, J. et al. The effect of moisture on the properties of cement-bonded particleboards made with non-traditional raw materials. J Wood Sci 67, 75 (2021). https://doi.org/10.1186/s10086-021-02008-z

[6] Eleni Makarona, Chara Koutzagioti, Constantinos Salmas, George Ntalos, Maria-Christina Skoulikidou, Christos Tsamis, Enhancing wood resistence to humidity with nanostructured ZnO coating, Nano-Structures & Nano-Objects 10 (2017) str. 57-68.

[7] Zongying Fu, Yongdong Zhou, Xin Gao, Honghai Liu, Fan Zhou, Changes of water related properties in radiata pine wood due to heat treatment, Construction and building materials 227 (2019) 116692

[8] Joseph Adeola Fuwape, James Sunday Fabiyi, Edward Olusola Osuntuyi. Technical assessment of three layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. Waste Management 27 (2007) 1611-1616

Ing. Silvestr Vasas
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební,
Ústav stavebního zkušebnictví,
Veveří 331/95, 602 00 Brno
xvasas00@vutbr.cz

Ing. Tomáš Melichar, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců
Veveří 331/95, 602 00 Brno
melichar.t@fce.vutbr.cz

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců
Veveří 331/95, 602 00 Brno
bydzovsky.j@fce.vutbr.cz

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební
Ústav stavebního zkušebnictví,
Veveří 331/95, 602 00 Brno
schmid.p@vutbr.cz

Ing. Šárka Keprdová, Ph.D
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců,
Veveří 331/95, 602 00 Brno
keprdova.s@fce.vutbr.cz

Poděkování

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory projektu GA ČR číslo 22-06991S s názvem „Stabilizace vlastností a struktury smrkového dřeva s ohledem na trvanlivost dřevo-cementových kompozitů".

VÝVOJ SILIKÁTOVÝCH KOMPOZITŮ S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH VLÁKEN

DEVELOPMENT OF COMPOSITES ON SILICATE BASE WITH NATURAL DISPERSED REINFORCEMENT

Jitka Peterková, Jiří Bydžovský, Jiří Zach, Azra Korjenic

Abstract:

For decades, it has been a general trend in industries to develop new products which do not cause damage to the environment. In civil engineering specifically, since the end of the 20th century there has been a significant increase in demand for natural materials which put only minimal strain on the environment. Whether that means obtaining raw materials, the production technology itself or the final function in a structure. It is also necessary to take into account recycling or utilising at the end of its service life. From this perspective, it appears ideal to use natural fibrous materials which were widely used in the past. Buildings with such materials are still in existence and they still perform their thermal insulation and protective function very well. They are most commonly encountered as thermal insulation materials or plaster reinforcement.

This paper deals with the development of thermal insulation plasters using natural fibres. They are beneficial for the society in terms of energy savings during heating of buildings and also in terms of their positive influence on the environment. These plasters were designed with regard to their environmental impact. Next to traditional materials, less common material sources were used in order to reduce the environmental footprint of the final products. The goal was to design suitable mixtures with subsequent examination of their basic physical, thermal insulation and mechanical properties including the study of their hygrothermal behaviour.

Key words: *plasters, thermal insulation materials, natural fibres, hygrothermal behaviour*

1. INTRODUCTION

In recent decades there has been an observable return towards traditional natural materials which were used in the past and stood behind the construction of first human dwellings or heritage buildings. If we look back at the history of plasters, the most common ones were clay or lime-based [1, 2]. Lime-based mortars had been used for centuries as binders in ancient structures, e.g. even the pyramids in Egypt [4]. Natural fibres were often used, whether plant- or animal-based, as reinforcement. It was most commonly human or animal hair or, in case of plant fibres, reed, hemp, flax, straw, hay, sisal and many other, easily and locally accessible resources [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. As society and material science developed, these plasters were gradually replaced with plasters based on Portland cement in 1960s. Natural fibres were substituted with polymer fibres. Commonly used synthetic fibres are mainly polypropylene, polyamide, polyacrylonitrile and many other polymers [4]. However, these fibres put strain on the planet. They are either non-biodegradable or very slowly biodegradable with degradation time of several decades and are often made from non-renewable material resources, mostly petroleum [4].

The current trend of developing "green materials" in civil engineering often involves a return to original materials used in history that were able to perform their function for many years. Today, thanks to scientific and technological progress, these materials can be made even more effective, especially in terms of their design for specific application. This requires many essential experimental measurements and practical verification of their function. Specifically, the development of lime-based plasters, where cement is partly or completely replaced by other binders, is being addressed by research teams around the world. For instance, Ashurst J. and Ashurst N. claim the optimal ratio of lime to cement to be 1:1 or 2:1 in plasters designed for building reconstruction or rehabilitation [13]. A group of authors Vejmelková, Koňáková, Čáchová, Keppert, Černý, Rovnaníková and Keršner deal with research and development of plasters using alternative binders, especially metakaolin [14, 15]. According to Arioglu N. and Acun S., plasters suitable for building rehabilitation are ones with ratio metakaolin:lime to be 1:3 [16]. It is generally known that lime plasters produce an agreeable humidity microclimate inside buildings which has an influence on the health of inhabitants. However, it is necessary to take into account a possible downside, which is plastic shrinkage of these plasters [5]. An important breakthrough for preventing the occurrence of microcracks is the use

of scattered reinforcement in these plasters. In the past, natural fibres were used as scattered reinforcement in the cement matrix in the form of pulp or short filament fibres (in the form [6]. Many research teams observe the behaviour of selected natural fibres in lime or cement composites which is demonstrated by the number of papers in scientific databases Scopus and Thomson Reuters. The individual types of fibres are often chosen according to the local, easily accessible resources in order to reduce PEI (primary energy input). An advantage of natural fires is their biodegradability, price, health concerns, specific properties, CO_2 neutral life cycle and low bulk density [4]. Using natural fibres in plasters extends their life cycle; the plasters are more resistant to freezing. The application of fibres in plasters often improves their performance in the three-point bending test. If the fibres are treated prior to their application in fresh mortars, strength properties improve even more [17, 18, 19]. This purpose of the treatment is to stop calcium absorption of natural fibres which can then reduce the final strength properties (compressive strength). According to M. Le Troëdec at al., ideal treatment of natural fibres appears to be the use of EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) where a stable complex with calcium cations is formed and there is no damage to the complex between pectins and Ca^{2+} ions [18]. However, sources discuss many other effective ways of treating fibres. For instance, there is alkalisation of the fibres or changing the negative charge on the surface of the fibres using a cation polyelectrolyte of polyethylenimine [13, 18].

In case of clay plasters, G. P. Georgiev et al. reached a conclusion that the application of natural fibres in these plasters brought an increase in the resistance against abrasion and cracking of the clay minerals and improved its mildew resistance. Their paper described research in the use of Typha plant fibres [3].

The main goal of developing new thermal insulation plasters using natural fibres, whether of plant, animal or industrial waste origin, was to determine the effectiveness of this scattered reinforcement in terms of the final mechanical properties and the examination of the hygrothermal behaviour of these plasters. The development of these plasters made use of local, easily accessible raw material resources. Cement was partly substituted by lime hydrate and an alternative binder (metakaolin.) In order to ensure good thermal insulation properties, the chosen aggregate was based on expanded glass.

2. MATERIALS AND PROCESSING

Based on the study of a number of papers and books together with previous experience with developing thermal insulation plasters [20, 21], the following locally available raw materials were chosen for the development of the new plasters.

The basic raw material was aggregate based on expanded glass of the fraction 0.25–0.5, 0.5–1 and 1–2. This aggregate is produced by means of patented technology from recycled glass where treated and crushed glass is milled, mixed and compacted. Next, it is sintered and expanded in furnaces at temperatures from 750 °C to 900 °C. This aggregate can thus be considered an ecological product of mineral origin. Its chemical composition (in mass content) is: SiO_2: 71.8%, Na_2O: 13.5%, CaO: 8.4%, MgO: 2.2%, Al_2O_3: 2.1%, K_2O: 0.9%, Fe_2O_3: 0.6% and other elements 0.5%.

Sieve analysis was also performed with the aggregate. Its results are in Figure 1 below. Another aggregate for the development of the plasters were perlite and limestone.

The binder was designed as a combination of hydrated lime and cement CEM I 42.5R in 2:1 ratio. The energy-consuming cement was therefore partially substituted. As further cement substitution, metakaolin MEFISTO K05 was used as an admixture [13, 14, 15, 20]. The chemical composition of metakaolin (in mass content) is: SiO_2: 58.7%, Al_2O_3: 38.5%, Fe_2O_3: 0.7%, TiO2: 0.5% and MgO: 0.4%. It is produced by means of firing kaolin, kaolinite clays and other materials at 600 to 900 °C. It has a positive influence on the mechanical properties of the plasters and increases their resistance to freezing. The following table shows its chemical composition.

The reinforcement of these plasters was determined to be 4 types of natural fibres of agricultural and industrial origin. Plant fibres were represented by hemp fibres together with shives; animal fibres were then goat hairs and sheep wool. Lastly, there were waste cellulose fibres produced during paper recycling. Hemp fibres were not chemically treated; only their length was adjusted to 2 to 3 cm. Animal fibres were treated in soap water at 50 °C in order to remove dirt, fat, etc., and afterwards thoroughly washed in warm water. Next, the fibres were left to dry in laboratory conditions. After drying, they were also shortened to 2 to 3 cm. Cellulose fibres were pulped and therefore not treated nor shortened. Microscopic sampling of the fibres was used to retrieve their thickness by means of determining an average thickness from a sample of 30 fibres. The evaluation is in Table 1 below. Next, Figure 2 shows pictures of fibres taken with a universal optical microscope Leica DM4000 M LED.

Chemical additives were added to the mortars in order to improve their workability in fresh state and to increase their porosity.

A total of 5 mixtures were designed where the first mixture was reference with no fibres added, see below in Tables 2 and 3. This mixture was purpo-

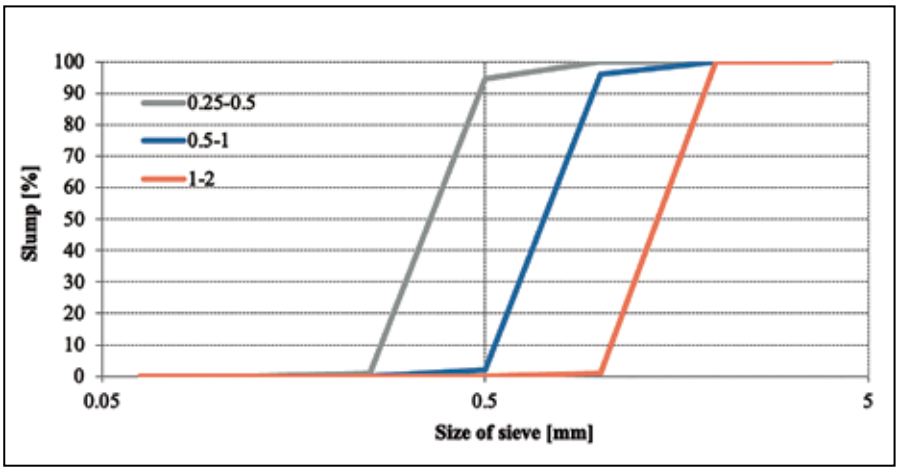


Figure 1: Sieve analysis of the lightweight aggregate

Table 1: Thickness of fibers [μm]

Type of fibre	Hemp	Cellulose	Sheep wool	Goat hairs
Thickness [μm]	155.2	18.9	35.1	71.7

sely designed based on previous research at Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering as a lightweight thermal insulation plaster with low bulk density, low thermal conductivity and low strength. The mixtures 2–5 contained natural fibres at 0.25 mass % to 0.56 mass % as discussed in the table of compositions below. The goal was to obtain lightweight plasters with good thermal insulation properties and improved mechanical properties. If the fibre dosage was relative to the binders used in the mixtures, the fibre content would range from 0.77 mass % to 1.73 mass %. The amounts of fibres were designed based on optimisation selection from a wide pool of data about the mixtures being developed as well as on the performed survey. Many scientific papers claim that the effective addition of natural fibres in composites is 0.5 %, ideally 1 % of fibres per binder [4, 6, 22]. This paper uses mixtures with the lowest content of particular fibres, however, with visible positive effect mainly in terms of flexural strength. The main goal was to observe the influence of reinforcing fibres on mechanical properties compared with the reference mixture.

All the above-described mixtures were prepared by weighing the proper amount of input raw materials and afterwards preparing fresh mortars. First, all the dry components such as aggregate, binders and admixtures were mixed and then tap water was added together with additives. Finally, natural fibres were added to mixtures 2 through 5. The fresh mortars were tested and afterwards specimens were made to be used in the determination of properties of plasters in hardened state. They were specimens of the following shapes: bars sized 40 mm x 40 mm x 160 mm (A) (total of

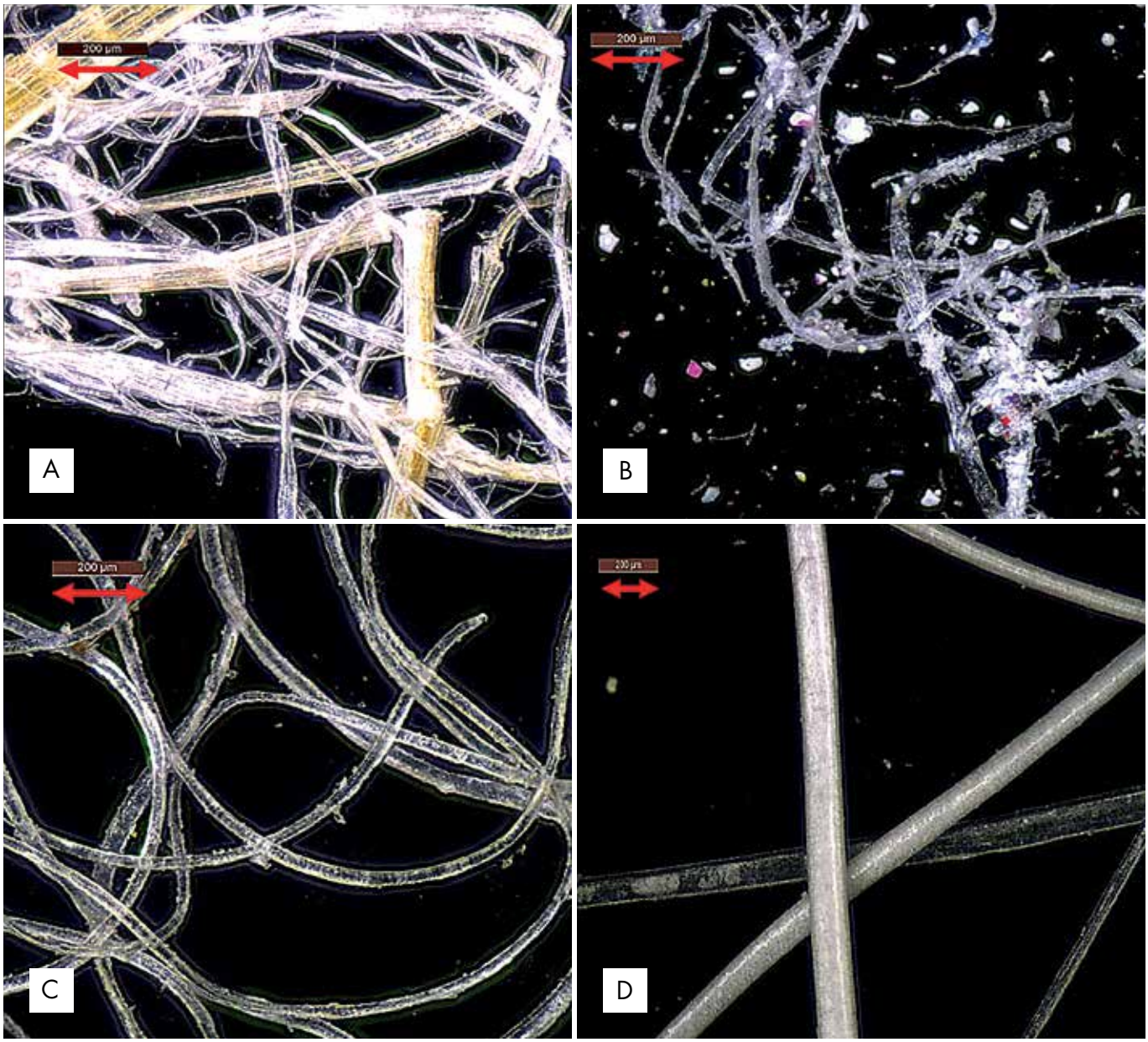


Figure 2: Microscopic pictures of the fibres; A-technical hemp, B-cellulose fibers, C-sheep wool, D-goat hairs

Table 2: Overview of basic composition test sample at 7 kg dry mix

Component	Content [g]
Aggregates	4591
Limestone	944
Lime hydrate	664
Cement	332
Metakaolin	332
Additives	137
Water	3250
Fibre	Typical for each composition (table 3)

15 specimens from each mixture), slabs sized 300 mm x 300 mm x 50 mm (B) (total of 3 specimens from each mixture) and cylinders of 100 mm in diameter and 10 mm thick (C) (total of 4 specimens from each mixture). These specimens were conditioned and stored in laboratory conditions at 23 °C and relative humidity 50 %. Figure 3 shows samples of mixture 5, with goat hairs.

3. TEST METHODS AND RESULTS

The following properties were determined for the fresh mixtures:

- bulk density of fresh mortar (according to EN 1015-6),
- consistence of fresh mortar (according to EN 1015-3),
- air content of fresh mortar (according to EN 1015-7).

The following properties were determined for the hardened mixtures:

- bulk density (according to EN 1015-10),
- mechanical properties (according to EN 1015-11),
- sorption properties (according to EN ISO 12571)
- coefficient of capillary absorption (according to EN 1015-18);
- thermal conductivity by non-stationary method - hot wire method (according to EN ISO 8894-1);
- water vapour permeability (according to EN 1015-19).

Table 5 shows the resulting average values of the fresh mortar characteristics. Bulk density values ranged from 510 kg/m^3 to 615 kg/m^3. The lowest value of bulk density was found in the

Table 3: Overview of fiber content of test samples at 7 kg dry mix

Mixture/ Component	Fibre content [g]
1. M-Reference	-
2. M-Hemp fibres	28.0
3. M-Cellulose fibres	17.5
4. M-Sheep wool	30.8
5. M-Goat hair	39.2

reference mixture which was purposely designed as a lightweight plaster with high air content in fresh state and with flow table value around 160 mm, 482 kg/m^3. The determination of air content in fresh mortars indicates that the addition of natural fibres brought a significant reduction in air content in some mixtures, especially in 2. M and 5. M. This reduction is caused by a reaction between the chemical additive and the fibres. The highest air content in mixtures with natural fibres, i.e. 29 %, was found in mixtures 3. M and 4. M. Conversely, the lowest value of 18 % was found in mixture 5. M which is closely connected with its highest bulk density in fresh state. Flow table values ranged from 140 to 160 mm.

Specimens were cured after hardening and stored at 23 °C and ambient humidity of 50 %. The following measurements were then taken on these hardened mortar samples after 14 and 28 days. Results of these measurements are listed in Table 5 and 6.

The obtained values of bulk density indicate that mixtures containing natural fibres exhibit higher values than reference mixture 1. M containing no fibres in where after 28 days of curing the value of 319 kg/m^3 was found which is in accordance with the intention of this research, i.e. to observe the influence of fibre content on the final mechanical properties. Due to the fact that thermal conductivity is closely dependent on bulk density, in this case the reference mixture also exhibited the lowest average values after 28 days, 0.0727 W/(m·K). Nevertheless, other mixtures also had good thermal insulation properties. In terms of mechanical properties, it is apparent that the addition of natural fibres in the plasters improves these. The lowest values of compressive and flexural strength were found in the reference mixture, i.e. in the mixture with no fibres, and in mixture 3 with cellulose fibres. The reason was the form of the cellulose fibres which, in the form of pulp, initially absorbed water and thus there was a significant degradation of mechanical properties after drying. The best mechanical properties were found in mixture 4. M with sheep wool where compressive strength after 28 days was 0.62 N/mm^2, flexural strength after 28 days was 0.27 N/mm^2. Average values of diffusion resistance in the plasters were between 7.55 and 9.28. The highest value of diffusion resistance was found in mixture 2. M with hemp. On the other hand, the lowest value was determined with mixture 5. M containing goat hairs. In terms of capillary absorption coefficients, it can

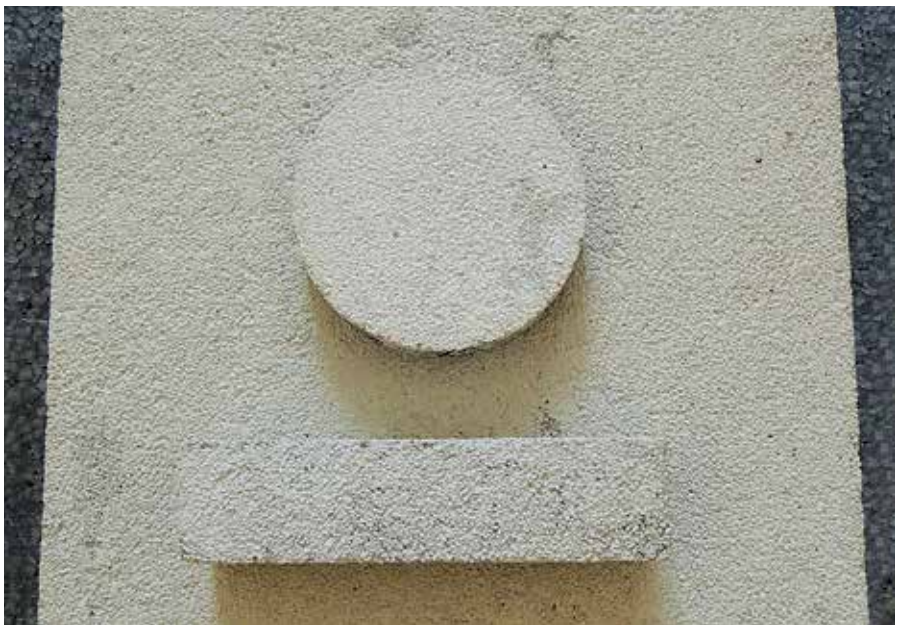


Figure 3: Testing samples of Mixture 5

Table 4: Overview of properties of fresh mortars

Property / Mixture	1. M	2. M	3. M	4. M	5. M
Density [kg/m³]	482	523	550	510	615
Air content [%]	30	21	29	29	18
Flow value [mm]	160	140	150	150	160

Table 5: Properties of the mortars in hardened state after 14 days

Property / Mixture	1. M	2. M	3. M	4. M	5. M
Density [kg/m³]	319	350	362	375	350
Compressive strength [N/mm²]	0.20	0.32	0.33	0.34	0.45
Flexural strength [N/mm²]	0.12	0.26	0.22	0.23	0.31
Thermal conductivity [W/(m·K)]	0.0738	0.0786	0.0820	0.0827	0.0785

Table 6: Properties of the mortars in hardened state after 28days

Property / Mixture	1. M	2. M	3. M	4. M	5. M
Density [kg/m³]	319	349	356	368	348
Compressive strength [N/mm²]	0.25	0.36	0.18	0.62	0.48
Flexural strength [N/mm²]	0.08	0.23	0.09	0.27	0.26
Thermal conductivity [W/(m·K)]	0.0727	0.0780	0.0786	0.812	0.0781
Water vapour permeability [-]	8.12	9.28	9.22	8.52	7.55
Capillary absorption coefficient (rehabilitation plasters) [kg/m²]	10.05	9.75	2.25	11.25	11.50
Capillary absorption coefficient (traditional plasters) [kg/(m²·min^0,5)]	0.38	0.30	0.05	0.30	0.43

be said that, with the exception of mixture 3 M (mixture with cellulose fibres), the plasters are capillary active materials suitable for building reconstruction and rehabilitation. The low values for mixture 3. M were caused by the dense structure of the matrix with the pulp. Figure 4 shows example of testing of capillary absorption coefficient and diffusion resistance.

Table 7 lists average values of bulk density and thermal conductivity of the plasters after drying. The lowest values of these properties were found in the reference mixture containing no fibres. Out of the mixtures with scattered reinforcement based on natural fibres, the best thermal insulation properties were reached in mixture 4. M (sheep wool) where the average value of thermal conductivity was 0.0753 W/(m·K).

Another goal of the research was to draw sorption curves for each of the mixtures to be used in further research, especially for the simulation of hygrothermal behaviour these materials. The specimens sized 40 mm x 40 mm x 160 mm were first dried in a dryer at 103 °C, weighed and stored at 23 °C and set relative humidity (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %) in a climate chamber. The specimens were regularly weighed until they reached stable mass. Afterwards, relative humidity was increased. The measurement was conducted this way from 10 % relative humidity up to 80 %. The mass gains then showed the mass moisture of the specimens at the given relative humidity.

Figure 4: Determining capillary absorption coefficient (left) and a specimen ready for determining diffusion resistance (right)

Table 7: Properties of the mortars in dry state

Property / Mixture	***1. M***	***2. M***	***3. M***	***4. M***	***5. M***
Density [kg/m³]	302	340	356	363	347
Thermal conductivity [W/(m·K)]	0.0715	0.0765	0.0802	0.0753	0.0771

The evaluation is visualised in Figure 5. Range of relative humidity from 30 % to 80 % was chosen for clarity. The data shows that the progress of the sorption curves for each mixture is very similar. Such low amount of added fibres has no influence on the sorption behaviour of the newly developed plasters.

4. CONCLUSION

The development of new thermal insulation plasters containing natural fibres has produced 4 test mixtures which possess good thermal insulation properties. A reference mixture was prepared for comparison which was designed as a very lightweight, porous plaster with low mechanical properties in order to enable the observation of the influence of fibres on mechanical properties. Predictably, this mixture showed very good thermal insulation properties during laboratory tests; the average thermal conductivity value in dried state was 0.0715 W/(m·K). In terms of mechanical properties, the hypotheses and conclusions of other researchers dealing with natural fibre reinforced plasters were confirmed, i.e. that mechanical properties improve [17, 18, 19]. These fibres are mainly to prevent plastic shrinkage which is a danger for lime-based plasters. Given that these were only initial attempts at this type of plasters using renewable and environmentally friendly fibres, in future research, the fibres will need to be chemically treated [16, 18] in order to facilitate a better coherence with the matrix.

Observation of the humidity behaviour of the plasters has revealed no negative influence of the fibres on the sorption behaviour of the mixtures. No deterioration of sorption properties occurred in the plasters.

The evaluation of the first experimental measurement of selected physical, mechanical and thermal insulation properties invites the statement that the best sources of reinforcement fibres out of the four (hemp, cellulose fibres, sheep wool and goat hairs) appear to be sheep wool and goat hairs. The mixtures containing these had good thermal insulation properties and good humidity behaviour.

REFERENCES

[1] HENRY, A.; STEWART, J. Mortars, *Renders and Plasters (Practical Building Conservation)*. 1. English Heritage, ASHGATE, 2011, ISBN: 978075464559.

[2] DAI, S.; WANG, J.; HU, Y.; ZHANG, D. *Lime-based materials and practices for surface refitting of cultural heritage*; Advanced Materilas Research, 133 - 134 (2010), pp. 1241 - 1246.

[3] GEORGIEV, G. P.; THEUERKORN, W.; KRUS, M.; AND KILIAN, R. *Cattail-reinforced clay plasters in building heritage preservation and new constructions*, Vernacular Heritage and Earthen Architecture. Oct 2013, 415 - 420

[4] BELLA, G. DI; FIORE, V.; GALTIERI, G.; BORSELLINO, C.; VALENZA, A. *Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene)*; Construction and Building Materials, Volume 58, 15 May 2014, Pages 159 - 165.

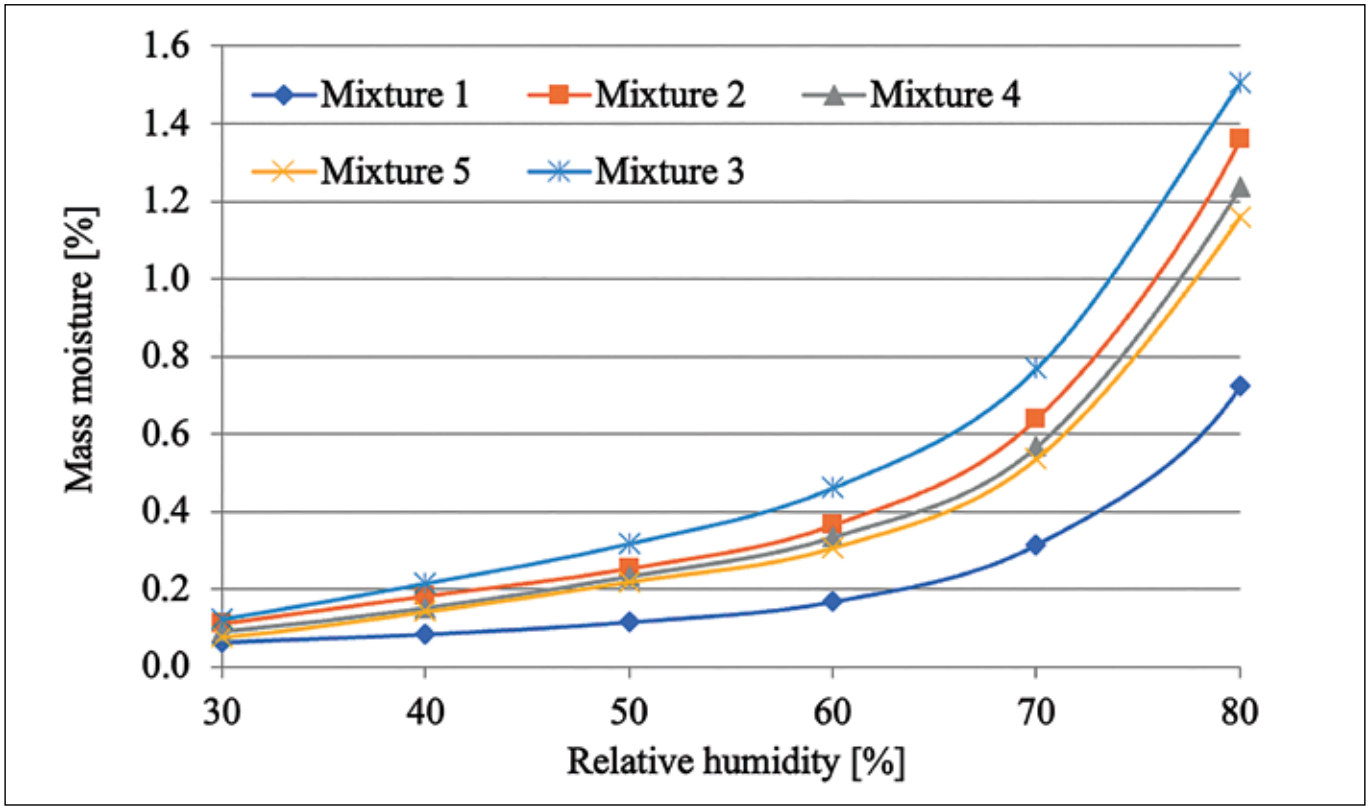


Figure 5: Sorption curves of developed composite materials

[5] IUCOLANO, F.; LIGUORI, B.; COLELLA, C. *Fibre-reinforced lime--based mortars, A possible ressource for ancienit masonry restoration*, in: Construction and Building Materials 38, 2013, pp. 785 - 789.
[6] RAMESH, M.; PALANIKUMAR, K.; HEMACHANDRA REDDY, K. *Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites*; Composites Part B: Engineering, Volume 48, May 2013, Pages 1 - 9
[7] ASHOUR, T.; WIELAND, H.; GEORG, H. O.; BOCKISCH, F. J.; WU, W. *The influenceof natural reinforcement fibres on isulation values of earth plaster for straw bale buildings*, Materials and Design 31, 2010, pp. 4676 - 4685.
[8] BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. *Composites reinforced with cellulose based fibres*; Progress in Polymer Science, 1999, Volume 24, pp. 221 - 274.
[9] MAC VICAR, R.; MATUANA, L. M.; BALATINECZ, J. J. *Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites*; Cement and Concrete Composites, 1999, Volume 21, pp. 189 - 196.
[10] TROËDEC, M. LE; DALMAY, P.; PATAPY, C.; PEYRATOUT, C.; SMITH, A.; CHOTARD, T. *Mechanical properties of hemp-lime reinforced mortars: influence of the chemical treatment of fibres*; Journal Composite Materials, 45 (2011), pp. 2235 - 2347.
[11] MURHERJEE, P. S.; SATYANARAYANA, K. G. *Structure and properties of some vegetable fibres*, part 1. Sisal fibre; Journal Material Science, 19 (1984), pp. 3925 - 3934.
[12] JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SJOSTROM, C.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, C. T. A. *Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre*; Cement Concrete Composites, 27 (2005), pp. 565 - 574.
[12] ASHURST, J.; ASHURST N. *Mortars, plasters & renders*, English heritage technical handbook, vol. 3. Aldershot, Hants: Asghate Publishing; 2005.
[13] VEJMELKOVÁ, E.; KOŇÁKOVÁ, D.; ČÁCHOVÁ, M.; KEPPERT, M.; ČERNÝ, R. *Effect of hydrophobization on the properties of lime--metakaolin plasters*; Construction Buildings Materials, 37 (2012), pp. 556 - 561.
[14] VEJMELKOVÁ, E.; KEPPERT, M.; KERŠNER, Z.; ROVNANÍKOVÁ, P.; ČERNÝ, R. *Mechanical, fracture–mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings*; Construction Buildings Materials, 31 (2012), pp. 22 - 28
[15] ARIOGLU, N.; ACUN, S. *A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: a staging system and approach*. Buildings and Environment 2006; Volume 41; pp. 1223 – 30.
[16] OLIVITO, R. S.; CEVALLOS, O. A.; CARROZZINI, A. *Development of durable cementitious composites using sisal and flax fibers for reinforcement of masonry structures*; Materials and Design 57, 258 - 268 (2014).
[17] SAWSEN, CH.; FOUZIA, K.; MOHAMED, B.; MOUSSA, G. *Optimizing the formulation of flax fiber-reinforced cement composites*; Construction and Building Materials 54, 659 - 664 (2014).
[18] TROËDEC, M. LE; PEYRATOUT, C. S.; SMITH, A.; CHOTARD, T. *Influence of various chemical treatments on the interactions between hemp fibres and a lime matrix*, J. Eur. Ceramic Soc., 29 (2009), pp. 1861 - 1868.
[19] RAMAKRISHNA, G.; SUNDARARAJAN, T. *Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of Mortar*; Cement Concrete Composites, 27 (2005), pp. 575 - 582.
[20] ZACH, J.; KORJENIC, A.; HROUDOVÁ, J. *Study of behaviour of advanced silicate materials for heating and moisture rehabilitation of buildings*, Advanced Materials Research, vol. 649, 2013, pp. 167 - 170.
[21] ZACH, J.; HELA, R.; HROUDOVA, J. *Development of thermal-insulating plasters intended for saving the historical objects*, In The 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques - Selected papers, vol. 1. Lithuania, VGTU, 2010, pp. 335 - 339.
[22] SARGAPHUTI, M.; SHAH, S. P.; VINSON, K. D. *Shrinkage Cracking and Durability Characteristics of Cellulose Fiber Reinforced Concrete*, Materials Journal, Volume 90, Issue 4, 1993, pp. 309-318.
[23] EN 1015-2 *Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. Czech Republic: CNI, 1999. 12 p. (in czech).
[24] EN 1015-3 *Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar* (by flow table). Czech Republic: CNI, 2000. 12 p. (in czech).
[25] EN 1015-6 *Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Czech Republic: CNI, 1999. 12 p. (in czech).
[25] EN 1015-7 *Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar*. Czech Republic: CNI, 1999. 12 p. (in czech).
[26] EN 1015-10 *Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*. Czech Republic: CNI, 2000. 8 p. (in czech).
[27] EN 1015-11 *Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strentgth of hardened mortar*. Czech Republic: CNI, 2000. 16 p. (in czech).
[28] EN ISO 8894-1 *Refractory materials - Determination of thermal conductivity - Part 1: Hot-wire methods (cross-array and resistance thermometer)*. Czech Republic: CSOMT, 2011. 24 p. (in czech).

Ing. Bc. Jitka Peterková, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie
stavebních hmot a dílců
novak.j@fce.vutbr.cz

Acknowlegment

This paper was elaborated with the financial support of the project 8J23AT012 „Study of heat and moisture transport in the structure of materials based on natural and secondary fibers".

Poděkování

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory projektu 8J23AT012 „Studium transportu tepla a vlhkosti ve struktuře materiálů na bázi přírodních a druhotných vláken".

INŽENÝRSTVÍ ZAVĚŠENÝCH A VISUTÝCH MOSTŮ: OD MINULOSTI DO SOUČASNOSTI

THE ENGINEERING OF SUSPENSION AND CABLE-STAYED BRIDGES: FROM PAST TO PRESENT

Eva Tůmová

Abstrakt:

Tento článek se zabývá vývojem zavěšených a visutých mostů od antických počátků až po současnost. Popisuje konstrukční prvky a materiály, které umožnily stavbu těchto staveb a jejich využití pro překonávání přírodních překážek. Dále se článek zaměřuje na historické významné mosty, jako je například Golden Gate Bridge v San Franciscu, a na současné projekty, jako je most Akashi-Kaikyō v Japonsku. V neposlední řadě jsou v článku popsány nejčastější závady těchto mostů a způsoby jejich oprav.

Abstract:

This article provides an overview of suspension and cable-stayed bridges, including their historical evolution, design principles, and construction materials. The aim is to demonstrate the significance of these bridge types in transportation infrastructure and to showcase the technological advancements in bridge engineering over time. The article begins by discussing the origins of suspension and cable-stayed bridges in ancient civilizations and continues to examine their evolution in the 18th and 19th centuries. The focus is also on the construction and design of modern suspension and cable-stayed bridges, including the world's largest examples. Additionally, the article presents an overview of the materials used in these bridges and the challenges associated with their maintenance and repair.

Key words: *cable-stayed bridges; suspension bridges; history of bridges; corrosion protection; transportation infrastructure*

1. ÚVOD

Mosty jsou jedním z nejstarších stavebních prvků v lidské historii. S rozvojem technologií bylo vyvinuto mnoho druhů mostů, ale zavěšené a visuté mosty patří mezi nejvýznamnější a nejkrásnější technické stavby světa. Tyto mosty vynikají svými impozantními rozměry a estetickou hodnotou.

Tento článek se věnuje detailnímu popisu zavěšených a visutých mostů, jejich konstrukci a historii jejich vývoje. Zabývá se také výhodami a nevýhodami obou typů mostů a důležitostí údržby a oprav těchto staveb. Zavěšené a visuté mosty patří k nejvýznamnějším inovacím v oblasti mostního stavitelství.

2. VISUTÝ VS. ZAVĚŠENÝ MOST

Visutý most a zavěšený most jsou dva různé typy mostů, které se používají k překonání velkých vzdáleností a pro překonání překážek jako jsou řeky, údolí nebo mořské zátoky. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma typy mostů je způsob, jakým jsou kabely připojeny k pylonům a mostovce.

Visutý most má kabely připojené k pylonům, které jsou umístěny na obou koncích mostovky a nesou většinu váhy mostu. Kabely jsou připevněny k mostovce pomocí závěsů a tvoří tak charakteristickou křivku, která visí podél mostovky.

Na druhé straně zavěšený most má kabely připojené k mostovce a visí dolů k pylonům. Tyto kabely jsou napnuty pomocí závaží na konci každého kabelu a nesou tak váhu mostu. Zavěšené mosty jsou většinou menší než visuté mosty a často se používají pro překonání menších vzdáleností.

Příkladem visutého mostu je například Golden Gate Bridge v San Franciscu v USA, který má délku 2,7 kilometru a je nejznámějším visutým mostem na světě. Zavěšeným mostem je například most SNP v Bratislavě, který má délku 430 metrů a byl postaven v letech 1967 - 1972.

3. HISTORIE ZAVĚŠENÝCH A VISUTÝCH MOSTŮ

Mezi nejstarší mosty patří kamenné mosty, které se začaly stavět již v pravěku a které byly velmi oblíbené v antických civilizacích, jako bylo Řecko, Řím a Persie. S rozvojem technologií se však začaly stavět i mosty z jiných materiálů, jako jsou dřevo, kov a beton.

V antickém Řecku byl pro stavbu zavěšených mostů využíván systém řetězů a lan. První zmínka o takovém mostě pochází z 5. století před naším letopočtem, kdy se postavil zavěšený most přes řeku Meander v Malé Asii. Jeho konstrukce byla jednoduchá, spočívala v kovových řetězech, které byly připevněny ke dvěma kamenným sloupům na obou březích řeky.

Obr. 1: Most SNP v Bratislavě

První visutý most, který se dochoval, byl římský most Pons Aemilius z 2. století př. n. l. v Římě. Byl postaven z kamene, ale jeho střední část byla visutá na řetězech. Tento most neměl celou konstrukci visutou, visuté byly pouze jeho kratší části.

Visuté a zavěšené mosty nebyly běžnou konstrukční variantou v antice ani v průběhu středověku a raného novověku. Především proto, že tehdejší materiály a technologie nebyly dostatečně vyvinuté pro takové konstrukce. Mosty v té době byly obvykle stavěny z kamene, cihel nebo dřeva a byly pevné, tedy s pevnou konstrukcí bez pohyblivých částí.

Zavěšené mosty se začaly stavět až v 18. století, kdy se objevily první experimentální mosty tohoto typu. První funkční visutý most byl postaven v roce 1784 v anglickém Bristolu.

Obr. 2: Golden Gate Bridge v San Franciscu

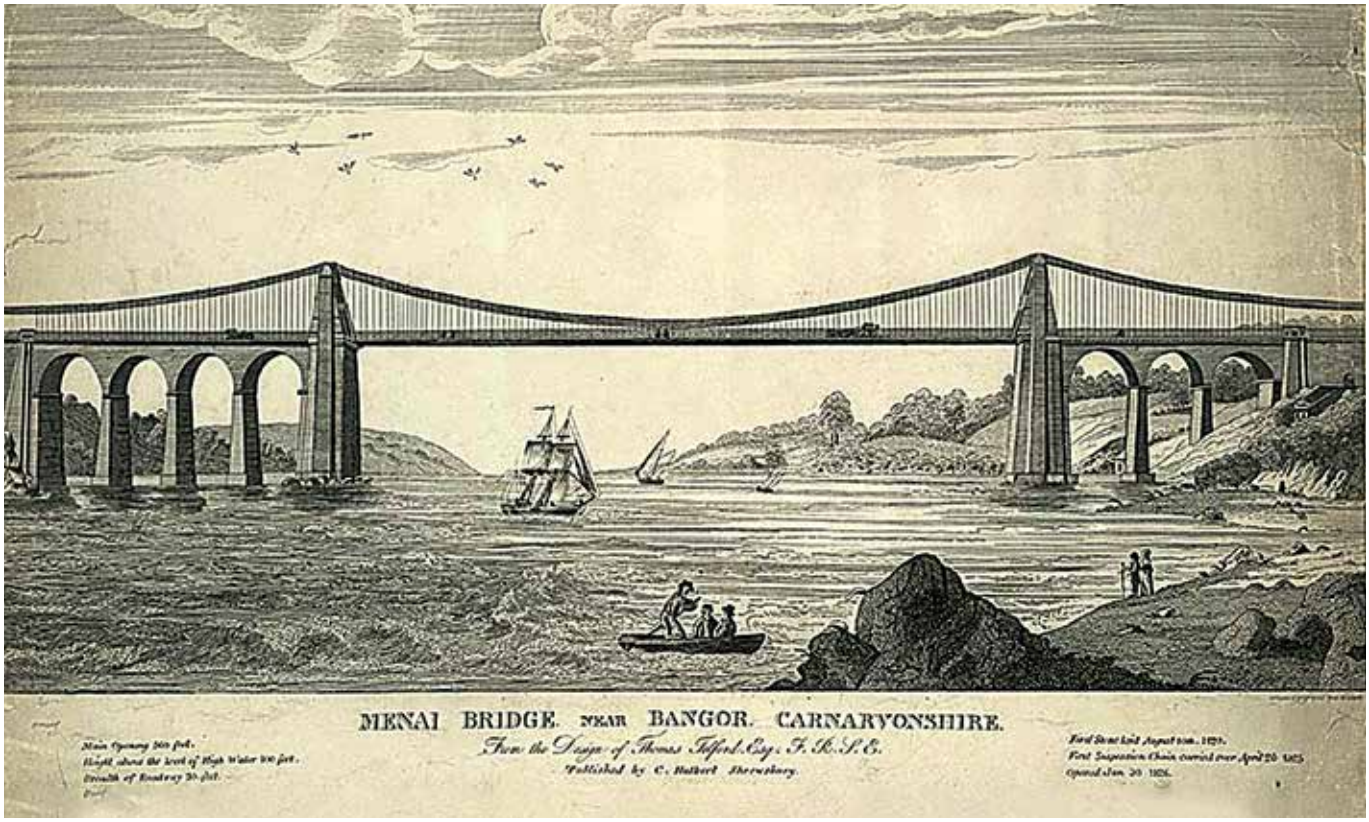
Obr. 3: Most Pons Aemilius v Římě

V 18. století se v Evropě začaly stavět první visuté mosty, které využívaly principu napnutých kabelů. V průběhu 19. století se však začaly používat nové materiály, jako ocel a kabely z kovových vláken. Tehdy se začala používat ocelová lana namísto klasických řetězů. Jedním z prvních zavěšených mostů byl most Menai Suspension Bridge, který byl postaven v roce 1826 v severním Walesu a překonával průliv mezi Walesem a ostrovem Anglesey. Stal vzorem pro mnoho dalších visutých mostů a byl přelomovým bodem v historii staveb mostů.

Období rychlého technologického pokroku v 19. a 20. století umožnilo stavbu mnohem větších a komplexnějších zavěšených a visutých mostů. Například most Brooklyn Bridge, postavený v letech 1869 až 1883 v New Yorku, byl nejdelším zavěšeným mostem na světě a stal se symbolem amerického průmyslového a technologického pokroku.
Na začátku 20. století byla vyvinuta nová technologie svařování, což umožnilo stavbu visutých mostů s delšími a silnějšími kabely. Nejznámějším příkladem je most Golden Gate Bridge v San Francisku, který byl postaven v letech 1933 až 1937.

4. TECHNOLOGIE VISUTÝCH A ZAVĚŠENÝCH MOSTŮ

Visuté a zavěšené mosty jsou navrženy tak, aby byly co nejlehčí a zároveň schopné nést velká zatížení. Hlavními konstrukčními prvky jsou věže, pylony, kabely a mostovka.
Technologie visutých a zavěšených mostů se v průběhu let výrazně změnila. Tyto mosty byly původně postaveny ze dřeva a lan. Později byly nahrazeny ocelovými lany a betonovými pilíři. Dnes jsou visuté a zavěšené mosty nejčastěji postaveny z oceli a betonu.



Obr. 4: Zavěšený most Menai na dobové kresbě

Obr. 5: Pohled na most Brooklyn Bridge z Manhattanu. V pozadí je vidět také řetězový most Manhattan Bridge z roku 1909

Hlavní věže visutých a zavěšených mostů jsou vysoké ocelové nebo betonové sloupy, které slouží k uchycení kabelů a mostovky. Věže mohou mít různé tvary, v závislosti na typu mostu a podmínkách v dané oblasti. Například most Golden Gate v San Franciscu má dvě věže, zatímco most Akashi Kaikyō v Japonsku má čtyři věže. Pylony jsou věžovité nástavby mostních pilířů nesoucí lana visutého mostu

Kabely jsou nosnými prvky, které spojují věže a mostovku. Tyto kabely jsou obvykle tvořeny z oceli a jsou navrženy tak, aby snesly obrovská zatížení. Kabely jsou připevněny k věžím pomocí kotvících bloků a předávají většinu zátěže na věže.

Mostovka je nosný prvek, který je upevněn kabely. Mostovka může být tvořena z betonu nebo oceli a může mít různý tvar a šířku, v závislosti na konkrétním projektu. Některé mosty mají také závaží, která jsou umístěna na mostovce, aby pomohla stabilizovat most.

Konstrukce visutých mostů se skládá ze tří hlavních částí: pilířů, lan a nosičů. Pilíře jsou obvykle postaveny na pevných základech na břehu řeky nebo moře a slouží jako podpora lan a nosičů. Lana jsou pevné kovové kabely, které jsou zavěšeny z pilířů a tvoří hlavní nosnou konstrukci mostu. Nosiče jsou umístěny mezi lany a slouží k uchycení vozovky.

5. MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝSTAVBĚ VISUTÝCH A ZAVĚŠENÝCH MOSTŮ

Materiály používané k výstavbě visutých a zavěšených mostů, se v průběhu let neustále vyvíjely a zlepšovaly. V současné době jsou to nejčastěji ocel, beton a kompozitní materiály.

Ocel je tradičním materiálem používaným při stavbě mostů a je stále nejčastěji používaným materiálem pro nosná lana. Ocel je vynikajícím materiálem pro mostní konstrukce díky své vysoké pevnosti, tuhosti a odolnosti proti korozi. Nevýhodou oceli však může být vysoká hmotnost, a z toho vyplývající nutnost použití silnější konstrukce.

Beton se používá zejména při stavbě pilířů a podpěr, díky své vysoké odolnosti proti tlaku a pevnosti. Beton je také trvanlivý a vysoce odolný vůči vlivům počasí. Nevýhodou betonu však může být jeho křehkost a náchylnost k praskání, což může být problematické při vystavení vlivům způsobeným změnami teploty.

Kompozitní materiály, jako je uhlíkové nebo skleněné vlákno, se stávají stále populárnějšími při výstavbě mostů, zejména kvůli své nízké hmotnosti a vysoké pevnosti. Tato materiály jsou také odolné proti korozi a mají dlouhou životnost. Nevýhodou těchto materiálů je vysoká cena a náchylnost k poškození při nárazu.

Kabely pro mostní konstrukce

Kabely jsou klíčovými prvky visutých mostů, protože nesou celou hmotnost mostu a přenášejí napětí, které vzniká při zatížení mostu. Kabely musí být velmi pevné a odolné proti korozi, aby mohly sloužit po mnoho let.

Nejstarší kabely používané u visutých mostů byly vyrobeny z ocelových lan. Tyto kabely se skládaly z několika tisíc ocelových drátů, které byly pevně spojeny a nataženy přes pylony na obou koncích mostu. Tento typ kabelu byl poprvé použit na visutém mostě v roce 1826 v Anglii.

V 60. letech 20. století byly vyvinuty nové typy kabelů, které používaly tzv. prefabrikované kabely. Tyto kabely se skládaly z mnoha menších drátů, které byly předem zformovány do kabelových lan. Tento proces umožnil větší přesnost při výrobě kabelů a také zvýšil jejich odolnost proti korozi.

V 80. a 90. letech 20. století byly vyvinuty nové typy kabelů, které používaly vlákna z uhlíkových nebo aramidových vláken namísto ocelových drátů. Tyto kabely jsou mnohem lehčí než kabely z ocelových drátů, ale jsou stejně pevné. Tento typ kabelu byl poprvé použit na mostě Great Belt v Dánsku v roce 1998.

Dalším vývojem v oblasti kabelů jsou tzv. koaxiální kabely, které používají dva kabely, jeden uvnitř druhého. Tento typ kabelu umožňuje snížit přenos napětí na každý kabel a také zvyšuje bezpečnost mostu v případě porušení jednoho z kabelů.

6. VÝHODY A NEVÝHODY VISUTÝCH A ZAVĚŠENÝCH MOSTŮ

Visuté a zavěšené mosty mají řadu výhod, jako jsou schopnost překonat velké řeky a zálivy, možnost využití v náročných topografických a geologických podmínkách a krátká doba výstavby.

Nevýhody visutých a zavěšených mostů zahrnují náklady na výstavbu a údržbu, potřebu pevných a stabilních základů pro věže a kabely a omezení v použití pro určité typy dopravy, například pro železniční dopravu.

Visuté mosty jsou obecně vhodné pro přepravu silničního provozu, ale pro železniční dopravu nejsou obvykle vhodné z několika důvodů. Visuté mosty

mají flexibilní konstrukci, což může být nevýhodné pro železniční dopravu, která vyžaduje pevnou a stabilní platformu. Pokud by se most příliš pohyboval, mohlo by to vést k problémům s přesností a bezpečností železničního provozu. Dále mají také obvykle menší nosnost než mosty s pevnou konstrukcí, což by mohlo být nevýhodné pro přepravu těžkých nákladů, typických pro železniční dopravu.
Díky širokému rozponu dokáží překonat velké vzdálenosti bez středové opory. Tyto mosty také působí jako významné architektonické prvky v krajině a mnohé z nich se staly turistickými atrakcemi.
Další výhodou visutých a zavěšených mostů je menší vliv na přírodu, protože potřebují méně materiálu a nezabírají tolik prostoru jako jiné druhy mostů.
Na druhou stranu jsou visuté a zavěšené mosty nákladné na návrh a konstrukci a jejich výstavba může být velmi náročná a nákladná. Potřebují pravidelnou údržbu, aby zůstaly bezpečné a funkční. Jsou také citlivé na větrné rázy a změny teploty.
Další nevýhodou visutých a zavěšených mostů je omezená průchodnost pro lodě, kdy mohou omezovat průplav velkých lodí nebo nákladních plavidel pod nimi.

Obr. 6: Řez hlavním kabelem mostu Golden Gate Bridge o průměru 93 cm, který obsahuje 27 572 drátů

7. SANACE A REKONSTRUKCE VISUTÝCH MOSTŮ

Konstrukce zavěšených a visutých mostů jsou velmi náročné na údržbu, protože jsou závislé na mnoha faktorech, jako je napětí v lanoví, kvalita povrchu, korozní procesy, vibrace a změny teploty.
Sanace a rekonstrukce zavěšených a visutých mostů mohou zahrnovat např. náhradu částí konstrukce, opravu povrchu, výměnu lanoví, sanaci korozních poškození, posílení konstrukce a další.
Při sanaci a rekonstrukci zavěšených a visutých mostů je také důležité zohlednit ekonomické faktory. Tyto konstrukce jsou často velmi nákladné a náročné na údržbu. Proto musí být rozhodnuto, zda je nejlepší provést opravy a sanace nebo postavit novou konstrukci.

Nejčastější závady u visutých mostů

Hlavním problémem visutých mostů jsou opakující se namáhání na kabelových lanech a předpětích, které mohou vést k únavovým poruchám. Tyto poruchy se mohou projevit například prasknutím kabelu, což může mít katastrofické následky.
Koroze je dalším problémem visutých mostů, zejména u těch, které se nacházejí poblíž slaného mořského prostředí. V důsledku koroze se mohou kabely a jiné součásti mostu oslabit a mohou být potřeba opravy nebo výměna.
Visuté mosty jsou citlivé na zemětřesení a mohou být poškozeny, zejména pokud jsou postaveny v oblastech s vysokou seismickou aktivitou. Některé visuté mosty proto musí být navrženy tak, aby odolaly velkým otřesům.
Větrné podmínky mohou způsobit velké namáhání na kabelových lanech, což může vést k únavovým poruchám nebo dokonce k selhání mostu.
Doprava na visutém mostě může vést k poškození mostu, zejména pokud jsou použity příliš těžká nebo příliš velká vozidla. Proto jsou některé visuté mosty omezeny v maximální váze a velikosti vozidel.
Nedostatečná údržba visutého mostu může vést k rychlejšímu opotřebení a zvyšování rizika únavových poruch a dalších problémů.

Korozní poškození

Korozní poškození je velmi častou závadou u visutých mostů, protože kabely a další kovové prvky jsou vystaveny vysoké vlhkosti a solnému prostředí ve vzduchu, což urychluje proces korozního poškození. Pro opravu korozních poškození se používají různé metody a materiály, v závislosti na závažnosti poškození.
Menší poškození je možné opravit použitím epoxidových hmot, které se aplikují na poškozenou oblast a vytvrdí se do pevného plastického materiálu. Pro větší poškození se používají různé druhy náhradních dílů, jako jsou náhradní kabely nebo segmenty mostových polí. V případě výměny materiálu je obvykle používán nerezový ocelový materiál, který je odolný vůči koroznímu poškození.
Proti koroznímu poškození se mohou použít různé ochranné metody, jako jsou například nátěry, anodická ochrana nebo výměna materiálu. V případě mostů je nejčastěji používanou metodou nátěrová ochrana. Nátěry obsahují inhibitory korozního procesu a vytvářejí

Obr. 7: Most Akashi-Kaikyo Bridge v Japonsku

ochrannou bariéru mezi kovem a prostředím. Tyto nátěry se aplikují buď na suchý povrch, nebo v případě nátěrových systémů s obsahem rozpouštědel se aplikují na vlhký povrch.

Další možností je použití elektrochemické metody nazývané katodická ochrana, která zabraňuje dalšímu poškození kovových prvků vlivem korozního procesu. Tato metoda spočívá v umístění dodatečného kovového prvku, katody, na poškozené místo, což způsobí, že korozní proces se přesune na tento nový kovový prvek místo na původní kovový prvek mostu.

Korozní poškození je komplexním vědeckým tématem, které se týká reakcí mezi kovem, elektrolytem a okolním prostředím. V případě mostů jsou tyto reakce způsobeny především působením kyselých dešťů a slaných vod.

Celkově je ochrana proti koroznímu poškození důležitou součástí údržby visutých mostů a jejich bezpečného provozu.

8. NEJZAJÍMAVĚJŠÍ VISUTÉ A ZAVĚŠENÉ MOSTY PO SVĚTĚ

Most Akashi-Kaikyo Bridge

Nachází se v Japonsku a je nejdelším zavěšeným mostem na světě. Byl dokončen v roce 1998 a má délku 3,9 kilometru. Výstavba tohoto mostu byla velkou technickou výzvou. Bylo nutné se vypořádat s vysokou aktivitou zemětřesení a extrémními podmínkami na moři, jako jsou vysoké vlny a silné

Obr. 8: Most Great Belt Fixed Link

Obr. 9: Most Rio-Antirion v Řecku

Obr. 10: Stavba pylonu mostu Rio-Antirion

větry. Pro konstrukci mostu byly použity speciální technologie, včetně vysokopevnostních ocelových lan a "létajících tunelů", které byly použity pro zpevnění mostu a minimalizaci vlivu větru (obr.7).

Most Golden Gate Bridge

Nachází se v San Francisku v USA a je symbolem tohoto města. Golden Gate Bridge je zavěšený most o celkové délce 2,7 km, který překonává úžinu Golden Gate v San Franciscu v Kalifornii.

Hlavní kabely mostu jsou tvořeny ocelovými dráty, které jsou spojeny do kabelů o průměru 90 cm. Každý z nich váží více než 11 000 tun. Tyto kabely jsou zavěšeny na dvou věžích vysokých 227 m, které jsou umístěny na obou stranách mostu. Hlavní kabely podpírají mostovku, která je tvořena ocelovými nosníky spojenými s postranními větvemi.

Most byl postaven v letech 1933 až 1937 a v té době byl nejdelším zavěšeným mostem na světě. V průběhu let byl několikrát renovován a modernizován, aby zvládal narůstající provoz a aby byl schopen splnit stále přísnější bezpečnostní požadavky.

Most Great Belt Fixed Link

Nachází se v Dánsku a spojuje dva ostrovy, Sjælland a Fyn. Byl dokončen v roce 1998 a je nejdelší mostovou spojkou v Evropě s délkou 18,2 kilometru. Jedná se o kombinaci visutého silničního mostu a železničního tunelu. Společně s mostem New Little Belt Bridge poskytuje spojení mezi Kodaní a dánskou pevninou přes úžiny Malý a Velký Belt.

Most Rio-Antirion

Nachází se v Řecku, na poloostrově Peloponés a překonává Korintský záliv. Byl dokončen v roce 2004 a je to kombinovaný most a tunel. Most je dlouhý 2 880 m a široký 27,2 m. Jsnou na něm dva pruhy v každém směru, nouzový pruh a chodník. Otevřen byl v roce 2004, týden před olympijskými hrami v Aténách.

Most Millau Viaduct

Nachází se ve Francii a je nejvyšším mostem na světě. Překonává údolí řeky Tarn a byl dokončen v roce 2004. Má délku 2,5 kilometru a v nejvyšším bodě dosahuje výšky 343 metrů nad údolím.

9. ZÁVĚR

Zavěšené a visuté mosty patří mezi nejvýznamnější inženýrské konstrukce a mají velký vliv na infrastrukturu a ekonomiku světa. Historie těchto mostů sahá až do starověku, kdy se překonávaly překážky pomocí jednoduchých visutých mostů.

Historie zavěšených a visutých mostů je tedy dlouhá a plná inovací, technologických výzev a úspěchů. Tyto mosty se staly nedílnou součástí moderní infrastruktury a kulturních památek, které slouží lidstvu po celém světě.

V moderní době byly visuté mosty díky technologickému pokroku a novým materiálům nahrazeny zavěšenými mosty, které umožňují překonávat velké vzdálenosti. Konstrukce visutých a zavěšených mostů je velmi složitá a zahrnuje mnoho aspektů, jako je geometrie, aerodynamika, materiály a další. Materiály používané pro tyto mosty se neustále vyvíjí, a to s cílem zlepšit pevnost, trvanlivost a odolnost proti korozi. Přestože jsou tyto mosty obecně velmi bezpečné, jsou vystaveny různým závadám, včetně korozního poškození a únavy materiálu, což vyžaduje pravidelnou údržbu a obnovu.

Zavěšené a visuté mosty jsou důležitou součástí naší infrastruktury a mají velký vliv na společnost a ekonomiku. Jejich konstrukce a materiály se neustále vyvíjejí, aby se zlepšily jejich vlastnosti a aby se zajistila jejich trvanlivost a bezpečnost. Přestože jsou tyto mosty vystaveny různým závadám, údržba a obnova těchto mostů je nezbytná pro jejich bezpečné a účinné fungování.

Obr. 11: Most Most Millau Viaduct

Obr. 12: Stavba pylonu mostu Millau Viaduct

10. LITERATURA

[1] *Suspension Bridges: History, Design, and Construction*. Structville, 21. března 2023, https://structville.com/suspension-bridges-history-design--and-construction/.

[2] *Suspension Bridges*. Encyclopedia Britannica, 21. března 2023, https://www.britannica.com/technology/suspension-bridge.

[3] *10 Most Famous Suspension Bridges in the World*. Touropia, 21. března 2023, https://www.touropia.com/suspension-bridges/.

[4] *Golden Gate Bridge: History and Facts*. History, 21. března 2023, https://www.history.com/topics/landmarks/golden-gate-bridge.

[5] *Akashi Kaikyō Bridge*. Wikipedia, 21. března 2023, https://en.wikipedia.org/wiki/Akashi_Kaiky%C5%8D_Bridge.

[6] *Golden Gate Bridge*. Wikipedia, 16. března. 2023, en.wikipedia.org/wiki/Golden_Gate_Bridge.

[7] *Great Belt Fixed Link*. Wikipedia, 19. března 2023, en.wikipedia.org/wiki/Great_Belt_Fixed_Link.

[8] *Rion-Antirion Bridge*. Wikipedia, 20. března 2023, https://en.wikipedia.org/wiki/Rion-Antirion_Bridge.

[9] *Millau Viaduct*. Wikipedia, 16. března 2023, en.wikipedia.org/wiki/Millau_Viaduct.

[10] SAMUEL, A. W. (2015). *Suspension Bridges*: A Brief History. Routledge.

[11] KROSCHWITZ, J. I. (2005). *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Wiley.

[12] KRAUTHAMMER, T. (2001). Cable-Supported Bridges: Concept and Design. Wiley.

[13] MANSOUR, M. A. (2012). *Steel and Composite Structures: Analysis and Design for Fire Safety*. Wiley.

[14] LARSON, K. (2019). *Understanding Bridge Collapses*. Springer.

[15] PETRY, S. J. (2003). *Corrosion Protection of Metal Surfaces: A Handbook for Architects and Engineers*. Wiley.

[16] TATZEL, S. (2018). *An Overview of Suspension Bridge Types, Designs and History*. In: Bridge Engineering - Classifications, Design Loading, and Analysis Methods, IntechOpen.

[17] HAMBLY, E.C. (1998). *Bridge deck behaviour*. CRC Press.

[18] FUJINO, Y. AND WARNITCHAI, P. (2013). *Cable-supported bridges: concept and design*. John Wiley & Sons.

[19] THAMER, O. (2013). *Dynamic Behavior and Modeling of Cable-Supported Bridges*. Procedia Engineering, 54, pp.764 - 776.

[20] NAIK, M.M. (2019). *Analysis of Cable Stayed Bridge for Various Pylon Types*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 10(5), pp.8 - 20.

[21] BRACCESI, C. AND CORRADI, L. (2016). *Retrofitting of Suspension Bridges*: State of the Art and Case Studies. Advances in Civil Engineering, 2016.

[22] TAURINO, A.M., NAPOLI, A. AND AMATO, G. (2018). *Corrosion and Corrosion Protection of Cable-Stayed Bridges*: An Overview. Coatings, 8(6), p.206.

[23] LIU, Y., LIU, Y., WEI, D., AND ZHANG, B. (2020). *Condition Monitoring and Maintenance of Cable-Stayed Bridges*: A Review. Sensors, 20(6), p.1608.

[24] BANGASH, M. Y. H., & BANGASH, T. (2012). *Design and Construction of Cable-Stayed Bridges*. John Wiley & Sons.

[25] AL-OBAIDI, S. A., & RAHMAN, A. R. A. (2018). *Maintenance and Inspection of Bridges*. Springer.

[26] HERNÁNDEZ, S., & FABER, M. H. (2014). *Cable-Stayed Bridges: 40 Years of Experience Worldwide*. CRC Press.

Ing. Eva Tůmová, Ph.D.
tumova.e@centrum.cz

CERTIFIKOVANÉ SANAČNÍ OMÍTKOVÉ SYSTÉMY WTA-Inter
CERTIFIED RESTORATION PLASTER SYSTEMS WTA-Inter

Vydavatel: WTA-Certifikační komise „Sanační omítkové systémy“
Stav k: 18. 7. 2023

Firma	Produkt	Platnost do:
Master Builders Solutions CZ s.r.o.	- PCI Saniment 02 - PCI Saniment 03	duben 2024
Baumit GmbH Werk Landsberg	- Sanova SP Grey - Sanova Pre - Sanova SP Grano - Sanova SP HS - Sanova SP White - Sanova Por - Sanova HIQ TOP	duben 2025
Baumit GmbH Werk Schönach	- Sanova SP Grey - Sanova SP Grano - Sanova Por	duben 2025
BKM MANNESMANN AG	- BKM-SP	říjen 2023
BOLIX S.A. Polen	- Bolix Z-PT (nur netzförmig zulässig) - Bolix T-WL - Bolix T-RH	květen 2025
Bostik GmbH	- Bostik Spritzbewurf WTA (nur netzförmig zulässig) - Bostik Porengrundputz WTA - Bostik Sanierputz WTA	leden 2024
Capatect Baustoffindustrie GmbH	- Capatect Vorspritz - Capatect Porengrundputz - Capatect Sanierputz Rapid	certifikáty již nejsou platné
epasit GmbH	- epasil MineralSanoPro hb (nur netzförmig zulässig) - epasit MineralSanoPro ap - epasit MineralSanoPro lpf-WTA	srpen 2024
G. Theodor Freese GmbH	- FREESE Sanierputz weiß (zur Händischen Verarbeitung)	červenec 2024
Farby Kabe Polska Sp. z o.o.	- Kabe Mineralit Restauro TB (nur netzförmig zulässig) - Kabe Mineralit Restauro TW - Kabe Mineralit Restauro TU	leden 2024
HASIT Šumavské vápenice a omítkárny s.r.o.	- SANIER Vorspritzmörtel 205 - SANIER-Porenausgleichsputz 208 - SANIER-Wandputz 200 - SANIER-Wandputz 210	duben 2025
HASIT Trockenmörtel GmbH	- HASIT Calsolan POR - HASIT Calsolan TOP	červenec 2024
Heinrich Hahne GmbH & Co. KG	- INTRASIT VS-WTA 54Z - INTRASIT GP-WTA 54Z - INTRASIT SAP-WTA 54Z - INTRASIT SanUno-WTA 54Z	certifikáty již nejsou platné
HECK Wall Systems GmbH & Co. KG	- Rajasil Spritzbewurf (nur netzförmig zulässig) - Rajasil Porengrundputz Plus - Rajasil Sanierputz SP2 fein/grob für Ausfärbungen - Rajasil Sanierputz SP2 Classic - Rajasil Sanierputz SP 3 - Rajasil Sanierputz SP 4	říjen 2024
Hornbach Baustoff Union GmbH	- Unio-Plus Sanierputz-Vorspritzmörtel WTA - Unio-Plus Sanierputz WTA Leicht weiß	prosinec 2023

Hufgard Optolith Bauprodukte Polska Sp. z. o.o.	- Optosan HSB Sanier-Vorspritzmörtel (nur netzförmig aufbringen) - Optosan ASP Ausgleich-Porengrundputz - Optosan USP Universal-Sanierputz	leden 2024
ISOTEC GmbH Werk Kürten-Herweg	- ISOTEC Sanierputz weiß - ISOTEC Spritzbewurf (nur netzförmig zulässig)	červenec 2024
KEIMFARBEN GmbH & Co. KG	- KEIM Porosan-Trass-Sanierputz NP - KEIM Porosan-Ausgleichsputz NP - KEIM Porosan-HF-Sanierputz	květen 2025
Kerakoll S.p.A. Italien	- Biocalce Rinzaffo - Biocalce Intonaco - Biocalce Zoccolatura	červen 2023
Knauf Gips KG	- Spritzbewurf STENS HAFT (nur netzförmig zulässig) - Saniergrundputz STENS GRUND - Sanierputz STENS HELL - Sanierputz Popo	prosinec 2023
Krkonošské vápenky Kunčice, a.s.	- 0210 KVK sanační omítka - 0230 KVK podkladní omítka - 0250 KVK renovační omítka jednovrstvá	certifikáty již nejsou platné
Cemix Hungary Kft.	- EUROSAN UP - EUROSAN OP	květen 2023
LB Cemix s.r.o.	- Spritzbewurf WTA (044) - Ausgleichsputz WTA (014) - Sanierputz WTA (024) - Sockelputz 064	červen 2025 květen 2023
MAPEI Kft.	- POROMAP RINZAFFO (Spritzbewurf) - POROMAP INTONACO (Sanierputz)	certifikáty již nejsou platné
MARBOS GmbH & Co.KG	- MARBOS Sanierputz SP w	červenec 2025
maxit Baustoffwerke GmbH, Krölpa	- maxit san Vorspritz - maxit san Grund - maxit san Weiss - maxit san Standard - maxit san Solo	srpen 2023
MC Bauchemie Müller GmbH & Co. KG	- Oxal VSM WTA (Sanier-Vorspritzmörtel) - Oxal PGP WTA (Sanier-Ausgleichsputz) - Oxal WPw WTA (Sanierputz einlagig)	certifikáty již nejsou platné
Baumit GmbH	- MUROsan Spritzbewurf WTA (nur netzförmig zulässig) - MUROsan Porengrundputz WTA - MUROsan Sanierputz WTA weiß - MUROsan duo Sanierputz WTA und Dämmputz - SanovaPre - SanovaMonoTrass	prosinec 2023 prosinec 2023
PCI Augsburg GmbH	- PCI Saniment® 2in1	květen 2025
PERLIT spo. s r.o.	- Grundputz WTA - Podhoz WTA - Podkladní omítka WTA	červen 2024
Profibaustoffe Austria GmbH	- Profi Poretec WTA Vorspritzer - Profi Poretec WTA Ausgleichsputz - Profi Poretec WTA Sanierplus weiß - Profi Poretec WTA Trass Einlagenputz	duben 2024
Remmers GmbH	- 0400 SP Prep - 0401 SP Levell - 0402 SP TOP white - 0416 SP TOP SR - 0420 SP TOP basic - 0417 SP TOP WD rapid	červen 2024 prosinec 2024
Rygol Baustofferk GmbH & Co. KG	- SAKRET Sanier-Spritzbewurf SAS-HS (nur netzförmig) - SAKRET Porengrundputz PGP-HS - SAKRET Sanierputz SAP-HS	duben 2025

Rubersteinwerk GmbH	- Ruberstein Spritzbewurf - Ruberstein Porengrundputz WTA - Ruberstein Sanierputz WTA	leden 2024
Saint-Gobain Weber GmbH Werk Barby	- weber san 950 - weber san 951 S (nur netzförmig zulässig) - weber san 952 - weber san 953 - weber san 954 - weber san 958	 červenec 2024 červenec 2025
Saint-Gobain Weber GmbH Werk Barby/Istein	- weber san 160 WTA - weber san 162 WTA - weber san 163 WTA	červenec 2024
SAKRET Bausysteme GmbH & Co. (Kalkwerk Rygol)	- SAKRET Sanierputz SPW - SAKRET Sanierputzspritzbewurf (nur netzförmig zulässig)	červenec 2025
Sakret CZ k.s.	- Sanační postřik SAS (podhoz) - Sanační vyrovnávací omítka ASP - Sanační omítka SAP	srpen 2024
Schomburg GmbH & Co. KG	- THERMOPAL-GP11 - THERMOPAL-SR44 - THERMOPAL-SR24 - THERMOPAL-SP - THERMOPAL-Ultra	duben 2025 říjen 2023
SCHWEPA Schwarzwälder Edelputzwerk GmbH	- Sanier-Vorspritzmörtel WTA (nur Netzförmig zugelassen) - Sanier-Wandputz leicht weiß WTA	prosinec 2023
SEMPRE FARBY Sp. Z o.o	- RENOWATOR 525 - Porengrundputz - RENOWATOR 545 - Sanierputz	prosinec 2024
SIKA Services AG	- Sanierputz SikaMur® Seco 21	červenec 2025
Sika CZ, s.r.o.	- SikaMur-410 - Sika-Mur-400 Unterputz - SikaMur-420 Renovierungsputz einschichtig	leden 2024 certifikát již není platný
Sievert Baustoffe GMBH & Co. KG	- akurit SAN-VS Sanier-Vorspritzmörtel - akurit SAN-PG Sanier-Porengrundputz - akurit SAN Sanierputz - akurit SAN-E plus Sanierputz einlagig - TSP-VS Sanier-Vorspritzmörtel - TSP-PG Trass-Sanier-Porengrundputz - TSP Trass-Sanierputz - TSP-E Trass-Sanierputz einlagig	říjen 2025
Sievert Baustoffe GMBH & Co. KG	- hahne INTRASIT VS-WTA Plus 54Z - hahne INTRASIT GP-WTA Plus 54Z - hahne INTRASIT SP-WTA Plus 54Z	říjen 2023
Sto SE & Co. KGaA	- StoMurisol-GP - StoMurisol-VS (nur netzförmig zugelassen) - StoMurisol-SP fein - StoMurisol-SP weiss - StoMurisol-SP getönt	duben 2023
Schuster GmbH VEINAL Bauchemie	- VEINAL Sanierputz WTA	květen 2025
Torggler S.r.l.	- Intonaco WTA	červenec 2024
Vandex Isoliermittel-Ges. mbH	- VANDEX Spritzbewurf WTA (nur netzförmig zulässig) - VANDEX Porengrundputz WTA - VANDEX Sanierputz WTA weiß - VANDEX Sanierputz WTA und Dämmputz	prosinec 2023

CERTIFIKOVANÉ INJEKTÁŽNÍ HMOTY PROTI KAPILÁRNÍ VLHKOSTI

Vydavatel: WTA-Certifikační komise „Injektážní hmoty proti kapilární vlhkosti“
Stav k: 20. 7. 2023

Firma	Produkt	Platnost do	Stupeň nasycení materiálu vodou			Aplikace	
			≤ 60 %	≤ 80 %	≤ 95 %	Tlaková injektáž	Beztlaková injektáž
BAS Mauerwerkstrockenlegung	BAS INJEKT 100	červenec 2024			X	X	
BAS-de GmbH	BAS 880	červen 2024			X		X
BKM.MANNESMANN AG	BKM.Mannesmann HP-HZ	prosinec 2023			X	X	
BKM.MANNESMANN AG	BKM HZ125	prosinec 2023			X	X	
BKM.MANNESMANN AG	BKM HZ-C	prosinec 2023			X	X	
BKM.MANNESMANN AG	BKM-HZ125 DL	prosinec 2023			X	X	
BKM.MANNESMANN AG	Novusan	prosinec 2023			X		X
BKM.MANNESMANN AG	Novustick	červenec 2024			X		X
Bostik GmbH	Kiesey Injektcreme	říjen 2024			X		X
Bostik GmbH	Bostik W 203	říjen 2024			X		X
Bostik GmbH Niederlassung MEM	MEM Trock. Wand Fix&Fertig	říjen 2024			X		X
BPA GmbH	BPA CEMsil SC-I	únor 2025			X		X
ConSeal Spezialbaustoffe GmbH	CS 561 Horizontalsperre SMK	červen 2024			X	X	
ConSeal Spezialbaustoffe GmbH	CS 564 Injektionscreme	červen 2024			X		X
DIRK OPLÄNDER Bau-Ing. GmbH	Opländer Paraffin	červen 2023			X		X
DOW Silicones Europe	DOWSIL IE 6687	říjen 2024			X		X
DOW Silicones Europe	DOWSIL 1-6184	prosinec 2024			X		X
epasit GmbH	IC Injektionscreme	únor 2025					
Evonik Resource Efficiency GmbH	Protectosil WS 770 P	srpen 2025			X		X
G. Theodor Freese GmbH	Freese Injektionscreme	listopad 2023			X		X
Getifix GmbH	Getifix Horizont S	prosinec 2022			X		X
Graf & Co. GmbH	Silsan Micro konz	červen 2024			X	X	
Graf & Co. GmbH	Silsan Cream CT-L	červen 2024			X		X
HECK Wall Systems GmbH	Rajasil NIG	červen 2024			X	X	
Heck Wall Systems GmbH	Rajasil HS EASY (Injektionscr.)	červenec 2023			X		X
IAT Injekt.- und Abdichtungstechnik	Inno MKW Aquastop	září 2023			X		X
ISOTEC GmbH	ISOTEC Spezialparaffin	květen 2024			X		X
ISOTEC GmbH	ISOTEC Injektionscreme	listopad 2023			X		X
ISO AB	Iso AB.B	červen 2025			X		X
KÖSTER BAUCHEMIE AG	KÖSTER Mautrol 2K	srpen 2024			X	X	
KÖSTER BAUCHEMIE AG	KÖSTER Crisin 76	červen 2025			X		X
KÖSTER BAUCHEMIE AG	KÖSTER Crisin Creme	prosinec 2024			X		X
KÖSTER BAUCHEMIE AG	KÖSTER Crisin 76 Stäbchen	březen 2024			X		X
Kurt Obermeier GmbH & Co. KG	KORATECT HZS	září 2023			X	X	
Kurt Obermeier GmbH & Co. KG	KORATECT HSC	říjen 2024			X		X
maxit Baustoffwerke GmbH	maxit san Injektionscreme	červen 2024			X		X
maxit Baustoffwerke GmbH	maxit san Horizontalsper. SMK	listopad 2023			X	X	
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co	MC-Injekt 2300 top	červen 2024			X	X	
Mc-Bauchemie Müller GmbH & Co.	Emcephob HSL-W	prosinec 2022			X	X	
Mc-Bauchemie Müller GmbH & Co.	Emcephob HSC	červenec 2023			X		X
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.	Oxal HSL	prosinec 2023			X	X	

Firma	Produkt	Platnost do	Stupeň nasycení materiálu vodou			Aplikace	
			≤ 60 %	≤ 80 %	≤ 95 %	Tlaková injektáž	Beztlaková injektáž
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.	OXAL Dry-In	březen 2025			X	X	
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.	MC-Injekt GL-95 TR	listopad 2024			X	X	
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.	MC-Injekt 3000 HPS	listopad 2023			X	X	
MEM Bauchemie GmbH	MEM Trock.Wand Fix&Fertig	říjen 2024			X	X	
Muro Bauprodukte GmbH	Muro fluid SMK	červen 2023			X	X	
Neisius Bautenschutzprodukte	CavaStop 300	listopad 2023		X			X
Novatech International N.V.	WP7-402	březen 2023			X		X
PCI Augsburg GmbH	PCI Barra Gisol	duben 2024			X	X	
PCI Augsburg GmbH	PCI Barra® Creme	srpen 2025			X	X	
Remmers Baustofftechnik GmbH	Kiesol, Art.-Nr. 1810	září 2024			X		X
Remmers Baustofftechnik GmbH	Kiesol C (Basic)	prosinec 2024			X		X
Remmers Baustofftechnik GmbH	Kiesol iK, Art.-Nr. 1813	červenec 2024			X	X	
Remmers Baustofftechnik GmbH	Kiesol C+	květen 2025			X	X	
Redstone GmbH & Co. KG	Secco Horizontalsperren-Sticks	červenec 2024			X		X
Redstone GmbH & Co. KG	Secco Horizontalsperre	červenec 2024			X		X
Rubersteinwerk GmbH	Ruberstein Microemulsion	říjen 2023			X	X	
Rubersteinwerk GmbH	Ruberstein Creme Inject	prosinec 2023			X		X
Rubersteinwerk GmbH	Ruberstein Microemuls. 1620	březen 2025			X	X	
Rubersteinwerk GmbH	Drysilex	září 2024			X	X	
Saint-Gobain Weber GmbH	Weber.tec 940 E	listopad 2023			X	X	
Saint-Gobain Weber GmbH	weber.tec 946	listopad 2023		X			X
Saint-Gobain Construction Polska	weber san Krem Injekcyjna	listopad 2023			X		X
Safeguard Europe GmbH	Dryrod 12mm Dampfcheck 80	červenec 2024			X		X
SANAX chemical construction s.r.o.	ResiInject Cream	květen 2025			X	X	
SCHOMBURG GmbH & Co. KG	Aquafin-F	listopad 2023			X	X	
SCHOMBURG GmbH & Co. KG	Aquafin-i380	červenec 2023			X		X
Schuster GmbH	VEINAL VSS 1-90	červen 2025		X		X	
SEMPRE Farby Sp. z o.o.	RENOWATOR 120	prosinec 2024			X	X	
SEMPRE Farby Sp. z.o.o	RENOWATOR 190	srpen 2024			X	X	
Sika Services AG	SikaMur®InjectoCream 100	květen 2024			X		X
Sievert Polska Spółka z o.o.	IC Krem Iniekcyjny	březen 2025			X		X
Sievert Baustoffe GmbH&Co. KG	Intrasit IC 280S	březen 2023			X		X
Sievert Baustoffe GmbH&Co. KG	Intrasit AS 880S	listopad 2022			X		X
Sievert Baustoffe GmbH&Co. KG	Intrasit MEK 180S	březen 2023			X	X	X
Sotano Mörtel und Putze GmbH&Co.	Likosil 95	červenec 2024			X	X	
STO AG	StoMurisol Micro	prosinec 2023			X	X	
TPH Bausysteme GmbH	AQUASTOP	prosinec 2023			X		X
TRADECC NV	PC AQUADRY GEL	prosinec 2022			X		X
VANDEX Isoliermittel GmbH	VANDEX IC	únor 2025			X	X	
VOLTECO S.p.A.	TripleZero	červenec 2024			X		X
Wacker Chemie AG	SILRES BS SMK 550	březen 2025			X	X	
Wacker Chemie AG	SILRES(R) BS SMK 1311	březen 2025			X	X	
Wacker Chemie AG	SILRES BS Creme D	březen 2025			X		X
WBA Abdichtungssysteme GmbH	Batisecc C	září 2024			X		X
WEBAC-Chemie GmbH	WEBAC 1401	září 2023			X	X	
WEBAC-Chemie GmbH	WEBAC 2130	březen 2023			X		X

KLOKNERŮV ÚSTAV ČVUT V PRAZE

WTA CZ

Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky z.s. společně s Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze

pořádají

45. KONFERENCI „SANACE A REKONSTRUKCE STAVEB 2023“

a

25. MEZINÁRODNÍ KONFERENCI WTA CZ „CRRB - 25TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS“

Konference se budou konat v Kloknerově ústavu ČVUT v Praze
Šolínova 1903/7, 166 08 Praha 6 - Dejvice

ve dnech 9. a 10. listopadu 2023.

Konference je zařazena do programu akcí celoživotního vzdělávání členů ČKAIT
ONLINE REGISTRACE: http://www.klok.cvut.cz/konference/

Konference se zabývá již tradiční problematikou sanací a rekonstrukcí staveb.

Termín přijetí odborných příspěvků a přihlášek na konferenci do **1. 10. 2023.**

Vybrané vědecké články z konference CRRB 2023 budou uveřejněny ve vědeckém časopisu zařazeném v databázi Scopus.

Podrobnější program a více informací na: www.klok.cvut.cz