

Zvýšení životnosti betonových konstrukcí pomocí migrujících inhibitorů koroze



Ing. Petr Martínek

Většina investorů požaduje dlouhou a bezproblémovou životnost betonových konstrukcí, avšak málokterí z nich na to kladou důraz již při výstavbě, zejména s ohledem na počáteční investice. Během provozu a někdy už i během výstavby se začnou objevovat první problémy, které častokrát již není tak jednoduché řešit běžně dostupnými metodami. A právě zde se otevírají možnosti pro aplikace speciální stavební chemie (povrchově aplikovaných inhibitorů koroze), která dokáže dlouhodobě stabilizovat betonové konstrukce a zvýšit jejich životnost.

Degradace betonu a škody způsobené korozí

Beton byl nejrozšířenějším stavebním materiálem v minulém století a bude jím i v tomto století. Lokální dostupnost jeho složek (jako je kamenivo a cement) snadné tvarování a vysoká pevnost v tlaku, představovaly nejlepší alternativu při výstavbě nových konstrukcí. Jelikož tento umělý kámen nemohl poskytnout dostatečnou pevnost v tahu, museli stavební inženýři zabudovat ocel, čímž překonali tento nedostatek. Nástup železobetonu vedl k inovativnímu použití pro všechny typy konstrukcí a stal se materiálovou volbou číslo jedna pro architekty i stavitele. Ke znepokojení všech se však zjistilo, že koroze oceli může představovat velký problém trvanlivosti těchto konstrukcí. Přestože cementový tmel poskytuje výztuži fyzickou ochranu a vysokou úroveň alkalického prostředí ji udržuje v pasivovaném stavu, koroze výztužné oceli se dříve či později projevila na téměř každé konstrukci.

Za posledních 50 let se jako nejvýznamnější příčina poškození železobetonových konstrukcí objevuje koroze. Kromě značných nákladů na rekonstrukce zvyšuje vynaložené náklady i samotná ztráta možnosti užívat poškozenou konstrukci. S ohledem na hlavní sektory infrastruktury, veřejných služeb, dopravy, zpracovatelského průmyslu a státní správy jsou celkové roční náklady na opravy související s korozí po celém světě větší než 1,9 bilionu EUR, což odpovídá neuvěřitelným 3 % světového HDP. Opravy korozí poškozených železobetonových konstrukcí, jako jsou silnice, mosty, přímořské stavby, průmyslové budovy, komerční a obytné budovy, představují významný podíl výše uvedených nákladů.

Koroze ocelové výztuže

Koroze může být definována jako přeměna čistého kovu (zde oceli) na jeho stabilnější oxidy, za účasti kyslíku a vody. Tyto elektrochemické reakce probíhají na dvou odlišných místech na kovovém prvku, anodě a katodě (tab. 1).

Anodická reakce	Katodická reakce
$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$	$2e^{-} + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2OH^{-}$

Tab. 1 - Elektrochemická reakce na kovovém prvku

Beton poskytuje přirozený štít, který chrání ocelovou výztuž před korozí. Vysoce alkalické prostředí vytvářené cementovým tmelem kolem výztuže vede k vytvoření pasivní vrstvy na povrchu oceli. Tato pasivní vrstva je tvořena nepropustnými oxidy a zabráňuje dalším korozním reakcím udržováním kyslíku a vody mimo povrch výztuže. Tento způsob ochrany je funkční tak dlouho, dokud přetrvává vysocí alkalické prostředí. Avšak tento pasivní stav nemůže být v průběhu času zachován v důsledku procesů, které se v betonu přirozeně vyskytují. Karbonatace betonu, způsobená reakcí betonu s atmosférickým oxidem uhličitým, snižuje alkalitu cementového tmele. V chloridy kontaminovaném prostředí pronikají chloridové ionty difúzí skrz beton k povrchu oceli. Chloridy narušují pasivní vrstvu, což vede ke korozi. Jakmile dojde k porušení pasivní vrstvy, iniciují se korozní reakce, které způsobují rychlé poškození výztuže. Vlhkost betonu a přítomnost kyslíku jsou předpoklady pro pokračování elektrochemických reakcí. V závislosti na rychlosti koroze ztrácejí výztužné pruty soudržnost s betonem. Ztráta soudržnosti a průřezové plochy výztuže ohrožují integritu konstrukce.

Použití silanů v ochraně betonu

Přestože koroze výztužných prutů je výsledkem složitých chemických reakcí, lze poměrně jednoduchým způsobem tyto reakce potlačit. Rychlost koroze lze zpomalit a pasivní vrstvu na povrchu oceli lze stabilizovat omezením průniku vody a chloridových iontů do betonové konstrukce. Pasivní vrstvu kolem výztužných prutů lze obnovit zvýšením elektrického odporu.



Obr. 1 - Vlevo neošetřený povrch betonu, smočený vodou. Vpravo povrch betonu ošetřený silanovou hydrofobní impregnací. Zdroj BASF

ru betonu. Silany se používají už více než tři desetiletí k zajištění nízké vlhkosti betonu a také pro jeho ochranu před škodlivými účinky chloridových iontů. Velmi malá velikost silanových molekul napomáhá jejich hlubokému průniku do betonu, kde prostřednictvím křemičitých struktur vytvářejí chemické vazby s hydratovanými složkami cementu. Po reakci s betonem odpuzují silanové molekuly vodu a brání chloridovým iontům v průniku do betonu (obr. 1). Stávající vlhkost betonu se dále snižuje odpařováním otevřenými póry.

Inhibitory koroze výztuže

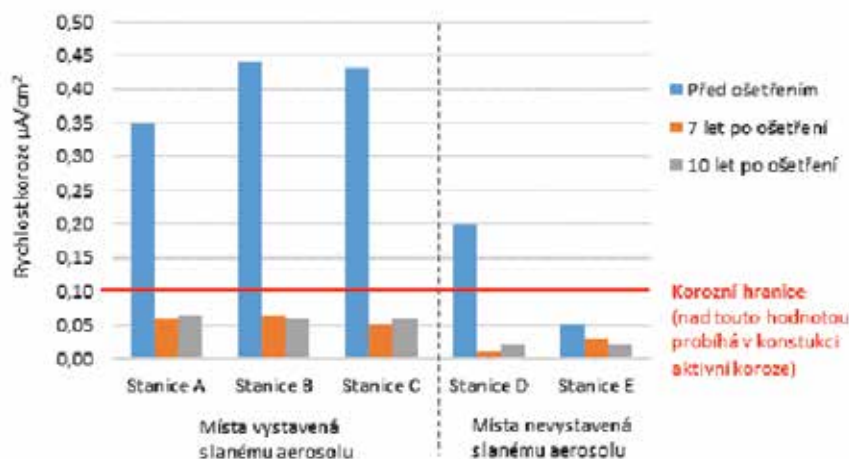
V minulém století bylo vyvinuto několik metod na zmírnění koroze výztuže. Nejúčinnějším způsobem, jak zabránit korozi kovových konstrukcí (např. ocelových potrubí a nádrží), jsou elektrochemické metody, zejména tzv. katodická ochrana. Aplikace katodické

ochrany v železobetonových konstrukcích je však značně problematická. Je nejenom nákladná, ale navíc musí být zavedena přísná pravidla jejího provozu a monitorovací postupy po celou dobu životnosti konstrukce. Vzhledem k těmto omezením, pracovali odborníci na nových řešeních a vyvinuli nové typy inhibitorů koroze oceli. Tyto inhibitory jsou chemické sloučeniny, které zabraňují korozi výztuže. Existuje několik způsobů, jak dopravit inhibitory na povrch výztuže uložené v betonu. Inhibitory koroze mohou být jednak přidány ve formě přísad do čerstvého betonu. Tato metoda je však omezena pouze pro nové konstrukce. V evropském stavebnictví tvoří sanace stávajících železobetonových konstrukcí velkou část aktivit ve stavebnictví. S ohledem na tuto skutečnost byly vyvinuty různé typy inhibitorů koroze aplikovatelných na povrch vytvrdlého betonu za účelem zastavení probíhající koroze výztuže.

Na základě provedeného výzkumu v posledních dvou desetiletích se podařilo spojit silany a vybrané inhibitory koroze a vyvinout tak nový typ inhibitoru koroze aplikovatelného na povrch betonu, pod názvem MasterProtect 8000CI. Tento produkt je čirá kapalina s kombinací silanů a vybraných inhibitorů koroze a je navržen tak, aby zastavil korozní procesy v železobetonových konstrukcích bez ohledu na podmínky okolního prostředí. Silanová technologie umožňuje hlubokou penetraci inhibitoru do betonu a vytvoření chemické vazby s vysokou odolností proti alkalickému prostředí, což vede k dlouhému působení. Četné laboratorní testy a terénní průzkumy ukázaly, že MasterProtect 8000CI je vysoce efektivní při zastavení obou typů koroze, způsobené chloridy i karbonatací betonu. Zatímco silanové složka zaručuje vysokou vodoodpudivost, tedy vyloučení penetrace vody a chloridových iontů do betonu, vybrané inhibitory zastavují korozní reakce a pomáhají obnovit pasivační vrstvu na ocelové výztuži. Toto zdvojené působení proti korozi výrazně



Obr. 2 - Budova muzea Fundació Joan Miró s prefabrikovanými fasádními prvky natřenými na bílo. Zdroj www.fmirobcn.org



Obr. 3 - Rychlost koroze před a po ošetření MasterProtect 8000 CI. Zdroj BASF

prodlužuje životnost a bezúdržbový provoz konstrukce a zároveň snižuje náklady v případě sanace.

Účinnost v praxi

Budova muzea Fundació Joan Miró v Barceloně (obr. 2) byla postavena v roce 1975 a následně v roce 1985 rozšířena. Fasádní prvky budovy jsou vyrobeny z prefabrikovaného železobetonu a natřeny na bílo, čímž se imituje vzhled betonu vyrobeného z bílého cementu. Kvůli relativně nízké kvalitě betonu a blízkosti středomořského moře bylo na různých místech konstrukce pozorováno poškození korozí výztuže. Zvláště vnější stěny trpěly silnou korozí a odpadáváním betonu. Jelikož se toto poškození postupně rozšiřovalo, připravil se plán obnovy tak, aby se zabránilo dalšímu rozvoji koroze a aby se zastavila koroze v oblastech, kde již aktivně probíhá. Počátkem roku 2005 byla provedena důkladná diagnostika konstrukce. Na vybraných částech budovy byly nainstalovány měřicí stanice, které zaznamenávaly rychlost koroze. První hodnoty byly naměřeny již v roce 2005 a zaznamenány jako počáteční podmínky před opravou budovy.

Na základě rychlosti koroze měřené na jednotlivých bodech byly pro projekt navrženy dva technologické postupy sanace.

- Velmi poškozené oblasti s viditelným poškozením - odstranění betonu kolem výztuže, čištění a ošetření výztuže, reprofilace povrchu opravou maltou, nanesení ochranného akrylátového nátěru.
- Mírně poškozené oblasti (bez viditelného poškození, ale s korozní rychlostí $> 0,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ - odstranění nátěru, povrchová aplikace inhibitoru koroze MasterProtect 8000 CI a následná obnova akrylátového nátěru.

Opravné práce byly provedeny v květnu 2005 v souladu s projektem. Mírně poškozené oblasti byly ošetřeny MasterProtect 8000 CI.

V následné monitorovací fázi projektu byla na měřicích stanicích uskutečněna opětovná měření rychlosti

koroze výztuže. Měření provedená v říjnu 2007 a v únoru 2013 ukázala dramatický pokles rychlosti koroze v oblastech, které byly ošetřeny inhibitorem. Poslední měření byla provedena v roce 2015 a naměřené hodnoty potvrdily aktivní ochranu výztuže i po 10 letech od aplikace inhibitoru. Počáteční rychlosti koroze a měření po 7 a 10 letech po aplikaci jsou znázorněny na obrázku 3.

Jak je zde vidět, i deset let po ošetření inhibitorem koroze MasterProtect 8000 CI je stavba Miró Foundation aktivně chráněna proti korozi, a to dokonce i v místech působení agresivního slaného aerosolu. Díky takto významnému potlačení koroze se předešlo nákladné sanaci a životnost této památkově chráněné budovy byla prodloužena.

Ekonomické řešení: stavba Torres Blancas

Prodloužení životního cyklu staveb je jedním z hlavních cílů inženýrů v 21. století. Tento fenomén pomáhá nejen při utváření udržitelné budoucnosti, ale také snižuje náklady na údržbu v průběhu životního cyklu, čímž významně zlepšuje ekonomickou bilanci stavby. Projekt sanace bytového komplexu Torres Blancas v Alicante ve Španělsku (obr. 4) měl za cíl prodloužit jeho životnost. Dvě vícepatrové obytné budovy, postavené v roce 1970, se tyčí nad oblíbenými plážemi středomořského moře. Konstrukce sestává z 6 500 elegantních železobetonových prefabrikátů, které pokrývají fasády.

Silné větry od Středomořského moře nesou značné množství solí, což vede ke korozi a způsobuje vážné škody. Když architekti posuzovali standardní sanační metody, čelili znepokojivé pravdě, tedy že všechny panely budou muset být nahrazeny novými. Po několika měsících hledání alternativních metod sanace byla akceptována aplikace inhibitoru koroze MasterProtect 8000 CI. Dle navrženého řešení se silně poškozené panely nahradily novými a méně poškozené panely byly ošetřeny inhibitorem koroze Mas-

terProtect 8000 CI. Tímto postupem se celkové náklady na renovaci snížily o více než 40 %. Díky rychlé a snadné aplikaci inhibitoru se také ušetřilo několik měsíců, které by byly potřebné pro výměnu panelů.

Závěr

Uvedené příklady aplikace inhibitoru koroze MasterProtect 8000 CI poukazují na možnosti využití moderních technologií v současné době, která je někdy až příliš zaměřená na ekonomické aspekty a efektivitu. Ne vždy se ale posuzují konstrukce, a hlavně jejich provoz, s ohledem na předpokládané dlouholeté využívání a náklady s tím spojené. Právě zde je místo pro opodstatněné kalkulace a zkušenosti, díky kterým je možné ušetřit značné finanční prostředky na údržbu a sanaci betonových konstrukcí použitím jednoduchých, ověřených a trvanlivých řešení. Ale jako vždy platí, není všechno zlato, co se třpytí, a také na poli inhibitorů koroze existuje velké množství technologií, které nejsou stejně účinné, a proto je dobré vždy požadovat od dodavatelů zkoušky účinnosti snížení rychlosti koroze vycházejících z reálných měření, nejlépe na základě nezávislých testů renomovaných institutů. Použití inhibitoru koroze na bázi silanů MasterProtect 8000 CI opakovaně prokázalo svoji efektivitu při sanaci a údržbě betonových konstrukcí i v agresivním prostředí.



Obr. 4 - Rezidenční komplex Torres Blancas v Alicante. Zdroj BASF

Použité zdroje

1. Borralleras Mas, P., Optimalizace nákladů na údržbu v konstrukcích ošetřených migrujícími inhibitory koroze, Kongres REHABEND 2014.
2. Bertolini, L., B. Elsener, Pedferri P., Polder R. P., Korze oceli v betonu, 2004 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
3. Interní zdroje BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. ■



Představujeme aplikaci
pro specifikace nátěrových
systémů