

ODOLNOST LEHKÉHO BETONU V CHEMICKY AGRESIVNÍCH PROSTŘEDÍCH RESISTANCE OF LIGHT-WEIGHT CONCRETE IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

MICHALA HUBERTOVÁ,
RUDOLF HELA, ROMAN STAVINOHA

Trvanlivost betonových konstrukcí je nejčastěji ohrožena působením klimatických střídání teplot i pod bodem mrazu společně s navlháním či smáčením a vysycháním. Dalším důležitým aspektem je působení chemicky agresivních prostředí, jejichž producentem jsou různá průmyslová odvětví a doprava. Vliv chemicky agresivních prostředí na normální beton je popisován v mnohé tuzemské i zahraniční literatuře, u lehkého betonu tomu tak není. Příspěvek se proto zabývá experimentálním projektem zaměřeným na vliv vybraných typů chemicky agresivních prostředí na lehký hutný beton s využitím lehkého kameniva na bázi expandovaného jílu.

Most hazards to durability of concrete structures are caused by climatic variations in temperature decreasing below zero in combination with moisture adsorption or wetting and drying. Corrosive environments produced usually by different industrial facilities, transportation etc. represent another important factor. Influence of corrosive environment on common concrete is described in home and foreign literature, however there is no such description of impact of corrosive environments on light-weight concrete. Therefore this paper describes an experiment focused on influence of selected types of corrosive environments on lightweight compact concrete with light-weight expanded clay aggregate.

Beton, jehož matrice je tvořena hydratačními produkty cementu, patří mezi látky silně zásadité, čímž je schopen velmi účinně pasivovat ocelovou výztuž vůči korozi. Míra bazicity zdravého, nekorodovaného betonu vyjádřená hodnotou pH může být vyšší než 12. V důsledku vysoké alkality beton velmi snadno reaguje s látkami s nízkou hodnotou pH, kdy v podstatě dochází k neutralizačním reakcím, jejichž důsledkem je zpravidla degradace betonu doprovázená poklesem jeho

užitných hodnot. U reálných konstrukcí je rychlost degradace vyvolávaná působením agresivních chemických látek navíc umocňovaná působením dalších vlivů, např. pronikáním vlhkosti a působením mrazu.

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 ve formě kapalin, plynů i pevných látek, biogenní vlivy atd.).

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

Obecně lze konstatovat, že působením agresivních látek jsou postupně vymývány pojivové složky, případně dochází v mikrostrukturu 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 rychlou korozi. Rychlost koroze výztuže je mimo hodnoty pH betonu ovlivňována řadou dalších faktorů, jako např. kolísáním vlhkosti betonu, přítom-

ností rozpustných solí ve struktuře betonu apod.

Při experimentálních pracích byly lehké betony sledovány v těchto typech agresivních prostředí (tab. 1):

- prostředí plynné – oxid uhličitý, oxid siřičitý,
- prostředí kapalná – roztok chloridů, ropné produkty, motorová nafta.

Plynné agresivní prostředí

Naprostá většina železobetonových konstrukcí je při svém využívání vystavena působení atmosféry, ve které bývá obsaženo mnoho plynů, které svým působením mohou být příčinou degradace železobetonových konstrukcí. Mezi tyto plyny patří např. oxid siřičitý, příp. sírový, oxid uhličitý, amoniak, sirovodík, sloučeniny chlóru, fluoru apod. Koncentrace jednotlivých uvedených plynů v atmosféře, a tedy míry její agresivity vůči betonu zpravidla velmi úzce souvisí s průmyslovou výrobou, dopravou, ale také terciální sférou (tzn. obchod, ubytování, zdravotnictví, domácnosti atd.). Na internetovém portálu www.eea.europa.eu lze nalézt aktuální stav obsahu CO₂ v ovzduší celé Evropy.

Oxid uhličitý způsobuje při styku se zásaditým cementovým tmelem neutralizační reakci, která se označuje jako karbonatace (hlavním produktem jsou různé karbonáty). Míra karbonatace se projevuje snižující se hodnotou pH betonu z původní hodnoty 12,4 na hodnotu přibližně 9 až 9,6. Současně vznikají v betonu nerozpustné novotvary uhličitá vápenatého CaCO₃, který se usazuje v pórech a kapilárách a postupně je zaplňuje, čímž klesá možnost přísunu nového CO₂. Následně se zvyšuje objemová hmotnost betonu v povrchové vrstvě a mění se i mikrostruktura cement-

Tab. 1 Specifikace prostředí
Tab. 1 Specification of environment

Charakteristika prostředí		
Látka	Koncentrace	Relativní vlhkost
Plynné prostředí – CO ₂	98 %	75 %
Plynné prostředí – SO ₂	98 %	75 %
Kapalná prostředí – NaCl	1 000mg Cl ⁻ na litr roztoku	—
Kapalná prostředí – motorová nafta	100 %	—
Referenční uložení	—	100 %

tového tmelu. Přítomnost určité vlhkosti v betonu je podmínkou, aby karbonatace mohla probíhat [2].

Proces degradace betonu vlivem SO_2 je obdobný jako degradace betonu vlivem CO_2 . Působením SO_2 dochází až k úplnému rozkladu struktury betonu. Vlhkost silně podmiňuje množství a tvary krystalů konečného produktu sádrovce, což výrazně působí i na hodnotu pH. V důsledku sulfatace klesá pH až na hodnotu 5,4. Při vyšší vlhkosti převládá vznik sádrovce, při nižší vznik hemihydrátu sířičitanu vápenatého. Vyšší koncentrace SO_2 naopak podmiňuje vznik sulfátů vápenatých, kde je hodnota vlhkosti rozhodující pro tvorbu dihydrátu či hemihydrátu.

Oxid sířičitý má vliv i na fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu. V počátku koroze, kdy jsou zaplňovány póry novotvary sulfatace, lze zaznamenat nárůst pevnosti betonu. Následně dochází k poklesu pevnosti v tlaku i tahu vlivem vnitřního prnutí, které je vyvoláno objemovými změnami korozních zplodin v betonové hmotě. Souhrnně lze konstatovat, že při nižší koncentraci SO_2 je vliv vlhkosti prostředí dominantní, kdežto při vyšší koncentraci SO_2 není hodnota vlhkosti tolik rozhodující [2].

Kapalné agresivní prostředí

Koroze cementových kompozitů může velmi intenzivním způsobem probíhat také v kapalném prostředí. Mezi nejčastější kapaliny, se kterými přichází do styku zejména betony vodních děl, podzemních partií staveb, pilot a dalších konstrukcí jsou vody, které mohou obsahovat celou řadu rozpuštěných látek (např. soli kyseliny, ale též plyny apod.). Zejména v chemickém průmyslu, ve strojírenství, zemědělství ale i dalších odvětvích mohou být stavební konstrukce vystaveny působení celé řady chemikálií. V neposlední řadě mohou být konstrukční prvky vystaveny účinkům minerálních tuků a olejů.

Principy z hlediska mechanismu degradace cementové matrice lze rozdělit na tři základní druhy:

Vody způsobující korozi I. typu, tzv. vody měkké, zpočátku rychle vyluhují v betonu obsažený $\text{Ca}(\text{OH})_2$, později pomaleji dochází k rozkladu zhydratovaných křemičitanů a hlinitanů. Tato skutečnost vede k poklesu pH, což nepříznivě působí na korozi výztuže, ale i na stabilitu některých zhydratovaných slínekových minerálů. Průběh koroze je ovlivněn tím,

zda jde o vodu stojatou či proudící, zda působí pod tlakem a zda jde o vodu teplou či studenou.

Kapaliny způsobující korozi II. typu s cementovým tmelem vytvářejí snadno rozpustné sloučeniny, které nemají vazné schopnosti, a snižují tak vlastnosti cementové matrice, eventuálně jsou z betonu vyluhovány. Jedná se zejména o vody obsahující sírany, chloridy, hořečnaté eventuálně amonné ionty apod. V přírodních vodách se jedná např. o sírany, na které je vázán kation vápníku, hořčíku, draslíku apod. Ve vodách průmyslových jsou to převážně sírany, a to např. síran amonný, měďnatý, hlinitý a železitý.

Vody způsobující korozi III. typu jsou vody s různými sloučeninami, které reagují s cementovým tmelem za vzniku objemných krystalických fází. V počátečních stádiích vznikají tyto korozní novotvary v dutinách a pórech, čímž je zvyšována hutnost a nepropustnost betonu. Je tedy zřejmé, že v raných stádiích může docházet dokonce k nárůstu pevnostních charakteristik betonu. Další zvětšování objemu krystalických novotvarů vyvolává ve struktuře betonu vznik napětí, jehož důsledkem je vznik trhlinek a v konečných stádiích naprostá ztráta soudržnosti betonu. Koroze III. typu je velmi často způsobována vodami obsahujícími sírany. Pro pokročilá stádia síranové koroze je charakteristické, že cementová matrice betonu je narušována jehličkovitými krystalky ettringitu. V konečných fázích je matrice betonu krystalky ettringitu prakticky zcela prostoupena. Beton ztrácí soudržnost a jeho pevnostní parametry jsou téměř nulové.

Dalším aspektem, který je z hlediska životnosti železobetonových konstrukcí podstatný, je fakt, že některé typy ve vodě rozpuštěných solí pronikají strukturou betonu až k výztuži, a způsobují tak výraznou akceleraci její koroze.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Byla vyrobena sada zkušebních těles z receptur, které se svým složením liší pouze v typu použité příměsi. V každé receptuře bylo dávkováno stejné množství portlandského cementu (370 kg/m^3) a příměsí (40 % z hmotnosti cementu) i stejné množství přísad (superplastifikátor na bázi polykarboxylátů). Skladba kameniva byla také vždy stejná, byla použita kombinace lehkého kameniva na bázi

expandovaného jilu a přírodního těžného kameniva. Množství účinné vody se pohybovalo pro udržení konstantní konzistence v rozmezí od 160 do 170 kg/m^3 v závislosti na použité příměši.

Byla namíchána základní referenční receptura (Rec. I-A) s příměsí černouhelného elektrárenského popílku v množství 40 % z hmotnosti cementu. Tato receptura byla modifikována metakalolinem v množství 5 % z hmotnosti cementu (Rec. I-B), práškovou mikrosilikou v množství 5 % z hmotnosti cementu (Rec. I-C). Poslední receptura (Rec. I-D) nahrazovala popílek mikromletým vápencem v množství 40 % z hmotnosti cementu. Schéma a značení receptur je uvedeno na obr. 1.

Na těchto recepturách byla experimentálně zkoušena trvanlivost betonu. Zkušební tělesa z uvedených receptur byla podrobena působení vybraných typů agresivních prostředí, a to plynnému CO_2 , plynnému SO_2 , roztoku NaCl a naftě.

Ve stáří 28 dnů byly na vybraných vzorcích jednotlivých receptur odzkoušeny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Ostatní vzorky byly uloženy do chemicky agresivních prostředí, kde byly exponovány po dobu dvanácti měsíců. Po uplynutí této doby byly na vzorcích provedeny fyzikálně-mechanické zkoušky (pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, objemová hmotnost, dynamický a statický modul pružnosti, mrazuvzdornost, odolnost povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, objemové změny) a fyzikálně-chemické zkoušky (chemická analýza, rentgenová difrakční analýza a difrakčně termická analýza). Koncepte fyzikálně-chemických analýz byla volena tak, aby bylo možno exaktně posoudit míru degradace betonu. Podrobný postup stanovení míry korozního narušení analyzovaných vzorků byl proveden dle metodiky Matoušek, Drochytka [2], která podává přehled o mikrostruktuře daného materiálu. Na základě výsledků byly porovnávány změny vlastností lehkého betonu vlivem agresivních prostředí a vliv použití jemných příměsí na trvanlivost betonu.

Plynná agresivní prostředí byla vytvořena v korozních hermeticky uzavřených komorách, ve kterých byla udržována konstantní koncentrace a relativní vlhkost vzduchu. Korozní atmosféra byla obměňována s periodou dvou dní. Kapalná agresivní prostředí byla vytvořena pomo-

cí roztoku NaCl, ve kterém byly zkoušené vzorky ponořeny. Konstantní hodnota koncentrace agresivní látky v roztoku při uložení vzorků byla udržována pravidelným obměňováním s periodou sedm dní. Pro nejpřesnější simulaci reálných podmínek, kterým mohou být betony vystaveny, byla zkoušena koroze betonu v důsledku cyklického působení roztoku chloridů, resp. nafty. V rámci jednoho cyklu byla zkušební tělesa po dobu 24 h uložena ve zkušebním roztoku a poté byla po dobu 24 h umístěna ve standardních laboratorních podmínkách. Kapalná prostředí měla teplotu 20 ± 2 °C. Charakteristiky jednotlivých prostředí jsou uvedeny v tab. 1.

VYHODNOCENÍ RECEPTUR

Vliv agresivních plyných prostředí na základní fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu

Tab. 2 Změny fyzikálně–mechanických vlastností u vzorků uložených v plyných prostředích

Tab. 2 Changes of physico-chemical properties of samples placed in gaseous environments

Vzorky	Pevnost v tlaku 180 dní [MPa]		Odchylka pevnosti v tlaku oproti ref. uložení [%]		Odchylka obj. hmot. oproti hodnotám před uložení [%]	
	CO ₂	SO ₂	CO ₂	SO ₂	CO ₂	SO ₂
	I – A	49,8	51,6	2,47	6,07	1,37
I – B	49,8	49,8	6,98	6,87	1,25	1,37
I – C	49,0	49,6	0,62	1,95	0,67	1,40
I – D	47,2	48,8	0,21	3,61	1,22	0,91

Vliv agresivních kapalných prostředí na základní fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu

Tab. 3 Změny fyzikálně–mechanických vlastností u vzorků uložených v kapalných prostředích – stále

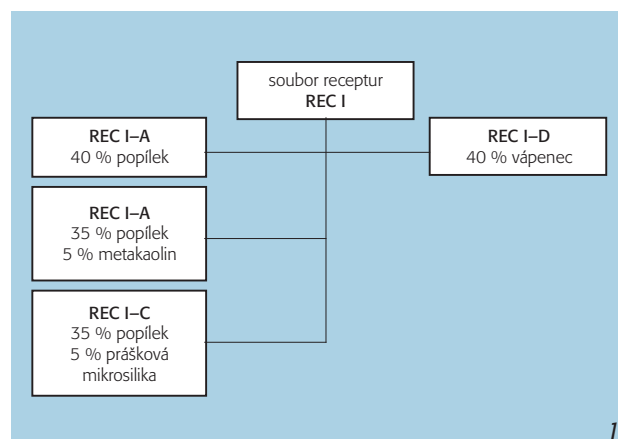
Tab. 3 Changes of physico-mechanical properties of samples placed in liquid environments - constantly

Vzorky	Pevnost v tlaku 180 dní [MPa]		Odchylka pevnosti v tlaku oproti ref. uložení [%]		Odchylka obj. hmot. oproti hodnotám před uložení [%]	
	chloridy	nafta	chloridy	nafta	chloridy	nafta
	I – A	49,7	48,2	2,16	-0,93	0,85
I – B	50,0	45,3	7,3	-2,69	0,62	1,3
I – C	49,5	48,1	1,64	-1,23	1,26	0,96
I – D	47,5	47,2	0,85	0,32	1,19	1,01

Tab. 4 Změny fyzikálně–mechanických vlastností u vzorků uložených v kapalných prostředích – cyklicky

Tab. 4 Changes of physico-mechanical properties of samples placed in liquid environments - cyclically

Vzorky	Pevnost v tlaku 180 dní [MPa]		Odchylka pevnosti v tlaku oproti ref. uložení [%]		Odchylka obj. hmot. oproti hodnotám před uložení [%]	
	chloridy	nafta	chloridy	nafta	chloridy	nafta
	I – A	48,7	48,8	0,21	0,31	0,8
I – B	46,8	46,4	0,43	-0,32	0,75	1,63
I – C	48,9	40,2	0,41	-1,03	0,92	0,5
I – D	48,7	47,0	3,4	-0,21	0,56	0,95
II – Fe	39,3	41,2	-4,5	0,24	1,08	1,34



Obr. 1 Schéma a značení použitých receptur

Fig. 1 Diagram and designation of used mix-designs

Obr. 2 Porovnání změn pevnosti v tlaku u sledovaných receptur po uložení v CO₂

Fig. 2 Comparison of changes of compressive strength of observed mix-designs placed in CO₂

Obr. 3 Porovnání změn pevnosti v tlaku u sledovaných receptur po uložení v SO₂

Fig. 3 Comparison of changes of compressive strength of observed mix-designs placed in SO₂

Obr. 4 Porovnání změn pevnosti v tlaku u sledovaných receptur po uložení v roztoku NaCl

Fig. 4 Comparison of changes of compressive strength of observed mix-designs placed in NaCl

Obr. 5 Porovnání změn pevnosti v tlaku u sledovaných receptur po uložení v naftě

Fig. 5 Comparison of changes of compressive strength of observed mix-designs placed in diesel

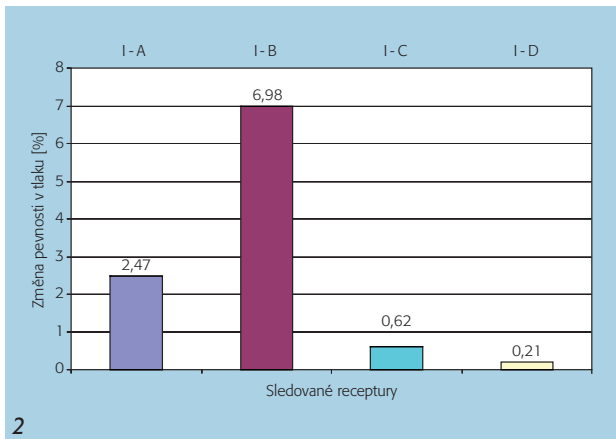
Obr. 6 Porovnání změn pevnosti v tlaku po uložení v roztoku NaCl cyklicky

Fig. 6 Comparison of changes of compressive strength of observed mix-designs after cyclical exposition to NaCl solution

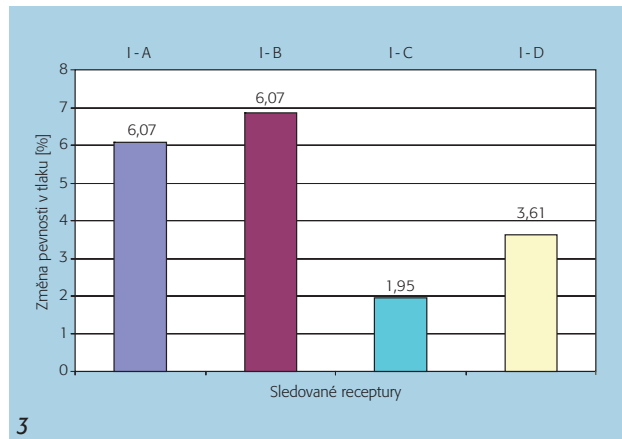
Vliv agresivního prostředí na fyzikálně-chemické vlastnosti betonu

Pro účely fyzikálně-chemických analýz byly vzorky připravovány tak, aby možno posoudit kvalitu betonu resp. míru jeho degradace v závislosti na vzdálenosti od povrchu hodnocené konstrukce (tzn. stanovit hloubku narušení betonu). Z každého zkušebního tělesa vystaveného agresivnímu prostředí byly připraveny dva vzorky, a to z povrchu a z hloubky cca 20 mm od povrchu. Na vzorcích byl proveden chemický rozbor, rentgenová difrakční analýza, diferenční termická analýza a stanovení pH ve výluhu.

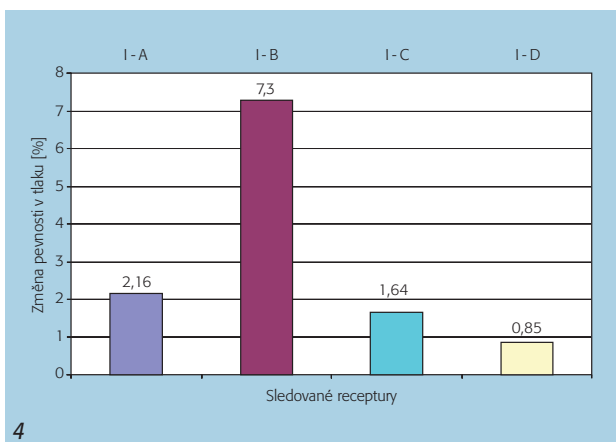
Vzhledem k celkovému rozsahu práce a značnému množství vzorků nejsou v tomto příspěvku uvedeny jednotlivé dílčí výsledky, ale pouze zásadní výsledky vyhodnocení těchto analýz, tab. 5 až 8.



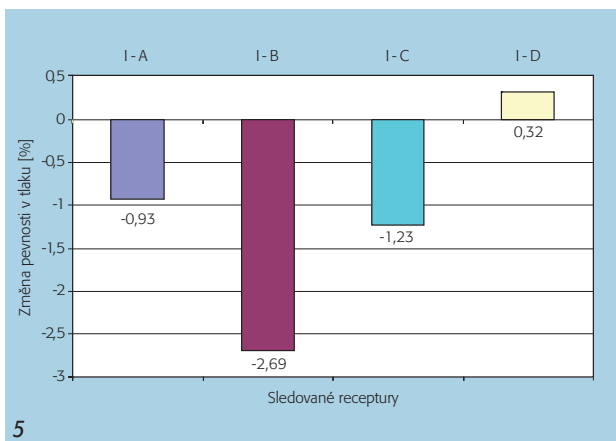
2



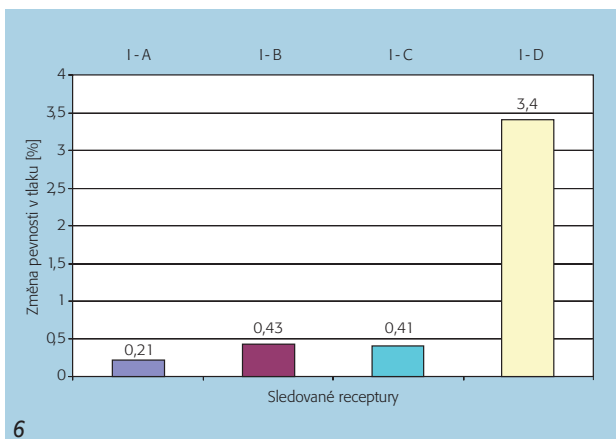
3



4



5



6

Tab. 5 Zařazení vzorků z CO₂ do etapy karbonatace
Tab. 5 Classing of samples exposed to CO₂ according to the stage of carbonation

Označení vzorku	Stupeň karbonatace %K [%]	Stupeň modifikační přeměny °MP [-]	pH [-]	Etapa karbonatace
I – A (P)	52,1	0,85	11,51	I.
I – B (P)	34,1	0,95	11,84	I.
I – C (P)	64,2	0,45	10,51	II.
I – D (P)	65,3	0,41	10,78	II.

Tab. 6 Zařazení vzorků z prostředí SO₂ do etapy sulfatace
Tab. 6 Classing of samples exposed to SO₂ according to the stage of sulphation

Ozn. vzorku	Stupeň sulfatace °S [%]	pH [-]	Etapa sulfatace
I – A (P)	7,778	11,51	I.
I – B (P)	8,660	11,84	I.
I – C (P)	13,695	10,51	I.
I – D (P)	12,935	10,78	I.
I – B (H)	12,802	11,13	I.

Pozn.: (P) – odběr vzorku z povrchu zkušebního tělesa; (H) – odběr vzorku z hloubky 20 až 30 mm pod povrchem zkušebního tělesa

Tab. 7 Chemický rozbor vzorků uložených v chloridech
Tab. 7 Chemical analysis of samples exposed to chlorides

Označení vzorku	Chloridy [%]	
	Stále	Cyklicky
I – A (P)	< 0,01	< 0,01
I – B (P)	< 0,01	< 0,01
I – C (P)	0,04	0,04
I – D (P)	0,07	0,05
I – B (H)	< 0,01	< 0,01

Tab. 8 Diferenční termická analýza vzorků z nafty
Tab. 8 Differential thermal analysis of samples from diesel

Označení vzorku	Ztráta žháním [%]	
	Stále	Cyklicky
I – A (P)	12,4	12,1
I – B (P)	11,9	11,0
I – C (P)	19,8	16,7
I – D (P)	18,5	16,5
I – A (H)	13,0	12,0
I – B (H)	10,4	10,5
I – C (H)	9,9	9,7
I – D (H)	11,0	12,0

ZÁVĚR

Na základě výsledků provedených fyzikálně-chemických analýz lze uvést následující:

Vzorky uložené v prostředí CO₂, konkrétně jejich povrchové vrstvy (tj. beton do hloubky cca 20 mm od povrchu), se kromě receptur I–A (s popílkem) a I–B (s metakaolínem) nacházejí již ve druhé etapě karbonatace. Postupující projev míry karbonatace také potvrzuje výskyt produktů karbonatace (kalcit, aragonit, vaterit) v mikrostruktuře betonové matrice těchto receptur.

Ve druhé etapě karbonatace dochází k přeměně ostatních hydratačních produktů cementu. Vznikající modifikace CaCO₃ společně s amorfním gelem kyseliny křemičité zůstávají jako velmi jemnozrnné krystalické novotvary CaCO₃. Hrubozrnné krystalické novotvary se vyskytují jen ojediněle. Vlastnosti betonu se příliš nemění, což vysvětluje jen drobné výkyvy ve změně pevností a objemových hmotností daných receptur.

Receptury I–A (s popílkem) a I–B (s metakaolínem) jsou po 360denním působení v 98% CO₂ při 75% relativní vlhkosti vzduchu v první etapě karbonatace, tedy vzhledem k míře karbonatace ve stejném stavu jako vzorky uložené ve venkovním prostředí. V první etapě karbonatace je v mikrostruktuře matrice betonu oxidem uhličitým atakován hydroxid vápenatý (a to jak krystalický – portlandit, tak z mezizrnečného roztoku). Produktem těchto reakcí je uhličitán vápenatý krystalizující ve formě kalcitu.

Ve druhé etapě karbonatace dochází k reakcím mezi oxidem uhličitým a kalciumhydrosilikáty, přičemž v mikrostruktuře betonu vzniká jemnozrnný uhličitán vápenatý především ve formě aragonitu a vateritu.

Po 360denním uložení v prostředí v 98% SO₂ za 75% relativní vlhkosti byly všechny receptury zařazeny do I. etapy sulfatace. Po komparaci obsahu SO₃ ve vzorcích uložených v agresivním plynu a vzorcích uložených ve venkovním prostředí je však nutné konstatovat výrazný nárůst obsahu SO₃. Zvýšená degradace povrchových vrstev byla prokázána i faktem výrazného zbarvení vzorků. Výraznější degradace cementové matrice však nebyla potvrzena identifikací produktů sulfatace (sádrovec, monosulfát, trisulfát) výsledky rentgenové difrakční analýzy. V první etapě dochází k přeměně Ca(OH)₂ (popř. jeho roztoku)

v mezizrnečném prostoru na hemihydrát sířičitanu vápenatého, který přitom částečně zaplňuje póry. Pevnosti betonu se zlepšují, ale snižuje se hodnota pH.

Porovnání výsledků mineralogického složení receptur uložených v chloridech a výsledků mineralogického složení vzorků uložených ve venkovním prostředí ukazuje, že působení chloridů u receptur modifikovaných popílkem nevyvolalo v jejich mikrostruktuře po 360 dnech vznik nových fází, které by svědčily o degradaci matrice betonu působením chloridů. Zejména je nutno zdůraznit, že u žádné z testovaných receptur nebyla po 360denní expozici v prostředí chloridů zaznamenána přítomnost Friedlovy soli, příp. dalších minerálů, které by mohly způsobovat vznik expanzních tlaků v mikrostruktuře materiálu, a tím způsobit degradaci matrice vedoucí až k snížení pevností zkoušených receptur betonů. U modifikované receptury I–B došlo ke zvýšení pevností, což svědčí o pozitivním účinku příměsi metakaolinu.

I za předpokladu vyšší degradace u cyklického působení chloridů na zkušební vzorky nebyly zaznamenány výraznější změny oproti stálému uložení vzorku v chloridech.

Vzorky uložené v prostředí nafty neprozkouzejí po 360 dnech uložení žádné výrazné změny v mikrostruktuře cementové matrice. Za nejprůkaznější zkoušku míry kontaminace ropnými produkty (naftou) je z provedených analýz jednoznačně ztráta žíháním. Výsledky této analýzy ukazují mírnou kontaminaci povrchových vrstev zkoušených receptur. Naopak po komparaci vzorků odebraných z 20 mm od povrchu zkušebních těles a vzorků odebraných z těles uložených ve venkovním prostředí lze konstatovat, že kontaminace zkoušených betonů je pouze povrchová. Kontaminace povrchů u vzorků namáhaných cyklickým uložení v naftě je nižší než u vzorků uložených kontinuálně v prostředí nafty. Rozdíly v pevnostech oproti referenčním hodnotám jsou v rozmezí 3 %, tedy zanedbatelné. Po porovnání kontaminace jednotlivých receptur můžeme konstatovat, že receptury I–A (s popílkem) a I–B (s metakaolínem) jednoznačně převyšují ostatní receptury v odolnosti proti průniku kontaminace ropnými produkty (naftou).

Receptury byly v pevnostních třídách od LC 30/33 do LC 35/38 a objemových třídách D 1,6 až D 2,0.

Literatura:

- [1] *Hubertová M., Hela R.*: The Effect of Metakaolin and Silica fume on the Properties of Lightweight Self-Consolidating Concrete. In 9th CANMET/ACI International Conference Recent Advances in Concrete Technology. Warsaw Polsko. 2007. ISBN: 0-87031-235-9
- [2] *Matoušek M., Drochytka R.*: Atmosférická koroze betonu, IKAS Praha 1998
- [3] *Haque M. N., Al-Khaiat H, Kayali O.*: Strength and durability of lightweight concrete. In Cement and Concrete Composites 26 (2004) 307-314
- [4] www.eea.europa.eu
- [5] *Bydžovský J., Dufka A.*: Význam fyzikálně chemických diagnostických postupů při hodnocení stavu železobetonových konstrukcí, konference WTA CZ Ostrava, 2007, ISSN 978-80-02-0197

Na základě výsledků dosažených v rámci řešení lze konstatovat, že použití černouhelného popílku a metakaolinu má jednoznačně pozitivní vliv na odolnost a trvanlivost lehkých betonů v chemicky agresivních prostředích, zejména v CO₂ a SO₂.

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu MPO FI-IMS/016 „Vývoj lehkých vysokohodnotných betonů pro monolitické konstrukce a prefabrikované dílce“ a za příspěví projektu GA ČR 103/07/076 „Vývoj lehkých betonů pro široké konstrukční využití“.

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

*Ing. Michala Hubertová, Ph.D.
 Lias Vintířov, lehký stavební materiál, k. s.
 357 44 Vintířov
 tel.: 602 650 174
 e-mail: hubertova@liapor.cz, www.liapor.cz
 Fakulta stavební VUT v Brně
 e-mail: hubertova.m@fce.vutbr.cz*

*Doc. Ing. Rudolf Hela, CSc.
 Fakulta stavební VUT v Brně
 Veveří 331/95, 602 00 Brno
 tel: 541 147 508, fax: 541 147 502
 e-mail: hela.r@fce.vutbr.cz, www.fce.vutbr.cz/thd*

*Ing. Roman Stavinoha
 Fakulta stavební VUT v Brně
 Veveří 331/95, 602 00 Brno
 e-mail: stavinoha.r@fce.vutbr.cz*