

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 453

ISSN 1213-418X

Michal Stehlík

**EPOXIDOVÉ DISPERZE
VE STAVEBNICTVÍ
A PERSPEKTIVY
JEJICH ŠIRŠÍHO VYUŽITÍ**

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Ústav stavebního zkušebnictví

Ing. Michal Stehlík, Ph.D.

**EPOXIDOVÉ DISPERZE VE STAVEBNICTVÍ
A PERSPEKTIVY JEJICH ŠIRŠÍHO VYUŽITÍ**

EPOXY DISPERSIONS IN THE BUILDING
INDUSTRY AND PERSPECTIVES OF THEIR
LARGE-SCALE USE

TEZE HABILITAČNÍ PRACE
Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství



KLÍ OVÁ SLOVA

epoxidová disperze, ochrana silikátových povrch , penetrace betonového recyklátu, lepení

KEY WORDS

epoxy dispersion, preservation of ceramic surfaces, penetration of concrete recyclate, sticking

Místo uložení originálu habilita ní práce:

Vysoké u ení technické v Brn
Fakulta stavební
archiv Ústavu stavebního zkušebnictví
Veve í 95
602 00 BRNO

© Michal Stehlík, 2013

ISBN 978-80-214-4757-8

ISSN 1213-418X

OBSAH

P	EDSTAVENÍ AUTORA.....	4
1	ÚVOD – HISTORIE A VÝVOJ EPOXIDOVÝCH DISPERZÍ.....	6
2	STÁRNUTÍ EPOXIDOVÉ DISPERZE, ZMĚNA VLASTNOSTÍ.....	7
	2.1 Změna stability disperze.....	7
	2.2 Změna fyzikálně-mechanických vlastností zaschlého filmu disperze.....	8
	2.3 Změna chemických vlastností zaschlého filmu disperze.....	8
	2.4 Závěr dílčí části.....	10
3	EPOXIDOVÁ DISPERZE DÁVKOVANÁ DO ČERSTVÉ BETONOVÉ ZÁMĚSI.....	10
	3.1 Vliv velikosti dávky disperze na mechanické vlastnosti modifikovaných cementových malt a betonů.....	10
	3.2 Modifikace betonu z betonového recyklátu silikátovými přísadami a epoxidovou disperzí dávkovanou do čerstvé záměsi nebo předem penetrující betonový recyklát – trvanlivostní a mechanické charakteristiky.....	12
4	FILM EPOXIDOVÉ DISPERZE CHRÁNICÍ POVRCH BETON.....	16
	4.1 Testované vzorky, aplikované disperze a postupy.....	16
	4.2 Popis experimentální práce.....	18
	4.3 Závěr dílčí části.....	19
5	LEPIDLA NA BÁZI EPOXIDOVÉ DISPERZE KE SPOJOVÁNÍ SILIKÁTOVÝCH POVRCH.....	21
	5.1 Popis testovaných materiálů a princip zkušebních postupů.....	21
	5.2 Získané výsledky přídržnosti.....	22
	5.3 Závěr dílčí části.....	23
6	PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ V OBLASTI VODOU NEODSTRANITELNÝCH DISPERZNÍCH HMOT NA BÁZI EPOXID.....	24
7	ZÁVĚR.....	25
8	VYBRANÉ PRÁCE AUTORA.....	26
	8.1 Publikace výsledků z oblasti: Stárnutí epoxidové disperze, změna vlastností.....	26
	8.2 Publikace výsledků z oblasti: Epoxidová disperze dávkovaná do čerstvé betonové záměsi.....	26
	8.3 Publikace výsledků z oblasti: Film epoxidové disperze chránící povrch betonů.....	27
	8.4 Publikace výsledků z oblasti: Lepidla na bázi epoxidové disperze ke spojování silikátových povrchů.....	27
9	LITERATURA.....	27
10	ABSTRACT.....	30

P EDSTAVENÍ AUTORA

Ing. Michal S T E H L Í K, Ph.D., p ednáší a pracuje jako odborný asistent na Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební Vysokého u ení technického v Brn .



Narodil se 23. 4. 1967 v Brn . V letech 1981-1985 absolvoval gymnázium se zam ením matematika-fyzika. Od roku 1985 studoval na Fakult stavební Vysokého u ení technického v Brn , obor Vodní hospodá ství a vodní stavby. Studium ukon il roku 1990 obhajobou diplomové práce „Modelování teplotního pole tížní hráze metodou kone ných prvk “. Po absolvování vojenské služby nastoupil ve funkci výzkumného pracovníka na Ústav podzemních vod VUT do Veverské Bítýšky. V roce 1994 p ešel na Ústav stavebních látek (dnešní Ústav stavebního zkušebnictví), kde p sobí ve funkci odborného asistenta tém nep etržit (vyjma t í m síc roku 1996 ve Výzkumném ústavu vodohospodá ském TGM v Praze) až doposud. V roce 2001 až 2004 absolvoval doktorský studijní program na Fakult stavební VUT v Brn v oboru Fyzikální a stavební materiálové inženýrství, studium zakon il obhajobou diserta ní práce na téma „Stanovení materiálových a p etvárných charakteristik zdiva metodou plochých lis v kombinaci s ultrazvukovou impulzní metodou“.

Odborná innost autora na Ústavu podzemních vod zahrnovala ešení problém p evážn hydrotechnického výzkumu, konkrétn kuli kové, št rbinové, analogové a po íta ové modelování proud ní podzemních vod. Po p echodu na Ústav stavebních látek se autor v noval problematice nových stavebních materiál , snížení pevnosti d eva stárnutím a biologickými vlivy, v neposlední ad i problematice materiálových a p etvárných vlastností zd ných konstrukcí, plochých lis a ultrazvuku. P íbližn od roku 2000, a to již na Ústavu stavebního zkušebnictví, se odborná innost autora soust e uje na problematiku trvanlivosti betonu, jeho degradaci, definování vlastností a hledání aplikací pro stavební recykláty a polymerní disperze.

Pedagogická praxe autora zapo ala již na Ústavu podzemních vod vedením cvi ení p edm t Hydraulika, Vodní hospodá ství a Vodní stavby. Na Ústavu stavebního zkušebnictví se autor etabloval pro výuku odborných p edm t p evážn v anglickém jazyce, vede cvi ení a p ednášky p edm tu Properties and Testing of Materials, p evážnou ást cvi ení a p ednášek p edm tu Testing and Technology, dále p ednáší v p edm tech New Construction Materials and Segments a Moder Building Materials, variantn i v eském jazyce.

V oblasti v decko-výzkumné innosti autor spolupracoval na ešení celé ady projekt , a sice na grantovém úkolu GA R . 103/97/S051 „Historické konstrukce a materiály p i opakovaném namáhání“, ást: DSP 02/1 „Probabilní modely chování historického zdiva“ (1998-2000), na mezinárodním grantovém úkolu „ONSITEFORMASONRY“ EVK – 2002 – 00546, ešeno v rámci výzkumného zám ru VVZ MSM . 261100007 (2002-2004), i na grantovém úkolu GA R . 103/05/2683 „Analýza možností ochrany ŽB konstrukcí snižováním propustnosti betonu“ (2005). Dále lze p ipomenout spolupráci na grantovém úkolu GA R 103/03/0295 „Monitorování a analýza koroze vyztužené oceli v železobetonových konstrukcích“ (2006), na v decko-výzkumném zám ru MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“ (2006-2011) a na grantovém úkolu GA R 103/06/0685 „Lehké konstruk ní vláknobetonu prosté a vyztužené“ (2007). Autor se podílel také na ešení projektu ministerstva pr myslu FR-TII/078 „Využití ultrazvuku pro dispergaci prysky ic“ (2010) a na ešení grantového úkolu GA R . 103/09/0065 „Omezení vzniku a rozvoje

trhlin v betonových mostech“ (2011). Byl spolu ešitelem výzkumného úkolu MPO . FT-TA 3/056 „Vodou editelná epoxidová disperze nové generace“ (2007-2009). Absolvoval dvoum sí ní odbornou stáž v SYNPO Pardubice, a.s. (2010) a u itelský program Erasmus Teaching assignment na STUBA Bratislava, Slovenská republika.

Publika ní innost autora zahrnuje 5 lánk v zahrani ní i domácích v deckých asopisech s IF, 4 lánky ve v deckých asopisech, kapitolu v odborné knize, 9 p ísp vk ve sbornících mezinárodních v deckých konferencí, 26 p ísp vk ve sbornících domácích v deckých i odborných konferencí, 3 výuková skripta v eském a 3 v anglickém jazyce, 17 interních výzkumných zpráv, 23 odborných posudk , 2 lektorské posudky a adu dalších v deckých a odborných prací nebo posudk .

Výsledky své práce autor p edstavil na p edních mezinárodních v deckých fórech: na evropském sympóziu „Polymers in Sustainable Constructions - Czarnecki Symposium“, University of Technology, Varšava (2011) a mezinárodní konferenci „Nondestructive Testing of Materials and Structures“, Istanbul Technical University, Maslac, Istanbul (2011).

1 ÚVOD

Pokrok v technologii polymerů urychluje vývoj nové škály polymerních látek, které mohou být ve velké míře použity do formulací inovovaných stavebních materiálů. Při zamyšlení nad obsahem habilitační práce jsem si uvědomil, jak důležitou roli hrají a s velkou pravděpodobností i budou hrát polymerní látky při modifikaci [1,7,8,17,18], ochraně [2,6] a spojování silikátových staviv [4,5,10]. Polymerní disperze, zabudované do struktury cementových malt a betonů, mohou výrazně ovlivnit jejich výsledné vlastnosti. Zpracovatelnost, pružnost, odolnost proti abrazi a rázová houževnatost jsou vylepšeny téměř vždy, avšak s hodnocením změny fyzikálních a trvanlivostních vlastností je situace složitější. Habilitační práce se zaměřuje především na zpřehlednění a popularizaci možných aplikací polymerních disperzí ve stavební praxi a vlastně i demonstruje stále užší vazbu chemického a stavebního průmyslu. Detailní popisy technologie výroby moderních disperzních polymerů nejsou její součástí.

Epoxidové disperze, spadající do oblasti vodou editelných nátěrových hmot [2,6], byly uvedeny na trh v osmdesátých a devadesátých letech minulého století. Dříve, než byly tyto disperze uvedeny na trh, je více. Hlavním byl ekologický požadavek na snížení obsahu rozpouštědel v systémech, která jsou schopna odpařování. Snaha o dosažení cíle, označovaného v literatuře jako „eco-friendly coatings“, vedla postupně až k vývoji technologie pro získání disperzí s hodnotou VOC = 0 [3,6,11]. Ekonomické důvody byly dalším argumentem. Voda je vždy levnější než jakékoli jiné rozpouštědlo. V neposlední řadě je důležitá i snížená hořlavost systému.

Ale kolik epoxidové disperze [6,8] patří mezi relativně nové produkty, prošly již za svoji krátkou dobu existence určitým vývojem. **Disperze prvního typu** vycházejí z vodou editelných nízkomolekulárních pryskyřic, které mají řadu nevýhod, mimo jiné vysokou křehkost. **Disperze druhého typu** vycházejí z dispergace středně nebo výše molekulárních epoxidových pryskyřic ve vodě. Tyto disperze mají již lepší parametry než předchozí typ, ale pro dosažení potřebných vlastností musí obsahovat určité množství pomocného rozpouštědla. Přítomnost rozpouštědla jednak usnadňuje dispergovatelnost pryskyřice, dále zlepšuje zasychání, usnadňuje tvorbu filmu a adhezi k podkladu. Na druhou stranu ale rozpouštědlo nepříznivě ovlivňuje rychlost zasychání a chemickou odolnost. **Disperze třetího typu** jsou epoxidové disperze neobsahující buď vůbec žádná pomocná organická rozpouštědla anebo jen jejich malé množství. První zmínky o těchto typech disperzí se začínají objevovat v patentové literatuře přibližně před 15 lety a postupně jsou tato pojiva zahrnována společně s „high solids“ systémy a s práškovými nebo radiačně vytvrzovanými pojivy do tzv. „eco-friendly coatings“, tj. ekologicky příznivých nátěrových pojiv [3,6,11]. Vodné epoxidové disperze se dnes téměř výlučně připravují tzv. inverzní metodou [9], která je založena na postupném napařování vody do roztoku nebo taveniny epoxidové pryskyřice za intenzivního míchání. Důležitou součástí dvousložkových epoxidových disperzních systémů tvoří tvrdidla. Ta mají vliv jednak na zpracovatelské vlastnosti, ale také na konečné parametry zatvrdělých disperzí, čímž vymezují i možnost jejich aplikace.

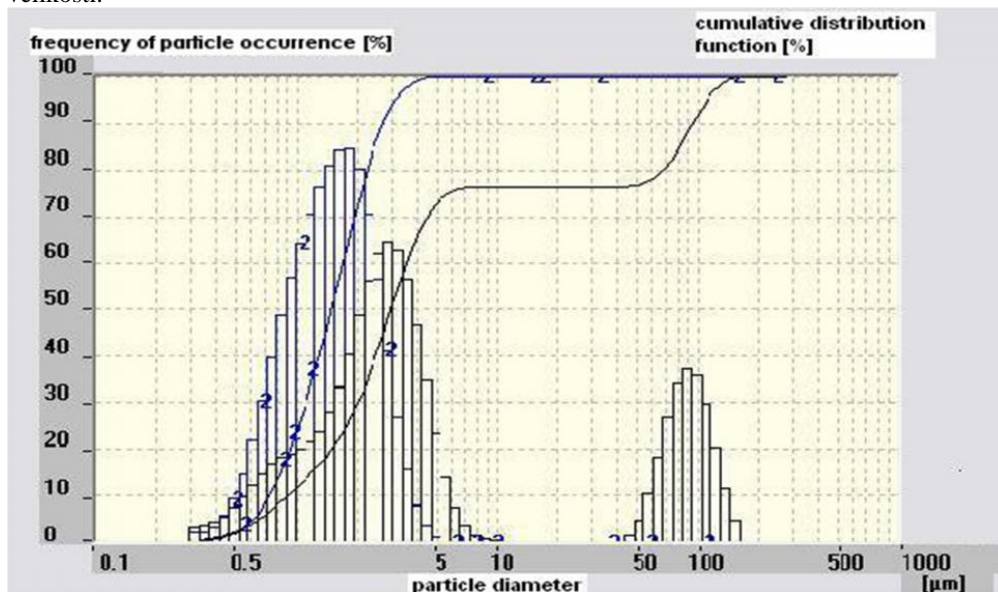
Přes existenci množství literatury k tématu polymerní chemie, sama problematika užití polymerů resp. jejich disperzí ve stavebnictví nebo kombinace polymerních disperzí a silikátových pojiv jsou zmiňovány dosti zřídka [4,7,9,17,19,20,21]. Termín „**epoxidová disperze**“ zastřešuje všechna dříve uvedená témata habilitační práce, která se týkají problematiky disperze vzhledem k účinnosti ochrany silikátových povrchů, dále problematiky modifikace prvních betonových a maltových směsí, úpravy betonového recyklátu i betonu z betonového recyklátu, problematiky ochrany silikátových povrchů před úniky CO₂ nebo problematiky přilnavosti epoxidových disperzí na různé typy povrchů a jejich možné využití formou lepidel.

2 STÁRNUTÍ EPOXIDOVÉ DISPERZE, ZM NA VLASTNOSTÍ

Výzkum, prezentovaný v první části práce, si klade za cíl osvětlit odborně veřejnosti možnost zmny stability epoxidových disperzí v průběhu víceletého skladování při pokojové teplotě [23,24]. Ekonomická situace posledních let si vynucuje hledání možných materiálových a tím i finančních úspor. Avšak rozhodnutí o praktickém použití epoxidové disperze k ochraně silikátových i kovových povrchů [13,18] na konci i po uplynutí výrobcem deklarované doby skladovatelnosti (použitelnosti) není nijak jednoduché ani jednoznačné. Úvahu mají usnadnit výsledky následného porovnání mechanických vlastností a chemické odolnosti zaschlých filmů, tvořených testovanými disperzemi s markantně rozdílnou dobou uskladnění. Z důvodu aktuálnosti používání byl pro testování vybrán zástupce disperze III. typu – tedy s nulovým nebo minimálním obsahem VOC (CHS Epoxy 160V55, tvrdidlo Telalit 1040).

2.1 Zmny na stability disperze

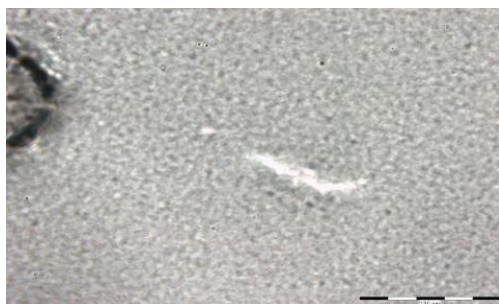
Disperze v průběhu stárnutí prochází celou škálou procesů, které se navenek projeví například změnou velikosti částic. Nově vzniklé rozměrnější aglomeráty pak mají v těsné blízkosti tendenci k sedimentaci. V důsledku tohoto procesu se mění i viskozita [8], která je obecně závislá na počtu a velikosti částic v objemové jednotce. Čím jsou částice menší a jejich počet vyšší, tím vyšší je viskozita disperze. Michalski [15] například dokumentuje závislost viskozity disperze na průměrné velikosti částic [6]. Na následujícím Obr. 2.1 jsou zaznamenány změny v distribuci částic vlivem dvouletého stárnutí disperze v laboratorním prostředí při teplotě 20°C. Sloupce (histogram četnosti) zobrazují kumulativní a křivky pak diferenciální distribuci částic s ohledem na jejich velikost.



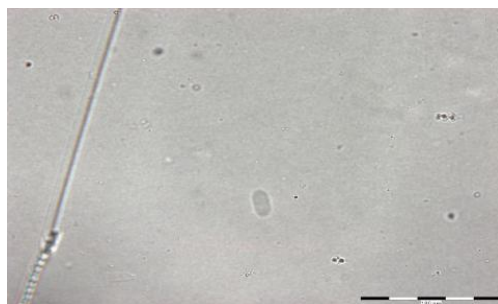
Obr. 2.1 Porovnání kumulativní a diferenciální distribuce částic epoxidových disperzí typu E 160V55 (záznam p ístroje)

Levý histogram a levá křivka charakterizují první připravenou disperzi CHS Epoxy 160V55 operace 1/2010 (zámr s/rok výroby), pravé histogramy (nižší) a pravá křivka pak dva roky starou disperzi operace 5/2008. Velikost částic disperze byla stanovena laserovou diffrakcí. Příměně

prochází laserový paprsek kyvetou, ve které je umístěn měřený vzorek rozptýlený ve vodě. Vlivem přítomných částic dochází k ohybu (difrakci) laserového paprsku pod úhlem, jenž je nepřímo úměrný jejich velikosti. Velikost částic je potom stanovena z Fraunhoferova difrakčního obrazce. Z porovnání histogramů a diferenciálních křivek je jasné, že první disperze vykazuje vyšší stabilitu. Tomu odpovídá jeden vrchol levého histogramu čtenosti s odpovídajícím průměrem částic kolem 2 μm. Levá diferenciální křivka stanoví maximální průměr částic, vyskytujících se v první disperzi, hodnotou cca 5 μm. V případě dvouletého stáří disperze dochází k posunu histogramu čtenosti průměru částic a k jeho rozdělení, disperze se stává nestabilní. Cca 77% částic zůstává v mírně ztěsněné velikosti o průměru 3 μm, 23% částic je pak tvořeno velkými aglomeráty o průměru kolem 90 μm. Jednou z příčin změny stability disperze po dvou letech skladování je tedy ztěsnění rozměry přibližně ¼ částic o průměru 2 μm na nových 90 μm. Změna stability disperze vlivem stárnutí je samozřejmě doprovázena poklesem viskozity, urychlením sedimentace [22] a změnou mechanických a chemických vlastností disperzí vytvořených nátorových filmů. Rozdílnost hrubostí zasklých povrchů filmů starší a nové disperze dokumentují Obr. 2.2 a 2.3.



Obr. 2.2 Fotografický záznam filmu E 160V55 op. 5/2008 (50x zvětšeno) – viditelný hrubý povrch zatvrdlého filmu starší disperze



Obr. 2.3 Fotografický záznam filmu E 160V55 op. 1/2010 (50x zvětšeno) – viditelný hladký povrch zatvrdlého filmu nové disperze

2.2 Změna na fyzikálně-mechanických vlastnostech zasklých nátorových filmů disperze

Následující část bude věnována popisu a hodnocení vlastností zasklých nátorových filmů, vytvořených na normových površích dva roky skladovanou a první disperzí CHS Epoxy 160V55 v etnadičce tvrdidla Telalit 1040. Z výsledků testů je zřejmé, že zasklý film nové disperze E 160 operace 1/2010 je sice tvrdší, na druhé straně však pružnější a lépe přilnutý k povrchu ve srovnání s disperzí operace 5/2008. Stará disperze vytváří po rychlejším zaschnutí hrubý povrch (9 hodin do stupně 5), nová disperze s hladším povrchem zasychá déle (až 25 hodin do stupně 5). Stupeň zasychání 1-5 je charakterizován typem závaží z hmotnostní škály 1 až 5, které již nevytvorí vtisk do nátoru. Kratší doba zasychání u starší disperze (E 160 operace 5/08) je dána jednak menším měrným povrchem vodou obalených aglomerovaných částic, jednak i menším odporem kapilárních sil během výparu [12,22].

2.3 Změna na chemických vlastnostech zasklých nátorových filmů disperze

Chemická odolnost nátoru provedeného z disperze E 160V55 dvojím stáří byla testována dvěma postupy, lakovským i stavovským. V případě lakovského postupu testování chemické odolnosti nátorového filmu byl vybrán jeden z normových testů, obsažený v SN EN ISO 2812-2 „Stanovení odolnosti kapalinám - část 1: Obecné zkušební metody“ - a sice Metoda 2 (s použitím svého materiálu). Principem této metody je popis a zatížení reakce kapaliny, nasáklé do svého

disku, s filmem zkoušené disperze pokrývající sklenou podložku. Byly hodnoceny vzorky s jedním nebo dvěma nátery. Tloušťka filmu pro jeden náter se pohybovala v rozmezí 55-65 µm a pro dva nátery v rozmezí 110 až 120 µm. Výsledky zjištěné chemické odolnosti filmu starší a novější disperze CHS Epoxy E160V55, stanovené výše popsaným lakovým postupem, lze shrnout následovně: nová disperze E 160 operace 1/2010 lépe odolává kyselinám a zásadám, včetně i organickým tukovým látkám. Výsledky výzkumu potvrdily i další, již dlouhou dobu známý fakt, a sice že více vrstev náter odolává širšímu rozsahu chemických látek, eventuálně odolává stejné látce delší dobu.

Druhý test chemické odolnosti filmů ze starých disperzí byl proveden principiálně dle SN 73 1326 zm na Z1 „Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek - část C: Metoda automatického cyklování“. Oproti zde citované normě však nebyla zkoušena chemická odolnost vlastního betonu, ale disperzního náteru naneseného na jeho povrch. Dvě trojice normových betonových krychlí průměrné tlakové pevnosti 20 MPa byly ve stáří cca 1 roku opatřeny na jedné odformované ploše 2 nátery v intervalu 24 hodin. Tvrdnutí náteru (samozřejmě s tvrdidlem Telalit 1040) probíhalo 1 měsíc, poté byly krychle opatřeny plechovým rámečkem omezujícím vlastní náterovou plochu. Rámeček umožňuje trvale udržet min. 5mm sloupec 3% roztoku NaCl ve vodě během probíhajících cyklů zmrazování a rozmrazování. Z důvodu nutnosti vizuální kontroly možného poškození disperzního filmu, chránícího betonový povrch, byla pro test zvolena kombinace náteru i automatického cyklování. Jeden cyklus trval přesně 1 den, tedy 24 hodin: 19 hodin byly 3 vzorky se starou a tři s novou disperzí v 5 mm sloupci 3% roztoku NaCl uloženy v mrazicím boxu při teplotě -18 °C, poté byly na 5 hodin položeny do prostředí s teplotou +20 °C. Cyklování bylo po 60 dnech ukončeno. Obr. 2.4 dokumentuje změnu vzhledu staré disperze a Obr. 2.5 nové disperze.



Obr. 2.4 Změna vzhledu filmu staré disperze operace 5/2008 po 60 cyklech



Obr. 2.5 Změna vzhledu filmu nové disperze operace 1/2010 po 60 cyklech

Je zřejmé, že v obou případech, tedy u staré i nové disperze, vlastní disperzní film odolal 60 zmrazovacím cyklům při 5 mm sloupci 3% rozmrazovacího roztoku NaCl. U filmů staré i nové disperze není patrné jejich makroskopické poškození, například puchy nebo popraskáním. Došlo však ke změně zabarvení resp. prosvětlosti filmu především u starší disperze. Toto bylo způsobeno především vstoupáním solného roztoku [12] do struktury filmu a následně i do podkladního betonu, což se projevilo nasáknutím a optickým ztmavnutím podkladu. Masivnější prosvětlost solného roztoku do filmu starší disperze je pravděpodobně způsobena sníženým difúzním odporem filmu [14,22] v důsledku vstupu aglomerovaných částic disperze. Jistě prosvětlost roztoku pod vrstvu disperzního filmu je patrná i u nové disperze, konkrétně u testních krychle

oznaené N3 (viz Obr. 2.5). Zde však z ejm došlo k místnímu selhání silikonového t sn ní plechového ráme ku, udržujícího 5 mm sloupec roztoku nad testovaným filmem.

2.4 Záv r dí l í ásti

Otázka oslabení nebo ztráty mechanické i chemické odolnosti vodních disperzí b hem skladování trápí odborníky z r zných obor . Výzkum, prezentovaný v této ásti práce, se snaží nalézt odpov na otázku sm rodatnosti „doby použitelnosti“, udávané výrobcem. Touto problematikou se v minulosti zabývalo n kolik autor [6,16,24], avšak až laboratorní stanovení a následná konstrukce k ivek kumulativní a diferenciální distribuce ástic ve Výzkumném ústavu SYNPO Pardubice p isp ly k objektivnímu vyhodnocení stárnutí polymerních disperzí. Co se týká zm ny mikrostruktury disperzí stárnutím, lze konstatovat, že postupn dochází k aglomeraci jemných ástic do útvar až padesátinásobn rozm rn jších. Tato skute nost vede ke zm n mezerovitosti, zm n rozm r kapilár a ve výsledku ke zv tšení nasákavosti a propustnosti zaschlého filmu disperze pro vodní roztoky - lze mluvit o p echodu disperze stárnutím v kompozit III. typu, tedy v otev ený systém kapilár. Jisté zhoršení makrostrukturních vlastností disperze stárnutím, hodnocené zm nami mechanických i chemických vlastností jimi vytvo ených film , je patrné tém u všech provedených normových mechanických test v etn testu na chemickou odolnost a odolnost proti p sobení rozmrazovacích látek. P esto lze konstatovat, že ochranný film, provedený z epoxidové disperze s prošlým datem použitelnosti (v tšinou 0,5 – 1 rok od data výroby), m že splnit požadavky na ú innou ochranu betonových i ocelných konstrukcí p ed ú inky slabých zásad, motorových olej i chemických rozmrazovacích látek, samoz ejm p i zhoršeném vzhledu (hrubý povrch, zmatn ní a zb lení) povrchu filmu epoxidové disperze.

3 EPOXIDOVÁ DISPERZE DÁVKOVANÁ DO ERSTVÉ BETONOVÉ ZÁM SI

3.1 Vliv velikosti dávky disperze na mechanické vlastnosti modifikovaných cementových malt a beton

Úvodním výzkumným cílem druhé ásti práce je porovnat vliv tuzemských vodou editelných epoxidových disperzí (p ísad), a to starších rozpoušt dlových i nov jších bezrozpoušt dlových, na fyzikální (plasticita sm si) i mechanické (pevnost v tahu za ohybu, v tlaku) vlastnosti polymercementového betonu (malty).

3.1.1 P íprava vzork , receptury, typy disperzí

Testování fyzikálních a mechanických vlastností polymercementového betonu event. malty bylo provád no na celkem 54 normových tráme cích rozm r 40x40x160 mm, vyrobených dle dvou základních receptur I a II (28 denní pevnost v tlaku cca 16 MPa pro rec. I a 25 MPa pro rec. II) s p ídavkem variabilního množství (0, 3 a 6 % z hmotnosti cementu) t í typ epoxidových disperzí. Maltové tráme ky byly po odformování uloženy 28 dní ve vlhkém prost edí, poté byla jejich vlhkost upravena sušením na max. 1 % hmotnostní. Do cementových malt receptur I a II byly p ídávány tyto kombinace vodou editelných disperzí a tvrdidel [8,15,16]:

a) epoxidová disperze CHS Epoxy 200V55 + tvrdidlo Telalit 180

Jedná se o disperzi druhého typu založenou na dispergaci st edn nebo výše molekulární epoxidové prysky ice ve vod . Pro dosažení pot ebných vlastností musí obsahovat stanovené množství pomocného rozpoušt dla (výrobce: Spolek pro chemickou a hutní výrobu, Ústí n. Labem). Tato epoxidová disperze se aplikuje jako dvousložková nát rová hmota – v našem

p ípad byla vytvrzována polyaminickým tvrdidlem Telalit 180 (výrobce: Spolek pro chemickou a hutní výrobu, Ústí n. Labem). Poměr mísení pro stávající kompozici je 100:27.

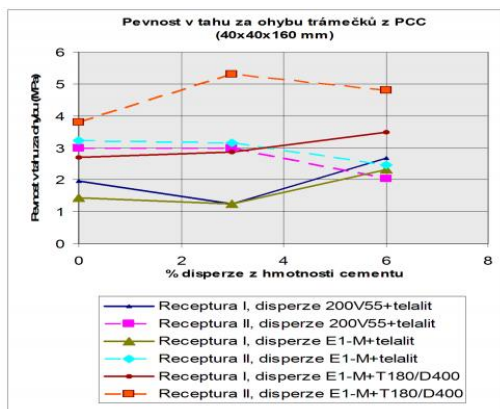
b) epoxidová disperze E1-M + tvrdidlo Telalit 180

Zde se jedná o nově testovanou disperzi tétoho typu obsahující malé množství nebo vůbec žádná pomocná organická rozpouštědla – disperze se řadí do tzv. „eco-friendly coatings“, tj. ekologicky přírodních nátěrových povrchových materiálů (vývoj: SYNPO Pardubice a.s.). Poměr mísení pro stávající kompozici je 100:27.

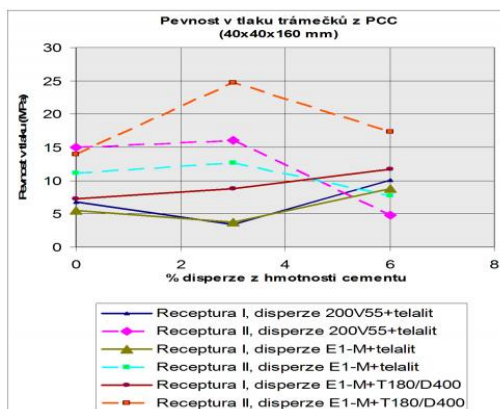
c) epoxidová disperze E1-M + tvrdidlo T18/D400

Pro nově vyvinutou disperzi E1-M a nově testované tvrdidlo T180/D400 (vývoj: SYNPO Pardubice a.s.) je poměr mísení pro stávající kompozici následující: na 100 hmotnostních dílech disperze E1-M se přidává 13 dílech tvrdidla T180/D400.

3.1.2 Popis experimentální práce



Obr. 3.1 Pevnosti v tahu za ohybu normových trámečků 40x40x160 mm z PCC



Obr. 3.2 Pevnosti v tlaku normových trámečků 40x40x160 mm z PCC

Spojnicový graf se šesti řadami na Obr. 3.1 zobrazuje vliv zvyšujícího se množství píísady ve formě vodní disperze na výslednou pevnost v tahu za ohybu trámečků dvou maltových receptur. Je zajímavé, že vyšší dávka píísady (cca 6 % disperze) zvýší pevnost v tahu za ohybu maltových trámečků receptury I. Naopak u receptury II vyšší dávka píísady (cca 6 % disperze) výslednou pevnost v tahu za ohybu snižuje. Velká diference pevností u každé trojice řad, odpovídající rec. I a II, je způsobena dvěma silnými srovnávacím posunem v realizaci dílechích záměrů. Tato prodleva byla způsobena vývojem nového typu tvrdidla T180/D400, které bylo třeba zahrnout do výzkumných prací. Graf na Obr. 3.2 zobrazuje opět vliv zvyšující se dávky píísady ve formě disperze na výslednou pevnost v tlaku trámečků dvou maltových receptur. Porovnání polohy a orientace řad, vyjadřujících závislost pevnosti v tlaku na procentu disperze, vede k obdobnému výsledku jako v předchozím případě u grafu na Obr. 3.1, tedy vyšší dávka píísady (cca 6 %) zvýší pevnost v tlaku u trámečků receptury I. V případě receptury II stačí pro dosažení zvýšení pevnosti v tlaku pouze nižší dávka píísady (cca 3 %), vyšší dávka naopak výslednou pevnost radikálně snižuje. Závěrem lze tedy konstatovat, že pro dosažení optimálního množství píísady ve formě vodní disperze mírně zvýší pevnosti cementových malt a betonů [13]. Disperzní píísada navíc zlepšuje adhezi cementových malt a betonů k podkladu a vzhledem ke svému plastifikantnímu účinku dovolí i značné snížení vodního součinitele. Zajímavé vychází i porovnání rozdílu vlivu starších (rozpouštědlových – 200V55) a nových (bezrozpouštědlových – E1-M) disperzí (i v kombinaci se starším tvrdidlem Telalit 180 a nově vyvinutým T180/D400) na výsledné pevnosti

polymercementových malt. Lze říci, že aplikované varianty dvou disperzí a dvou tvrdidel mají téměř shodný vliv na nárost event. pokles pevností testovaných polymercementových malt a beton, snad s výjimkou bezrozpouštědlové disperze E1-M a nov vyvinutého tvrdidla T180/D400. Tato kombinace moderní disperze a tvrdidla vykazuje při 3% adici do zámsové vody snad nejstrmější nárost pevnosti v tlaku a tahu za ohybu u testovaných polymercementových malt. Avšak po překročení 3% adice disperze začínají hodnoty pevností klesat, na vině je plastifikační efekt disperzí a v neposlední řadě jejich zpevnovací účinek při míchání s cementovou kaší.

3.1.3 Závěr dílčí části

Stavební inženýři se při návrhu receptury polymercementového betonu řídí nejprve údaji v odborné literatuře nebo vlastními zkušenostmi, podpořenými laboratorními testy. Bohužel výrobci disperzí v tšinou receptury ke stavebním aplikacím neuvádějí nebo je nemají k dispozici. Proto mohou laboratorní fyzikálně-mechanické testy cementových malt a beton modifikovaných polymerů napomoci optimálnímu návrhu receptur. V současnosti lze bez obav dodržovat pravidlo, že při návrhu receptury a vlastním mícháním modifikované maltové nebo betonové směsi je třeba bedlivě hlídat maximální množství disperzní přísady, které by nemělo ani u méně kvalitních betonů překročit 6 % z hmotnosti cementu. Samozřejmě vývoj disperzí pokračuje a výsledky starších laboratorních test je nutno ověřovat.

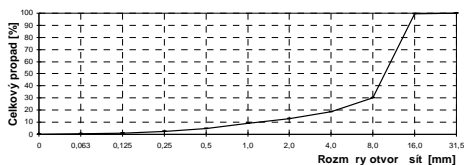
3.2 Modifikace betonu z betonového recyklátu silikátovými písmi a epoxidovou disperzí dávkovanou do první zámsové nebo předem penetrující betonový recyklát – trvanlivostní a mechanické charakteristiky

Výzkum, prezentovaný v závěru druhé části práce, se snaží dosud známé poznatky rozšířit o nové návrhové kombinace silikátových písmí (konkrétně popílku, strusky a mikrosiliky) a epoxidových disperzních přísad (určených do zámsové vody i na penetraci povrchu zrn recyklobetonu) [12,20], které zlepšují trvanlivostní vlastnosti ekonomicky i ekologicky perspektivních betonů z recyklovaného betonu [25]. Je známo, že trvanlivost, resp. s ní velmi úzce související propustnost povrchu betonu, je ovlivněna nejen výběrem a vlastnostmi hmot a volbou receptury první betonové směsi, ale i ukládáním a zhuťováním betonu a především jeho ošetřováním v průběhu tuhnutí a tvrdnutí. K hodnocení propustnosti povrchových vrstev testovaných betonů byly zvoleny tři metody. Metoda TPT (Torrent Permeability Tester) hodnotí propustnost betonu pro vzduch snížením vakua, metoda GWT (German Water Test) měří propustnost pro tlakovou vodu a metoda ISAT (Initial Surface Absorption Test) měří poáteční povrchovou absorpci. Problematikou návrhu receptur betonových směsí a jejich následným testováním s cílem zlepšení trvanlivostních vlastností betonů z betonového recyklátu se doposud zabývala celá řada odborníků [17,26,27,38]. Téměř všichni autoři konstatovali, že ke zlepšení trvanlivostních vlastností betonů z betonového recyklátu nebude stačit jedna vzorová receptura s přesně vymezenými dávkami písmí a písmí, a to z důvodu nejasnosti povodu a heterogenity vlastností betonových recyklátů z různých deponií.

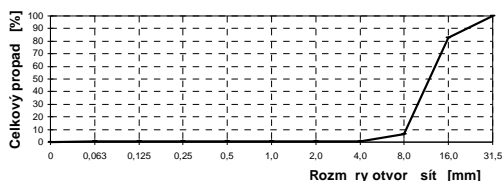
3.2.1 Kamenivo, přísady a písmi, variantní receptury

Pro přípravu referenčních betonů, neobsahujících kamenivo z recyklovaného betonu, bylo použito přírodní hutné kamenivo trojí frakce – viz Tab. 3.2, Rec. R1. Při přípravě testovaných betonů bylo hrubé přírodní kamenivo frakce 8-16 mm Olbramovice nahrazeno surovým

(p írodním) betonovým recyklátem firmy Dufonev s.r.o. frakce 0-16 mm s k ivkou zrnitosti dle Obr. 3.3 [34] nebo p edem penetrovaným recyklátem frakce 4-31,5 mm s k ivkou zrnitosti dle Obr. 3.4. Úprava surového betonového recyklátu frakce 0-16 mm penetrací byla provedena za ú elem aglomerace nevhodné jemné frakce 0-4mm s frakcí hrubou 4-16mm a za ú elem snížení nasákavosti pod normových 10 %, nebo nasákavost použitého surového recyklátu odpovídá, dle EN 1097-6, 10,5 % hmotnostního podílu po 10-ti minutách. P ed vlastní penetrací vodou editelné epoxidové disperze do povrchu recyklovaného betonu bylo nutno recyklát vysušit a po vychladnutí pono it do disperze (CHS Epoxy 160V55 + tvrdidlo Telalit 1261, pom r mísení 100 : 11,5 [19,29,30]) na ed né vodou v pom ru disperze : voda = 2 : 1 objemov . K odstran ní p ebytku kapalné disperze (v etn ásti vmísených jemných ástic) bylo použito normové síto o rozm ru oka 0,5 mm.



Obr. 3.3 K ivka zrnitosti surového recyklátu fy. Dufonev frakce 0-16 mm



Obr. 3.4 K ivka zrnitosti disperzí penetrovaného recyklátu fy. Dufonev p vodní frakce 0-16 mm, nyní po aglomeraci 4-31,5 mm

Obr. 3.5 dokumentuje rozdíl v zrnitosti recyklátu, napenetrovaného epoxidovou disperzí, a surového betonového recyklátu, který obsahuje cca 19 % jemné frakce 0-4 mm. Po vzájemném slepení disperzí obalených zrn a zatvrdnutí dojde ke vzniku v tších aglomerát frakce 4-31,5 mm [22]. Aglomerace je patrná z k ivky zrnitosti penetrovaného recyklátu na Obr. 3.4.



Obr. 3.5 Disperzí penetrovaný a sou asn aglomerovaný recyklát fy. Dufonev, frakce 4-31,5 mm (vlevo); neupravený surový recyklát fy. Dufonev, frakce 0-16 mm (vpravo)

K penetraci surového betonového recyklátu a variantn jako p ísada do beton byla použita moderní bezropoušt dlová epoxidová disperze tzv. III. typu CHS EPOXY 160V55, dále zna ená jako E 160V55, výrobce SYNPO Pardubice a.s. Pro zlepšení trvanlivostních vlastností beton z recyklovaného betonu byly p idávány variantn t i druhy silikátových p ísad: mletá granulovaná vysokopeční struska, výrobce D tmarovice, dodavatel Cemex R, sytná hmotnost 1100 kg/m³, v množství 30 % hmotnosti cementu na 1 m³ betonu, dále popílek do betonu, výrobce Elektrárna

Chvaletice, dodavatel Cemex R, sypaná hmotnost 840 kg/m³, v množství 30 % a kone n mikrosilika, výrobce Romex, sypaná hmotnost 260 kg/m³, v množství 10 %.

Celkem bylo vyrobeno 12 kus betonových dlaždic rozm r 300x80x300 mm, viz Tab. 3.1. Šest dlaždic bylo vyrobeno z beton základních receptur R1-R6, dalších šest pak z beton základních receptur upravených 12% adicí epoxidové disperze – ozna ení R1E-R6E. Skladba betonové sm si referen ní receptury R1 (hutné kamenivo – Tab. 3.2) byla navržena na pevnostní t ídu C 35/45, receptury R2-R6 (betonový recyklát – Tab. 3.2, receptura R2) na pevnostní t ídu C 25/30, obojí p i konzistenci S1 (10-40 mm sednutí kužele dle SN ISO 4103). Betony s p ídavkem disperze jsou totožného složení, obsahují navíc pouze 12 % epoxidové disperze z hmotnosti cementu p í výsledné konzistenci S3 (100-150 mm sednutí kužele dle SN ISO 4103). P í náhrad p írodního hrubého kameniva penetrovaným betonovým becyklátem byl kompenzován úbytek jemné a st ední frakce recyklátu p írodním kamenivem. Naopak p í adicí strusky a popílku byl snížen podíl jemného p írodního kameniva, množství cementu z stalo konstantní.

Tab. 3.1 Složení, ozna ení a zpracovatelnost beton 12 zkušebních dlaždic 300x80x300 mm

Základní složení betonové sm si	P ím s	Po et dlaždic	Ozna ení	Sednutí kužele SN ISO 4103	P ísada	Po et dlaždic	Ozna ení	Sednutí kužele
referen ní	žádná	1	R1	S1	12 % epox. disperze E160V55	1	R1E	S3
surový recyklát	žádná	1	R2	S1		1	R2E	S3
penetrovaný recyklát	žádná	1	R3	S1		1	R3E	S3
surový recyklát	30 % struska	1	R4	S1		1	R4E	S3
	30 % popílek	1	R5	S1		1	R5E	S3
	10 % mikrosilika	1	R6	S1		1	R6E	S3

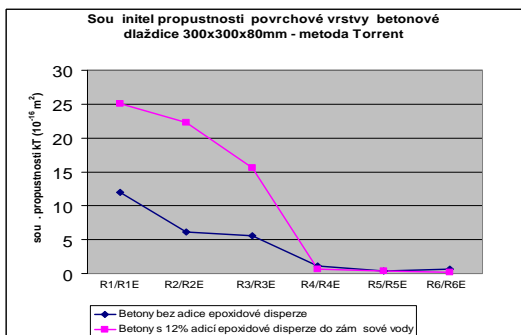
Tab. 3.2 Vzorové receptury betonových sm í

Receptura R1		Receptura R2	
Referen ní receptura, použito p írodní hrubé kamenivo Olbramovice frakce 8-16 mm		100 % hrubého kameniva 8-16 mm nahrazeno surovým recyklátem 0-16 mm,	
CEM I 42,5 R	300 kg/m ³	CEM I 42,5 R	300 kg/m ³
0-4 Brat ice	760 kg/m ³	0-4 Brat ice	760 kg/m ³
4-8 Tova ov	228 kg/m ³	4-8 Tova ov	228 kg/m ³
8-16 Olbramovice	912 kg/m ³	0-16 surový betonový recyklát	690 kg/m ³
voda	136 kg/m ³	voda	159 kg/m ³

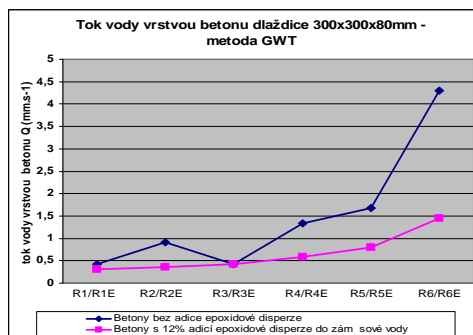
3.2.2 Popis experimentální práce

Testy propustnosti povrchové vrstvy beton byly provád ny na vysušených a vychladlých vzorcích pr m něho st í 65 dn . Z d vodu bezproblémového kontaktu p ístroj s povrchem betonu byla pro testy zvolena hladká rubová plocha betonové dlaždice. Na každé rubové ploše

dláždíc byly provedeny tři testy propustnosti pro vzduch metodou TORRENT, dva testy propustnosti pro tlakovou vodu metodou GWT a dva testy povrchové absorpce ISAT.

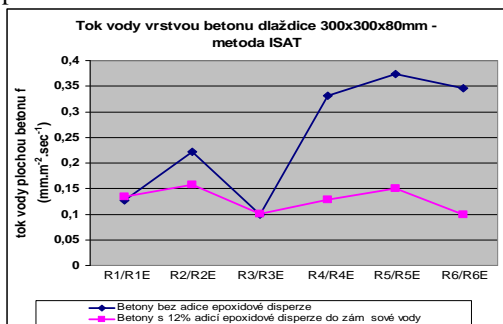


Obr. 3.6 Změna souinitel propustnosti kT pro vzduch u testovaných druhů betonu

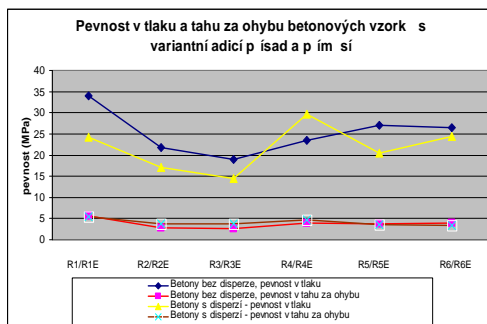


Obr. 3.7 Změna toku vody vrstvou betonu Q u testovaných druhů betonu

Spojnicový graf se dvěma řadami na Obr. 3.6 zobrazuje hodnoty souinitel propustnosti pro vzduch povrchové vrstvy betonů šesti receptur, stanovené metodou TORRENT. Z obou řad je patrný pokles souinitel propustnosti betonů, u kterých bylo přírodní hrubé kamenivo nahrazeno betonovým recyklátem. Tento jev lze vysvětlit v tšší akumulací schopností pórovitého kameniva, které se po zaplnění vzduchem může projevit jako tzv. tlumič. Další pokles propustnosti při inšší adice jemných silikátových prímích sí. Je zajímavé, že 12% adice disperzní přísady do zám. sové vody výrazně zvýší vzduchovou propustnost betonů bez jemných silikátových prímích sí. Spojnicový graf na Obr. 3.7 zobrazuje hodnoty toku vody vrstvou betonu šesti receptur (Tab. 3.1), stanovené metodou GWT. Lze konstatovat, že vyšší tok vody vrstvou betonu je predikován vyšší pórovitostí surového betonového recyklátu (rec. R2) a dále zvýšenou variantní adicí jemnozrnných silikátových prímích sí (rec. R4,R5), obzvláště mikrosiliky (rec. R6). Obdobný graf na Obr. 3.8 zobrazuje hodnoty toku vody plochou testovaných betonů, stanovené metodou ISAT. Výsledek je srovnatelný s předchozími testy propustnosti metodou GWT, vyšší tok vody je opět dán vyšší pórovitostí surového recyklátu a adicí jemnozrnných silikátů. Voda, kapilárně vázaná v pórech recyklátu a fyzikálně vázaná k povrchu jemných prímích sí, vytváří jakousi vodivou dálnici pro následný tok další kapaliny. Oproti výsledkům propustnosti pro vzduch metodou TORRENT lze u propustnosti pro vodu vydvihnout z Obr. 3.7 a 3.8 patrný pozitivní vliv 12% adice epoxidové disperze na razantní snížení propustnosti betonů z betonového recyklátu v etn variantní adice silikátových prímích sí.



Obr. 3.8 Změna toku vody plochou betonu f u testovaných druhů betonu



Obr. 3.9 Změna pevností v tlaku a tahu za ohybu u testovaných druhů betonu

3.2.3 Záv r dí í ásti

Variantní kombinací silikátových p ísad a disperzních p ím sí lze propustnost a áste n i pevnost beton z betonového recyklátu upravit, nutno však brát v potaz fázi budoucího agresivního média. U beton z betonového recyklátu s velkou propustností pro vzduch lze o ekávat malou propustnost pro kapaliny a naopak. V p ípad umíst ní beton z betonového recyklátu do prost edí agresivních plyn je vhodné do erstvé zám si p idat cca 10-30 % jemných silikátových p ím sí, naopak je vylou ena adice ztekucujících disperzních p ísad. V p ípad umíst ní beton do prost edí agresivních kapalin je vhodné do zám sové vody p idat cca 12 % epoxidové disperze, naopak je vylou ena adice jemných silikátových p ím sí. Z hlediska zlepšení mechanických vlastností beton z betonového recyklátu se perspektivn jeví kombinace jemných silikátových p ím sí, zvlášt vysokopecní strusky, s p ísadou epoxidové disperze – viz Obr. 3.9. Obecn lze konstatovat, že masovému použití beton z betonového recyklátu brání v tšinou horší mechanická a trvanlivostní vlastnosti ve srovnání s betony z p írodního kameniva. Nelze pominout ani dostí vysokou cenu betonového recyklátu (asi 8 € za 1 m³) ve srovnání s p írodním t Źeným kamenivem (asi 12 € za 1 m³). Trvanlivost beton z betonového recyklátu lze, jak bylo potvrzeno výzkumem, do jisté míry zvýšit variantní kombinací p ísad a p ím sí, to stejn platí i pro pevnost. Avšak cena v tšiny p ísad a p ím sí (cena nejdražší složky, epoxidové disperze, se pohybuje p í dávce 12% z hmotnosti cementu na 1 m³ erstvého betonu kolem 140 €) je p íliš vysoká pro masivní uplatn ní. Cílenou úpravu pevnosti a trvanlivosti lze tedy o ekávat jen u úzkého spektra speciálních beton z betonového recyklátu, nap . beton vodostavebných, síranovzdušných, odolávajících karbonataci apod.

4 FILM EPOXIDOVÉ DISPERZE CHRÁNÍCÍ POVRCH BETON

Hlavním cílem t etí ásti práce je ov ení pozitivního p sobení ochranného nát ru vodou editelnými epoxidovými disperzemi II. a p edevším III. typu [46] na snížení i zastavení difuze a následné permeace agresivního CO₂ do hloubky cementové malty nebo betonu [6,14,16]. Aplikovaný nát r by však nem l bránit zp tnému pronikání vlhkosti z budovy nebo z hloubky konstrukce do atmosféry. Kur ení náchylnosti vzork betonu a malty ke karbonataci lze užít postup dle SN EN 13 295 „Odolnost správkových výrobk nebo systém proti karbonataci“, p í kterém jsou zkušební t lesa vystavena po dobu 56 dn atmosfé e, obsahující 1 % CO₂. Zkušební nanesení filmu epoxidové disperze na povrch betonu však vede ke vzniku bariéry, omezující intenzivní difuzi CO₂. Normou stanovená doba expozice 56 dn v pouze 1% CO₂ se jeví z tohoto pohledu jako velmi krátká. Efektivní postup k vyhodnocení náchylnosti, resp. ke stanovení reálné hloubky karbonatace u pr m ných i kvalitn jších ev. povrchov upravených beton byl vyvinut na Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brn [48,49]. Jedná se o „urychlený test na hloubku karbonatace v 98% CO₂“. Získané výsledky doplní celkový obraz o kvalit a ú elnosti povrchové ochrany cementových malt a beton p ed difuzí atmosférického CO₂.

4.1 Testované vzorky, aplikované disperze a postupy

Vliv nát ru povrchu cementové malty epoxidovými disperzemi na propustnost agresivního CO₂ byl posuzován na normových maltových tráme cích rozm r 40x40x160 mm (92 kus), vyrobených dle základní receptury b Źné cementové malty s trojí dávkou cementu CEMI 42,5 R pod ozna ením 1, 2 a 3 (skute ná 28 denní pevnost v tlaku 11, 24 a 37 MPa). Maltové tráme ky receptur 1, 2 a 3 byly po doformování uloženy 28 dní pod vodou a poté byla upravena jejich vlhkost pozvolným vysycháním v laborato i na cca 1 % hmotnostn . Na vybrané množství

normových maltových tráme k receptur 1, 2 a 3 byly samostatn aplikovány následující ty i kombinace epoxidových disperzí v etn tvrdidel (viz Tab. 4.1) [6,15,16,29]:

Tab. 4.1 Ozna ení, počet vrstev a složení ochranných disperzních film

Nát r (film)	Po et vrstev	Typ disperze	Typ tvrdidla	Typ p ídatné látky
A	2	CHS Epoxy 200V55	Telalit 180	-
B	2	DOW XZ 92533	XZ 92441.01	-
C	1	CHS Epoxy 200V55	Telalit 180	-
	+1	CHS Epoxy 160V55	Epostyl 216V	DI-ISO (pentandiol diisobutyrát)
D	2	CHS Epoxy 160V55	Epostyl 216V	DI-ISO (pentandiol diisobutyrát)

Následují nezbytné údaje o použitých prysky ících a p ídatných látkách:

Pryskyřice 1:

CHS Epoxy 200V55 je vodní disperze st edn molekulární epoxidové prysky ice. Systém se skládá z modifikované epoxidové prysky ice a speciálního tvrdidla Telalit 180.

Tvrdidlo 1:

Telalit 180 je universální tvrdidlo pro CHS Epoxy vodou editelné epoxidové systémy. Telalit 180 je epoxido-polyaminický adukt na vodní bázi. Doporu ený pom r mísení CHS Epoxy 200V55 : Telalit 180 – 100 hmot. díl : 27 hmot. díl m.

Pryskyřice 2:

CHS Epoxy 160V55 je bezrozpušt dlová vodní disperze se zajišt nou molekulovou hmotností vyšší než 1200 g/mol. Je doporu eno tvrdidlo Telalit 1040.

Tvrdidlo 2:

Epostyl 216V je polyaminické tvrdidlo, obsahující aditiva, pigmenty a plniva.

Přídatná látka 2:

DI-ISO je p ídáván jako zvlá ovadlo, chemicky jde o pentandiol diisobutyrát. Doporu ený pom r mísení CHS Epoxy 160V55 : Epostyl 216V : DI-ISO – 100 hmot. díl : 100 hmot. díl m : 15 hmot. díl m.

Pryskyřice 3:

DOW XZ 92 533 je epoxidová vodou editelná disperze firmy DOW.

Tvrdidlo 3:

XZ 92 441.01 od firmy DOW Chemicals Ltd. Doporu ený pom r mísení DOW XZ 92 533 : XZ 92 441.01 - 100 hmot. díl : 20 hmot. díl m.

Vybrané sady vzork s povrchovou úpravou disperzním nát rem i srovnávací povrchov neupravené byly uloženy do slab p etlakové (cca 20 mm vodního sloupce) nádrže s náplní 98% CO₂ za ú elem urychlení zkoušky karbonatace. Zbylé vzorky bez povrchové úpravy byly ponechány v p írozené atmosfé e laborato e (0,03 % CO₂) jako referen ní. Pro stanovení odolnosti betonu ošet eného nát ry vodou editelných epoxidových disperzí proti ú ink m agresivního CO₂ bylo použito metody, založené na porovnání hloubek karbonatace u ošet ených i neošet ených vzork , uložných v agresivním prostředí 98% CO₂. Zkarbonatovanou hloubku b hem urychlené zkoušky u povrchov neošet ených vzork nutno ješt srovnat s hloubkou p írozené karbonatace v laboratorním prostředí s obsahem cca 0,03 % CO₂. Stanovení skute něho urychlení zkoušky v 98% CO₂ oproti reálné atmosfé e vychází ze znalosti korela ní závislosti *urychlení karbonatace*

v 98% CO₂ oproti reálné atmosféře / hloubka karbonatace v 98% CO₂ [49], odvozené pro betony pro m méně pevnosti v tlaku 30 MPa.

4.2 Popis experimentální práce

Reálná hloubka karbonatace [39,41,42] povrchov ošet ených i neošet ených maltových tráme k rozm r 40x40x160mm byla stanovována vždy na obou zlomcích tráme k postupem dle SN EN 14630 „Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody“ z roku 2008. Jedná se o fenolftaleinovou indikaci (fialové zbarvení) zdravého betonu p i pH > 9,4. Vzájemné porovnání hloubek karbonatace ošet ených a neošet ených vzork (uložených v 98% CO₂ i voln v laborato i) bylo provedeno v následné asové souslednosti od termínu vložení do 98% CO₂: 1 m síc, 2 m síce, 4 m síce, 6 m síc a poslední dopl kové m ení po 12 m sících uložení v 98% CO₂. Následuje souhrnné hodnocení stavu karbonatace normových tráme k po výše definovaných asových intervalech.

Konec 1. měsíce uložení: Všechny ty i typy nát r A, B, C a D vcelku spolehliv ochránily vzorky t í druh testovaných malt (rec. 1, 2 a 3), uložných v 98% CO₂. Navíc lze íci, že nát ry mají v 1. m síci z ejmý pozitivní vliv na zp tné „ozdrav ní“ cementové malty. P i karbonataci vzniká jako vedlejší produkt voda, která p íspívá k druhotné hydrataci dosud nezhydratovaných složek cementového tmele, proto na zlomcích tráme k je vid t zdravé fialové zbarvení celé lomové plochy. V p ípad nát rem nechrán ných tráme k je z ejmý pozitivní vliv kvality betonu k zamezení difuze agresivního CO₂ do materiálu.

Konec 2. měsíce uložení: Zdá se, že nát ry pod ozna ím A a B chránily cementovou maltu v prost edí 98% CO₂ lépe než nát ry C a D, nicmén u všech ty typ povrchové ochrany se prozatím jedná o zm enou hloubku karbonatace v rozmezí 0,5 – 3 mm dle jakosti cementové malty.



Obr. 4.1 12. m síc uložení v 98% CO₂, nát r A, B, C a D na rec. 1, 2 a 3, pr m rné hloubky karbonatace pod nát rem A: 1, 3, 0 mm, B: 20, 5, 1 mm, C: 2, 1, 2 mm a D: 15, 15, 0 mm



SAMPLES WITHOUT SURFACE COATING

← FORMULATION 1

← FORMULATION 2

← FORMULATION 3

Obr. 4.2 12. m síc uložení v 98% CO₂, bez nát ru, rec. 1, 2 a 3, pr m rná hloubka karbonatace: 20, 15 a 10 mm

Konec 4. měsíce uložení: U vzork , ošet ených nát ry typu A, B, C a D, se po 4 m sících (120 dn) prokázala v tší propustnost pro koncentrovaný 98% CO₂ u nát r typu C a D, samoz ejm v závislosti na kvalit ě chrán ěné cementové malty.

Konec 6. měsíce uložení: Ochranný ú inek disperzních nát r se oproti výsledk m p ed dv ma m síci (4 m sí ní uložení v CO₂) zm nil, nejlépe chrání nekvalitní a tedy nejvíce karbonatací ohroženou cementovou maltu nát r typu A a C.

Konec 12. měsíce uložení: Nejvyšší míru ochrany cementové malty vykázala rozpoušt dlová epoxidová emulze typu A a kombinace rozpoušt dlové + bezrozpoušt dlové typu C - viz. Obr. 4.1 a Obr. 4.2.

4.3 Záv r dí í ásti

Výsledky dopl ůjí celkový obraz o kvalit ě a ú elnosti povrchové ochrany malt a beton p ed difuzí atmosférického CO₂. Obr. 4.1 p ehledn ě hodnotí kvalitu ochrany cementových maltových tráme k 3 receptur ty mi typy disperzních nát rových hmot A, B, C a D. Vzorky byly uloženy 12 m síc v prost edí koncentrovaného 98% CO₂. Je z ejmé, že ke karbonataci budou náchyln ější malty a betony horší kvality (nízká pevnost, málo zhutn ěné, p ebytek zám sové vody) a na tyto druhy beton by m ly být ochranné nát rové hmoty p evážn ě aplikovány. Betony lepších kvalit se do jisté míry brání difuzi plynného CO₂ samy (menší nasákavost, pórovitost). Porovnání hloubky karbonatace u ošet ených (Obr. 4.1) i neošet ených (Obr. 4.2) vzork nejlepší 3. receptury však prokazuje, že povrchový film ze zatvrdlých epoxidových disperzí zabra uje i minimálnímu pr niku plynného CO₂ do velmi kvalitních cementových malt, a tedy jeho ú el není jen preventivní.

Co se týká ochranných vlastností ty typ testovaných vodou editelných epoxidových disperzí A, B, C a D vzhledem k pr niku CO₂, ro ní urychlený test (odpovídá cca 8 let m reálného atmosférického p sobení 0,03% CO₂ na beton pr m rné kvality – odvozeno dle [49]) p inesl tato zjišt ní:

- nejvyšší míru ochrany cementové malty vykázala rozpouštědlová epoxidová disperze typu A a kombinace rozpouštědlové + bezrozpouštědlové typu C (v obou případech je shodný 1. impregnační nátěr typu A)
- plnou ochranu kvalitních cementových malt zajišťovaly shodně všechny testované vodou editelné epoxidové disperze typu A, B, C a D
- cementovou maltu horší kvality spolehlivě neochránila po dobu 6 a více měsíců (reálně 5 a více let – odvozeno dle [49]) rozpouštědlová zahraniční epoxidová disperze typu B (DOW Chemicals Ltd.), příliš nepomohla ani moderní bezrozpouštědlová epoxidová disperze typu D (SYNPO Pardubice, a.s.).

Povrch betonové konstrukce lze tedy ochránit před úniky atmosférického CO₂ filmy starších rozpouštědlových i moderních bezrozpouštědlových (tzv. VOC-free) vodou editelných epoxidových disperzí. Na základě zjištěných hloubek karbonatace (při urychlené zkoušce v 98% CO₂ i v přirozeném prostředí 0,03% CO₂) disperzemi ošetřených i neošetřených referenčních vzorků betonu lze za pomoci korelační závislosti *urychlení karbonatace v 98% CO₂ oproti reálné atmosféře / hloubka karbonatace v 98% CO₂* [49] odhadnout interval nutné obnovy ochranného filmu daného typu disperze, viz Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Interval obnovy ochranného nátěru betonových vzorků tří receptur

Receptura/typ nátěru-interval obnovy	A (roky)	B (roky)	C (roky)	D (roky)
Rec. 1	8	3	8	3
Rec. 2	8	5	8	3
Rec. 3	8	8	8	8

Ochrana stavebních konstrukcí z různých druhů betonu před úniky agresivních kapalin a plynů je stále aktuální. Chyby v návrhu receptur betonových směsí, špatné hutnění a nedokonalá nebo nedejme si za své ochrana prvního betonu ve stádiu zrání se stále opakují. A přitom trhlinky vzniklé ve stádiu útluhy hydratačních reakcí nebo následné smršťovací trhlinky vzniklé rychlým vysycháním prvního betonu představují ideální vstupní bránu pro pronikání škodlivých kapalin a plynů. Pro zajištění jistého stupně ochrany betonu před úniky agresivních kapalin a plynů přitom stačí připravit velmi nepropustný beton, a to cestou například dokonalého ztuhnutí nebo alternativní cestou povrchových úprav. K provedení povrchové ochrany penetrací nebo nátěrem lze použít polymerní látky v různých formách, rozpouštědlové (neekologické, hořlavé, nehygienické) nebo moderní disperzní. Od roku 2010 jsou na trhu pouze disperzní systémy s velmi nízkým až nulovým obsahem organických rozpouštědlových látek (rozhodnutí obsaženo ve Směrnici evropského parlamentu a rady 2004/42/EC z roku 2004). Jejich výhodou spočívá v příznivém vlivu na životní prostředí, snadnou aplikovatelnost i na mírně vlhký podklad a jednoduché ištění pracovního nářadí a pomůcek. Avšak jak vyplývá z této a předchozích výzkumných prací, vlastnosti moderních bezrozpouštědlových disperzí (CHS Epoxy 160V55 + tvrdidlo Epostyl 216 + DI-ISO, výrobce SYNPO Pardubice, a.s.) nejsou ještě plně srovnatelné se staršími rozpouštědlovými systémy (CHS Epoxy 200V55 + tvrdidlo Telalit 180, výrobce SYNPO Pardubice, a.s., nebo DOW XZ 92 533 + tvrdidlo XZ 92441.01, výrobce DOW Chemicals Ltd.). Je proto nutné sledovat vývoj nových bezrozpouštědlových disperzí a před jejich vlastní aplikací na ochranu reálné konstrukce je zapotřebí provést laboratorní tzv. „urychlenou zkoušku na hloubku karbonatace“ [48,49] disperzí ošetřených i povrchů neupravených vzorků betonu. Pokud by zkušební vzorky betonu pro urychlenou zkoušku byly vyrobeny dle stejné nebo podobné receptury vzhledem k reálné betonové konstrukci, lze odhadnout i nutné intervaly obnovy disperzních penetrací nebo filmů, chránících betony před agresivními látkami.

5 LEPIDLA NA BÁZI EPOXIDOVÉ DISPERZE KE SPOJOVÁNÍ SILIKÁTOVÝCH POVRCH

Cílem tvrté ásti práce je prov ení použitelnosti a otestování vlastností moderních vodou editelných bezrozpoúst dlových disperzních lepidel ur ených k lepení betonu nebo p esných cihelných blok – tedy pro b žné stavební aplikace [7,55]. Výzkum podporuje sou asný trend potla ení mokrého procesu zd ní ve výstavb ve prosp ch asov í materiálův p ízniv jšího suchého. Navíc vodou editelná disperzní lepidla snesou í dosti vlhký adherend, ehož lze využít p í rekonstrukcích budov, u vodních staveb a podobn . Princip hodnocení použitelnosti a vhodnosti moderních epoxidových disperzí [29,30,50] pro lepení stavebních materiál spo ívá v porovnání adhezních vlastností daných disperzí, nanesených na r zn upravené silikátové adherendy, a adhezních vlastností silikátových lepidel [51,52,54]. Míru adheze lze objektivn stanovit dle SN EN 1015-12 jako maximální nap tí v tahu vyvozené zatížením p sobícím kolmo k povrchu naneseného adheziva a vyjád ít jako p ídržnost v N/mm^2 .

5.1 Popis testovaných materiál a princip zkušebních postup

B hem výzkumu byly otestovány adhezní a kohezní vlastnosti [22,52] moderního vodou editelného disperzního dvosložkového lepidla pro stavební aplikace ozna eného **L1**, v textu pak **I.** (viz Tab. 5.1), od výrobce SYNPO Pardubice, a.s. Zkoušky byly provedeny na dvou druzích podkladu – cihla a beton. Z d vodu ov ení nutnosti povrchové úpravy adherendu p ed vlastním lepením byly n které cihelné a betonové povrchy zabroušeny, n které navíc penetrovány vodou editelnou epoxidovou disperzí typu **III.** (CHS Epoxy 160V55 + tvrdidlo Telalit 1040 – viz Tab. 5.1). Míra adheze zatvrdlé vodní disperze k podkladu byla stanovena odtrhovou zkouškou (jedná se o stanovení p ídržnosti f_u v N/mm^2 dle SN EN 1015-12 a byla porovnána s adhezí klasického elastického silikátového lepidla Flexkleber firmy Knauf k odpovídajícímu podkladu.

Tab. 5.1 P ehled adheziv a penetrací, ú el jejich aplikace p í provád ní testu p ídržnosti

Ozna ení adheziva a penetrace v textu - typ	Výrobní ozna ení adheziva a penetrace	Výrobní ozna ení tvrdidla	Pom r mísení adhezivo:tvrdidlo/ : (event. voda)	Ú el aplikace adheziva a penetrace p í testu p ídržnosti
I.	lepidlo L1 - lepidlo pro stavební aplikace - složka A	lepidlo L1 - složka B	100 : 7	testované disperzní adhezivo
II.	lepidlo Flexkleber - elastické lepidlo	-	5 / : 1,4	referen ní silikátové adhezivo
III.	penetrace CHS Epoxy 160V55 - epoxidová disperze	Telalit 1040	100 : 9 / : 109	penetrace povrchu cihel a betonu p ed nanesením adheziva
IV.	lepidlo pro lepení terprisky ice složka A - prsky ice	lepidlo pro lepení terprisky ice složka B - tvrdidlo	2 : 1	lepidlo pro stanovení p ídržnosti k podkladu

Technologii penetrace, nanášení testovaných adheziv a lepení odtrhových ter (mechanický zp sob odtrhu ocelového ter e Ø 50 mm švýcarským p ístrojem DYNA Z 15 firmy PROCEQ) na cihelné a betonové adherendy lze rozdelit do těchto podskupin:

- aplikace testovaného disperzního adheziva typu I. na penetrovaný povrch cihelného a betonového adherendu.* Vývrtem omezená kruhová plocha je 1x ošetřena penetrací typu **III**. Po 24 hodinách zasychání je nanesena tenká vrstva adheziva typu **I.**, které zasychá a tvrdne cca 1 m síc – viz Obr. 5.1 a 5.2. Poté je na tuto tenkou vrstvu testovaného adheziva přilepen adhezivem typu **IV.** odtrhový ter , po 24 hodinách je proveden vlastní test p ídržnosti.
- aplikace testovaného disperzního adheziva typu I. na surový (nepenetrovaný) povrch adherendu (cihla, beton).* Vynechána etapa penetrace a následného 24 hodinového zasychání, jinak postup stejný jako a).
- aplikace referenčního silikátového adheziva typu II. na surový (nepenetrovaný) povrch cihelného a betonového adherendu.* Na vývrtem omezenou kruhovou plochu je nanesena cca 1mm silná vrstva adheziva typu **II.**, která zasychá a tvrdne cca 1 m síc. Poté je na tuto vrstvu silikátového adheziva typu **II.** přilepen adhezivem typu **IV.** odtrhový ter , po 24 hodinách je proveden vlastní test p ídržnosti.



Obr. 5.1 tenká vrstva nanesená na povrch testovaného adheziva typu I. – broušený a penetrovaný cihelný adherend



Obr. 5.2 tenká vrstva nanesená na povrch testovaného adheziva typu I. – broušený a penetrovaný betonový adherend

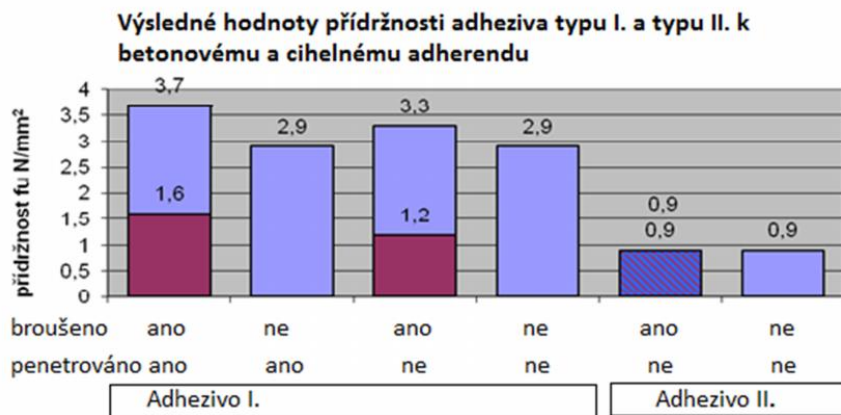
5.2 Získané výsledky p ídržnosti

Výsledky p ídržnosti testovaného disperzního a referenčního silikátového adheziva (typ **I.** a **II.**) k r r zn upraveným cihelným a betonovým adherend m obsahuje p ehledn graf na Obr. 5.3. B hem testu p ídržnosti adheziva typu **I.** (lepidlo **L1**) ke všem úpravám cihelných a betonových adherend došlo k tahovému porušení materiálu adherendu, tedy p ídržnost testovaného adheziva k podkladnímu adherendu bude vyšší než dosažený výsledek zkoušky. B hem testu p ídržnosti referenčního silikátového adheziva typu **II.** (Flexkleber) ke všem cihelným a betonovým adherend m došlo k tahovému porušení vrstvy referenčního adheziva, tj. došlo k porušení vnit ní soudržnosti resp. k p ekonání koheze hmoty adheziva. P ídržnost adheziva k adherendu bude v tomto p ípad op t vyšší než dosažený výsledek zkoušky. Význam penetrace betonových a cihelných adherend p ípravkem typu **III.** p ed vlastním nanesením disperzního adheziva typu **I.** nelze jednozna n prokázat (adheze k penetrovanému podkladu je vyšší než nam ené p ídržnosti f_u pro adhezivo typu **I.**), avšak lze p edpokládat její ú elnost u pórovitých adherend (cihla,

plynosilikáty), kde vzniká nebezpečí rychlého vysušení a následného popraskání disperzního adheziva. Přídržnost disperzního adheziva typu **I. (L1)** ke všem testovaným upraveným i neupraveným adhezivům je ve srovnání s běžně používanými silikátovými elastickými lepidly typu **II.** (např. testovaný Flexkleber a podobné) vždy vyšší, a to až 10krát.

5.3 Závěr dílčí části

Přibližně před třiceti lety nastoupil ve stavebnictví trend zjednodušování technologie při přípravě spojiv širokým využitím tzv. suchých maltových směsí. Nyní jsou výlučně používány tzv. suché maltové směsi s jistým obsahem tenzidů, zlepšujících dispergovatelnost směsí ve vodě [22].



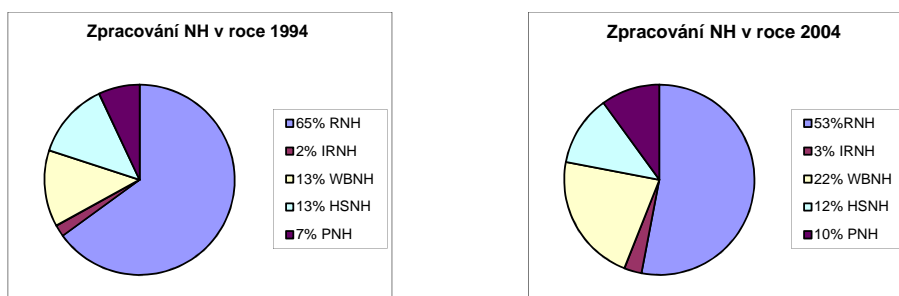
Obr. 5.3 Výsledné hodnoty přídržnosti adheziva typu I. a typu II. k variantně upravenému betonovému a cihelnému adhezivu; světle šedá přídržnost k betonovému, tmavě šedá k cihelnému adhezivu, pátý sloupec společně pro oba adhezivy

Za posledních několik let vývoj pokračoval k dalšímu zjednodušení technologie zdiva, a to vyloučením nebo alespoň omezením mokrého procesu, kdy se prakticky jedná o použití nově formulovaných maltových směsí převážně vyšší jemnosti nebo o použití speciálních lepidel. Tomuto trendu vyšli vstříc i výrobci zdivkových prvků nabídkou tzv. přesných (v ložných plochách zabroušených) cihel, bloků a tvárnic, určených pro tzv. „suché zdivo“. Nabízená lepidla jsou však převážně zahraniční (např. speciální PUR-p na DRYFIX), je proto velmi důležité, že je schopen stejnou kvalitní lepidlo zajistit domácí producent (Spolek pro chemickou výrobu Ústí nad Labem). Nanášení tekutého disperzního lepidla na ložnou spáru zdivkového prvku, samozřejmě po příslušné adici tvrdidla, by bylo provedeno speciálním nanášecím válečkem se zásobníkem. Na základě provedeného výzkumu lze konstatovat, že testované domácí dvousložkové disperzní stavební lepidlo **L1** (typ **I.**) splnilo očekávání a lze jej tedy doporučit pro stavební účely, tedy především pro provádění kontaktních spojů nasávkových materiálů cihla – cihla, beton – beton, beton – cihla a podobně i v teplotě nad bodem mrazu. Lze předpokládat, že stejnou kvalitní spoje budou docíleny i při lepení jiných dvojic materiálů, u nichž alespoň jeden adheziv bude nasávkový [53]. Disperzní lepidlo **L1** jistě najde uplatnění například i v progresivní metodě suchého zdiva přesných cihelných bloků nebo při úpravách všech druhů konstrukcí, a to i vlnkých.

6 P EDPOKLÁDANÝ VÝVOJ V OBLASTI VODOU EDITELNÝCH DISPERZNÍCH HMOT NA BÁZI EPOXID

Rozvoj vodou editelných emulzí a disperzí byl nastartován s objevem povrchov aktivních látek na začátku dvacátého století. Po několika desítkách let začalo pro myslivé využití emulzní polymerace. Největší rozvoj výroby nastal v naší republice po druhé světové válce, například v osmdesátých letech se u nás vyrábělo již kolem 50 000 tun disperzí. V té době se jednalo především o akrylátové disperze. Hlavní oblastí jejich využití byla oblast nátrových hmot a lepidel. Velké množství disperzí se také aplikovalo v obalové technice a textilním průmyslu.

Epoxidové emulze a následně i disperze se začaly vyrábět mnohem později. Bylo to dáno tím, že samotné epoxidové pryskyřice, tak jak je nyní známe, se začaly pro myslivé vyrábět až po druhé světové válce. Nejprve se epoxidy využívaly v elektrotechnickém průmyslu, později i v jiných odvětvích, a to především ke spojování. Poté, co se prokázala vynikající přilnavost epoxidových pryskyřic k povrchu, se tyto začaly používat i do rozpouštědlových nátrových hmot. Koncem osmdesátých let dvacátého století ale začaly vznikat požadavky na ochranu životního prostředí, a tak byla stále větší snaha nahradit rozpouštědla v nátrových hmotách neškodnou a také mnohem levnější vodou. Jak se měnily požadavky na jednotlivé technologie zpracování nátrových hmot v Evropě v letech 1994 až 2004, je patrné z následujícího Obr. 6.



- RNH - rozpouštědlové nátrové hmoty
- IR - radiačně vytvrzované nátrové hmoty
- WBNH - vodou editelné nátrové hmoty (water born)
- HSNH - vysokosušinnové nátrové hmoty (high solids)
- PNH - práškové nátrové hmoty

Obr. 6 Změna objemu výroby nátrových hmot danými technologiemi mezi léty 1994-2004 [8]

Z obrázku je patrný výrazný nárůst podílu vodou editelných nátrových hmot (žluté výseky). V případě vodou editelných epoxidových nátrových hmot došlo během posledních let k velkému rozvoji. Vývoj disperzí probíhal v několika krocích. Nejdříve byly uvedeny na trh tzv. **disperze prvního typu** (jednalo se spíše o vodné emulze nízkomolekulárních pryskyřic). Tyto měly poměrně krátkou dobu zpracovatelnosti a neměly příliš dobré mechanické vlastnosti. Poté následovaly **disperze druhého typu**, které se vyrábějí doposud. Ty mají již výrazně lepší vlastnosti, ale jejich nevýhodou je určitý obsah organických rozpouštědel. Jedná se ve většině případů o pomocná rozpouštědla jako například glykolétery. Jako poslední jsou uváděny na trh **disperze třetího typu**, které obsahují pouze nepatrnou koncentraci pomocných rozpouštědel. Jsou zahrnovány mezi tzv. eco-friendly coatings neboli z hlediska ekologického příznivé nátrové hmoty [6,56].

Jak je patrné, vývoj epoxidových disperzí se soustředil především na omezení koncentrace pomocných rozpouštědel, což bylo dosaženo u disperzí tohoto typu. Dalším krokem vývoje je vývoj epoxidových disperzí s nízkou hodnotou epoxidového indexu. Tato disperzní pojiva již nejsou považována jako látky zdraví škodlivé (viz CHS EPOXY 160 V55). V současné době se intenzivně pracuje na nových typech dispergovatelných pojiv [57], založených na epoxidovaných novolacích, epoxiesterech nebo na hybridních reaktoplastech, obsahujících v makromolekulárním prostředí atomy poskytující příslušné disperzi zcela jedinečné vlastnosti. Poslední dobou se v literatuře objevily zprávy o silikonepoxidových pryskyčicích [58]. Je jen otázkou času, kdy některé z těchto pojiv budou uvedeny na trh i ve formě vodných disperzí. Další oblastí, kterou se ubírá výzkum, je možnost uplatnění nanočástic v základní pryskyčici. Bylo zjištěno, že nanočástice mají příznivý vliv na snížení houževnatosti pojiva a na zvýšení jeho houževnatosti. Vývoj nových typů disperzí bude ovlivněn i ekonomikou. Dá se předpokládat, že nové typy disperzí a z nich formulované nátěrové hmoty budou dražší a z toho důvodu budou cíleně využívány především pro aplikace splňující zvýšené požadavky odběratelů.

7 ZÁVĚR

Epoxidové pryskyčice se ve stavebnictví používají již celou řadu let. Jsou nedílnou součástí polymerbetonu, reaktivních lepidel a vysoce odolných nátěrů, a to hlavně pro své výborné vlastnosti, jako například adhezi k podkladu a vysokou odolnost vůči různým chemikáliím a rozpouštědlům. Minimální smrštění během tvrdnutí a souasně jistý stupeň pružnosti jsou výhodné jak pro strojírenství (stroje, automobily, letadla), tak i pro stavebnictví. Široké užití vodných disperzí epoxidových pryskyčic jakožto náhrady tradičních rozpouštědlových systémů nastává však až v současnosti. Toto relativní opoždění bylo způsobeno problémy souvisejícími se snížením spotřeby tukových organických látek z důvodu ochrany pracovníků a životního prostředí. První pokusy o formulaci epoxidových disperzí nastal kolem roku 1970 úspěšným vývojem polyaminoamidového systému na vodní bázi, který se ukázal jako vhodné bezrozpouštědlové tvrdidlo. Film epoxidové disperze s tímto tvrdidlem může velmi dobře ochránit čerstvý beton před přílišným vysycháním a prodloužit tak jeho hydrataci, starší beton před agresivními kapalinami a plyny a u betonového recyklátu může snížit jeho přirozenou nasákavost. Hodnocení klasických rozpouštědlových a moderních disperzních systémů není jednoduché a vždy jednoznačné. Každý systém má svá pozitiva i negativa. Klasické epoxidové pryskyčice našly ve stavebnictví nezastupitelné místo při ochraně anorganických povrchů, při lepení nesavých adherendů nebo jako matrice polymerbetonu a malt. V případě vodných disperzí epoxidových pryskyčic lze konstatovat, že rozhodnutí o jejich použití jsou ovlivněna do značné míry fyzikálními vlastnostmi dispergačního činidla (vody), samozřejmě nelze pominout dominantní vlastnosti epoxidové pryskyčice a tvrdidla. Vodný dispergens umožňuje modifikaci betonu přímým vmícháním epoxidové disperze do zátěrové vody, umožňuje tvorbu ochranných filmů disperze na suché i vlhké anorganické povrchy, umožňuje lepení nasákavých anorganických adherendů, a v neposlední řadě umožňuje penetraci nasákavého kameniva s cílem zlepšení jeho fyzikálně-mechanických vlastností. Přesto však vodný dispergens představuje také jisté riziko epoxidových disperzí – jde především o dobu skladovatelnosti a mrazuvzdornost. Stávající podmínky shlukování disperzních částic způsobuje urychlení sedimentace a změnu fyzikálně-mechanických vlastností disperze i z ní vytvořených ochranných filmů. Obecně lze říci, že vodou editelné epoxidové disperze jsou moderní materiály, vyhovující požadavkům jak ekologickým, tak požadavkům bezpečnosti práce. Nekladou vysoké nároky na vlastnosti a pedupravu jimi modifikovaných povrchů chráněných nebo spojovaných materiálů. Pro svoji relativně vysokou cenu bude použití epoxidových disperzí ve stavebnictví směřováno spíše ke speciálním aplikacím, tedy k výrobě speciálních materiálů pro rekonstrukce, k ochranným nátěrům a k modifikaci recyklátů.

8 VYBRANÉ PRÁCE AUTORA

8.1 Publikace výsledk z oblasti: Stárnutí epoxidové disperze, zm na vlastností

Stehlík, M., Anton, O., He mánková, V., Novák, J.: *Změna mechanické a chemické odolnosti filmu disperze vzhledem k délce skladování*, Sborník XXI. Mezinárodního symposia Sanace betonových konstrukcí 2011, s. 112-116, Brno, 2011

Stehlík, M.: *Influence of the age of epoxy dispersion on the effectiveness of protection of concrete surfaces*, Engineering Structures and Technologies 4(2), s. 37-44, VGTU, Litva, June 2012

8.2 Publikace výsledk z oblasti: Epoxidová disperze dávkovaná do erstvé betonové zám si

Hlavá , Z., Stehlík, M.: *Epoxy dispersions added to concrete or used to modify its surface*, In Proceedings of Polymers in Sustainable Construction. Warsaw University of Technology. Varšava, Warsaw University of Technology, s. 323-742, 2011

Stehlík, M.: *Application of new solvent-free epoxy dispersion in building practice*, In European Symposium on Polymers in Sustainable Construction - Czarniecki Symposium, Warsaw University of Technology, Varšava, Warsaw University of Technology, s. 141-148, 2011

Stehlík, M.: *Kombinace epoxidové disperze a silikátových příměsí pro vylepšení kvality betonů z betonového recyklátu*, In Recycling 2011 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpad jako zdroje plnohodnotných surovin, sborník p ednášek 16. ro níku mezinárodní konference, VUT FSI, Brno, FSI VUT Brno, s. 93-100, 2011

Adámek, J., Juránková, V., Kadlecová, Z., Stehlík, M.: *Three NDT Methods for the Assesment of Concrete Permeability as a Measure of Durability*, In Nondestructive testing of materials and structures, Rilem Bookseries, Istanbul, Turecko, Springer in RILEM Bookseries, s. 732-738, ISBN 978-94-007-0722-1, 2012

Stehlík, M.: *Trvanlivost přísadami a příměsemi modifikovaných betonů z recyklovaného betonu*, In Recycling 2012 - Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpad jako zdroje plnohodnotných surovin, sborník p ednášek 17. ro níku mezinárodní konference, VUT FSI, Brno, FSI VUT Brno, s. 4-11, 2012

Stehlík, M.: *Testing the strength of concrete made from raw and dispersion-treated concrete recycle by addition of additives and admixtures*, Journal of civil engineering and management, 19(1). s. 107-112. ISSN 1392-3730. (IF(2010)=3,711), 2013

Stehlík, M.: *Enhancing the durability of concrete made of concrete recycle by additives and admixtures*, Journal of civil engineering and management, (11 p.), ISSN 1392-3730, (IF(2011)=2,171), lánek doporu en k publikaci dne 27. srpna 2012, plánovaný tisk listopad 2013

Stehlík, M., He mánková, V., Vítek, L.: *Opening of microcracks and air permeability in concrete*, Journal of civil engineering and management, (7 p.), ISSN 1392-3730, (IF(2011)=2,171), lánek doporu en k publikaci dne 11. íjna 2012, plánovaný tisk únor 2014

8.3 Publikace výsledek z oblasti: Film epoxidové disperze chránící povrch beton

Stehlík, M., Novák, J.: *Verification of the effect of concrete surface protection on the permeability of acid gases using accelerated carbonation depth test in an atmosphere of 98% CO₂*, Ceramics-Silikáty 55(1), s. 79 – 84, (IF(2009)=0,649), 2011

Stehlík, M.: *Application of new solvent-free epoxy dispersion in building practice*, Sborník konference European Symposium on Polymers in Sustainable Construction - Czarnecki Symposium, Warsaw University of Technology, Varšava, Warsaw University of Technology, s. 141 -148, 2011

Hlavá , Z., Stehlík, M.: *Epoxy dispersions added to concrete or used to modify its surface*, Sborník konference *Polymers in Sustainable Construction*, Warsaw University of Technology, Varšava, Warsaw University of Technology, s. 323 – 742, 2011

Stehlík, M.: *Accelerated carbonation depth test in an atmosphere of 98% CO₂*, Engineering Structures and Technologies, 3(2), s. 51 - 55, 2011

8.4 Publikace výsledek z oblasti: Lepidla na bázi epoxidové disperze ke spojování silikátových povrch

Stehlík, M., He mánková, V., Anton, O., Vítek, L.: *Přilnavost epoxidových disperzí na různé typy povrchů a jejich možné využití jako lepidel ve stavebnictví*. Sborník mezinárodní konference Construmat 2010 - Conference about structural materials, STU v Bratislave, Bratislava, s. 51 – 57, 2010

Stehlík, M.: *Application of new solvent-free epoxy dispersion in building practice*, Sborník mezinárodní konference European Symposium on Polymers in Sustainable Construction - Czarnecki Symposium, Warsaw University of Technology, Varšava, Warsaw University of Technology, s. 141 -148, 2011

Stehlík, M., Hlavá Z.: *New solvent-free epoxy dispersion in building practice*, Cement-Wapno-Beton, 2012 (Special Issue), s. 44 – 50, ISSN 1425-8129, (IF(2011)=0,183), 2012

9 LITERATURA

- [1] Corina I. a kol.: *27th Interantional Waterborne Symposium*, New Orleans, 2000
- [2] Dubowik D.A., Lucas P.A.: *Surface Coatings International Part A*, 2001, **84**(A3)
- [3] Ionescu C. a kol.: *New Zero-VOC Epoxy Technology for Compliant Coatings*, in Symposium University of Southern Mississippi, 2000
- [4] Jan á J.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*, skripta, VUT v Brn , Fakulta chemická, 2003
- [5] Lida ík M.: *Epoxidové pryskyřice*, SNTL, Praha, 1983
- [6] Michalski E.M.: *VOC-free Waterborne Epoxy Dispersions for Ambient Cured Coatings*. Proc. of Inter. Symp. On Waterborne and High Solids Coatings, Brusseles, Belgium, 2006

- [7] Miller M.: *Polymers in Cementitious Materials*, Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK, 2005
- [8] Novák, J. a kol.: *Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace, Epoxidová pojiva pro vodou ředitelné systémy*, zpráva o řešení projektu FT-TA3/056, SYNPO Pardubice a.s., Pardubice, 2006
- [9] Ohama Y.: *Cement and Concrete Composites*, **20**, 2-3, 186, 1998
- [10] Spaniol C.: *Epoxy Resin Market*, Eur. Coating. J., **6**, 14, 2005
- [11] Wilson A.D.: *Waterborne Coatings*, Elsevier, London, 1991
- [12] Henning O., Lach V.: *Chemie ve stavebnictví*, Praha, SNTL, s. 70-72, 1983
- [13] Hošek J.: *Stavební materiály pro rekonstrukce*, Vydavatelství VUT, s. 94-100, leden 1996
- [14] Matoušek, M., Drochytka, R.: *Atmosférická korozí betonu*, Praha, IKAS+ KAIT, s. 14-16, 1998
- [15] Novák, J. a kol.: *Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace*, Zpráva o stavu řešení projektu FT-TA3/056. Synpo Pardubice, prosinec 2008
- [16] Novák, J. a kol.: *Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace*, Roční zpráva řešení projektu FT-TA3/056 v roce 2009. Synpo Pardubice, prosinec 2009
- [17] Ohama, Y.: *Properties of Latex-Modified Systems*, Handbook of polymer-modified concrete and mortars. New York, Notes publications, p. 132-157, 1995
- [18] Richardson, F.-B.: *Waterborne Epoxy Coatings: Past, Present and Future*, Modern Paint and Coatings 4(1), p. 78-84, 1988
- [19] Sebök, T.: *Přísady a přídavky do malt a betonů*, SNTL, Praha, s. 133-139, 1985
- [20] Schulze, W., Tischer, W., Ettl, W., Lach, V.: *Necementové malty a betony*, SNTL, s. 237-255, 1990
- [21] Stehlík, M.: *Kombinace epoxidové disperze a silikátových příměsí pro vylepšení kvality betonů z betonového recyklátu*, Sborník konference Recycling 2011, 17.-18. 3. 2011
- [22] Šauman, Z.: *Úvod do obecné fyzikální chemie a základy fyzikální chemie silikátů*, SNTL, Praha, s. 39-42 a 50-53, 1965
- [23] Wegmann, A.: *Freeze-Thaw Stability of Epoxy Resin Emulsions*, In Pigment Resin Technol 26(3), 1997, p. 153-160, Emerald
- [24] Wegmann, A.: *Storage Stability of Epoxy Resins Emulsions*, Proc. of 3rd Nuremberg Conference, p. 539-545, Vincentz, Hannover, Allemagne 1995
- [25] Stehlík, M.: *Testing the strength of concrete made from raw and dispersion-treated concrete recycle by addition of additives and admixtures*. In Journal of Civil Engineering and Management. 2013. 19(1). p. 107-112. ISSN 1392-3730.
- [26] Gómez-Soberón, J.M.V.: *Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate*, Cement Concr Res 32: 1301-1311, 2002
- [27] Klimešová, Š., Puchý, M., Schlattauer, P.: *Kamenivo z betonového recyklátu a přísady stavební chemie*, Stavitel 3(1): 28-29, 2001
- [28] Ml ochová, V.: *Nové poznatky z oblastí recyklace betonů*, sborník příspěvků Recycling 2006, Brno, 2006. Brno: VUT a Asociace pro rozvoj recyklace stav. materiálů v ČR, 72-78, 2006
- [29] Novák, J., Hyršl, J., Janovský, M., Koukal, J., Stehlík, M.: *Využití epoxidových disperzí ve stavebnictví*, ve Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace, Vybrané spisy, Zpráva výzkumného pracoviště SYNPO a.s., ed. F. Socha. Česká republika, Pardubice: SYNPO a.s., 25-33, 2008
- [30] Novák, J., Hyršl, J., Janovský, M., Koukal, J., Stehlík, M.: *Příprava epoxidových disperzí*, ve Vodou ředitelné epoxidové disperze nové generace, Vybrané spisy, Zpráva výzkumného pracoviště SYNPO a.s., ed. F. Socha, Česká republika, Pardubice: SYNPO a.s., 8-18, 2006
- [31] Pytlík, P.: *Technologie betonu*, Brno: VUTIUM Brno, 304-310 a 366-371, 2000
- [32] Pytlík, P.: *Recyklace betonu*, sborník příspěvků Speciální betony, Beroun, ČR, únor 2009

- [33] Stehlík, M., Anton, O., He mánková, V., Vítek, L.: *Modification of concrete recycle with variant combinations of additives and admixtures*, Sborník p ísp vk Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2010, Brno, 5-6 íjen 2010, Brno: VUT, s.127-135, 2010
- [34] Stehlík, M., Anton, O., He mánková, V., Vítek, L.: *Treatment of concrete made of concrete recycle with a water born epoxy dispersion of new generation*, Sborník p ísp vk Sanace 2010, Brno, 21-22 duben 2010, Brno: Sdružení pro sanace bet. konstrukcí, s. 441-449, 2010
- [35] Škopán, M.: *Analýza stavu recyklace stavebních a demoličních odpadů a strategie dalšího rozvoje*, Sborník p ísp vk Recycling 2006, Brno, 2006. Brno: VUT a Asociace pro rozvoj recyklace stav. materiál v R, s.32-44, 2006
- [36] Šmerda, Z. a kol.: *Životnost betonových staveb*, Praha: KAIT, s. 89-170, 1999
- [37] Vav ín, F., Retzl, K.: *Ochrana stavebního díla proti korozi*, Praha: SNTL, s. 11-130, 1987
- [38] Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F., Skoczylas, F., Wirguin, E.: *Assesment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete*, Cement Concr Compos 25(1): 223-232, 2003
- [39] Bob C., Afana E.: in: *On-site assesment of concrete carbonation*, Proc. Inter. Confer. Failure of Concrete Structures, p. 84-87, Štrbské Pleso, Slovak Republic, 1993
- [40] Dhir R.K., Hewlett P.C., Chan Y.N.: *Mag. Concr. Res. 148*, 137 (1989)
- [41] Diep S., Šlopková K.: *Influence of concrete carbonation on the corrosion of ferroconcrete elements*, 1 st ed., p.36-56, TU Žilina, Žilina 2000
- [42] Houst Y.F., Wittmann F.H.: *Depth profiles of carbonates formed during natural carbonation*, Cem. Concr. Res. 32, 1923-1930 (2002)
- [43] Jungermann V.B.: *Betonwerk Fertigteile Technik 6*, 358 (1982)
- [44] Kovar ík I., Vávra Z.: *Stavebnictví & Interiér*, 15 (2009)
- [45] L ffelmannová I., Šíroká P.: *Stavebnictví & Interiér*, 22 (2003)
- [46] Novák J.: *Nátěry betonu*, Sborník p ísp vk Konference o nát rových hmotách, s. 62-67, Universita v Pardubicích, Pardubice, eská republika, 2000
- [47] Pichrt A.: *Chemická revue*, 10 (1986)
- [48] Stehlík M.: *Princip urychleného testu na hloubku karbonatace v 98% CO₂*, s.115-117, editor Ko enská M., Pazdera L., Akademické nakladatelství Cerm s.r.o., Brno, 2008
- [49] Stehlík, M.: *Accelerated carbonation depth test in an atmosphere of 98% CO₂*. *Engineering Structures and Technologies*. 3(2)51 – 55, 2011
- [50] Anon: *Epoxy dispersions in adhesive applications*, Adhesives Age 38(5), p. 3pp, 1995
- [51] Benzartí, K., Perruchot, C., Chehimi, M.M.: *Surface energetics of cementitious materials and their wettability by an epoxy adhesive*, Colloids and Surfaces A: Physiochemical and Engineering Aspects 286(1-3), p. 78-91, 2006
- [52] Bresson, G., Jumel, J., Shanahan, M.E.R., Serin, P.: *Strength of adhesively bonded joints under mixed axial and shear loading*, International Journal of Adhesion and Adhesives 35(3), p. 27-35, article in press, 2012
- [53] Osten, M.: *Práce s lepidly a tmely*, SNTL, 2. vydání, Praha 1982
- [54] Boublík, V.: *Lepidla a jejich příprava*, SNTL, Praha 1964
- [55] Shaw, J.D.N.: *Adhesives in the construction industry: Materials and case histories*, Construction and Building Materials 4(2), p. 92-97, 1990
- [56] *“Trends in VOC Emission Reduction in Europe“*, p ednáška, mezinárodní konference High Solids Coatings, Brussels, 2006
- [57] Kim, Y.B. *et al.*: *J.Apple Polymer Sci* 102,6, 5566, (2006)
- [58] Schiemann, U. *et al.*: *Novel High Solid Systems Based on Silicone-Epoxy Hybrid Resinos*, mezinárodní konference High Solids Coatings, Brussels, 2006

10 ABSTRACT

Two-part epoxy resin based paints have been used for hygienic protection of walls and floors and for barrier protection of construction steels for more than thirty years. However, it is only now that water dispersions of epoxy resins as a substitution for traditional solvent systems have come into extensive use. This relative delay was caused by problems related with the lowering of consumption of volatile organic substances in order to protect workers and the environment.

The first breakthrough in the formulation of epoxy dispersions came about approximately in 1970 by a successful development of a water-based polyaminoamide system, which has proven to be an appropriate solvent-free hardener. A film of epoxy dispersion with this hardener can provide a very good protection for the so-called green concrete from excessive drying out and can thus prolong its hydration, for older concrete from aggressive liquids and gases, and in the case of concrete recyclate it can decrease its natural absorption capacity.

A comparison of classic solvent-based and modern dispersion-based systems is not always easy and unambiguous. Each of these systems has its pros and cons. Classic epoxy resins started to play an essential role in the building industry in the protection of inorganic surfaces, in gluing together non-absorbing adherends or as matrices of polymer concretes and mortars, where, however, resins require a very low moisture content of the filler or concrete substrate. In the case of water-based dispersions of epoxy resins it is possible to say that the decisions about their use or the expected properties of materials modified by them are influenced, to a large extent, by the physical properties of the dispersing agent (water). Of course, we must not forget about the properties of epoxy resins and hardeners. Water-based dispersions allow for the modification of concretes with the cement binder by directly mixing the epoxy dispersion into the mixing water (where moisture content of the aggregate is not a problem), allow for the application and creation of protective dispersion films on both dry and moist inorganic porous and solid surfaces, allow for gluing both dry and moist, but always absorbing, inorganic adherends, and the last but not least, allow for simple penetration of dry and slightly moist absorbing aggregate in order to improve its physical-mechanical properties. In spite of that, however, water dispersing agent represents also a certain risk of epoxy dispersions – mainly storage life and frost resistance. Age-related aggregation of dispersion particles speeds up sedimentation and changes the physical-mechanical properties of both the dispersion, and the protective films made of it. An unexpected freezing results therefore in a total separation and devaluation of the dispersion.

Generally, it is possible to say that water-based epoxy dispersions are modern materials complying with both the ecological requirements, and the requirements for work safety. They do not lay high demands on the properties and pretreatment of the surface-treated or glued materials modified by them. Due to its relatively high price, the use of epoxy dispersions in the building industry will be directed rather towards special applications, i.e. towards renovation materials for reconstructions, protective paints, modification of concretes and recycled concretes mostly for the purpose of improving the properties, protection from external aggressive substances, and overall, for the purpose of improving the lifetime. In conclusion, it is possible to say that the use of polymer dispersions in the building industry (and certainly also in other fields) should be purely purpose-oriented, based on the applied research, because also in this case the well-known saying that “less is more” applies.