

STUDIUM PRŮBĚHU KOROZNÍCH REAKCÍ PĚNOBETONU S SO_2 A CO_2

ROSTISLAV DROCHYTKA

*Katedra technologie výroby stavebních hmot fakulty stavební VUT Brno,
662 33 Brno, Gorkého 7*

Došlo 24. 4. 1987

Ke studiu koroze oxidem siřičitým a uhličitým byly použity vzorky pěnobetonu. Vzorky byly podrobeny korozi v atmosféře SO_2 samostatně nebo ve směsi SO_2 a CO_2 při různé vlhkosti prostředí. Plynné exhaláty negativně ovlivnily jak fyzikálně mechanické, tak i fyzikálně chemické vlastnosti pěnobetonu. Vliv koncentrace oxidu siřičitého je zřetelný zejména na poklesu hodnot pH, výrazněji potom ve směsi CO_2 a SO_2 . Konečným produktem sulfatace betonu jen za přístupu vodní páry byl sádrovec, kdežto při opakovaném působení kapalné vlhkosti monosulfát ($C_3A \cdot C\bar{S} \cdot H_{12}$), resp. ettringit ($C_3A \cdot 3C\bar{S} \cdot H_{32}$).

ÚVOD

Některé průmyslové lokality jsou postiženy spadem chemických plynných exhalací natolik, že působí škodlivě jak na živou přírodu, tak i na stavební konstrukce. Současný výzkum z oblasti pórobetonu [1—4] prokázal negativní účinky SO_2 a CO_2 na stavební materiály po delší době působení. U obyčejných betonů se škodlivé účinky projevují zvláště tehdy, jestliže byl beton při přípravě málo zhuťněn. Takový beton má zvýšenou pórovitost, vyšší propustnost vody, vodní páry, vzduchu a také škodlivých plynů.

Vzhledem k tomu, že při vysoké hutnosti betonu probíhají korozní pochody poměrně pomalu [5 až 8], byly navrženy pro krátkodobé sledování koroze betonu a pro vyšetřování průběhu sulfatace a karbonatace zkušební vzorky ve formě laboratorně připraveného pěnobetonu. Koroze probíhala v několika modelových prostředích, kde se měnila relativní vlhkost prostředí i koncentrace SO_2 . Po vyšetření průběhu individuální sulfatace betonů byl zjišťován i chemismus synergické koroze při současném působení směsi plynů $SO_2 + CO_2$ v rozdílných vzájemných poměrech a různých relativních vlhkostech prostředí.

EXPERIMENTÁLNÍ POSTUP A VÝSLEDKY MĚŘENÍ

K přípravě zkušebních vzorků byly použity suroviny: PC 400 Maloměřice, normový jemnozrný písek, klišopryskyřičné pěnídlo s vodním poločasem 10 minut a číslem napěnění 1800 ml a 5% ní chlorid vápenatý (2% z hmotnosti cementu) jako urychlovač tuhnutí. Vodní součinitel byl roven 0,47. Zkoušky byly prováděny se vzorky o rozměrech $20 \times 20 \times 20$ mm, a to až po 28denním vodním uložení. Výchozí pěnobeton byl podroben studiu mikrostruktury, včetně termickým, rentgenografickým a chemickým rozborům.

Podle chemického složení základní pěnobeton obsahoval 33% CaO , 3% Al_2O_3 , 2% Fe_2O_3 a 1,25% SO_3 . Fázové složení nekorodovaného pěnobetonu sestávalo z minerálů křemene, portlanditu $Ca(OH)_2$, ettringitu, kalcitu, C_4AH_{13} a dosud nezreagovaného β - C_2S a C_3S . Z termických analýz byl určen obsah jednotlivých minerálů, a to 1,28% $Ca(OH)_2$, 3,90% jemnozrného $CaCO_3$ a 7,45% hrubozrného $CaCO_3$

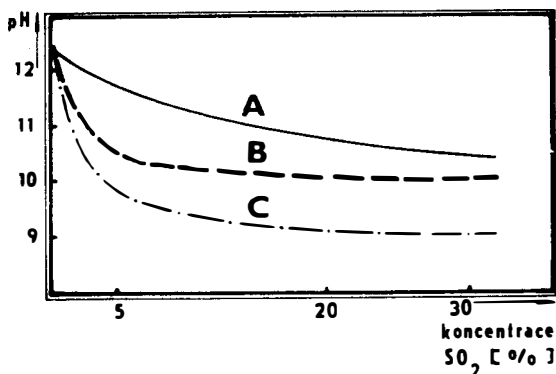
Vypočtené výchozí stupně karbonatace 20 % a modifikačních přeměn 1,90 svědčí již o částečné karbonataci původního materiálu.

Při studiu mikrostruktury (obr. 3) bylo zjištěno, že základní složka je vytvořena z velké části pouze gelovitou formou vápenatých hydrosilikátů, mezi kterou jsou vyvinuty krystalky ettringitu ve tvaru jemných jehliček. Hodnota pH vodního výluhu výchozího vzorku odpovídala 12,3, což bylo dáno vysokým obsahem $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

A. Koroze oxidem siřičitým

Vzorky byly vystaveny plynné atmosféře, obsahující 5, 20 a 30 % SO_2 při relativní vlhkosti vzduchu 45, 75 a 95 % po dobu 180 dnů. Nižší koncentrace SO_2 nebyla použita, protože by byl stupeň (rozsah) přeměny v daném časovém intervalu příliš nízký. V průběhu koroze byly na vzorcích prováděny fyzikálně mechanické zkoušky (objemová hmotnost a pevnost v tlaku), ale i stanovení fyzikálně chemická (RTG, DTA, TG, REM apod.).

Rentgenovým rozbořem vzorků betonů, uložených v prostředí s nejmenší relativní vlhkostí vzduchu 45 % a koncentracemi 5, 20 i 30 % SO_2 , jsou zaznamenány linie portlanditu. Ve srovnání s původním pěnobetonem je však jejich intenzita podstatně nižší. Postupně při zvyšující vlhkosti, koncentraci SO_2 a rostoucí době koroze se intenzita linií $\text{Ca}(\text{OH})_2$ značně snižuje, až při relativní vlhkosti 95 % po 60 dnech koroze bylo zjištěno jejich úplné vymizení. Zde se objevuje nová fáze $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$, která postupně přechází na sádrovec, a to zejména u vzorků uložených v prostředí s relativní vlhkostí 95 %. Druhý meziprodukt koroze — $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ — byl identifikován u vzorků pěnobetonů uložených rovněž v prostředí s relativní vlhkostí 95 % po 60 dnech působení SO_2 , ale při koncentraci 20 % SO_2 . U všech studovaných vzorků zůstává křemen v nezměněné formě.

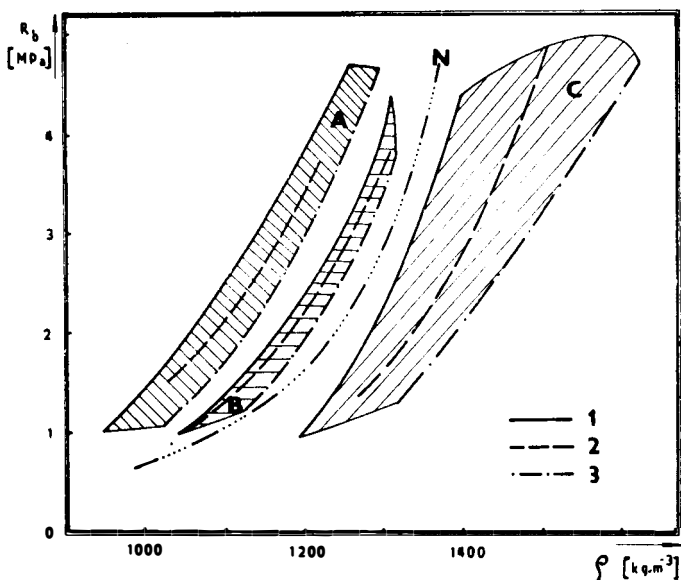


Obr. 1. Závislost hodnoty pH pěnobetonových vzorků na koncentraci SO_2 a relativní vlhkost prostředí po 90 dnech koroze.

Diferenční termická analýza potvrdila výsledky rentgenového rozboru, zejména přítomnost $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i po 90 dnech koroze v nejméně vlhkém prostředí 45 %. CaCO_3 ve formě kalcitu, resp. vateritu či aragonitu se vlivem relativní vlhkosti rozkládá rychleji, než při vzrůstající koncentraci SO_2 . Naopak obsah reakčních produktů, a to jak $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ nebo $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$, tak i $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ se vlivem postupující

koroze zvyšuje. Při vyšší vlhkosti převládá sádrovec a při nižší hemihydrát siřičitanu vápenatého. Vyšší koncentrace SO_2 naopak podmiňuje vznik sulfátů vápenatých, kde hodnota vlhkosti prostředí je rozhodující pro tvorbu dihydrátu či hemihydrátu.

Zajímavé jsou potom poklesy hodnot pH vodního výluhu zkorodovaného pěnobetonu, které vyjádřené v závislosti na koncentraci SO_2 a relativní vlhkosti po 90 dnech koroze jsou zobrazeny na obr. 1. Po celkovém korozním působení 180 dnů jsou poklesy pH ještě výraznější. Pevnost v tlaku v závislosti na objemové hmotnosti (obr. 2) po 90 dnech koroze ukazuje mírné zvýšení pevností vzorků uložených v nízkých relativních vlhkostech prostředí 45 a 75 %. Jak je dále patrné z obr. 2, kde vzorky uložené vždy ve stejné relativní vlhkosti prostředí charakterizuje určitá oblast, jsou mechanické vlastnosti ovlivněny zejména relativní vlhkostí daného prostředí. Vzorky z relativní vlhkosti 95 % jsou potom celou svojí oblastí hluboce pod stavem nekorodovaného materiálu. Koncentrace SO_2 zde představuje pouze vliv sekundární a určuje rozsah dané vlhkostní oblasti.



Obr. 2. Pevnosti v tlaku pěnobetonových vzorků v závislosti na objemové hmotnosti po 90 dnech při různém uložení:

oblast	křivka
A ... rel. vlhkost 45 %	1 ... koncentrace 5 % SO_2
B ... rel. vlhkost 75 %	2 ... koncentrace 20 % SO_2
C ... rel. vlhkost 95 %	3 ... koncentrace 30 % SO_2
N ... reprezentativní křivka nekorodovaného pěnobetonu	

Výraznější poklesy pevností v tlaku nastávají po delším působení (180 dnů), a to u všech vzorků z relativních vlhkostí prostředí 75 a 95 %. Zde již však hodnota koncentrace oxidu siřičitého více určuje míru snížení pevností. Souhrnně lze tedy konstatovat, že při nižší koncentraci SO_2 je vliv relativní vlhkosti prostředí dominantní, kdežto při vyšší koncentraci oxidu siřičitého není hodnota relativní vlhkosti již tolik rozhodující.

Mikrostruktura korodovaného vzorku (obr. 4) znázorňuje mírně degradovaný pěnobeton, resp. (obr. 5) vznik korozních novotvarů, a to převážně $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ve formě shluků jemnozrnných krystalů. Po ukončení koroze, kdy byl identifikován produkt sádrovec, jevila mikrostruktura podobný charakter jako je na obr.6 a 7.

B. Synergická koroze oxidem siřičitým a uhličitým

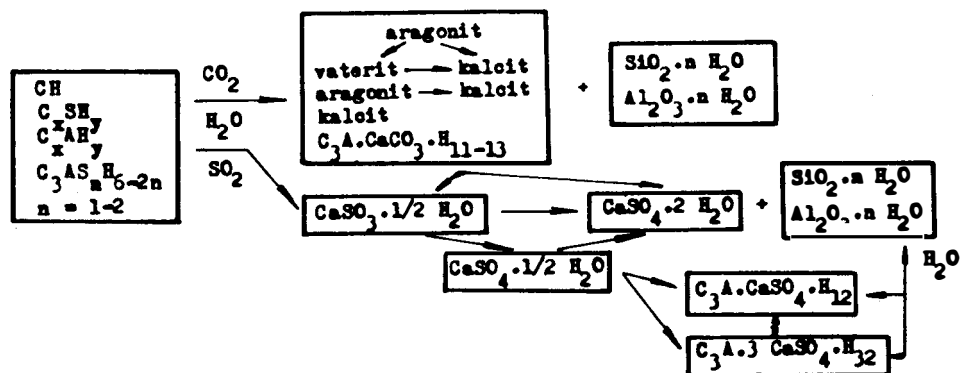
Při stanovení vlivu synergické koroze betonu byly aplikovány dva postupy; jednak byl nejprve pěnobeton karbonatován oxidem uhličitým a následně degradován oxidem siřičitým stejným způsobem dříve popsaným a, jednak byl pěnobeton korodován směsí nejvíce v ovzduší zastoupených plynů — CO_2 a SO_2 v různém poměru koncentrací a při rozdílné relativní vlhkosti prostředí 75 a 95 %.

Synergické působení směsi plynů mělo za následek úplné rozložení portlanditu za poměrně krátkou dobu 30 dnů. Je zajímavé, že u vzorků sulfatovaných po předcházející karbonataci, kterou se mimo jiné zvýšil obsah CaCO_3 z 11 % na 37 %, dochází následující sulfataci k rychlejšímu rozložení celkového CaCO_3 . Zde je rovněž zřejmý rozhodující vliv vyšší relativní vlhkosti prostředí.

Z obsahu korozních novotvarů ($\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ či sádrovce) vyplývá skutečnost, že při synergické korozi, resp. při postupné sulfataci již zkarbonatovaného betonu oxid siřičitý nejnáze reaguje s primárními jemnozrnnými produkty karbonatace za vzniku maximálního obsahu novotvarů — sulfátů vápenatých, přičemž rychlost reakcí je podmíněna vlhkostí prostředí.

U několika málo vzorků, obsahujících jako korozní produkt sádrovec, byl při střídavém působení kapalné vody v prostředí s vyšší koncentrací SO_2 identifikován trisulfát vápenatý — ettringit. Tvorba uvedených novotvarů byla ovlivněna hodnotou pH. A právě u hodnoty pH mezizrnného roztoku betonu se projevuje při vzájemném působení obou plynů vlivem agresivního SO_2 výrazný pokles (cca na 7,00), se všemi negativními důsledky pro praxi. Fyzikálně mechanické vlastnosti mají obdobný charakter jako při individuální sulfataci. Na snímcích REM (obr. 6 a 7) jsou znázorněny novotvary sulfatace, tzn. převládající dobře vyvinuté krystaly sádrovce. Ty vznikly při korozi hydratačních produktů postupným nárůstem a zcela rozrušily původní gelovitou hmotu. Zbytky primárních hydratačních, resp. karbonatačních produktů jsou viditelné na povrchu všech krystalů.

V souladu s uvedenými novými poznatky o atmosférické korozi na pěnobetonových vzorcích a v návaznosti na již publikované výsledky z oblasti pórobetonu je možno průběh koroze pro betony a malty na bázi cementu charakterizovat následujícím schématem:



ZÁVĚR

Ve smyslu čtyř etap karbonatace je možno formulovat z uvedených poznatků rovněž čtyři, resp. pět etap, charakterizujících sulfataci betonu. V prvním období se přeměňuje hydroxid vápenatý, resp. jeho roztok v mezizrnném prostoru na hemihydrát siřičitanu vápenatého, který přitom částečně zaplňuje póry. Hlavní vlastnosti betonu, tedy pevnosti, se stávají výhodnějšími, ale velice se snižuje hodnota pH.

Ve druhé etapě probíhají přeměny ostatních hydratačních produktů cementu společně s primárně vzniklými novotvary karbonatačními, dle schématu v předcházejícím textu. Produkty sulfatace zůstávají převážně v pseudomorfozách ve tvarech po hydratačních a karbonatačních produktech, ale částečně i nadále zaplňují póry betonu. Mechanické vlastnosti betonu vykazují mírné zvýšení svých hodnot. Zde je možno částečně počítat i s vlivem pokračující hydratace C₃S apod.

Třetí etapa se vyznačuje překrystalováním primárně vzniklého hemihydrátu siřičitanu, resp. síranu vápenatého na velice objemově rozměrné krystaly sádrovce, který potom zcela zaplňuje póry. Zpočátku této etapy pevnosti vykazují maxima svých hodnot, ale v průběhu třetího stadia a při přechodu do čtvrtého tyto prudce klesají. Čtvrtá etapa se potom vyznačuje naprostou ztrátou pevností a soudržností betonu, jeho postupným trhlínkovatěním. Hrubé krystaly sádrovce prostupují celou strukturou cementového tmelu.

Při střídavém provlhčování je možno potom zaznamenat někdy ještě stadium páte, které je charakteristické zřetelnějším rozpadem betonu v důsledku vzniku trisulfátu resp. monosulfátu vápenatého, což je ovlivněno hodnotou pH. Při hodnotách pH nižších jak 6,5 již uvedené sloučeniny nalezeny nebyly. Výskyt této etapy můžeme pozorovat i přímo z přechodu třetího stadia. Graficky je možno sledovat průběh koroze sulfatace na přiložených snímcích REM (obr. 3 až 7) v daném pořadí obrázků. Z předložených poznatků z oblasti koroze betonu vyplynul jednoznačný závěr, že i když koroze plyným oxidem siřičitým samostatně či ve spolupůsobení s ostatními plyny probíhá poměrně delší časové údobí, je nutno tomuto předcházet již při návrhu ochrany před uvedenou korozi nebo přísným dodržováním technologické kázně ve výrobně i na stavbě.

Literatura

- [1] Matoušek M., Drochytka R.: Stavební výzkum 28, [2] 1 (1986).
- [2] Drochytka R.: Koroze betonu a pórabetonu kyselými atmosférickými plyny z ovzduší a ochrana proti ní. Kandid. disert. práce, Brno (1986).
- [3] Šauman Z.: Cement and concrete research 2, 541 (1972).
- [4] Matoušek M.: Doktorská disertační práce, Brno (1977).
- [5] Knöfel D., Böttger K. G.: Bautenschutz + Betonsanierung 8, [1] (1985).
- [6] Knöfel D., Böttger K. G.: Betonwerk + Fertigteile—Technik 51, 107 (1985).
- [7] Hoffman D., Ross H.: Materialprüfung 19, 300 (1977).
- [8] Engelfried R., Tölle D.: Betonwerk + Fertigteile—Technik 51, [11] (1985).

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОДА КОРРОЗИОННЫХ РЕАКЦИЙ ПЕНОБЕТОНА С SO₂ И CO₂

Ростислав Дрохитка

*кафедра технологии производства строительных материалов
строительный факультет Политехнического института Брно
662 38 Брно*

Испытательные бетонные образцы подвергали прямой коррозии оксидом четырехвалентной серы и смесью CO₂ и SO₂ при разной относительной влажности среды. На основании физико-химических и физико-механических испытаний было установле-

но, что при отдельной коррозии пенобетона оксидом четырехвалентной серы происходит образование кристаллов новообразований, $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (рис. 3—7) и далее также деградация исходного материала, в результате чего понижается прочность образцов (рис. 2).

При более низкой концентрации SO_2 является влияние относительной влажности среды доминирующей, в то время как при более высокой концентрации сернистого газа величина относительной влажности уже нерешительна. Влияние действия SO_2 весьма принципиально и связано с понижением величин pH (рис. 1). Более резкое понижение величин pH установили в случае синергической коррозии смесей газов SO_2 и CO_2 . При данном типе коррозии образуются под влиянием более высокой коррозии CO_2 прежде всего тонкозернистые карбонатные новообразования — ватерит, кальцит, или арагонит, которые далее взаимодействуют с SO_2 , причем скорость реакции обуславливается влажностью.

При переменном действии жидкой воды в присутствии гипса идентифицировали моносульфат, или в среде с более высокой концентрацией SO_2 трисульфат кальция. Образование приводимых новообразований обусловлено прежде всего величиной pH.

Рис. 1. Зависимость величины pH пенобетонных образцов от концентрации SO_2 и относительной влажности среды после 90 суток коррозии.

Рис. 2. Прочности при сжатии пенобетонных образцов в зависимости от объемного веса после 90 суток при разном составе:

область	кривая
A — отн. влажность 45 %	1 — концентрация 5 % SO_2
B — отн. влажность 75 %	2 — концентрация 20 % SO_2
C — отн. влажность 95 %	3 — концентрация 30 % SO_2
N — нехарактерная кривая некорродируемого пенобетона.	

Рис. 3. Основной некорродируемый образец пенобетона. SEM.

Рис. 4. Умеренно корродируемый образец пенобетона после 30 суток действия среды с 20 % SO_2 и относительной влажности 75 %. SEM.

Рис. 5. Корродируемый образец пенобетона после 60 суток действия концентрации 20 % SO_2 и 75 % относительной влажности; дифрактографически идентифицировали прежде всего гемигидрат сульфата кальция. SEM.

Рис. 6. Кристаллы гипса в корродируемом пенобетоне, помещенном в смеси газов CO_2 и SO_2 (10 : 1) и относительной влажности 95 % после 60 суток действия. SEM.

Рис. 7. Новообразования сульфатации — гипса — в пенобетоне после 90 суток коррозии в смеси CO_2 и SO_2 (10 : 1) при относительной влажности среды 95 %. SEM.

A STUDY OF THE COURSE OF REACTIONS BETWEEN CELLULAR CONCRETE AND SO_2 AND CO_2

Rostislav Drochytka

Department of the Technology of Building Materials Production
Faculty of Building Construction, Technical University Brno, 662 38 Brno

Cellular concrete specimens were subjected to direct effects of sulphur dioxide and $\text{SO}_2 + \text{CO}_2$ mixtures at various relative humidities. Physico-chemical and physico-mechanical test showed that corrosion of cellular concrete by sulphur dioxide alone produces crystalline new formations, namely $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ as well as $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (Figs. 3 through 7) and brings about degradation of the original material which is responsible for decreasing strength (Fig. 2).

The effect of relative humidity is decisive at lower SO_2 concentrations, this being not the case at higher concentrations. The influence of SO_2 is essential, being associated with the decrease of pH values (Fig. 1). A more pronounced decrease of pH values resulted from synergic corrosion caused by mixtures of SO_2 and CO_2 . During this type of chemical attack, the elevated concentration of CO_2 brings about creation of fine-grained carbonate new formations — vaterite, calcite and possibly aragonite, which further react with SO_2 , the reaction rate being dependent on humidity.

Alternate exposure to liquid water, in the presence of gypsum, was shown to produce calcium monosulphate while trisulphate was formed in media with higher SO_2 concentration. Creation of these new formations depends above all on the pH value.

Fig. 1. pH of the cellular concrete specimens vs. SO_2 concentration and relative humidity after 90 days of exposure

Fig. 2. Compressive strength of of cellular concrete specimens in terms of apparent density after 90 days of exposure under various conditions:

Area	Curve
A ... relative humidity 45 %	1 ... 5 % SO_2
B ... relative humidity 75 %	2 ... 20 % SO_2
C ... relative humidity 95 %	3 ... 30 % SO_2
N ... representative curve of non-exposed cellular concrete	

Fig. 3. Scanning electron micrograph of non-exposed cellular concrete.

Fig. 4. Mildly corroded specimen of cellular concrete after 30 days of exposure to atmosphere with 20 % SO_2 and relative humidity of 75 %. SEM.

Fig. 5. Corroded cellular concrete specimen after 60 days of exposure to an atmosphere with 20 % SO_2 and 75 % relative humidity; the main component identified by diffractography was calcium sulphate hemihydrate. SEM.

Fig. 6. Gypsum crystals in corroded cellular concrete exposed for 60 days to a CO_2 + SO_2 mixture (10 : 1) at 95 % relative humidity. SEM.

Fig. 7. Sulphatation products, gypsum, in cellular concrete after 90 days of exposure to a CO_2 + SO_2 mixture (10 : 1) at 95 % relative humidity. SEM.

CEMENTS RESEARCH PROGRESS 1985 (Pokrok ve výzkumu pojiv 1985), Editor P. W. Brown. Cements Division. American Ceramic Society. 65 Ceramic Drive, Columbus, Ohio, USA. 1986. 361 pp.

Pod uvedeným názvem vyšla v roce 1986 v pořadí už dvanáctá publikace obsahující přehled celosvětové literatury z oblasti pojiv. Zatím co v předcházejících 11 letech byl zpracováván významnými odborníky za redakce prof. J. F. Younga z University of Illinois, USA, dvanáctý byl sestaven pod vedením Dr. P. W. Browna z National Bureau of Standards, USA.

Vydání jednotlivých ročníků jsou věnována historickým objevům nebo osobnostem. Poslední vydání je věnované Johnovi Smeatonovi (1724—1792), konstruktérovi Edystonského majáku, a jak se sám nazval, prvnímú stavebnímú inženýrovi.

Cements Research Progress 1985 má 12 kapitol:

První kapitolu o výrobě cementu (surovinách, jejich dávkování, palivech, výrobních technologiích, pecích, mlýnech a ochraně životního prostředí) zpracovali na základě 105 literárních odkazů a 12 patentů K. Theisen, A. Eriksson a V. Johansen z Dánska.

Druhá kapitola obsahuje přehled o výzkumu složení surovin, slínku a cementu při použití nejmodernější přístrojové techniky. P. Hawkins a S. M. DeHayes z USA v této kapitole citují práce 111 autorů.

Třetí kapitolu o hydrataci slínekových minerálů a cementu zpracoval na základě 155 literárních odkazů I. Jawed z USA.

Čtvrtá kapitola pojednává o problematice ošetřování pojiv a lehkých betonů při hydrotermálních podmínkách. M. W. Grutzeck z USA v ní cituje práce různých autorů a 41 patentů.

Pátá kapitola obsahuje přehled o výzkumu vlastností a struktury hydratačních produktů cementu a produktů vznikajících na rozhraní cementové pasty a plniva (kameniva, vláken). Tuto kapitolu zpracoval H. F. Taylor z Velké Británie na základě 92 literárních odkazů.

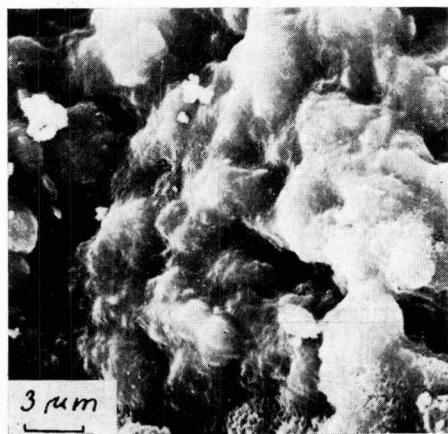
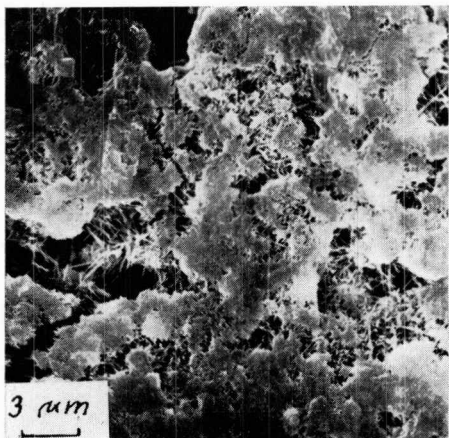
V šesté kapitole D. F. Factor, F. Kinney, D. A. Luptyan a M. A. McFarland z USA shrnuli poznatky o superplastifikátorech, ztekucovacích, provzdušňovacích, urychlovacích a zpomalovacích přísadách a plastobetonech. Citují práce 28 autorů a 45 patentů.

Šedmá kapitola o reologických a elektrických vlastnostech čerstvé cementové pasty a vlastnostech betonových výrobků (pórovitosti, struktúře pórů, specifickém povrchu, smršťování, tepelných a elektrických vlastnostech) připravil S. Mindess z Kanady za použití 76 literárních odkazů.

Osmou kapitolu o trvanlivosti betonových výrobků, malt a betonů zpracovali M. Regouard a J. Volant z Francie. Rozebírají v ní vlivy agresivních solí, zmrazení a rozmrazení, reakce mezi plnivem alkáliemi a zaobírají se též předpovědí trvanlivosti. Odvolávají se na práce 168 autorů.

Devátou kapitolu o směšových portlandských cementech obsahujících křemičité úlety, popel, přírodní pucolány, strusku a jiné příměsy, modifikovaných portlandských cementů (těsnících, bílých, barevných) a hlinitanovém cementu sestavil P. K. Mehta z USA za použití 65 literárních odkazů.

Desátá kapitola obsahuje přehled poznatků o sádrovci, sádre a anhydritu. Zpracovali ji R. A. Kuntze a A. G. Thayer z Kanady na základě 88 literárních odkazů a 88 patentů.

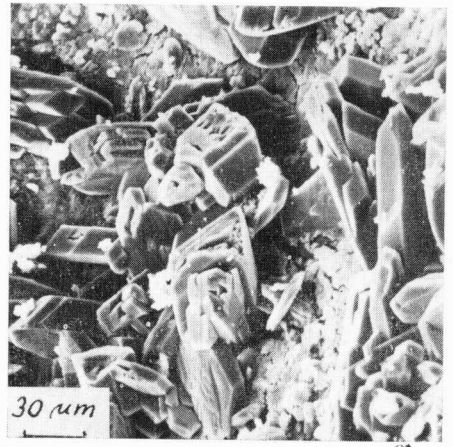
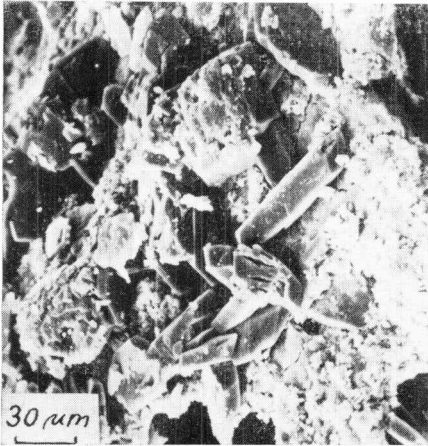


Obr. 3. Základní nekorodovaný vzorek pěnobetonu, REM.

Obr. 4. Mírně korodovaný vzorek pěnobetonu po 30 dnech působení prostředí s 20 % SO₂ a relativní vlhkostí 75 %. REM.



Obr. 5. Korodovaný vzorek pěnobetonu po 60 dnech působení koncentrace 20 % SO₂ a 75 % rel. vlhkosti; difraktograficky identifikován zejména hemihydrát sířičitanu vápenatého. REM.



Obr. 6. Krystaly sádrovce v korodovaném pěnobetonu, uloženého ve směsi plynů CO_2 a SO_2 (10 : 1) a relativní vlhkosti 95 % po 60 dnech působení. REM.

Obr. 7. Novotvary sulfatace — sádrovce — v pěnobetonu po 90 dnech koroze ve směsi CO_2 a SO_2 (10 : 1) při relativní vlhkosti prostředí 95 %. REM.