

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 173

ISSN 1213-418X

Jiří Bydžovský

**OPTIMALIZACE SANACE
ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ
SPRÁVKOVÝMI MATERIÁLY
PŘI VYUŽITÍ DRUHOTNÝCH SUROVIN**

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta stavební

Ústav technologie stavebních hmot a dílců

Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

**Optimalizace sanace železobetonových konstrukcí správkovými materiály
při využití druhotných surovin**

**Optimization in reconstruction of reinforced concrete structures using
repair materials containing industrial waste materials.**

Zkrácená verze habilitační práce



BRNO 2005

Klíčová slova: Betonové konstrukce, správková malta, ochrana a oprava, kontrola kvality.

Key words: Concrete structures, repair mortar, protection and repair, quality control.

Místo uložení habilitační práce: Archiv PVO FAST VUT v Brně.

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	DEGRADACE ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	5
2.1	Specifikace agresivních prostředí	5
2.2	Faktory ovlivňující rychlost degradace cementových kompozit	5
3	ÚČEL A POSTUP SANAČNÍHO ZÁSAHU	6
3.1	Diagnostika	6
3.2	Strategie sanace.....	7
3.3	Technologie provádění sanace	9
3.3.1	<i>Metody předúpravy povrchu betonu</i>	9
3.3.2	<i>Metody předúpravy výztuže</i>	9
3.3.3	<i>Metody ochrany a opravy výztuže</i>	9
3.3.4	<i>Metody ochrany a opravy betonu</i>	9
3.4	Materiály pro provádění sanace	10
3.4.1	<i>Materiály pro antikorozi ochranu výztuže</i>	10
3.4.2	<i>Adhezní můstek</i>	10
3.4.3	<i>Správkové hmoty</i>	10
3.4.4	<i>Povrchové ochranné systémy</i>	11
3.5	Kontrola sanace.....	11
4	VYUŽITÍ ODPADŮ VE STAVEBNICTVÍ JAKO DRUHOTNÝCH SUROVIN.....	12
4.1	Metodika experimentálních prací.....	12
4.1.1	<i>Postup prací</i>	12
4.1.2	<i>Přehled navržených receptur</i>	13
4.1.3	<i>Metodika zkoušek</i>	14
4.2	Výsledky vybraných zkoušek	15
4.2.1	<i>Souhrn výsledků zkoušek I. etapy</i>	15
4.2.2	<i>Souhrn výsledků zkoušek II. etapy</i>	16
4.3	Výběr optimálních hmot	22
5	ZÁVĚR.....	22
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	23
7	ABSTRACT	25



Ing. Jiří Bydžovský, CSc. (*1970, Hodonín)

Vzdělání

- Středoškolské: 1984 – 1988 Střední průmyslová škola stavební v Hodoníně, obor Průmyslová výroba stavebních hmot a dílců.
- Vysokoškolské: Ing. 1988 – 1993 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Technologie stavebních hmot a dílců.
CSc. 2001 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor 39-13-09 Nauka o nekovových materiálech a stavebních hmotách

Odborná a pedagogická činnost

- Odborný asistent a tajemník ústavu Technologie stavebních hmot a dílců FAST VUT v Brně.
- Výuka předmětů Technologie sanace, Oceňování, Maltoviny a Technologie betonu.
- Vedoucí SVOČ a STČ (dosud 8 prací, v roce 2005 vedoucí vítězné práce na Mezinárodním kole v Košicích), vedoucí diplomových prací (dosud 12 prací) a školitel doktorandů (dosud 3 doktorandi).
- Garant a organizátor kurzů celoživotního vzdělávání akreditovaných ČKAIT: Zásady technologie sanace betonu – praktický kurz (3-denní) a Trvanlivost a sanace železobetonových konstrukcí (3-denní).
- Řešitel 4 projektů a grantů (GAČR 103/03/D087, MPO FF-P2/099, FR 860 a FV 280010/98).
- Spoluřešitel nebo vedoucí dílčího týmu v rámci 3 výzkumných záměrů, 6 projektů a 3 grantů.
- Od roku 2002 člen Vědeckotechnické společnosti pro sanace staveb a péči o památkové objekty – WTA CZ a vedoucím referátu Fyzikální a chemické zásady.
- Spoluautor technických a kvalitativních podmínek pro firmy ČEZ a.s., Sdružení pro sanace betonových konstrukcí a Eurotel Praha spol. s r.o.
- Spolupráce s Českým normalizačním institutem na překladu a lokalizaci evropských norem z oblasti výrobků a systémů pro ochranu a opravy betonových konstrukcí.
- Zpracovávání znaleckých posudků v oblasti vad a poruch staveb v rámci znaleckého ústavu STAVEXIS s.r.o.
- Zástupce vedoucího Akreditované zkušební laboratoře při ÚTHD FAST VUT v Brně č. 1396 a vedoucí zkušebny stavebních hmot a betonů.

Ing. Jiří Bydžovský, CSc., je kvalifikovaným vysokoškolským pedagogem a odborníkem v oblasti návrhu sanace betonových konstrukcí, metod a postupů provádění sanačních prací, vývoje a použití správkových hmot a realizace kontrolních činností v průběhu procesu sanace.

1 ÚVOD

Jedním z nejrozšířenějších stavebních materiálů současnosti je bezesporu beton resp. železobeton s pojivem na bázi portlandského cementu. Z monolitického nebo prefabrikovaného betonu je budována významná část staveb, zejména průmyslových a inženýrských, ale i bytových apod. Tyto železobetonové konstrukce účinky různých mechanických a chemických vlivů postupně degradují a vyžadují v průběhu své životnosti sanační zásah, který umožní dosažení nebo i prodloužení původně projektované životnosti stavby.

Sanace železobetonových konstrukcí jsou moderní, dynamicky se rozvíjející disciplínou, a je pozitivní že tento trend byl v České republice včas zachycen a je na úrovni srovnatelné se státy západní Evropy i USA. Jako ve všech oblastech, i zde existuje neustálá snaha zvyšovat efektivnost prací, ať už po stránce technické nebo ekonomické, ale i ekologické – i když spíše pouze jako druhotný efekt, doprovázející přínosy ekonomické.

2 DEGRADACE ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Prostředí působí na stavební konstrukce řadou vnějších vlivů. Dle charakteru tyto vlivy rozdělujeme na:

- vlivy fyzikálně-mechanické (vliv zatížení, působení vlhkosti a mrazu, gradient teplot atd.);
- vlivy fyzikálně-chemické (agresivní látky /kapaliny, plyny, pevné látky/, biogenní vlivy atd.).

V praxi jsou stavební konstrukce vystaveny synergickému působení uvedených vlivů. Laboratorně simulovat reálné podmínky, ve kterých se stavební materiály při své exploataci nalézají lze většinou jen v omezené míře. Z tohoto důvodu se zpravidla při laboratorních analýzách separátně modeluje vliv fyzikálně mechanických faktorů a zvláště vliv činitelů fyzikálně chemických.

2.1 SPECIFIKACE AGRESIVNÍCH PROSTŘEDÍ

Agresivní prostředí, jehož působení mohou být železobetonové konstrukce vystaveny, lze dle skupenství rozdělit na prostředí na plynná, kapalná a pevná.

Obecně lze konstatovat, že působením agresivních látek jsou buď postupně vymývány pojivové složky, případně dochází v mikrostruktuře betonu ke vzniku značně objemných krystalických novotvarů, které svými expanzními tlaky narušují strukturu betonu a jsou tak příčinou jeho degradace. Z hlediska životnosti železobetonových konstrukcí je ovšem velmi podstatná skutečnost, že v důsledku těchto negativních procesů postupně klesá hodnota pH.

V silně alkalických prostředích vytváří železato-železité hydroxidy na povrchu výztuže kompaktní povlak, který chrání výztuž vůči masivní korozi. Při degradaci betonu dochází k poklesu hodnoty pH, výztuž přestává být chráněna a jsou vytvářeny podmínky pro její rapidní korozi. Rychlost koroze výztuže je mimo hodnoty pH betonu ovlivňována řadou dalších faktorů, jako např. kolísáním vlhkosti betonu, přítomností rozpustných solí ve struktuře betonu apod. [1]

2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ RYCHLOST DEGRADACE CEMENTOVÝCH KOMPOZIT

Principiálně lze vlivy, které limitují životnost betonových konstrukcí resp. obecně cementových kompozit rozdělit do dvou skupin, a to na vlivy charakterizující vlastní prostředí, ve kterém je materiál exploátován a na vlivy specifikující schopnost materiálu těmto vlivům odolávat.

Vlivy popisující působení agresivního prostředí:

- druh agresivního prostředí,
- koncentrace agresivního média,

- fyzikálně mechanické spolupůsobení (např. kolísání hladiny vody atd.),
- teplota agresivního prostředí (ovlivňuje kinetiku chemických reakcí),
- vlhkost prostředí resp. kolísání vlhkosti.

Vlivy determinující odolnost konstrukce (materiálu):

- chemické a fyzikální složení cementového kamene,
- pórová struktura betonu,
- průřez konstrukce,
- vlastnosti styčné plochy povrchu konstrukce s agresivním prostředím.

3 ÚČEL A POSTUP SANAČNÍHO ZÁSAHU

Pod pojmem „sanace betonové konstrukce“ se skrývá komplexní proces ochrany a opravy betonových konstrukcí, odpovídající vysokým kvalitativním požadavkům a kritériím na další životnost sanovaných konstrukcí. Hlavním cílem ochrany a opravy betonu je především zpomalit korozní procesy, probíhající v betonových prvcích, obnovit jejich původní rozměry i požadovaný estetický vzhled a následně prodloužit jejich trvanlivost. Pro ochranu a opravu jsou použitelné i preventivní zásahy na dosud korozně nepoškozené betonové konstrukci, prováděné s cílem v předstihu prodloužit jejich trvanlivost.

Sanace betonové konstrukce se člení do čtyř kategorií podle požadavků, které jsou na ochranu a opravu kladeny: [3]

- preventivní (profylaktický) zásah na dosud korozně nepoškozené a staticky zcela vyhovující konstrukci, jehož jediným cílem je v předstihu s co nejmenšími náklady prodloužit životnost objektu,
- ochrana a oprava, jejímž cílem je obnovit estetický vzhled konstrukce, zejména pokud se týče barevného řešení; tento zásah je pochopitelně současně využíván i k prodloužení životnosti objektu,
- sanační zásah na korozně poškozené konstrukci, která však po statické stránce stále vyhovuje; cílem tohoto typu sanace je zastavit pokračování korozních procesů, obnovit estetický vzhled konstrukce i veškeré její další užité parametry,
- sanační zásah, kdy v důsledku korozních procesů je již ohrožena nejen životnost konstrukce, ale i její statická bezpečnost; konstrukci je třeba zesílit např. přidáním nové výztuže; tento typ sanace připadá v úvahu i tehdy, mají-li být změněny užité parametry objektu, tj. např. zvětšeno užité zatížení.

Standardními součástmi sanačního procesu jsou tyto kroky:

- provedení diagnostiky konstrukce,
- zpracování technologického postupu sanace,
- realizace sanace konstrukce,
- ověření kvality prací kontrolními zkouškami.

3.1 DIAGNOSTIKA

Diagnostika slouží k posouzení aktuálního stavu vyšetřované konstrukce a v ní zabudovaných materiálů. Hodnoceny jsou fyzikálně-mechanické i fyzikálně-chemické vlastnosti.

Diagnostika je důležitým podkladem pro návrh sanace, neboť pouze na základě podrobné znalosti aktuálního stavu, míry a příčin vzniku poruch vyšetřované betonové resp. železobetonové konstrukce, je možno navrhnout a realizovat adekvátní metodu sanace.

Diagnostika konstrukcí a materiálů se provádí prostřednictvím stavebně technického průzkumu, který se podle účelu člení na předběžný, podrobný a doplňkový. [3], [7]

Na základě dosažených výsledků se vyhodnotí stav jednotlivých posuzovaných konstrukcí a v nich obsažených materiálů. U konstrukce jako celku se posoudí vliv zjištěných parametrů na statiku. Pro výztuž se zhodnotí zejména míra její koroze, rozmístění v prvcích, tloušťka krycí vrstvy betonu apod. U nejobjemnější složky - betonu - se stanoví a vyhodnotí zejména rozsah narušení, pevnostní třída, a stanoví se míra degradace.

Určení majoritních degračních vlivů umožňuje navrhnout pro sanaci vhodné materiály i technologie, které budou daným specifickým vlivům, jimž je konkrétní konstrukce vystavena, dostatečně odolné.

Důležitou součástí hodnotící zprávy je také fotodokumentace, zachycující stav a charakteristické poruchy vyšetřované konstrukce.

3.2 STRATEGIE SANACE

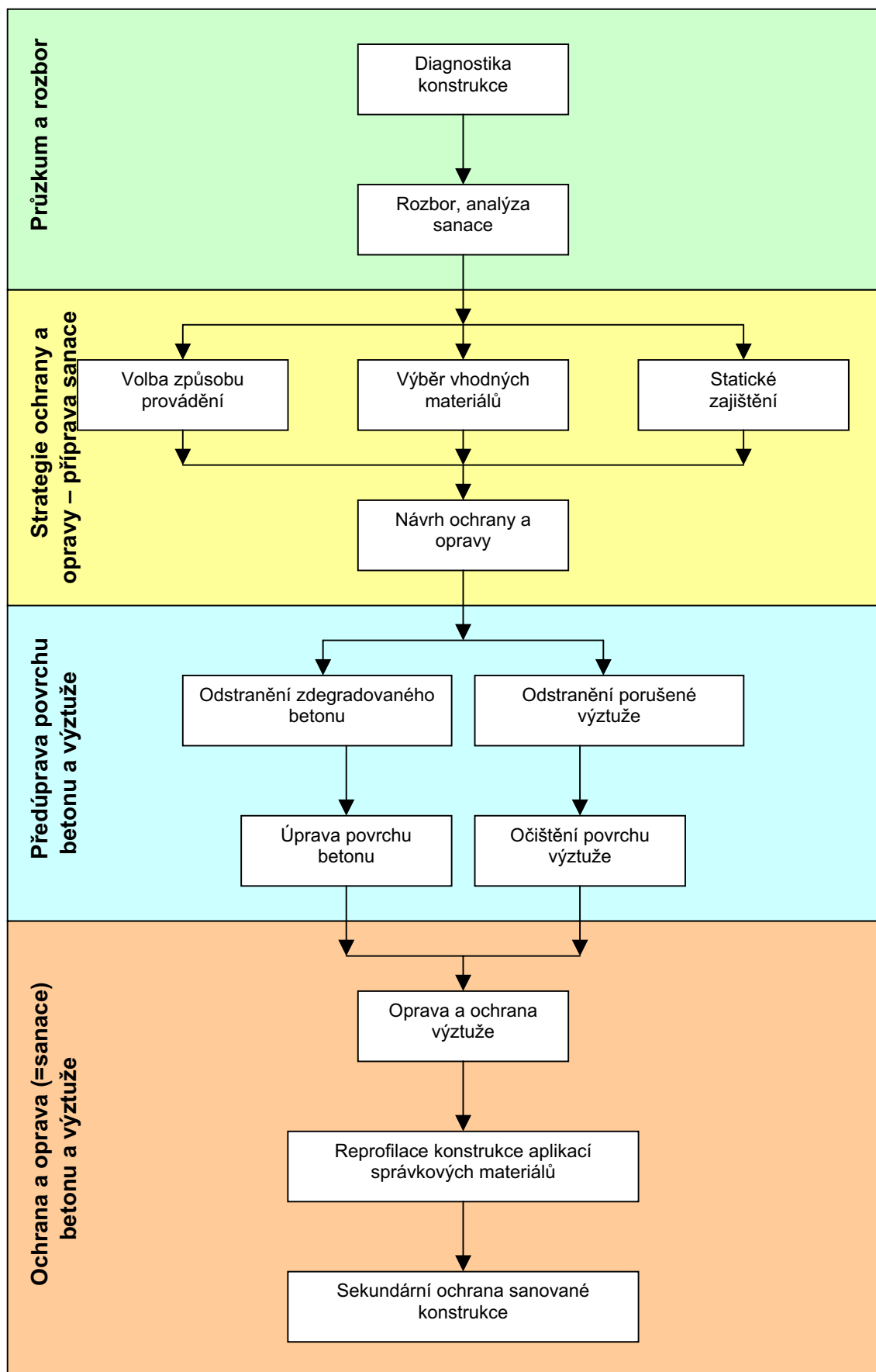
Postup sanace betonových konstrukcí závisí na stavu konstrukce, a v ní zabudovaných materiálů. Aktuální stav konstrukce a materiálů se zjistí prostřednictvím diagnostiky, popsané v předchozí kapitole. Prioritním cílem sanace železobetonové konstrukce je zpomalit korozní procesy probíhající na povrchu výztuže nebo vzniku těchto procesů předem zabránit. Také je třeba vzít do úvahy podmínky provádění sanace (včetně klimatických), požadavky na budoucí využití konstrukce a další podstatné charakteristiky.

Výběr strategie pro sanaci betonu se neřídí jen čistě technickými hledisky. Je rovněž nutno vzít v úvahu hlediska ekonomická, která budou rozhodování ovlivňovat. Graficky je postup přípravy a provádění sanace znázorněn na obrázku číslo 1.

Při návrhu sanace je nezbytné zohlednit chemický, elektrochemický a fyzikální stav betonového podkladu, znečištění, únosnost, pohyby a otřesy během provádění ochrany a opravy, podmínky okolí a vlastnosti látek, které jsou v nosné konstrukci obsaženy jakož i vlastnosti ochranných a správkových výrobků a systémů. [39]

Je nutno splnit následující požadavky:

- docílení požadovaného stavu podkladu pokud jde o čistotu, drsnost, tvorbu trhlin, pevnosti v tahu a tlaku, chloridy anebo jiné nečistoty a jejich pronikání, hloubku karbonatace, obsah vlhkosti, teplotu a korozi výztuže,
- vzájemnou kompatibilitu původního betonu a výztuže s ochrannými a správkovými výrobky a systémy a kompatibilitu mezi různými výrobky a systémy, včetně zabránění podmínkám, které by mohly vést ke korozi,
- dosažení stanovených vlastností výrobků a systémů při nanášení a ve ztvrdlém stavu pro dosažení ochrany a opravy nosné konstrukce,
- nutné podmínky skladování a použití (teplota okolí, vlhkost vzduchu a rosný bod, síla větru a srážky a všechna potřebná, časově omezená ochranná opatření).



Obr. 1: Postup přípravy a provedení sanace

3.3 TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ SANACE

Při volbě jednotlivých zásad a metod technologií provádění sanace hrají důležitou roli různé aspekty, např. výše počátečních nákladů, náklady na ochranu a opravu a možného užívání konstrukce. Každá z možností technologického postupu sebou pravděpodobně ponese různou výši rizika budoucího znehodnocení.

3.3.1 Metody předúpravy povrchu betonu

Hlavním cílem předúpravy betonových povrchů je odstranění zbytků starších povrchových nátěrů, případně tzv. pačoku, prachu, řas, odbedňovacích prostředků, povrchového znečištění, odstranění narušených, zkarbonatovaných nebo agresivními médii kontaminovaných povrchových vrstev betonu a dosažení únosného betonového podkladu pro nanášení správkových hmot. Odstraněnou vrstvu je nutno omezit na nejmenší míru, současně však musí být odstraněn veškerý beton, který nemá dostatečnou pevnost nebo je poškozen. Musí se stanovit a zohlednit zjištěná hloubka karbonatace, hloubka průniku chloridů nebo jiných látek do betonu. [39]

Odstraněná vrstva nesmí ovlivnit stabilitu a bezpečnost konstrukce a její funkci. Pro dodržení této podmínky může být nezbytné její dočasné podepření, resp. postupné odstraňování betonu a současná průběžná reprofilace tak, aby nedošlo k výraznému oslabení konstrukce.

3.3.2 Metody předúpravy výztuže

Hlavním cílem předúpravy a čištění ocelové výztuže je zbavit se zkorodovaných nebo jinak poškozených částí výztuže. Tlusté vrstvy rzi, které se hromadí na ocelové výztuži během korozního procesu, jsou příčinou oddělování vrstev betonu a odlupování. Před nanášením ochranných a správkových systémů je nutno předupravit původní i novou výztuž. Z veškeré odhalené výztuže je nutno odstranit rez, povlak, maltu, beton, prach a jiné látky, které snižují přilnavost nebo přispívají ke tvorbě koroze. [39]

3.3.3 Metody ochrany a opravy výztuže

Výztuž může být ohrožována korozí, protože buď chybí její krycí vrstva, nebo je krycí vrstva betonu nad výztuží kontaminovaná (např. chloridy), je zkarbonatovaná, má nedostatečnou tloušťku apod.

Mezi nejčastější metody ochrany a opravy výztuže patří:

- ochrana nebo obnovení pasivace – vytvoření chemických podmínek, za jakých je udržována nebo obnovena pasivace povrchu výztuže,
- zvýšení elektrického odporu betonu,
- úprava katodické oblasti – vytvoření podmínek, za kterých potenciální katodické oblasti výztuže nemohou vyvolávat anodickou reakci,
- úprava anodické oblasti – vytvoření podmínek, za kterých potenciálně anodické oblasti výztuže nejsou schopné zúčastnit se korozní reakce.

3.3.4 Metody ochrany a opravy betonu

Mezi nejčastější metody ochrany a opravy betonu patří

- ochrana proti vnikání – omezení nebo zabránění průniku škodlivých činitelů (např. vody, jiných kapalin, páry, plynu, chemikálií a biologických látek),
- ovlivnění vlhkosti – nastavení a udržování obsahu vlhkosti v betonu v daných mezích,
- obnova betonu – obnovení původního betonu prvku konstrukce do původně stanoveného tvaru a funkce, obnovení betonové konstrukce náhradou její části,
- zesílení konstrukce – zvýšení nebo obnovení únosnosti prvku betonové konstrukce.

3.4 MATERIÁLY PRO PROVÁDĚNÍ SANACE

Pro dosažení požadovaných vlastností a trvanlivosti sanované konstrukce je nezbytná správná volba materiálů. Při jejich výběru je nezbytné znát podmínky budoucího provozu a prostředí, ale je potřeba zohlednit i způsob a podmínky provádění. Výrobky a systémy musí být vhodné pro podklad a konstrukci na níž jsou použity.

Při volbě materiálů je vhodné vybírat ucelené materiálové systémy, zajišťující vzájemnou kompatibilitu jednotlivých materiálů. Výrobky musí být před jejich použitím uskladněny tak, aby nedošlo k ovlivnění jejich vlastností.

3.4.1 Materiály pro antikorozní ochranu výztuže

Cílem antikorozní ochrany výztuže je zabránit přístupu vody a kyslíku k povrchu kovu a tak eliminovat vznik elektrochemické koroze. Antikorozní ochrana výztuže obvykle vytváří na jejím povrchu hutný celistvý povlak se zvýšenou alkalitou. Nejčastěji se pro antikorozní ochranu používají tekuté polymercementové malty s velmi jemným plnivem, případně lze použít i materiály polymerní. Aplikace se provádí obvykle štětcem, a je nezbytné dbát na důkladné nanesení přípravku na celou plochu odhalené výztuže.

3.4.2 Adhezní můstek

Adhezní můstek se používá pro zlepšení soudržnosti správkové malty s podkladním betonem. Jako adhezní můstek se používají tekuté polymercementové malty s velmi jemným plnivem, případně lze použít i materiály polymerní. Velmi často se pro antikorozní ochranu a adhezní můstek používá totožný materiál. Funkce adhezního můstku spočívá v proniknutí a zakotvení do otevřené pórové struktury betonu a jeho následném chemickém provázání se správkovým materiálem, nanášeným způsobem „čerstvé na čerstvé“. Zlepšení soudržnosti pomocí adhezního můstku se využívá zejména u ručně nanášených hmot, kde bývá problém vyvinout dostatečný tlak, zajišťující proniknutí jemných složek malty do struktury podkladu.

3.4.3 Správkové hmoty

Tyto hmoty slouží k reprofilaci (znovuobnovení) původního rozměru betonové konstrukce, a současně k vytvoření krycí vrstvy nad výztuží. Na správkové hmoty je kladeno mnoho požadavků. Nezbytná je dobrá zpracovatelnost, soudržnost s podkladem, pevnosti mírně vyšší než má původní beton, modul pružnosti stejný nebo nižší jako podkladní beton apod. Přehled základních požadavků na správkové malty je uveden v tabulce číslo 1.

Správkové hmoty se člení podle složení do tří základních skupin:

- cementové malty a betony (CC),
- polymercementové malty a betony (PCC) – malty a betony modifikované polymerními přísadami (typické složení PCC je uvedeno v tabulce číslo 2),
- polymermalty a polymerbetony (PC) – malty a betony, jejichž pojivem jsou polymerní pryskyřice.

Tab. 1: Základní požadované parametry správkových hmot [3]

Sledovaná vlastnost	Požadovaná hodnota pro	
	průkazní zkoušky	kontrolní zkoušky
Pevnost v tlaku	> 25 MPa < 50 MPa	> 25 MPa < 50 MPa
Pevnost v tahu za ohybu	> 5,5 MPa	> 5,5 MPa

Sledovaná vlastnost	Požadovaná hodnota pro	
	průkazní zkoušky	kontrolní zkoušky
Soudržnost s podkladem	$\varnothing > 1,7 \text{ MPa}$ jednotl. $> 1,5 \text{ MPa}$	$\varnothing > 1,1 \text{ MPa}$ jednotl. $\geq 0,8 \text{ MPa}$
Smršťování	$< 0,5 \text{ ‰}$	--
Sklon k tvorbě trhlin	1 trhlina šířky do 0,1 mm	1 trhlina šířky do 0,1 mm
Mrazuvzdornost	T 100	--
Koeficient teplotní roztažnosti	$< 14 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	--
Statický modul pružnosti	$< 30 \text{ GPa}$	--

Tab. 2: Typické složení polymercementových správkových malt (PCC)

Složka	Popis, vlastnosti
Pojivo	Pojivo spojuje veškeré plnivo v kompaktní celek. Obvykle se jedná o portlandské cementy.
Plnivo - kamenivo	Plnivo tvoří kostru hmoty, a snižuje obsah pojiva. V závislosti na doporučené tloušťce aplikace se používá drobné a případně i hrubé kamenivo.
Speciální plniva - fillery	Velmi jemná plniva vyplňují mezery mezi zrny drobného kameniva. Některé typy se rovněž zapojují do reakcí (např. popílky s latentně hydraulickými vlastnostmi) a mohou nahradit část pojiva.
Polymerové modifikátory	Používají se pro vylepšení vlastností správkových materiálů, zejména pro zvýšení soudržnosti aplikované hmoty s podkladem.
Rozptýlená výztuž	Používají se převážně plastová vlákna, která umožňují zlepšení tahových vlastností materiálu, popř. omezují tvorbu smršťovacích trhlin
Přísady	Různé modifikující přísady se používají pro úpravu vlastností správkového materiálu. Jedná se zejména o urychlovače, zpomalovače, plastifikátory, provzdušňující přísady apod.

3.4.4 Povrchové ochranné systémy

Povrchové ochranné systémy vytvářejí na povrchu sanované betonové konstrukce doplňující bariéru proti průniku nežádoucích médií, zejména k ocelové výztuži. Jedná se především o průnik oxidu uhličitého a vody, může se však jednat i o celé spektrum dalších agresivních médií podle konkrétní expozice železobetonového prvku. Současně povrchové ochranné systémy barevně sjednocují povrch opravované betonové konstrukce a zlepšují její celkový vzhled.

3.5 KONTROLA SANACE

Pro dosažení kvalitní sanace je nezbytné průběžné provádění kontrolních zkoušek, ověřujících správný způsob provedení prací i vlastnosti aplikovaných materiálů.

Zkoušky by měly být provedeny po všech základních krocích sanace, mezi které obvykle patří:

- kontrola provedení předúpravy povrchu betonu a odhalené výztuže,
- kontrola provedení antikoroziního nátěru výztuže,
- kontrola aplikovaných správkových malt,
- kontrola aplikovaných povrchových úprav.

4 VYUŽITÍ ODPADŮ VE STAVEBNICTVÍ JAKO DRUHOTNÝCH SUROVIN

Produkce stavebních hmot je dosud převážně založena na využívání klasických nerostných surovin, které však jsou neobnovitelné a nepřemístitelné. Nerostná surovinová základna ČR je značně rozmanitá, a prozatím postačuje produkci stavebních materiálů.

Za prvotní suroviny se považují přírodní látky anorganického nebo organického původu, určené k dalšímu zpracování. Druhotné suroviny jsou suroviny nebo materiály získané z odpadů, které jsou způsobilé k dalšímu využití. V současnosti lze pozorovat trend zvyšujícího se využití odpadů jako druhotných surovin, které ve stavebních hmotách přírodní suroviny částečně nebo i úplně nahrazují. U druhotných surovin je důležité jejich zhodnocení jak z hlediska jejich vlivu na úspory prvotních nerostných zdrojů, tak i z hlediska vlivu na úspory energie, která je vkládána do úpravy prvotních surovin a jejich dalšího zpracování.

Celková produkce odpadů v ČR činí v posledních letech přibližně 35 milionů tun, a vykazuje mírný pokles oproti předchozím rokům. Pro srovnání je možno uvést, že celková produkce odpadů v roce 1998 činila v ČR 44 milionů tun. [25] Značně omezujícím faktorem pro využití odpadů jako druhotných surovin je jejich nerovnoměrná kvalita, která může mít vliv na kvalitu výsledných stavebních materiálů. Proměnlivost vlastností odpadů je také příčinou toho, že v dané oblasti nelze přejímat zcela striktně zahraniční zkušenosti. Aplikace konkrétního odpadu jako druhotné suroviny do stavebního materiálu je třeba vždy experimentálně ověřit, a zkušenosti z jiných zemí lze využít pouze jako vodítko, jakými směry využití se u jednotlivých typů odpadů lze ubírat.

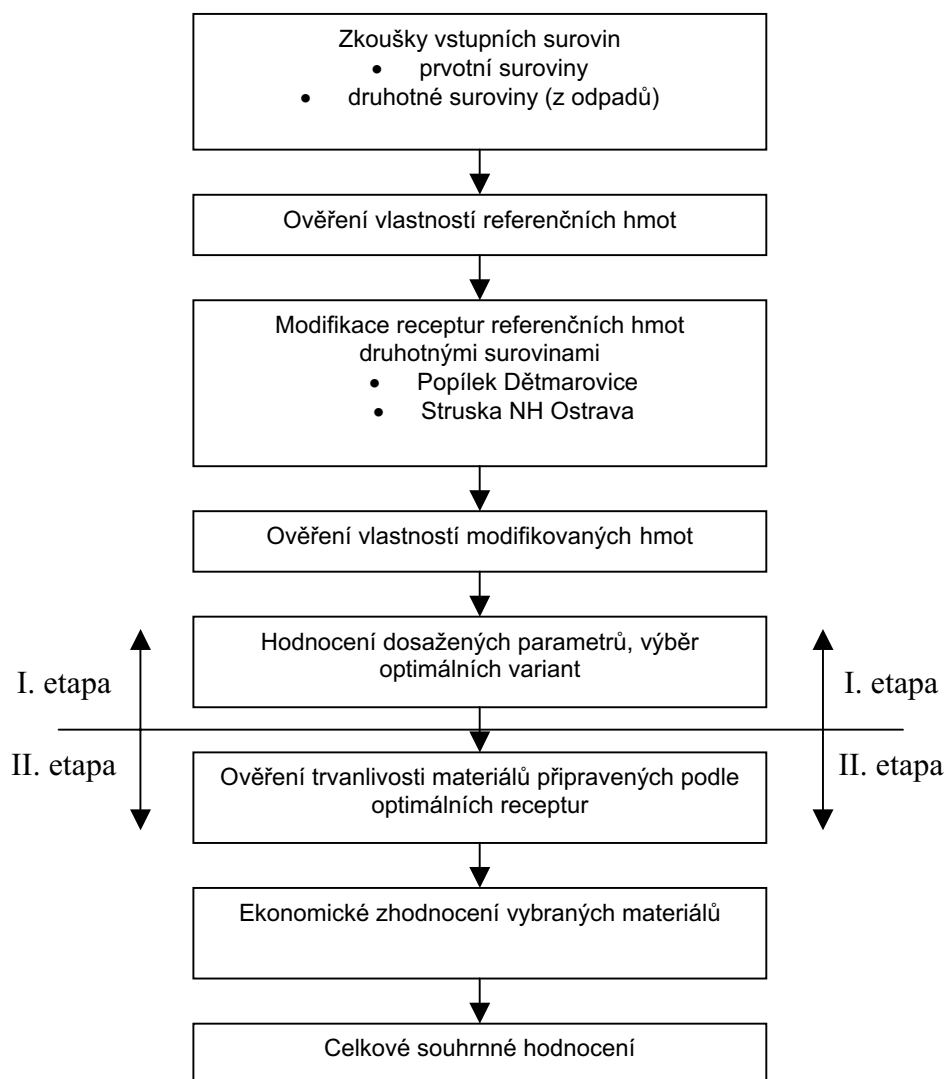
Vhodnými druhotnými surovinami jsou například elektrárenské popílky, případně struska. Tyto složky mohou reagovat v matrici PCC malty s fázemi vznikajícími hydratací cementu. Produktem těchto reakcí jsou zejména kalciumhydrosilikáty, případně další vazné produkty. Interakce cementu s pucolánovou resp. latentně hydraulickou příměsí omezí vznik minerálů málo odolných vůči acidickým látkám. Lze tak dosáhnout synergického efektu, kdy při použití levnějších surovin získáme materiál s vyšší trvanlivostí, což ve svém důsledku vede k dalšímu ekonomickému a samozřejmě i technickému profitu.

4.1 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Jako náhrady klasických surovin ve správkových hmotách surovinami druhotnými je ověřována možnost využití elektrárenského popílku, a to konkrétně popílku z elektrofiltrů Elektrárny Dětmárovice a vysokopeční granulované strusky z NH Ostrava. Experimentálně je ověřován vliv přídavku těchto materiálů na parametry správkových hmot, přičemž je sledováno zda vyhoví požadavkům na správkové materiály kladeným. Rovněž je ověřována jejich vliv na trvanlivost správkové hmoty v agresivním prostředí.

4.1.1 Postup prací

Graficky je postup experimentálního ověření aplikace druhotných surovin do správkových malt znázorněn na obrázku číslo 2. Je rozdělen do 2 etap, kdy v I. etapě byly provedeny základní zkoušky na všech navržených i srovnávacích recepturách (jedná se o komerčně vyráběné malty), a ve II. etapě byly provedeny zkoušky trvanlivosti již pouze na těch směsích, které dosahovaly požadovaných parametrů při maximálním obsahu druhotné suroviny.



Obr. 2: Postup experimentálních prací při ověření aplikace druhotných surovin do malt

4.1.2 Přehled navržených receptur

Receptury referenčních hmot (viz tabulka číslo 3) hmot byly modifikovány náhradou části plniva (křemičitého písku) druhotnými surovinami, a to popílkem Dětmárovice a struskou NH Ostrava. Náhrada plniva byla prováděna tak, aby byla co nejpřesněji zachována granulometrie původního plniva. To se týká zejména malty R6, která obsahuje plnivo frakce 0 – 4 mm, zatímco použité druhotné suroviny jsou zrnitosti do 1 mm. Zde proto bylo při nahrazování plniva provedeno roztržení kameniva sítem o velikosti oka 1 mm, a právě podíl pod 1 mm byl nahrazován druhotnými surovinami. Tento podíl činí 40 %, proto byla jako maximální hranice náhrady plniva zvolena právě tato hodnota. Přehled upravených receptur je uveden v tabulkách číslo 4 až 7.

Tab. 3: Složení referenčních směsí

Složka	R4	R6
Cement CEM I 42,5 R	35,00 %	35,00 %
Křemičité kamenivo 0 – 1 mm	62,70 %	--
Křemičité kamenivo 0 – 4 mm	--	63,15 %
Aditiva – směs přísad pro zlepšení vlastností malty	2,30 %	1,85 %
Voda (vodní součinitel w)	0,37	0,32

Tab.4: Složení směsí – modifikace malty R4 popílkem Dětmárovice

Složka	PR4-15	PR4-30	PR4-40
Cement CEM I 42,5 R	35,00 %	35,00 %	35,00 %
Popílek Dětmárovice	7,23 %	14,46 %	19,28 %
Křemičité kamenivo 0 – 1 mm	53,30 %	43,89 %	37,62 %
Aditiva	2,30 %	2,30 %	2,30 %
Voda (vodní součinitel w)	0,37	0,37	0,37

Tab.5: Složení směsí – modifikace malty R4 struskou NH Ostrava

Složka	SR4-15	SR4-30	SR4-40
Cement CEM I 42,5 R	35,00 %	35,00 %	35,00 %
Struska NH Ostrava	8,32 %	16,64 %	22,19 %
Křemičité kamenivo 0 – 1 mm	53,30 %	43,89 %	37,62 %
Aditiva	2,30 %	2,30 %	2,30 %
Voda (vodní součinitel w)	0,37	0,37	0,37

Tab. 6: Složení směsí – modifikace malty R6 popílkem Dětmárovice

Složka	PR6-15	PR6-30	PR6-40
Cement CEM I 42,5 R	35,00 %	35,00 %	35,00 %
Popílek Dětmárovice	7,38 %	14,76 %	19,68 %
Křemičité kamenivo 0 – 4 mm	53,68 %	44,21 %	37,89 %
Aditiva	1,85 %	1,85 %	1,85 %
Voda (vodní součinitel w)	0,32	0,32	0,32

Tab. 7: Složení směsí – modifikace malty R6 struskou NH Ostrava

Složka	SR6-15	SR6-30	SR6-40
Cement CEM I 42,5 R	35,00 %	35,00 %	35,00 %
Struska NH Ostrava	8,01 %	16,02 %	21,36 %
Křemičité kamenivo 0 – 4 mm	53,68 %	44,21 %	37,89 %
Aditiva	1,85 %	1,85 %	1,85 %
Voda (vodní součinitel w)	0,32	0,32	0,32

4.1.3 Metodika zkoušek

Navržené správkové malty i referenční správkové malty byly v rámci I. etapy podrobeny těmto zkouškám:

- Stanovení objemové hmotnosti malty;
- Stanovení pevnosti malty v tahu za ohybu;
- Stanovení pevnosti malty v tlaku;
- Stanovení soudržnosti malty s podkladem;
- Stanovení mrazuvzdornosti malty;
- Stanovení odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek;
- Stanovení modulu pružnosti.

Na základě vyhodnocení dosažených výsledků základních zkoušek správkových malt s částečnou náhradou plniva druhotnými surovinami, byly pro další ověřování trvanlivosti zvoleny směsi, které dosáhly požadovaných parametrů při co nejvyšší substituci klasického plniva druhotnými surovinami. Pro maltu R4 modifikovanou popílkem Dětmárovice byla zvolena varianta s 30 % náhradou plniva, neboť u směsi obsahující 40 % popílku již nebyly splněny všechny požadované parametry. Pro směs R4 se struskou NH Ostrava byly dosaženy požadované parametry i pro 40 % náhradu, stejně tak pro směs R6 s popílkem Dětmárovice i struskou NH Ostrava.

Tyto vybrané receptury správkových malt byly podrobeny zkouškám trvanlivosti v agresivním prostředí. Pro simulaci nepříznivého vlivu prostředí byly zvoleny roztoky síranů a chloridů, což jsou sloučeniny, které se velmi často vyskytují v reálných podmínkách. Specifikace prostředí je uvedena v tabulce číslo 8.

Tab. 8: Specifikace korozivních prostředí

Látka	Koncentrace
Sírany (roztok Na ₂ SO ₄)	36.000 mg.l ⁻¹
Chloridy (roztok NaCl)	1.000 mg.l ⁻¹

V těchto prostředích byla tělesa exponována po dobu 365 a 730 dnů, po vyjmutí z agresivního prostředí byly provedeny zkoušky objemové hmotnosti a pevnosti pro ověření změn fyzikálně – mechanických parametrů. Dále byla na vybraných vzorcích provedena fyzikálně – chemická stanovení, s cílem ověřit případné změny mikrostruktury v důsledku působení agresivních vlivů.

Ověřované druhy malt a způsob jejich značení jsou přehledně uvedeny v tabulce číslo 9.

Tab. 9: Specifikace správkových malt exponovaných v korozivním prostředí

Označení	Popis
SOR4 / COR4	Základní referenční varianta směsi R4, podrobená působení síranů / chloridů
SOPR4-30 / COPR4-30	Směs R4 modifikovaná 30% náhradou plniva popílkem Dětmárovice, podrobená působení síranů / chloridů
SOSR4-40 / COSR4-40	Směs R4 modifikovaná 40% náhradou plniva struskou NH Ostrava, podrobená působení síranů / chloridů
SOR6 / COR6	Základní referenční varianta směsi R6, podrobená působení síranů / chloridů
SOPR6-40 / COPR6-40	Směs R6 modifikovaná 40% náhradou plniva popílkem Dětmárovice, podrobená působení síranů / chloridů
SOSR6-40 / COSR6-40	Směs R6 modifikovaná 40% náhradou plniva struskou NH Ostrava, podrobená působení síranů / chloridů

4.2 VÝSLEDKY VYBRANÝCH ZKOUŠEK

4.2.1 Souhrn výsledků zkoušek I. etapy

Výsledky zkoušek malt v rámci I. etapy jsou uvedeny v tabulce číslo 10. Jsou zde souhrnně zpracovány výsledky zkoušek optimálních receptur správkových malt, které byly v rámci II. etapy podrobeny zkouškám trvanlivosti v agresivním prostředí.

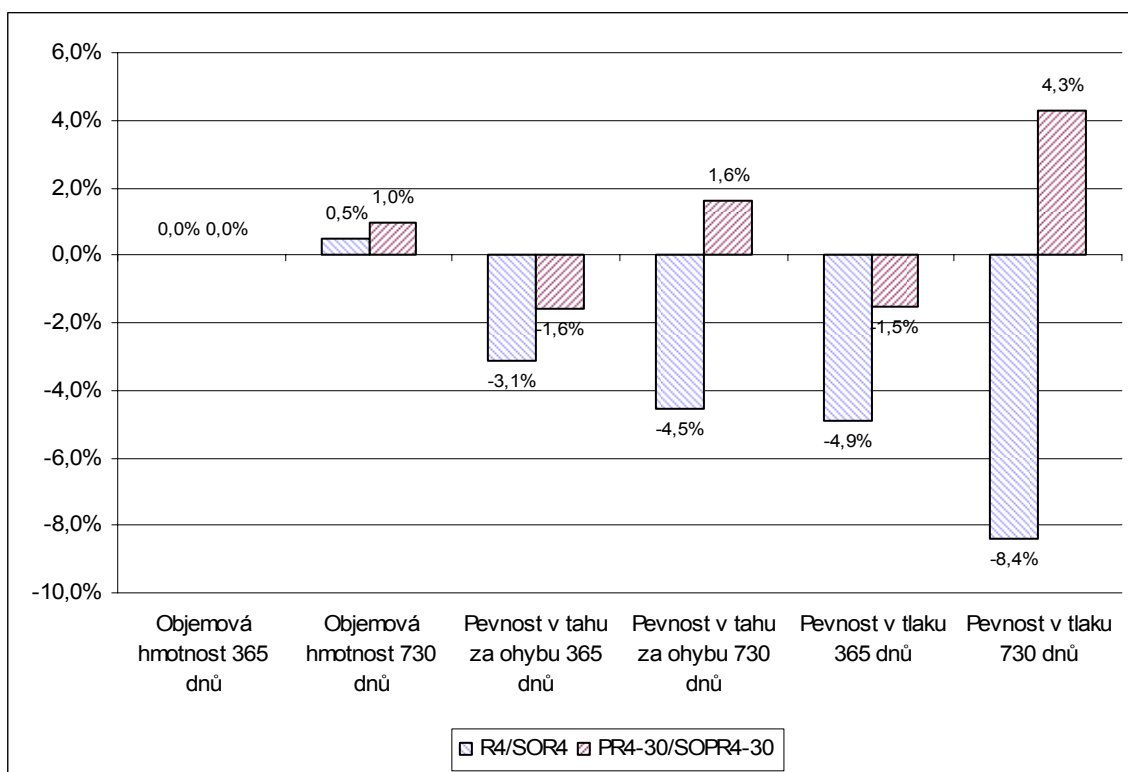
Tab. 10: Výsledky zkoušek malt v rámci I. etapy

Zkouška	Označení směsi					
	R4	PR4-30	SR4-40	R6	PR6-40	SR6-40
Objemová hmotnost 28 dnů [kg/m ³]	2080	2040	2040	2180	2120	2140
Objemová hmotnost 365 dnů [kg/m ³]	2070	2030	2020	2170	2110	2130
Objemová hmotnost 730 dnů [kg/m ³]	2070	2020	2020	2170	2110	2130
Pevnost v ohybu 28 dnů [MPa]	6,2	6,1	5,4	8,3	7,7	7,9
Pevnost v ohybu 365 dnů [MPa]	6,4	6,2	6,4	8,5	7,9	8,3
Pevnost v ohybu 730 dnů [MPa]	6,6	6,1	6,8	8,7	7,9	8,6
Pevnost v tlaku 28 dnů [MPa]	29,1	27,9	28,3	48,5	42,7	46,4
Pevnost v tlaku 365 dnů [MPa]	32,5	33,4	30,8	56,2	48,1	48,6
Pevnost v tlaku 730 dnů [MPa]	35,6	32,7	33,8	57,4	54,3	53,9
Soudržnost s podkladem 28 dnů [MPa]	2,41	2,24	1,49	2,78	1,86	1,59
Statický modul pružnosti [GPa]	26,45	24,96	26,07	28,17	26,87	27,23
Odolnost CHRL 100 cyklů [g/m ²]	415,0	619,5	428	235,6	721,5	316,8
Mrazuvzdornost 100 cyklů [%]	88	79	82	101	76	80

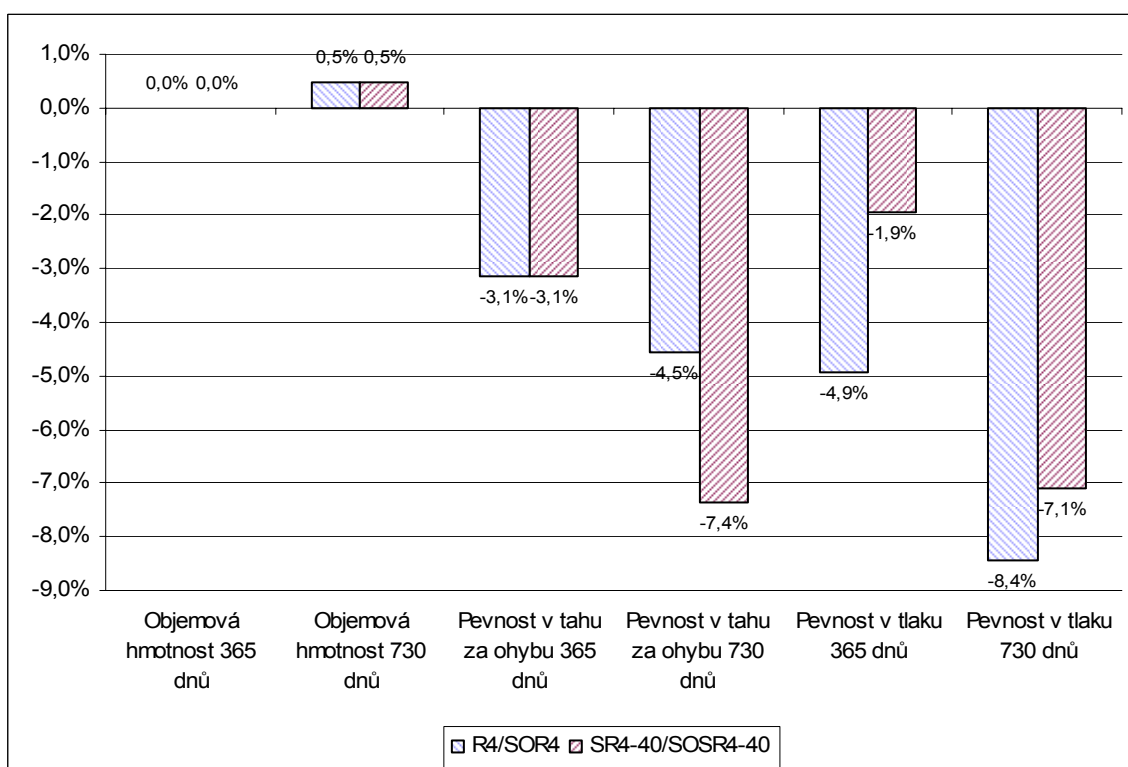
4.2.2 Souhrn výsledků zkoušek II. etapy

Výsledky fyzikálně – mechanických zkoušek pro ověření trvanlivosti malt v agresivním prostředí jsou graficky zpracovány na obrázcích číslo 3 až 6 (sírany) a 7 až 10 (chloridy). Dosažené výsledky jsou uvedeny jako procentuální porovnání hodnot příslušných parametrů stanovených na srovnávacích a exponovaných tělesech. Zkouškám byly podrobeny receptury, určené jako optimální na základě výsledků I. etapy – viz. tab. 9.

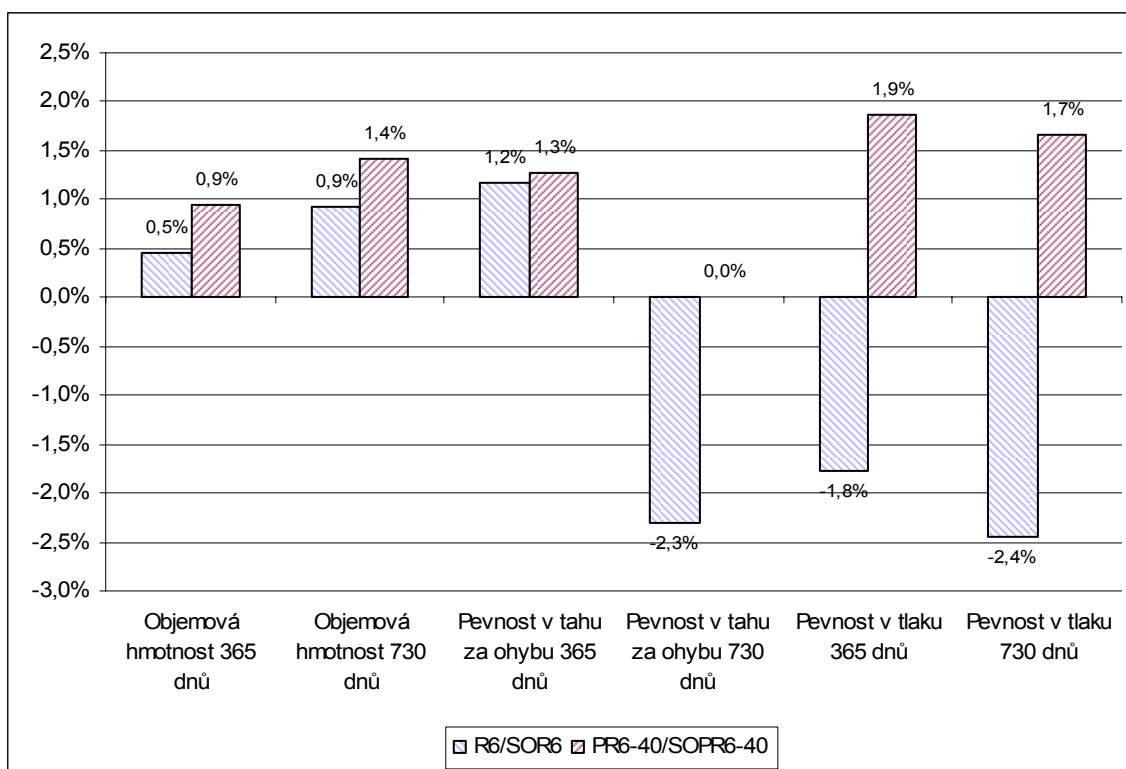
Pro posouzení míry degradace cementové matrice bylo provedeno posouzení fyzikálně – chemických parametrů pomocí rentgenové difrakční analýzy (tabulka 11) a dále byla stanovena hodnota pH (tabulka 12). Zkouškám byly podrobeny vzorky správkové malty R6 a z ní odvozených variant s druhotnými surovinami po uložení v agresivních prostředích po dobu 730 dní, a pro možnost komparace také vzorky srovnávací, zrající stejnou dobu v normálním prostředí.



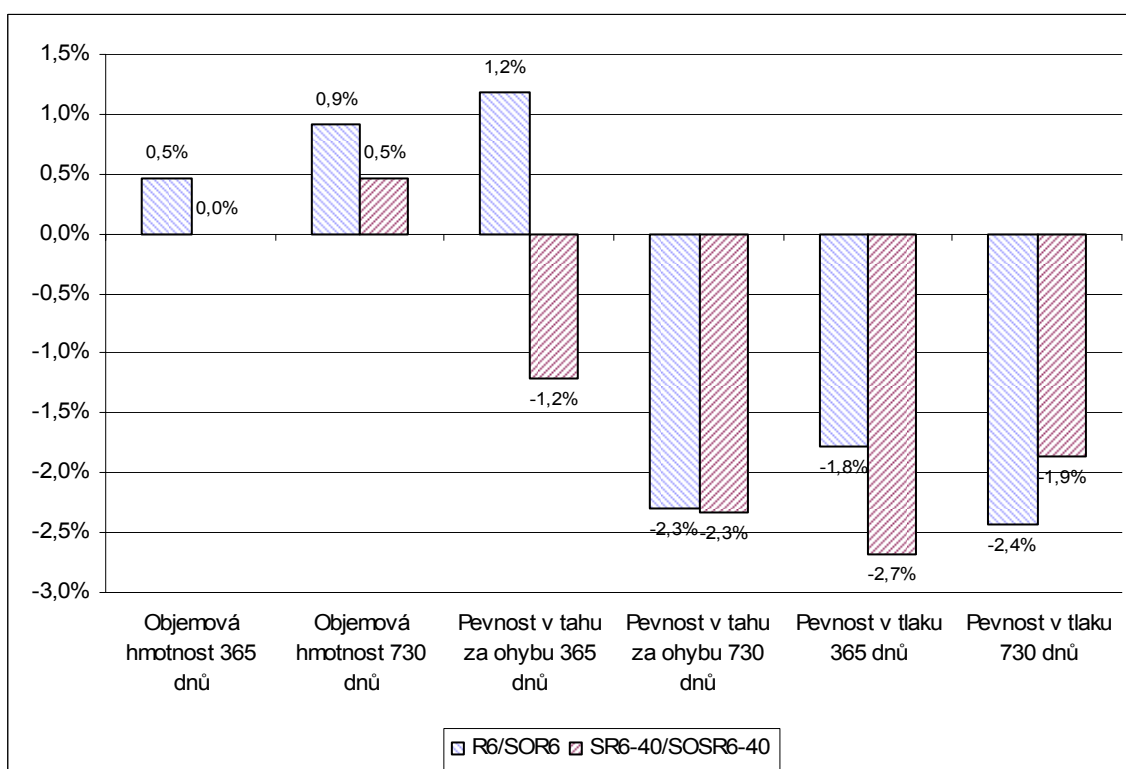
Obr. 3: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R4 modifikované 30 % popílku Dětmarovice vůči srovnávací směsi po expozici v síranovém agresivním prostředí



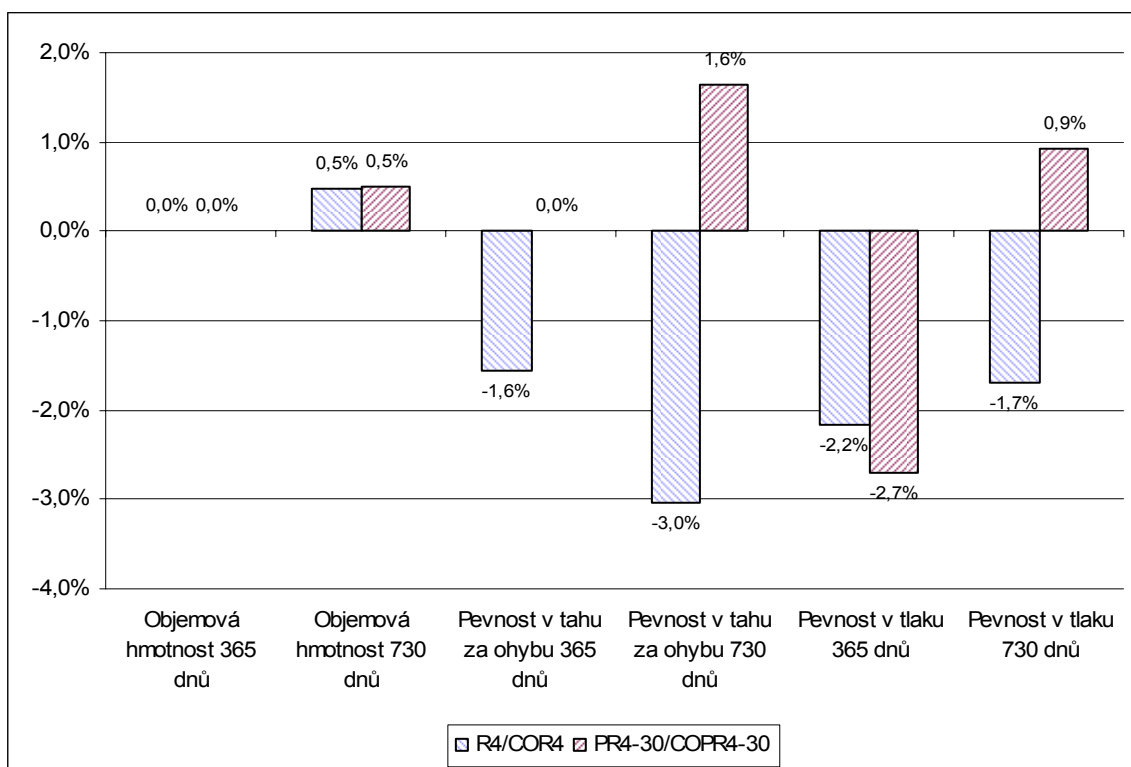
Obr. 4: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R4 modifikované 40 % strusky NH Ostrava vůči srovnávací směsi po expozici v síranovém agresivním prostředí



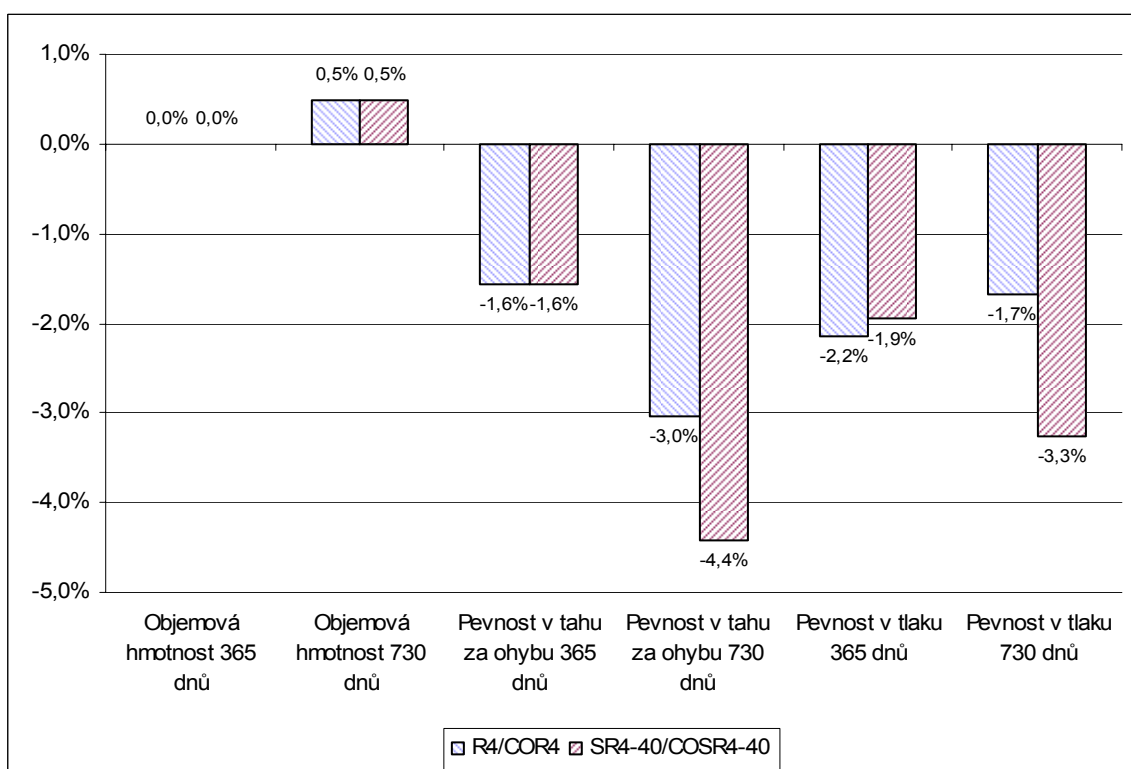
Obr. 5: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R6 modifikované 40 % popílku Dětmarovice vůči srovnávací směsi po expozici v síranovém agresivním prostředí



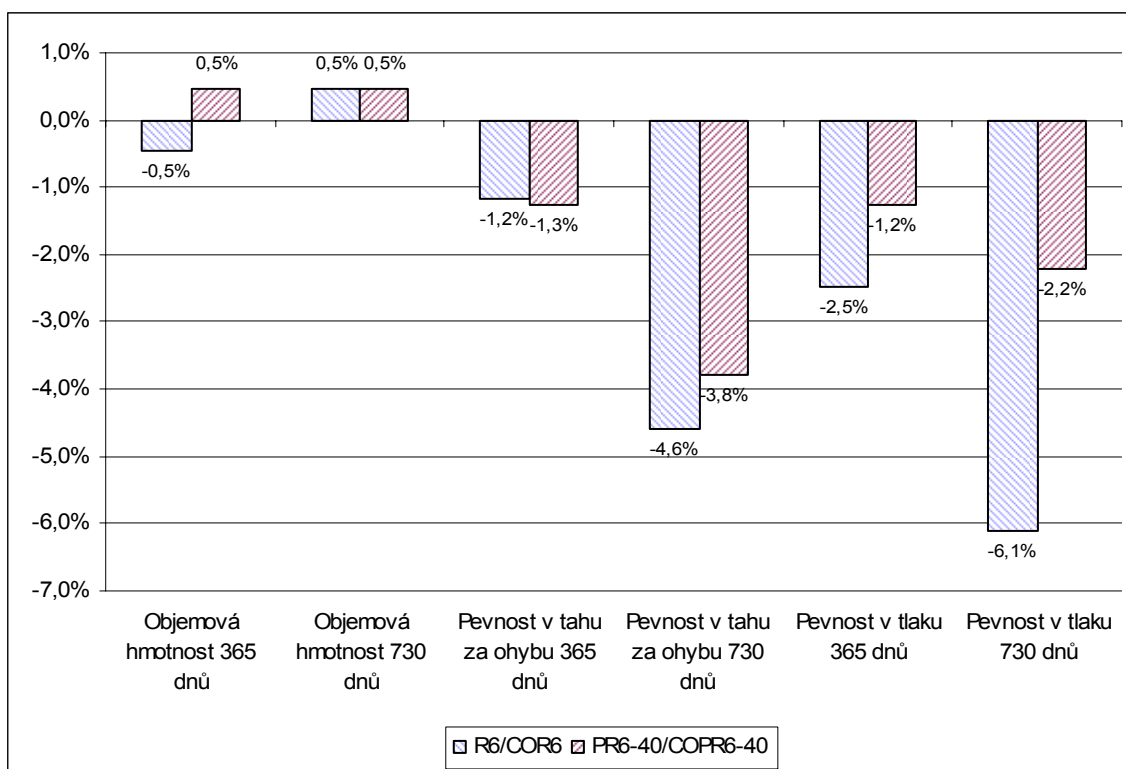
Obr. 6: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R6 modifikované 40 % strusky NH Ostrava vůči srovnávací směsi po expozici v síranovém agresivním prostředí



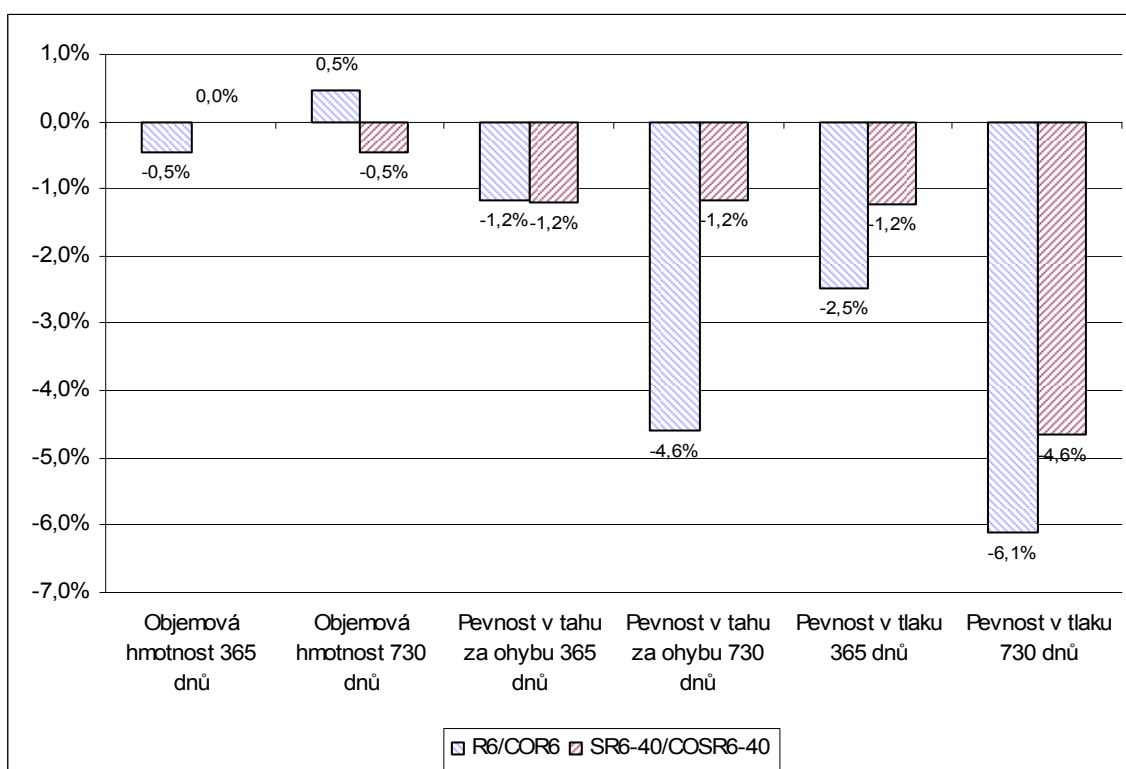
Obr. 7: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R4 modifikované 30 % popílku Dětmarovice vůči srovnávací směsi po expozici v chloridovém agresivním prostředí



Obr. 8: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R4 modifikované 40 % strusky NH Ostrava vůči srovnávací směsi po expozici v chloridovém agresivním prostředí



Obr. 9: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R6 modifikované 40 % popílku Dětmarovice vůči srovnávací směsi po expozici v chloridovém agresivním prostředí



Obr. 10: Procentuální vyjádření změn jednotlivých parametrů správkové malty R6 modifikované 40 % strusky NH Ostrava vůči srovnávací směsi po expozici v chloridovém agresivním prostředí

Tab. 11: Výsledky stanovení rentgenové difrakční analýzy správkové malty R6

Uložení	Identifikované minerály ve správkové maltě		
	R6 (Základní referenční varianta směsi R6)	PR6-40 (Směs R6 modifikovaná 40% náhradou plniva popílkem Dětmarovice)	SR6-40 (Směs R6 modifikovaná 40% náhradou plniva struskou NH Ostrava)
Normální	Kalcit, portlandit, kalciumhydosilikát I, aragonit, ettringit, monosulfát, β křemen	Kalcit, kalciumhydosilikát I, aragonit, ettringit, gehlenit, monosulfát, β křemen	Kalcit, portlandit, kalciumhydosilikát I, aragonit, ettringit, vaterit, monosulfát, β křemen
Sírany	Kalcit, portlandit, vaterit, aragonit, ettringit, monosulfát, sádrovec, β křemen	Kalcit, kalciumhydosilikát I, vaterit, aragonit, ettringit, gehlenit, monosulfát, β křemen	Kalcit, aragonit, ettringit, sádrovec, gehlenit, monosulfát, β křemen
Chloridy	Kalcit, portlandit, vaterit, aragonit, ettringit, monosulfát, β křemen	Kalcit, kalciumhydosilikát I, aragonit, ettringit, monosulfát, β křemen	Kalcit, kalciumhydosilikát I, aragonit, ettringit, vaterit, monosulfát, β křemen

Tab. 12: Výsledky stanovení pH ve vodném výluhu správkové malty R6

Uložení	Identifikované minerály ve správkové maltě		
	R6 (Základní referenční varianta směsi R6)	PR6-40 (Směs R6 modifikovaná 40% náhradou plniva popílkem Dětmarovice)	SR6-40 (Směs R6 modifikovaná 40% náhradou plniva struskou NH Ostrava)
Normální	11,40	11,55	11,50
Sírany	10,60	10,65	10,50
Chloridy	11,15	11,10	10,90

Výsledky provedených fyzikálně chemických analýz lze shrnout v následující:

U vzorků referenční směsi, tzn. směsi bez příměsí popílku či strusky, byla po 730-ti denní expozici v prostředí síranů identifikována přítomnost sádrovce a linie příslušející ettringitu byly zjištěny intenzivnější, než tomu bylo v vzorků zrajících v normálním prostředí. Tyto atributy svědčí o degradaci matrice malty působením síranů.

U malt s popílkem z Dětmarovic nebyla u žádného ze vzorků exponovaných v agresivních prostředích zjištěna přítomnost fází vznikajících degradací malty působením agresivním látek. Bylo tak prokázáno, že negativní působení síranů je možno podstatným způsobem omezit příměsí popílku.

U vzorků se struskou, byla po 730-ti denní expozici v prostředí síranů identifikována přítomnost sádrovce a linie příslušející ettringitu byly zjištěny intenzivnější, než tomu bylo v vzorků zrajících v normálním prostředí.

4.3 VÝBĚR OPTIMÁLNÍCH HMOT

Na základě dosažených výsledků, jak z hlediska fyzikálně – mechanických zkoušek, tak i z hlediska fyzikálně – chemických zkoušek, byla jako optimální alternativa zvolena materiálová báze popílku Dětmárovice, přestože u varianty R4 bylo možno popílkem nahradit jen 30 % plniva. Jako rozhodující parametr bylo určeno dosažení lepší korozní odolnosti oproti směsím modifikovaným struskou, ale taky oproti směsím referenčním, což dává předpoklad pro vyšší trvanlivost správkové hmoty. Proto byly jako optimální varianta vybrány směsi PR4-30 a PR6-40.

5 ZÁVĚR

Z prostého nebo mnohem častěji vyztuženého betonu jsou realizována mnohá stavební díla, dosahující vysokých funkčních i estetických parametrů. Objem betonových a železobetonových staveb je značný, jedná se o mosty, komunikace, nádrže, síla, sloupy, komíny, chladicí věže, obytné, obchodní i průmyslové objekty, rovněž i mnohé přehradní hráze apod. Využíván je beton monolitický i prefabrikovaný. V důsledku degradačních procesů vyžadují v průběhu své životnosti sanační zásah, který umožní dosažení nebo i prodloužení původně projektované životnosti stavby.

Materiály aplikované ve stavebních konstrukcích jsou degradovány jednak v důsledku působení fyzikálně mechanických vlivů (např. vliv zatížení, otřesy apod.) a jednak vlivů fyzikálně chemických (tj. působení agresivních kapalin a plynů, případně i tuhých látek atd.). V reálných podmínkách jsou pak stavební konstrukce vystaveny synergickému působení vnějších vlivů. To vyžaduje v rámci přípravy sanace zvolit vhodné technologie i materiály, které jsou odolné současným resp. budoucím agresivním vlivům. Součástí přípravy sanace je i volba vhodných metod předúpravy povrchu a aplikace vlastních správkových hmot. Trendem poslední doby je využití moderních materiálů s obsahem druhotných surovin, získávaných z průmyslových odpadů. Tyto materiály dosahují vůči některým typům agresivních prostředí vyšší odolnosti než materiály na bázi klasických surovin. Současně druhotné suroviny umožňují dosáhnout redukce výrobních nákladů, neboť je lze od jejich producentů získat za poměrně velmi příznivou cenu, obvykle řádově několika desítek Kč za tunu. Druhotné suroviny však nelze aplikovat bez provedení komplexu průkazných zkoušek, které zahrnují ověření všech nezbytných charakteristik, včetně stanovení trvanlivosti těchto materiálů.

V rámci této tematiky byly ověřovány, v souladu s výše uvedeným, možnosti aplikace průmyslových odpadů jako druhotných surovin do správkových malt, vhodných pro provádění sanačních prací na železobetonových konstrukcích. Pro experimentální práce bylo zvoleno ověření náhrady části jemného podílu plniva. Při využití surovin s latentní hydraulicitou je sice možné nahradit i část pojiva (cementu), které tvoří ekonomicky náročnější složku správkové hmoty než plnivo (kamenivo). Tato alternativa je však v případě správkových malt pro sanace nevýhodná, neboť u těchto hmot dochází k pozvolnějšímu nárůstu pevnosti, což může mít negativní vliv na celkovou rychlost provedení sanačních prací.

Rozsáhlý soubor zkoušek možnosti využití vybraných odpadů jako druhotných surovin do materiálů pro sanace železobetonových konstrukcí plně potvrdil. Byly připraveny a experimentálně ověřeny alternativní receptury správkových hmot, obsahujících až čtyřicetiprocentní náhradu přírodního plniva druhotným materiálem – popílkem resp. struskou. Vybrané receptury těchto modifikovaných materiálů dosahují všech parametrů, požadovaných aktuálními technickými předpisy pro sanace železobetonových konstrukcí, včetně českých technických norem, přejímaných v několika posledních letech překladem.

Vybrané receptury, obsahující maximální množství druhotné suroviny při dodržení potřebných parametrů, byly podrobeny zkouškám trvanlivosti v agresivním prostředí. Pro simulaci byly zvoleny roztoky síranů a chloridů, což jsou sloučeniny, které se velmi často vyskytují v reálných podmínkách. Provedené zkoušky prokázaly, že druhotné suroviny umožňují pozitivní ovlivnění trvanlivosti malty v agresivním prostředí. Při stručném ekonomickém zhodnocení bylo prokázáno, že tyto modifikované hmoty vykazují lepší ekonomickou bilanci.

Současně dochází k materiálovému využití a tím k ekologické likvidaci odpadu – je tak prokázán i ekologický efekt, který by měl být pro moderní stavební materiály typický.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Matoušek, M., Drochytka, R. *Atmosférická koroze betonů*. 1. vydání. Praha: IKAS, 1998, ISBN 80-902558-0-9
- [2] Emmons, P., H., Drochytka, R., Jeřábek, Z. *Sanace a údržba betonu v ilustracích*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1999, ISBN 80-7204-106-1
- [3] Drochytka, R., Dohnálek, J., Bydžovský, J., Pumpr, V. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK II*. 1. vydání. Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, Brno 2003, ISBN 80-239-0516-3, 210 stran
- [4] Dohnálek, J., Pumpr, V. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí*, TP SSBK I, Praha, květen 1996
- [5] Drochytka, R., Bydžovský, J., Brožovský, J. a kolektiv *Stavební vady od A do Z*. 1. vydání. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, spol. s r.o. 2004, ISSN 1214-7060
- [6] BILČÍK, J., DOHNÁLEK, J. *Sanace betonových konstrukcí*, Bratislava: JAGA 2003, ISBN 80-88905-24-9
- [7] Kolektiv autorů. *Technické podmínky pro přípravu a kontroly oprav železobetonových konstrukcích ve výrobnách ČEZ, a. s. - chladič věže a komíny*, Brno, 1999 - Vydány jako podniková norma 9906 ČEZ, a.s.
- [8] Oye, B. A. *Repair systems for concrete - polymer cement mortars: An evaluation of some polymer systems*, Trondheim, 1989
- [9] Ramachandram, V.S., Feldman, R.F., Braudion, Y.Y. *Concrete science. Treatise on Current Research*. Heyden. London. Philadelphia. 1981
- [10] Bilčík, J. *Sanácia betónových konštrukcií*, Bratislava: Jaga 1996
- [11] Dhir, R. K., Jones, M. R., Green, J. W. *Protection of Structural Concrete*. In: Proceedings of International Conference Protection of Concrete, Dundee 1990
- [12] Allen, R. T. L. *The repair of concrete structures*, London: Cement and Concrete Association, 1974
- [13] Cigánek, M. *Poruchy na betonových a zděných stavbách, prevence, sanace a rekonstrukce. Díl I, Poruchy a preventivní opatření*. SNTL Praha 1976.
- [14] Hennig, O., Lach, V. *Chemie ve stavebnictví*. SNTL Praha, 1983
- [15] Campbell-Allen, D., Roper, H. *Concrete Structures: Materials, maintenance and repair*, Essex: Longman Scientific and Technical, 1991
- [16] Brandštetr, J., Šauman, Z. *Chemie a stavební hmoty*. SNTL Praha 1984
- [17] Šauman, Z. *Maltoviny I*, PC - DIR Brno s.r.o, 1993
- [18] Lach, V., Daňková, M. *Mikrostruktura stavebních látek*, VUT v Brně, 1991
- [19] Perkins, P. H. *Repair, protection and waterproofing of concrete structures*, London: E & FN Spon, 1997
- [20] Dufka, A. *Analýza možnosti zvyšování životnosti cementových kompozitů aplikací odpadních surovin*, doktorská disertační práce, FAST VUT v Brně, 2004

- [21] Hela, R. *Intenzifikace zhutňování betonových směsí*, habilitační práce, FAST VUT v Brně, 2002
- [22] Šmerda a kol. *Životnost betonových staveb*, Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika, Praha 1999
- [23] Bradáč, A. *Teorie oceňování nemovitostí*, Akademické nakladatelství CERM Brno, 2000, ISBN 80-85867-36-2
- [24] American Concrete Institute *Concrete Repair Manual* - 2nd Edition, 2003
- [25] Informace získané z webu Českého ekologického ústavu (www.ceu.cz)
- [26] Informace získané z webu Ministerstva životního prostředí (www.env.cz)
- [27] Slanička, Š. *Možnosti použití popoľčeka do betónov*, VUIS Bratislava, 1982
- [28] Emmons, P. H. *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*. R.S. Means, 1993
- [29] Trout., j. *Epoxy injection in construction*, Hanley-Wood, 1997
- [30] Newman, A. *SRB: Structural Renovation of Buildings-Methods, Details, and Design Examples*, McGraw-Hill, 2001
- [31] American Concrete Institute *Concrete Repair Basics*, 2005
- [32] David, M., Lukavec, M. *Statické posouzení pláště chladicí věže č. 3 v průběhu realizace rekonstrukce – fáze I (kvadrant JV-SV)*, Inženýrská, konzultační a projektová kancelář DAVID & PARTNER, spol. s r.o., 2004
- [33] Drochytka, R., Bydžovský, J., Dufka, A. *Posouzení způsobu opravy nejpoškozenějších částí pláště chladicí věže číslo 3 v Elektrárně Dukovany*, odborný posudek číslo 42 / 04 znaleckého ústavu Stavexis s.r.o., 2004
- [34] Drochytka, R., Bydžovský, J., Dufka, A. *Kontrola sanace vnitřního a vnějšího povrchu pláště chladicí věže číslo 3 v Elektrárně Dukovany – 1. etapa*, odborný posudek číslo 121 / 04 znaleckého ústavu Stavexis s.r.o., 2004
- [35] Bydžovský, J., Brožovský, J., Pospíšil, O., Brzobohatý, L. *Prohlídka vnitřního pláště chladicí věže č. 3 v Jaderné elektrárně Dukovany*, zpráva číslo 49/00 znaleckého ústavu Stavexis s.r.o., 2000
- [36] Drochytka, R., Hela, R., Bydžovský, J. *Posouzení současného technického stavu a návrh opatření pro prodloužení životnosti CHV 3 v EDU*, zpráva číslo 33/99 znaleckého ústavu Stavexis s.r.o., 1999
- [37] Pospíšil, O., Bydžovský, J., Dufka, A. *Rekapitulace vývoje stavu degradace železobetonových konstrukcí CHV 3 v EDU*, zpráva číslo 30/01 znaleckého ústavu Stavexis s.r.o., 2001
- [38] Bydžovský, J., Pospíšil, O., Dufka, A. *Revize stavu sanace chladicí věže číslo 3 v Jaderné elektrárně Dukovany*, zpráva číslo 107/02 znaleckého ústavu Stavexis s.r.o., 2002
- [39] České technické normy řady *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí*

7 ABSTRACT

Many structures with high functional and aesthetical aspects were built using concrete, more commonly reinforced concrete. The number of structures made of concrete, reinforced concrete is significant, just to name bridges, roads, dams, storage silos columns, smokestacks, cooling towers, apartments, industrial buildings, river dams and so on. Monolithic form of concrete construction and prefabricated concrete construction is used. These structures due to different mechanical and chemical influences step by step degrade and require repairs during its life span. These repairs enable structures to reach their life expectancy or even to prolong calculated life expectancy of these structures.

The know-how of repairs to concrete construction is a modern, dynamically developing discipline. It is positive that this trend caught up in the Czech Republic in time and is by no means comparable to developments in states of Western Europe and USA. Like in all fields in this field as well the aim is to improve the affectivity of work, to improve economical and ecological elements- in some cases as a by product to economical advantages.

The whole repair process is started by the diagnostics of a particular structure. This step enables to find out actual condition state of the particular structure, including detailed information regarding mechanical properties of used materials. On hand is as well the degradation evaluation of materials, including information about major influences which caused this degradation. Materials applied in building structures are degraded due to environmental and mechanical influence (for example stresses, shocks and alike) and influences mechanical-chemical (influence of incursive liquids and gases, solid materials influences, etc.). In reality building structures are subjected to combined influences of outer elements. It requires for the repair job to choose the right methods of surface preparation and repair materials application.

The latest trend is towards the usage of materials with industrial waste material content. These materials show in some cases higher tolerance towards influences of aggressive environment than classical raw materials. At the same time usage of waste materials achieve cost reduction; these materials can be obtained for good price in the order of several tens of CZK per ton. Waste materials can't be used without complex show tests, witch require verification of all characteristics, including determination of durability of these materials.

In this subject matter, in accordance with above mentioned views, the usage of industrial waste materials as secondary materials for repairs mortars, suitable for the use in repairs of reinforced concrete, have been looked into. For experimental tests a fine filler supplement has been chosen. Along with the utilization of materials with latent hydraulic properties-a part of adhesive cement (which is the most expensive part) is possible to supplement as well. This possibility is not suitable in repair mortars, because in repair mortars gradient of strength is slower in developing and can time-wise negatively influence the whole repair process.

A broad set of tests of usage of certain industrial waste materials as materials for repairs of reinforced structures completely confirmed this idea. Alternative formulas of repair materials have been made containing up to 40 % of supplement of natural fillers by industrial waste materials, for example fly-ash or slag and have been tasted.

Formulas of these modified repair materials fulfill all parameters, required by current Ordinances used for repairs in reinforced concrete structures, including the Czech Industrial Standards, accepted in last several years through translation.

Samples, containing maximum amount of industrial waste, at fulfilling of all parameters have been subjected to durability tests in aggressive environment. For simulation mixtures of sulphates

and chlorides (these mixtures often commonly exist in the real environment) have been chosen. Carried out tests show that usage of industrial waste materials positively influence the quality of repair mortars in aggressive environments.

At the same time industrial waste materials can be used and an ecological disposal of industrial waste materials achieved, an effect, which should be typical for contemporary building materials.