

ZPEVŇOVÁNÍ POVRCHU BETONU SILIKÁTOVÝMI NÁTĚRY

SOLIDIFYING OF CONCRETE SURFACE WITH SILICATE PAINTS

PETR HUDEC, ROSTISLAV DROCHYTKA

Obr. 1 Praktická aplikace silikátové penetrace při zpevnění a ochraně betonové podlahy ve strojírenském průmyslu

Fig. 1 Practical application of silicate penetration during strengthening and protecting of a concrete floor in the machine industry

Koroze betonu je kromě jiných vlivů zejména zaviněna škodlivými exhaláty – zejména oxidy síry, dusíku a zvýšeným množstvím oxidu uhličitého v atmosféře. Vliv škodlivých exhalátů, znásobené účinky atmosférických vlivů, působí na beton tak, že ten ztrácí svou pirozenou alkalitu, stává se drobivým a nesoudržným. Navíc snížená alkalita způsobuje zpravidla korozi ocelových výztuží. Korozní produkty, vytvářející se na povrchu výztuže zapříčňují svými krystalizačními tlaky odlupování povrchových vrstev betonu. Je samozřejmé, že taková místa je nutné sanovat. Sanace jsou často nákladné a vyžadují značnou technickou i prováděcí profesionálitu realizačních firem.

Corrosion of concrete is, among others, caused by harmful pollutants, particularly by oxides of sulphur, nitrogen and increased amounts of carbon dioxide in the atmosphere. The effect of harmful pollutants, multiplied by atmospheric influences, affect concrete so that it loses its natural alkalinity and becomes friable and cohesionless. In addition, the reduced alkalinity commonly brings about corrosion of steel reinforcement. Crystallizing pressures of corrosion products which develop on the surface of reinforcement lead to peeling of surface layers of concrete. Such places obviously need maintenance, which is often costly and requires considerable technical and professional craftsmanship of construction firms.

Prudký hospodářský rozvoj od 50. let 20. století a využití nových technických možností vedly ke vzniku řady korozních faktorů, negativně působících na únosnost a životnost betonových konstrukcí. Tyto vlivy byly zanedbávány až do doby jejich výrazných projevů na betonových konstrukcích, v některých případech i s tragickými následky. Tepřve od poloviny 70. let 20. století se vzniklou nutností rozsáhlých a nákladných sanací betonových konstrukcí byla věnována příslušná pozornost i problematice ochrany betonu proti korozi. Pro předcházení těchto problémů je třeba postupovat s novými technologiemi jak při výrobě betonu, tak při jeho ochraně. Jedná se především o zvýšení kvality povrchu betonu – používání cementu nových vlastností, aplikace nových modifikacích přísad, nových technologií zpracování atd. Dále se zkoušely a zkouší různé chemické látky ve formě nátěrů, které mají za úkol zabránit, nebo alespoň omezit na minimum škodlivost korozních účinků exhalátů a zvýšit tak životnost celého stavebního díla. Podle dosavadních zahraničních zkušeností jsou to nejčastěji materiály na bázi polyakrylátů nebo epoxidových pryskyřic. Současně s rostoucí potřebou ochrany betonů řešíme u těchto produktů však stále intenzivněji problém vyšší ceny.

Ústav technologie stavebních hmot a dílců na Stavební fakultě VUT v Brně se již delší dobu podílí na výzkumu



jednak možností ochrany betonů proti korozi, ale i na použití sekundárních zdrojů při zužitkování odpadů v průmyslu stavebních hmot. Zpracování zvyšujícího se množství odpadů, vznikajících v průmyslové výrobě má nejen ekologický dopad, kdy jejich pouhé odstraňování na skládky je již neúnosné, ale mnohdy zaznamenáváme i výrazný ekonomický přínos při nahradě plniva apod. Dlíží směr výzkumu je proto zaměřen na možnost použití některých odpadů (v tomto případě elektrárenského popísku) jako plniva do ochranných nátěrů na silikátové pojivové bázi. Zde je možné vidět jednu z možných cest k likvidaci a zároveň ke zhodnocení těchto odpadů.

CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUROVIN

Elektrárenské popísky

Elektrárenský popílek jako plnivo je výhodný z hlediska granulometrického složení – vykazuje vysoký podíl jemných částic, kde cca 60 % zm je menších jak 0,063 mm. Měrný povrch se obvykle pohybuje v rozmezí od 170 do 300 $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ dle Blaina, měrná hmotnost průměrně 2300 kg/m³. Z hlediska chemicko-mineralogického složení je jeho silikátová povaha vhodná ke spolupůsobení se silikátovou pojivovalou bází. Při klasickém spalování je dosahováno teploty 1400 – 1600 °C, takže elektrárenské popísky vedle beta-křemene a dalších fází obsahují v jistém množství mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) a zpravidla více než 50 % sklovité fáze. Nejvhodnější popílek vzniká spalováním černého uhlí, který má charakter skelných kuliček. Popílek může být svou podstatou křemičito-hlinitý nebo křemičito-vápenatý. Křemičito-hlinitý vykazuje pucolánové vlastnosti. Křemičito-vápenatý má také hydraulické vlastnosti. Další z možných odpadních produktů je odpadní propírka, vznikající praním drceného kameneva. Tato propírka má ovšem menší měrný povrch.

Alkalické křemičitany

Velmi koncentrované roztoky křemičitanu sodného (vodní sklo) byly využity k vývoji pojiv již na začátku našeho století. Křemičitany sodné a jejich deriváty tvoří víceú-

čelovou a stabilní komoditu a řadí se k základním chemickým výrobkům. Využití křemičitanů jako pojiva je rozsáhlé (např. k vázání pískových forem ve slévárenství, stabilizaci půd, zvyšování pevnosti cementové malty), [4], [5].

Rozpustné křemičitany mají obecný vzorec $M_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$, kde M je alkalický kov, m a n jsou počty molů oxidu křemičitého a vody vztahující se k 1 molu M_2O , m se nazývá bud' poměr nebo modul křemičitanu.

Hodnota m pro komerční materiál je obecně 0,5 – 4,0 (křemičitan sodný) u křemičitanu draselného a lithného může být hodnota m vyšší (až 6,5). Komerční formy těchto křemičitanů se obecně produkují ve formě skla, které se rozpouští na viskózní alkalický roztok. Nejbežnější rozpustný křemičitan je křemičitan sodný. Křemičitan draselný a lithný se vyrábí v omezeném rozsahu pro speciální aplikace (nátěrové hmoty, žáruvzdorné materiály) [5].

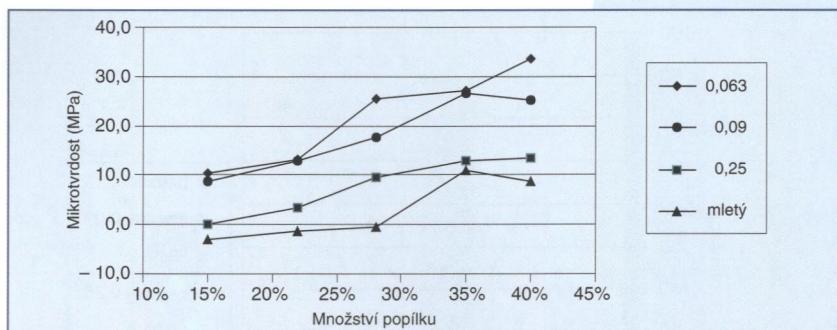
Akrylátová disperze a modifikátory

Mnoho vlastností konečného náteru lze vylepšit různými modifikátory. Některé problematické vlastnosti je možno modifikací eliminovat nebo úplně odstranit.

Jako hlavní modifikátor se osvědčila styren-akrylátová disperze, dnes hojně využívaná ve stavitelství, ale i v dalších oborech. Tyto disperze jsou vyráběny jako homopolymery nebo častěji jako nejrůznější kopolymerы. Všechny se vyznačují vynikající odolností vůči povětrnosti, stálostí na světle a transparentnosti. Používají se v závislosti na typu monomeru jako nátěrové hmoty a různé průmyslové pomocné látky, plasty a vlákna. Jejich vlastnosti pochopitelně závisejí na druhu monomeru, komonomeru, na způsobu přípravy, molekulové hmotnosti, event. na rozsahu zesiťování [2], [9]. Kopolymerací různých monomerů lze připravit rozsáhlou paletu vodních disperzí (latexů), které poskytují filmy s vynikající stálostí na světle, odolností na povětrnosti a dobrou přilnavostí. Nevýhodou je způsobování napětí, vedoucí ke „kráterkování“ finální vytvrzené vrstvy náteru a k problémům se srážením disperze v alkalickém prostředí. Tyto problémy je však možno odstranit správným způsobem zamíchání, použitím vhodné disperze a dalších vhodných aditiv, mezi něž patří stabilizátory, odpěňovače, hydrofobizátory, impregnace, smáče a dispersační prostředky, záhustky, případně malé množství jemných silikátových plniv.

OCHRANNÝ SILIKÁTOVÝ NÁTĚR NA BETONOVÉ POVRCHY KOMPOZICE NAVRŽENÉHO A ZKOUŠENÉHO NÁTĚRU

Při navrhování vhodné pojivové báze pro nátěr plněný elektrárenskými popílkami se vycházelo z předpokladu vhodnosti zkombinování silikátového plniva se silikátovým pojivem. Alkalický křemičitan zajistuje mnoho výhodných vlastností – nátěry na této bázi se vyznačují především vysokou mikrotvrdostí, odolností proti obrusu, přídržností k povrchu a vysokou paropropustností. Na rozdíl od inertního chování popílku v čisté



Graf 1
Vliv množství
popílku
na mikrotvrdost

Graph 1
Effects of fly ash
amount on
microhardness

polymerních matricích, dochází v alkalickém křemičitanu ke vzájemnému chemickému spolupůsobení, které může zajistit dobré fyzikální vlastnosti náteru. Akrylátová disperze v silikátovém náteru zlepšuje filmotvornost, odolnost vůči klimatickým vlivům, odolnost proti difuzi CO_2 a zvyšuje hydrofobicitu. Účinky disperze v tomto náteru se dají částečně připodobnit k účinkům disperze v polymerbetonech či polymer-maltách. Další modifikátory slouží k odstranění některých problematických vlastností, k zvýšení některých kladných vlastností, k zabudování nových vlastností, nebo jako pomocné látky pro výrobu či zpracování.

VLASTNOSTI OCHRANNÉHO NÁTĚRU

Mikrotvrdost

Vnikající tvrdost náteru je definována jako schopnost náteru odolávat deformačním účinkům těleska při jeho vtipku do náteru.

Jak je patrné z grafu 1, bylo jasné prokázáno, že mikrotvrdost náteru stoupá s obsahem popílku. Dále lze vysledovat klesající mikrotvrdost s větším max. zrnom popílku. Avšak při použití popílku mletého je mikrotvrdost povrchu nejmenší.

Obrusnost

Obrusnost je definována jako schopnost nátěrového filmu odolávat působení brusného materiálu. Použitá metoda je inspirována normami ČSN 67 3073 a ČSN 73 1324. Obrusnost při zkouškách vyjadřovala procentuální poměr obroušeného materiálu vzorku náteru ku obroušenému materiálu vzorku betonu, který byl použit jako referenční vzorek.

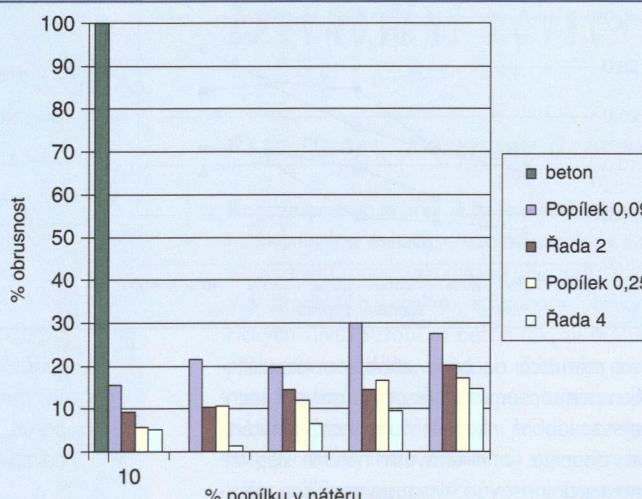
Z grafu 2 je patrný přímý vliv množství popílku na obrusnost. Se stoupajícím podílem popílku v náteru stoupá obrusnost. Nejmenší obrusnost vykazoval popílek mletý 0,25 a nejvyšší popílek 0,09. Závislost obrusnosti na velikosti max. zrna popílku není tedy zatím prokázána.

Přídržnost

Podstatou zkoušky je změření síly, potřebné k odtržení povrchové úpravy o určité ploše od podkladu kolmým tahem. Přídržnost povrchové úpravy k pokladu je uvedena přímo na stupni zkušebního přístroje. Výsledná hodnota přídržnosti je min. 2,1 MPa.

Vodotěsnost

Podstatou zkoušky je změření množství vody, která nasákne do povrchu zkoušeného vzorku během



Graf 2 Vliv množství popílku na obrusnost

Graph 2
Effects of fly ash amount on abrasion

stanovené doby 30 min. U všech zkoušených vzorků nebyl zaznamenán úbytek vody po 30 min. Vodotěsnost nátěru byla změřena na 0 l/m².

Mrazuvzdornost

Podstatou zkoušky je střídavé zmrazování a rozmrazování zkušebního vzorku s povrchovou úpravou na požadovaný počet 50 zmrazovacích cyklů. Poté následovalo zjištění přídržnosti povrchové úpravy k podkladu. Přídržnost nátěru na betonu klesla o 4,17 %. Nátěr tedy vyhověl zkouškám mrazuvzdornosti.

Difuzní odpor proti pronikání vodních par

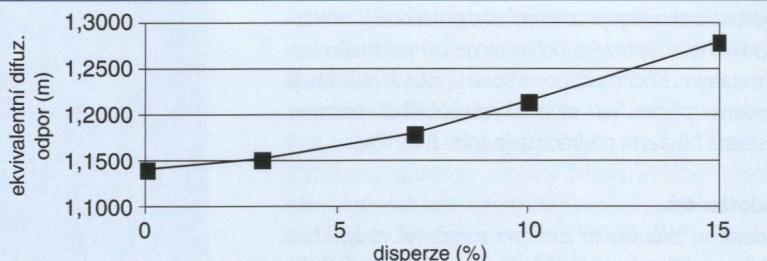
Toto stanovení spočívá v měření difuzního toku vodní páry prošlé vzorkem a v měření částečných tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod měmými plochami vzorku. Z těchto naměřených údajů, známé tloušťky a měmý plochy vzorku se stanoví činitel difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťka výpočtem. Hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky v rozmezí 1,15–1,28 m ukazují, že nátěr je paropropustný a beton může „dýchat“. V grafu 3 je vidět jasný vliv disperze na ekvivalentní difuzní tloušťku.

Difuzní odpor proti pronikání CO₂

Zkouška slouží k charakterizaci schopnosti tenkovrstvých povrchových úprav betonu brzdit prostup oxidu uhličitého do podpovrchových partií betonu a tím zpomalovat karbonataci betonu. Z naměřených hodnot byla vypočtena hodnota ekvivalentní difuzní tloušťky $d = 150$ m při tloušťce nátěru 0,278 mm, což je dostačná hodnota k vytvoření ochranné vrstvy proti karbonatačním účinkům CO₂.

Graf 3
Vliv disperze na difuzi vodních par

Graph 3
Effects of dispersion on water vapour diffusion



VÝHODY OCHRANNÉHO SILIKÁTOVÉHO NÁTĚRU NA BETONOVÉ POVRCHY

V současné fázi vývoje byla prokázána vhodnost použití elektrárenského popílku pro koncipování silikátových nátěrů pro ochranu betonových povrchů. Některé jeho technické vlastnosti jsou ve srovnání s jinými používanými systémy vynikající. Pro praktickou potřebu vykazuje nátěr několik dalších výhod, které je dobré připomenout:

- ředitelnost vodou,
- bez obtěžujícího zápachu,
- nehořlavost,
- bez negativních ekologických vlivů,
- jednoduchá zpracovatelnost,
- cenová dostupnost.

IMPREGNAČNÍ A ZPEVNĚUJÍCÍ OCHRANA POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

V rámci vývoje silikátové nátěrové hmoty byla dále řešena potřeba penetrace betonu před aplikací nátěru. Při výzkumu správného složení a poměru jednotlivých komponentů penetrace byl zjištěn pozitivní vliv penetrace na povrchové vlastnosti betonu. Potřeba jednoduchého, levného a přitom účinného ošetření betonu silikátovým zpevňním podnítila její další vývoj až ke finálnímu dořešení.

Penetrace vniká do betonu či jiných silikátových stavebních materiálů. Zkrystalizováním vytvoří se složkami betonu velmi pevnou hmotu. Efekt je ve zvýšení hustoty, tvrdosti, pevnosti a utěsnění proti vodě, čímž prodlouží životnost stavebních materiálů. Chrání, zachovává a zpevňuje betonové konstrukce, betonové podlahy, betonové prefabrikáty. Lze ji použít na nové i stávající konstrukce, hlazené či s reliéfem.

KOMPOZICE IMPREGNAČNÍ A ZPEVNĚUJÍCÍ OCHRANY POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Tato silikátová impregnační ochrana je založena na kombinaci zpevňující a utěsnějící schopnosti silikátové složky a složky akrylátkové, která zajistí dokonalejší hydrofobizaci povrchu, uzavření pórů a zvýšení difuzního odporu vůči pronikání CO₂. Další aditiva slouží ke zlepšení penetrací schopnosti snížením povrchového napětí, ke zvýšení hydrofobních vlastností, ke stabilizaci do doby zpracování a k odpěnění v průběhu výroby a aplikace.

VLASTNOSTI IMPREGNAČNÍ A ZPEVNĚUJÍCÍ OCHRANY POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Utěsnění povrchu betonu

Vsáknutím do povrchové vrstvy betonu se zvýší její hustota. Schopnost vsáknutí je závislá na pórovitosti betonu a pohybuje se v rozmezí řádově do hloubky 10 mm, hluboké utěsnění účinně ovlivní životnost betonu. Tímto působením se prakticky odstraňuje pórovitost a mikrotrhlinky v povrchu. Beton se stává trvale těsný vůči vlhkosti, průniku olejů nebo jiných kontaminátů. Mnoha chemikáliím bude znemožněn průchod. Naměřená vodotěsnost V 30 je 0 l/m². Nasákovost je snížena o 30 % vzhledem k neosetřenému betonu. Utěsněný povrch si zachovává paropropustnost pro vzduch a vodní páry.

(beton může „dýchat“). Ekvivalentní difuzní tloušťka $r_d(H_2O) = 2,8$ m.

Zamezení prašnosti a zpevnění betonu

Penetrace chemicko-mineralogicky zreaguje s betonem a stane se jeho integrovanou součástí. Taktéž zajistí bezprašnost povrchu a snižuje nebezpečí odlupování povrchových vrstev. Pevnosti v tahu povrchových vrstev je zvýšena až o 30 % a obrusnost je snížena o 20 % vzhledem k neošetřenému betonu. Odstranění prašnosti a zpevnění povrchu betonu je rovněž vhodnou přípravou povrchu pro aplikaci barev, potěrů, lepidel a podlahových krytin.

Zvýšení mrazuvzdornosti betonu

Penetrace výše uvedeným materiélem chrání beton vůči proniknutí vnější vody a vlhkosti a tímto eliminuje expanze, vznikající při zmrznutí vody v povrchových vrstvách betonu.

ZHODNOCENÍ SILIKÁTOVÉ PENETRACE BETONU

Tento produkt představuje možnost cenově zajímavé nahradit především za výrobky na epoxidových či akrylátových bázích, vůči kterým je výhodný nejen cenou, ale i podstatně vyšší životností (vzhledem k zabudování do povrchové vrstvy betonu nevznikají žádné problémy se stárnutím a odlupováním filmu). Podobně jako v případě nátěru vykazuje penetrace stejně výhody.

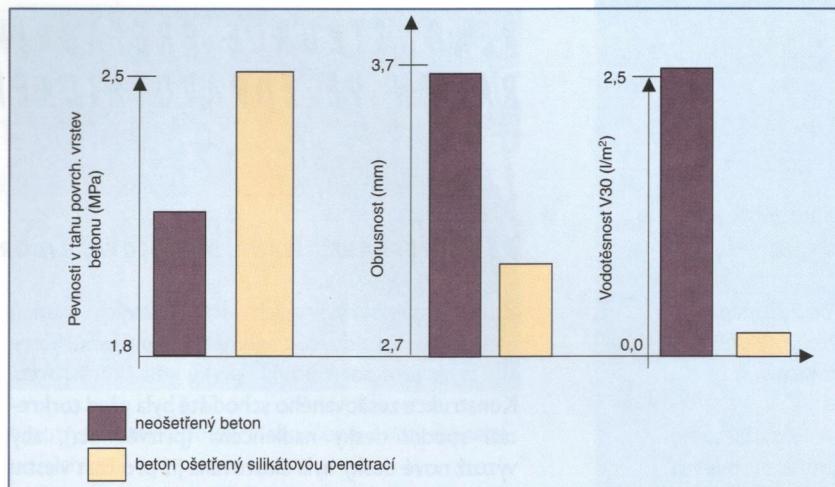
ZÁVĚR – PERSPEKTIVY SILIKÁTOVÉ OCHRANY BETONU

Přínos aplikace silikátové ochrany betonu spočívá v možnosti řešení několika specifických problémů v oblasti betonového stavitelství:

- ochrana hlavních a pomocných konstrukčních částí objektů v oblasti dopravního, vodního a průmyslového stavitelství,
- odstraňování vad betonových průmyslových podlah se vsypovou povrchovou úpravou,
- opravy a sanace betonových průmyslových podlah,
- ochrana betonu proti atmosférickým korozním účinkům,
- sanační realkalizace povrchu betonu jako dodatečná ochrana proti karbonataci.

Impregnační a zpevňující silikátová penetrace povrchových vrstev betonu je v rámci spolupráce se stavební firmou certifikována a v současné době probíhá její uvedení na trh.

V rámci ověřovací série byla s úspěchem použita na opravu vad nově provedených betonových průmyslových podlah se vsypovou povrchovou úpravou, kdy v jednom případě byl aplikován vsyp v nedostatečném množství a v druhém případě byl aplikován vsyp špatného složení. Dále byla použita pro odstranění prašnosti a zvýšení pevnosti stávajících betonových podlah ve třech skladových objektech. Úprava betonu silikátovými ochrannými nátěry nebo impregnačním zpevněním betonového povrchu představuje optimum mezi



dosaženou kvalitou a realizačními náklady. Toto řešení pak ekonomicky umožňuje uvažovat o ochraně podstatně většího množství betonových konstrukcí, které by jinak vzhledem k vyšší ceně jiných technologií nebyly povrchově chráněny.

Tento článek vznikl v rámci řešení VVZ MSM 261100008 Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich vyšší trvanlivosti ve stavebních konstrukcích.

Literatura:

- [1] Emmons, P., H., Drochytka, R., Jeřábek, Z.: Sanace a údržba betonu v ilustracích. I. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1999, 334 stran, ISBN 0-87629-286-4.
- [2] Drochytka, R.: Plastické hmoty ve stavebnictví. I. vydání. Brno: Učební text VUT FAST, 1995, 45 stran.
- [3] Dohnálek, J., Pumpr, V.: Technické podmínky pro sanace, Sanace betonových konstrukcí, roč. IV, květen 1996.
- [4] Antoš, P.: Oxid křemičitý a příbuzné materiály, In Aplikace oxidu křemičitého a příbuzných materiálů, Ústí nad Labem, 1997.
- [5] Antoš, P., Buchar, M.: Alkalické křemičitany I, Chemagazín, č. 2, 1996.
- [6] Dufka, A.: Využití odpadů v cementových a polymer cementových maltách, Diplomová práce, VUT FAST Brno, 1997.
- [7] Hudec, P.: Nátěrové hmoty na bázi vodního skla s využitím odpadních surovin, Diplomová práce, VUT FAST, Brno 1999.
- [8] Firemní literatura firmy Silchem s.r.o.: Nátěrové hmoty.
- [9] Sborník Akrylátové disperze – tmely, Chemické závody Sokolov, 1995.

Ing. Petr Hudec, Doc. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
VUT FAST Brno, ústav technologie stavebních hmot a dílců
Veveří 95, 662 37 Brno
tel.: 05 4114 7500, 0608 503 938, fax: 05 4114 7502
e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz

Graf 4
Porovnání vlastností silikátové penetrace na vlastnosti betonového povrchu

Graph 4
Comparison of properties of silicate penetration on the properties of concrete surface