HYDROFOBIZACE BETONU SILIKONOVÝMI PROSTŘEDKY
HYDROFOBIZATION OF CONCRETE BY SILICON MEANS

JIŘÍ SAMEC

Článek popisuje ochranu povrchu betonu pomocí hydrofobizační impregnace a filmotvorných nátěrů. Uvádí rozdíly mezi oběma postupy, jejich výhody a nevýhody a představuje vhodné silikonové prostředky k praktickému použití.

This paper describes protection of concrete surface by means of hydrofobic impregnation and film-producing paints. It presents differences between both procedures, their strengths and weaknesses, and introduces suitable silicon means for practical use.

MECHANIZMY POŠKOZOVÁNÍ BETONU

Za předpokladu odborného zpracování a správných poměrů použitých surovin je beton stavební látkou, která má vynikající odolnost proti povětrnosti a stárnutí. Přesto dochází opakovaně k závažným škodám na betonu, které ohrožují funkci stavebního díla. Hlavní příčinou poškození betonových konstrukcí je koroze ocelové výztuže, nejčastěji vyvolaná vlivy okolního prostředí.

Čerstvý beton se vyznačuje vysokou alkalitou, která pasivuje vloženou ocel. Cementový tmel je tvořen řadou vysoce zásaditých hydratačních produktů cementu, jako jsou hydrosilikáty a hydroaluminát vápenaté a hydroxid vápenatý. Tyto sloučeniny se zásaditým charakterem snadno podléhají reakcím s kyselými látkami. Probíhající reakce lze klasifikovat jako neutralizační.

V suché atmosféře je obsaženo 0,03 až 0,04 obj. % oxidu uhličitého, CO_2. Ve znečištěném prostředí jsou místně v ovzduší obsaženy další plyny kyselého charakteru, jako je oxid siřičitý, SO_2, oxidy dusíku NO_x, chlorovodík HCl, sulfan H_2S a další. Tyto plyny reakcí s vodou tvoří kyseliny, které reagují se složkami cementového tmelu. Působením kyselých látek z atmosféry obzvláště oxidu uhličitého, se směrem od povrchu postupně odbourává alkalita. Tento proces se označuje jako karbonatace betonu. Po nějaké době zasáhne nealkalická karbonatovaná zóna výztužnou ocel, a ta tím ztrácí svoji ochrannou pasivační vrstvu.

Za přítomnosti kyslíku a vlhkosti začíná ocel korodovat. Protože průběh koroze železa je spojený s drastickým zvětšením objemu (trhací tlak), betonová vrstva pokrývající výztuž praskne a následkem jsou vážné škody na betonu.

Při neutralizaci složek cementového tmelu mohou vznikat nerozpustné sloučeniny, které v prvních fázích dokonce povrchové vrstvy betonu zpevňují. Reakcí s kyselinou dusičnou a chlorovodíkovou však vznikají dobře rozpustné nevazebné sloučeniny, které jsou dešťovou vodou z cementového tmelu vymývány. Tímto pochodem se může porušit povrchová vrstva betonu natolik, že dojde k jejímu rozpadu. Destrukční působení mají rovněž na výztuži vznikající korozní produkty, které mají několikanásobně větší objem než původní ocel. Koroze oceli je podmíněna snížením koncentrace hydroxidových iontů v pórovém roztoku cementového tmelu v betonu, tj. neutralizací hydroxidu vápenatého a porušením krycí vrstvy, které umožní snadnou difúzi vody a kyslíku k výztuži.

Korozní poškození betonu, především mostních staveb a silničního příslušenství může být rovněž způsobeno odstřikující vodou s obsahem rozmrazovacích posypových solí. V tomto případě se jedná o fyzikální korozi. Chlorid sodný je v kapilárních pórech přítomen ve formě roztoku. V suchém období dochází k odpaření vody z pórové struktury betonu a ke krystalizaci přítomných solí. Krystalizační tlak NaCl činí 55,4 MPa, takže může způsobit porušení až úplný rozpad betonu.

OCHRANA BETONU

Mnozí ještě před málo lety věřili, že beton je odolný proti jakémukoli druhu škodlivých vlivů. Množící se případy škod však dokazují opak: beton je poškoditelný a betonová stavební díla jsou existenčně ohrožena.

Vlhkost se prokazatelně vždy podílí na poruchách betonu. Voda může přivodit škody změnami svého objemu při střídání mrazu a tání. Voda je reakčním médiem i partnerem destruktivních chemických procesů, které předcházejí a provázejí korozi ocelové výztuže. Agresivní sloučeniny mohou být vneseny do pórové struktury betonu mimo jiné dešťovými srážkami, které v atmosféře znečištěné kyselými plyny vytvářejí roztoky kyselin.

Neošetřený beton má hydrofilní charakter, voda snadno smáčí povrch betonu a dochází k zaplňování kapilárních pórů vodou, která s sebou přináší i rozpuštěné látky. Dochází k reakcím se zásaditými složkami cementového tmelu a ke vzniku korozních produktů, které mohou zapříčinit porušení a rozpad povrchové vrstvy betonu. Do jaké míry dojde k poškození povrchových vrstev betonu vlivem těchto procesů, závisí na množství, velikosti a hydrofobitě kapilárních pórů.

Od doby, kdy byly rozeznány základní mechanizmy vzniku škod se pracuje na tom, aby bylo dosáženo co možná nejtrvanlivější a nejhospodárnější ochrany betonu. V centru pozornosti zkoumání stojí v podstatě dva postupy ochrany povrchu – hydrofobizační impregnace a filmotvorné nátěry. U obou postupů je základní význam přikládán ochraně proti vsakování vody do betonu.

Hydrofobizace je velmi účinným způsobem ochrany betonu. V posledních desetiletích se pro tuto aplikaci osvědčily vzhledem k vynikajícím vodoodpuzujícím vlastnostem a dlouhodobé trvanlivosti silikony. Stěží se najde jiná skupina látek, která by byla jako silikony inertní proti fyzikálním, chemickým a mikrobiologickým vlivům. Při výběru vhodného produktu je impregnace silikonem opatření, které zajistí dlouhodobou ochranu a zachování funkce stavebního díla.

Po hydrofobizační impregnaci zůstávají póry otevřeny, difúze plynů a vodní páry není vůbec nebo je jen nepatrně ovlivněna. Tím může beton vyrovnávat svou vnitřní vlhkost s atmosférickou vlhkostí, což je důležité zejména v zimních měsících za mrazu. Díky snížené nasákavosti ošetřeného povrchu, a tím i nižší vlhkosti betonu, jsou podstatně zpomaleny všechny korozivní procesy, na nichž se voda podílí.

Filmotvorné nátěry mají za cíl zachytit difúzi plynů a tím putování oxidu uhličitého, který vyvolává karbonataci.

Často jsou oba postupy kombinovány, tj. jako penetrace pro následné filmotvorné nátěry je nanesena hydrofobizační impregnace.

SILIKONY JAKO IMPREGNAČNÍ PROSTŘEDKY

Organokřemičité sloučeniny se prosadily jako impregnační prostředky již před lety. Vyznačují se vynikajícím vodoodpuzujícím účinkem a neomezují paropropustnost. Dlouhodobá trvanlivost silikonů vyplývá z toho, že jsou extrémně odolné proti vnějším vlivům, jako UV záření, termické namáhání, chemicky agresivní látky a mikrobi. Na základě jejich chemické afinity vzniká stabilní kovalentní vazba mezi sítí silikonové pryskyřice a stavební látkou, v našem případě betonem.

Silikony na impregnaci betonu musí mít zejména dvě vlastnosti: musí být schopné dobře **penetrovat** do relativně hutné stavební hmoty betonu a musí mít vytvořenou takovou strukturu, aby se **nerozkládaly**, zejména v čerstvém betonu, působením vysoké alkality.

Uvedeným požadavkům vyhovují nejlépe alkylalkoxysilany, např. oktyltriethoxysilan. Jsou to bezbarvé dobře tekoucí kapaliny, které jsou obvykle nanášeny nezředěné, poléváním na beton. Tam reagují s vlhkostí za odštěpení alkoholu na tridimenzionálně zesíťovanou, na beton chemicky zakotvenou síť silikonové pryskyřice. Po dlouholeté zkušenosti není dnes již pochyb o dobré a trvalé účinnosti silanů jako hydrofobizačních prostředků na beton.

V současné době jsou pro hydrofobizaci betonu nejčastěji používány roztokové nebo emulzní impregnační prostředky. Jsou nanášeny opakovaně vícenásobně impregnací s krátkými technologickými přestávkami (cca několik minut mezi jednotlivými nánosy).

Osvědčeným rozpouštědlovým prostředkem, který je určen pro trvalou hydrofobizaci betonu, je Imesta IW 290. Jedná se o materiál na bázi silanů a oligomerních siloxanů, určený k dlouhodobé vodoodpudivosti porézních minerálních stavebních materiálů. Přípravek má vynikající pronikavost a lze jej použít i na vlhký podklad. Po aplikaci na podklad reaguje s vodou a vytváří pevný, nelepivý polysiloxan, který má dlouhodobé hydrofobní účinky. Po zaschnutí se na povrchu kapilár ošetřeného podkladu vytváří hydrofobní mikrovrstva, podklad však zůstává prodyšný. Vysoká odolnost přípravku vůči alkáliím umožňuje bezproblémovou aplikaci na beton a betonové výrobky a zajišťuje velmi dobrou trvanlivost. Silikonová báze prostředku prošla řadou mezinárodních zkoušek, ASTM 666 a ASTM C 672, NCHRP 244 „Concrete Sealers for the Protection of Bridge Stuctures", které sledovaly zejména snížení nasákavosti a redukci obsahu chloridových iontů.

Obr. 1 Most ve Slatiňanech ošetřený hydrofobním nátěrem
Fig. 1 Bridge in Slatiňany painted with hydrophobic coat

SVÚOM, s. r. o., provedl v roce 2004 výzkum na téma: Ověřování životnosti hydrofobních impregnací silikátových materiálů v závislosti na působení znečišťujících složek atmosféry. Tato studie testovala dvacet různých hydrofobizačních prostředků aplikovaných na standardní betonová zkušební tělesa. Z výsledků vyplývá, že uvedený prostředek poskytuje trvalou hydrofobizaci betonu i po dlouhodobé expozici na atmosférické stanici.

Používané materiály mají i jistá omezení:

- Na velmi vysušeném betonu (slunce, vítr) schází potřebná vlhkost pro síťování. Následkem toho dochází k odpařování podstatného množství účinné látky do atmosféry.
- Na svislých plochách, zvláště při nepečlivé práci, vzniká nebezpečí stékání materiálu dříve, než stačí proniknout do betonu a povrch je impregnován nedostatečně hluboko a nerovnoměrně.
- Zpravidla je potřeba více aplikačních kroků, aby bylo naneseno dostatečné množství účinné látky a docíleno požadované hloubky proniknutí.

HYROFOBIZAČNÍ KRÉMY

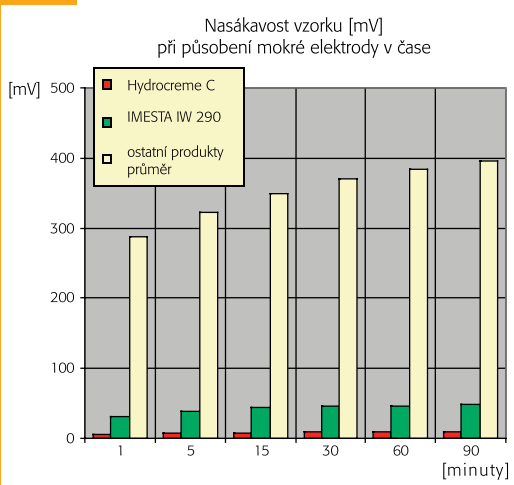
Uvedená omezení neplatí pro nejnovější výsledek výzkumu v oblasti silikonových stavebních ochranných prostředků užívaných k impregnaci betonu Hydrocreme C, který se od obvyklých výrobků na impregnaci betonu se odlišuje speciální konzistencí. Impregnační prostředky na beton jsou používány převážně ve formě nízkoviskózních kapalin. Hydrocreme C je, jak napovídá název, krémovitý, tixotropní materiál. Nová konzistence propůjčuje výrobku výjimečné vlastnosti.

Účinnou látkou je v novém výrobku oktyltriethoxysilan, její obsah činí 80% a zbylých 20% tvoří voda a nízký podíl pomocných látek jako např. emulgátory. Emulze dosud používané k impregnaci betonu obsahují zpravidla max. 40% účinné látky. Vysoký obsah účinné látky v Hydrocreme C zaručuje jeho proniknutí do veliké hloubky už při poměrně nízkých nanesených množstvích.

Účinná látka a mechanismus působení je u nového výrobku stejný, jako je tomu u běžných kapalných silanových impregnačních prostředků. Silan reaguje s vodou za odštěpení alkoholu na síť silikonové pryskyřice, která tenkou vrstvou protáhne vnitřní povrch pórů a kapilár. Schopnost difúze a paropropustnost není proto ovlivněna více než u kapalných silanů. Na rozdíl od roztokových silanových impregnačních prostředků obsahuje krémový výrobek množství vody, které je potřebné pro síťovací reakci. Tím je zamezeno, aby se u aplikace na suché betonové povrchy odpařilo podstatné množství aktivní složky do atmosféry – impregnace za slunečného počasí a větru se tak stává bezproblémovou.

Nový impregnační prostředek má následující přednosti:

- schopnost hloubkového proniknutí do betonu
- odolnost proti alkáliím
- redukce kapilární nasákavosti
- žádné omezení paropropustnosti
- vysoký účinek ochrany při styku s posypovou solí



Obr. 2 Stanovení jakosti hydrofobní impregnace pro zkušební vzorky po 181 denní expozici na atmosférické stanici

Fig. 2 Determination of hydrophobic impregnation quality for test samples after 181-day exposiiton at an atmospheric station

- dobrou přídržnost k podkladu
- nízkou těkavost
- je tixotropní, a tím aplikovatelný beze ztrát
- vysoký obsah účinné látky
- snadná zpracovatelnost
- na bázi vody, bez rozpouštědel, neškodí životnímu prostředí
- rychlá penetrace
- dobrá regulace hloubky pronikání do betonu
- bezproblémové čištění pracovních nástrojů
- jednokroková aplikace
- nanášení stříkáním, natíráním, válečkováním
- bezproblémová „práce nad hlavou"
- žádné odkapávání
- nepatrné odpařování
- aplikace bez ztrát
- snadná kontrola ošetřených míst a naneseného množství (tloušťka vrstvy před vsáknutím)

ZPRACOVÁNÍ

Výrobek je možné snadno nanášet na svislé plochy a stropy bez toho, aby docházelo ke stékání či odkapávání. Tím je zajištěno, že celá plocha je naimpregnována a chráněna rovnoměrně. Přípravek se převážně nanáší bezvzduchovým stříkáním (airless) na beton, u menších ploch je možné nanášet štětcem, válečkem z jehněčí kůže nebo stěrkou.

Obvykle postačuje na impregnaci jediný nános výrobku. V závislosti na savosti podkladu jsou možné v jednom pracovním pochodu nánosy do 400 g/m^2. Pokud je to nutné, může následovat druhý nános, zpravidla je ale nános 200 g/m^2 u hutného kvalitního betonu více než postačující. S kapalnými výrobky je možné nanést toto množství impregnačního prostředku většinou až po třech a více aplikačních krocích.

HLOUBKA PRONIKNUTÍ

Hydrocreme je koncipován tak, aby účinná látka pronikla do betonu co možno nejhlouběji, a tímto způsobem je nastavena optimální ochrana proti absorbci vody a škodlivých látek i proti škodám způsobeným posypovou solí a mrazem. Neobvyklá hloubka proniknutí krému je dána konzistencí produktu (je zaručena dlouhá doba kontaktu silanové účinné látky a betonu) a vysokou koncentrací účinné látky. Vedle koncentrace účinné látky a množství nánosu je hloubka proniknutí závislá na kvalitě betonu.

Po zpracování se naimpregnované plochy opticky výrazně odlišují bílou krémovitou vrstvou od nechráněného betonu, což umožňuje optimální kontrolu rovnoměrnosti nánosu impregnačního prostředku. Tloušťka impregnační vrstvy je kontrolovatelná. Podle kvality betonu a množství nánosu pronikne účinná látka do betonu během 30 min. až několika hodin a mléčně bílá krémová vrstva zmizí úplně a beze zbytku.

Následné nátěry ploch jsou bezproblémové, jako je tomu u běžných kapalných impregnačních prostředků. Při naneseném množství 200 g/m^2 proniká hydrofobní účinná látka tak hluboko, že se zredukuje kapilární absorbce o více než 80 % v hloubce až 3 mm. Stanovení jakosti hydrofobní impregnace ve studii SVÚOM, s. r. o., je založeno na principu elektrické vodivosti zkušebního elektrolytu vnikajícího do porézní silikátové matrice [4]. Dle zkušební metodiky se za vyhovující jakost hydrofobní impregnace považuje stav, kdy celková naměřená hodnota v době měření 90 min. nepřekročí 300 mV. Z grafu na obr. 2 je zřejmé, že hodnoty naměřené u Hydrocreme C a Imesta IW 290 jsou hluboko pod touto hranicí.

Literatura:
[1] *Matoušek M., Drochytka R.:* Atmosférická koroze betonu, IKAS Praha, 1998
[2] *Šmerda a kol.:* Životnost betonových konstrukcí. ČKAIT Praha, 1999
[3] Firemní materiály WACKER-CHEMIE a IMESTA
[4] SVÚOM, s. r. o.: Ověřování životnosti hydrofobních impregnací silikátových materiálů v závislosti na působení znečišťujících složek atmosféry, Studie zpracovaná v rámci řešení VZMSM 2579478701, Prof. Ing. Vladimír Číhal, DrSc., 2004 – 2005

ZÁVĚR

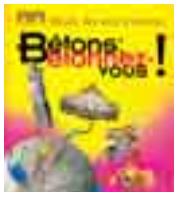
Dá se předpokládat, že popsané produkty změní ochranu betonu v příštím období.

Výsledky testování ve studii [4] potvrzují vhodné vlastnosti popsaných produktů k ochraně betonu. Z celkem dvaceti testovaných výrobků vyhověl Hydrocreme C nejlépe, přípravek Imesta IW 290 byl na 2. až 3. místě.

Pojmy „hydrofobizace" a „impregnační krém" se stanou v budoucnosti ochrany betonu směrodatnými pro úspěšný koncept sanace a konzervace.

Jiří Samec
IMESTA, spol. s r. o.
tel.: 487 870 419
e-mail: imesta@imesta.com

Text článku byl lektorován.



BETON – PŘEKVAPÍ VÁS!

Pokud během léta zavítáte do Paříže, doporučujeme vaší pozornosti výstavu Bétons: étonnez-vous! (Concrete: prepare to be surprised!) Výstava probíhá od konce května v Art et Métiers museum (webové stránky www.arts-et-metiers.net) a bude otevřena až do 5. listopadu t. r. Video z výstavy najdete na stránkách www.lafarge.com.

red.