

BETONÁŘSKÁ VÝTUŽ

Odborný garant sekce: Ing. Vladimír Urban, CSc

VLASTNOSTI A POUŽITÍ VÝTUŽE S EPOXIDOVÝM POVLAKEM

Prodloužení životnosti železobetonových konstrukcí - povlaková výtuž - technické vlastnosti, soudržnost s betonem - ekonomika - používání povlakové výtuže v zahraničí

1. Trvanlivost železobetonových objektů

Železový beton se stále považuje za trvanlivý konstrukční materiál. Mnoho železobetonových objektů bylo provedeno velmi kvalitně a jejich prakticky bezporuchová použitelnost předčila očekávání původních investorů i pozdějších uživatelů. Nicméně zejména v poslední době se zvyšuje počet zpráv o výskytu poruch popř. havárií, a to nejen v naší zemi. Častou příčinou těchto poruch je koroze výtuže, a to zpravidla z následujících důvodů:

- Znečištění a agresivita prostředí se stále zvyšuje.
- Použití materiálů o vyšší pevnosti vede k výstavbě subtilnějších konstrukcí.
- Ekonomické podmínky nutí stavební firmy ke zkrácení doby výstavby, a to často na úkor kvality stavebního díla.
- Na trhu jsou cementy jiných vlastností než tomu bylo dříve.
- Naše znalosti o prostředí jsou nedostatečné. Návrhové předpisy obsahují požadavky, které nevystihují skutečnou proměnlivost, ale pouze "zprůměrované" vlastnosti prostředí.
- Údržba železobetonových objektů byla zejména u nás naprosto nedostatečná.

2. Úvodní ekonomické úvahy

Do celkových nákladů je nutno započítat jak náklady na výstavbu, tak náklady na údržbu pro zajištění použitelnosti během celé doby životnosti konstrukce.

Dobu existence železobetonové konstrukce lze zhruba rozdělit do čtyř období:

- Konstrukce je poměrně nová. Jakost je zajištěna projektem, provedením, povrchovými úpravami, kontrolou jakosti apod. Vliv prostředí a provozu se dosud nedaří projevit.
- Povrchové vrstvy betonu jsou zkarbonatizovány, popř. zasaženy chloridy nebo jinými agresivními látkami. Stav konstrukce je třeba zlepšovat čištěním povrchu, novými povrchovými úpravami, místním zvětšením tloušťky krycích vrstev apod.
- Karbonátace pronikla až k výtuži, která koroduje a následkem toho se odlupuje krycí vrstva. Pro zajištění požadované životnosti je zapotřebí provést řádnou údržbu a časté opravy, např. odstranění poškozeného betonu, nanášení vysprávkové malty, stříkaného betonu, aplikace ochranných nátěrů a pod.
- Výtuž je silně zkorodovaná, krycí vrstvy jsou na mnoha místech odpadlé, beton je porušen trhlinami. Je nutná zásadní rekonstrukce, zahrnující zejména téměř úplné odstranění staré krycí vrstvy a nanášení nové, částečné, popř. úplné demolice a náhrada poškozených prvků, menších nebo větších částí konstrukce.

Náklady na zajištění jakosti a použitelnosti konstrukce v jednotlivých obdobích A až D stoupají zhruba geometrickou řadou, což lze vyjádřit slovy asi takto: Každá 1 Kč vynaložená v období A odpovídá 5 Kč v období B, 25 Kč v období C a 125 Kč v období D.

Je zřejmé, že pro dosažení očekávané životnosti se vyplatí věnovat náležitou pozornost kvalitě projektu a provádění stavebních prací včetně opatření na ochranu výtuže proti korozi již během přípravných, projektových a prováděcích prací.

3. Metody ochrany výtuže proti korozi

Ochrana výtuže proti korozi se v podstatě zajišťuje dvěma způsoby, a to buď

- nepřímo, tj. kvalitou betonu nebo
- přímo, tj. zvýšením protikorozi odolnosti výtuže, popř. oběma způsoby.

- Ochrany výtuže betonem se docílí
- dostatečnou tloušťkou krycí vrstvy,
- nepropustností betonu krycí vrstvy (nízký vodní součinitel, kvalitní zhutnění, správné ošetření, vhodný obsah cementu atp.),

- použitím vhodných chemických přísad, inhibitorů,
- ochrannými nátěry, popř. speciálními tmely k utěsnění povrchu betonu.

Zvýšení odolnosti výtuže se přímo dosahuje zejména

- použitím nekovových materiálů,
- použitím nerezavějících druhů oceli,
- katodovou ochranou,
- ochrannými povlaky.

Ochranné povlaky jsou jednak anorganické (pozinkování), jednak organické, tj. zejména povlaky PVC a povlaky epoxidové.

4. Epoxidové povlaky

Podstatou této ochrany výtuže je, že se její povrch opatří izolační vrstvou, která brání přístupu agresivních iontů. Izolační povlak v ideálním případě zabrání korozi zcela, popř. je-li povlak nedokonalý, korozivní proces omezí (při příliš tenké vrstvě, při nesouvislém pokrytí apod.), protože katoda je menší (pak ovšem může dojít ke vzniku nebezpečné tzv. důlkové koroze, viz dále).

4.1. Nanášení povlaků

Existuje několik způsobů nanášení, a to zejména:

- Tekutá epoxidová pryskyřice se natírá štětcem, popř. nanáší stříkací pistolí, anebo se noří do vany s pryskyřicí. Tekuté epoxy obsahuje rozpouštědla, která se postupně odpařují a výsledný povlak je pórovitý (molekula rozpouštědla je vždy větší než molekula vody). Místo se tekuté pryskyřice smršťují, před zatvrdnutím stékají ze žebírek. Vrstva na žebírkách je tenká, mezi žebírky naopak tlustá. Průmyslové a komerční použití této metody není známo, využívá se pouze při opravách.
- Nahřátá ocel se protahuje vrstvou epoxidového prášku, který se natavuje na povrchu výtuže. Prášek je buď provzdušněn a chová se jako tekutina, nebo je k oceli přitahován v důsledku opačného elektrostatického náboje. Tato metoda je poměrně nová a první zařízení tohoto typu pracuje na stavbě dánského podmořského tunelu "Storebaelt Eastern Tunnel".
- Epoxidový prášek se nanáší elektrostatickým rozprašováním ve speciální peci (podrobně v článku Ing. Sukeníka), kterou plynule prochází přímé vložky, popř. síť. Tato metoda je dosud nejrozšířenější a uplatnila se při výrobě téměř veškeré povlakové výtuže, která se dosud objevila na trhu. Metoda sestává z následujících postupných kroků, které se v některých podrobnostech liší podle druhu povlakované výtuže, zejména podle její povrchové úpravy (podle tvaru žebírek):

a. Čištění povrchu od mastnoty a nečistot otryskáním ocelovým pískem (drtí), a to až na téměř " bílý " povrch o drsnosti 0,05 až 0,07 mm, do kterého povlak spolehlivě zakotví.

b. Zahřátí oceli na 235 až 240°C, a to zpravidla během plynulého průchodu vložek elektrickou indukční pecí.

c. Elektrostatický postřik. V elektrostatické peci se rozstříkuje epoxidový prášek, který je přitahován k uzemněným povlakovaným vložkám.

d. Tvorba povlaku. Prášek se na horkém povlaku taví, roztéká a gelovatí během asi 5 sekund. Během následujících 25 sekund povlak tvrdne.

e. Ošetření. Následuje řízené ochlazování, a to zpravidla po dobu nejméně 28 sekund vzduchem, pak vodou na teplotu pod 95°C.

f. Kontrola jakosti povrchu. Ověřuje se tloušťka povlaku, přilnavost



Ing. Vladimír Urban, CSc.
Kloknerův ústav ČVUT, Praha

k oceli, díry, dutiny (bubliny), trhliny a poškození. Výskyt malých dutin a děr v povrchu se zjišťuje elektrickými detektory. Větší poruchy se ošetřují tekutou pryskyřicí.

d. Příprava vložek pro expedici. Použitý epoxidový prášek a tekutá pryskyřice na opravy musí splňovat přísné požadavky, přesně stanovené zvláštními předpisy.

4.2. Vlastnosti povlaku

Povlak musí spolehlivě ochránit výztuž před účinkem korozních látek, pokud možno bez zvýšených nároků na údržbu a bez potřeby měnit obvyklé návrhové postupy (výpočetní i konstrukční), a to při současném zachování všech potřebných vlastností konstrukce.

Proto musí metoda ochrana výztuže epoxidovými (ale i jinými) povlaky splňovat následující požadavky:

- Nanášení musí být poměrně snadné a levné.
- Povlak musí být na celém povrchu vložek stejnoměrný,
- musí být dostatečně tvrdý a dostatečně přilnavý, - odolný během dopravy a manipulace,
- musí být pružný a umožnit tvarové úpravy vložek,
- musí vykazovat stálost mechanických vlastností,
- musí účinně vzdorovat korozi po celou dobu životnosti konstrukce.

Vlastnosti se ověřují a na trh přicházejí jen ověřené výrobky. Kontrola jakosti je přesně stanovena národními předpisy a provádějí ji pověřené zkušebny (v USA jde např. o ASTM A 775 a Valley Forge Testing Laboratories).

Výše uvedené požadavky jsou splněny, jestliže prášek je organického složení (pouze pigment může být anorganický, doporučuje se zelená barva, která je kontrastní ke rzi) a pokud vyhoví výsledky náročných zkoušek.

Zkouší se

- kvalita povlaku, a to tloušťka (obvykle mezi 130 až 300 μm , optimální je cca 200 μm), množství děr, dutiny, trhlin, poškození atd.,
- odolnost vůči účinkům chemického prostředí (zpravidla čtyř různých chemických látek, povrch nesmí změkknout, zpuchřovat, nesmí se rozpustit, odchlípnout od výztuže),
- elektrický odpor,
- nepropustnost vůči chloridům,
- odolnost proti porušení při ohýbání (nesmí vzniknout trhliny na vnějším povrchu ohybu),
- soudržnost s betonem (vytahovací zkoušky),
- obrusnost, odolnost proti nárazu a tvrdost

Dosavadní zkušenosti ukazují, že lehké zakalení popř. „zkřídování“ povrchu vlivem slunečního osvětlení nezhoršují vlastnosti povlaku. Nejsou známy ani žádné účinky epoxidu na vlastnosti oceli.

Naproti tomu je zřejmé, že se žebírková výztuž velmi obtížně čistí v okolí kořene podélných i příčných žebírek a právě tam je nejvíce vad povlaku. Soudržnost povlakové výztuže závisí na druhu povrchové úpravy původního materiálu. Ne všechny používané druhy uspořádání žebírek jsou pro aplikaci povlaků stejně vhodné.

4.3. Soudržnost s betonem

Při posuzování soudržnosti se hodnotí jednak mezí napětí (max. síla, pevnost v soudržnosti) při vyťahovacích zkouškách (POT), jednak velikost posunu vložky při stanovených hodnotách síly ve výztuži (vytahovací síly).

Povrchová výztuž má podstatně nižší (téměř žádnou) přilnavost k betonu. Hladké vložky, popř. vložky s vtisky mají proto velmi malou soudržnost (nedostatečnou), a proto se hladké vložky s povlakem nevyrábějí. Epoxidovým povlakem se opatřují pouze vložky se žebírkovým povrchem, kde je soudržnost zajištěna mechanickým opřením žebírek o beton.

Absence přilnavosti ovlivňuje napjatost v blízkosti povrchu vložek a zpravidla zvětšuje radikální i tangenciální složku napětí. Zvyšují se štepné účinky a ovlivňuje se způsob porušení.

Nanesením povlaku se poněkud snižuje výška žebírek. U vložek menších průměrů je výška žebírek poměrně malá (ve srovnání s vložkami velkých průměrů), nanesením povlaku se ještě zmenší a výsledné snížení pevnosti v soudržnosti (odporu proti vytažení) je větší než u vložek velkých průměrů.

Tloušťka povlaku pod 300 μm snižuje pevnost v soudržnosti zpravidla méně než o 20 %. Tloušťka povlaku nad 500 μm snižuje pevnost podstatným způsobem.

Povlaková výztuž vykazuje větší prokluz zejména při nižších hod-

notách napětí ve výztuži (při jejím menším využití) než výztuž bez povlaku. Při vyšším využití výztuže se tento rozdíl snižuje.

Větší prokluz vede u ohýbaných trémových prvků asi k 50 % zvětšení šířky trhlin, ale současně k asi 50 % prodloužení jejich vzdálenosti (než u stejných prvků s výztuží nepovlečenou). Ohybová tuhost (průhyby) trámů se použitím povlakové výztuže prakticky nemění, jisté rozdíly lze očekávat u desek a u deskových trámů (odpovídající zkoušky dosud nejsou k dispozici).

Pevnost styků přesahem (bez trmínek a spon) se snižuje asi o 35 % (při porušení rozštěpením).

Dosavadní poznatky lze shrnout následovně:

1. Epoxidový povlak snižuje pevnost v soudržnosti, a to při porušení protažením vložky betonem asi o 15 %, při porušení rozštěpením betonu asi o 35 %.
2. Pevnost v soudržnosti může být přitom současně ovlivněna jak průměrem vložky, tak její povrchovou úpravou.
3. Procentuální snížení pevnosti se prakticky nemění při tloušťkách povlaku od 125 do 300 μm .
4. Povlakovou úpravou se zvyšuje šířka a současně vzdálenost trhlin, ale ohybová tuhost (průhyby) trémových prvků se prakticky nemění.

Podle amerických pramenů (uvedených ve /4/) je třeba při použití povlakové výztuže uvažovat

- 50 % prodloužení délky potřebné k přenosu síly z tažené výztuže do betonu, je-li tloušťka krycí vrstvy menší než tři průměry vložky nebo je-li světla vzdálenost podélných vložek menší než šest průměrů, dále je zapotřebí očekávat zvýšený výskyt podélných trhlin a porušení rozštěpením betonu mezi vložkami nebo odštípnutím krycí vrstvy,
- 20 % prodloužení této délky v ostatních případech (ve srovnání se 100 % délkou výztuže bez povlaku),
- součinitel polohy povlakové vložky (např. při horním povrchu prvku) hodnotou 1,7, podle BCA - The British Cement Association - má povlaková výztuž při dolním povrchu průřezu sníženou pevnost v soudržnosti asi o 20 % proti výztuži bez povlaku, zatímco při horním povrchu se snížení pevnosti neprojevuje.

4.4. Vliv teploty

Epoxidový povlak ztrácí své vlastnosti při teplotě cca 200°C. Zatím je však poměrně málo poznatků o tom, jak se chová povlaková výztuž, je-li uložena v betonu. Při zkouškách křížem armovaných desek (s výztuží o výpočtové pevnosti cca 400 MPa jednak povlakovou jednak bez povlaku), které byly vystaveny účinkům požáru asi 4,5 hod se prý rozdíly prakticky neprojevily (přesnější údaje nejsou k dispozici).

Při vyťahovacích zkouškách (typu POT) za teploty 110 až 370°C (výztuž o průměru 19 mm) však byla pevnost v soudržnosti bezpovlakových vložek asi o 20 % větší. Současně se však zjistilo, že dosažené napětí v povlakových vložkách bylo vyšší než hodnota meze kluzu, která by odpovídala zkušební teplotě (bližší podrobnosti o uspořádání zkoušek nejsou zatím k dispozici). Současně byl zaznamenán rozdíl v hodnotách prokluzu. Zatímco u vložek bez povlaku k prokluzu nezátíženého konce vůbec nedošlo, u povlakových vložek byl až do teploty 150°C prokluz zatíženého i nezátíženého konce vytažované vložky téměř stejný (zřejmě v důsledku změkknutí, popř. tavení povlaku), při teplotách od 260° do 370°C byl pak posun zatíženého konce dvojnásobný. K těmto posunutím došlo následkem změkknutí povlakové vrstvy.

4.5. Zatížení na únavu

Ze zkoušek provedených na excentricky zatěžovaných tělesech (náhrada trémových zkoušek) s výztuží nepovlečenou v surovém stavu (VNS), s výztuží nepovlečenou očištěnou pískovým otryskáním (VNO) a s výztuží s epoxidovým povlakem (VEP) vyplynulo (viz /4/):

1. V oblasti provozních zatížení byl prokluz téměř nezávislý na druhu povrchové úpravy.
2. Během prvních zatěžovacích cyklů došlo k největšímu prokluzu u VEP, k nejmenšímu prokluzu u VNO. Se zvětšujícím se počtem cyklů se rozdíly prokluzu různých výztuží postupně zmenšovaly.
3. Při aplikovaném procesu zatěžování (v oblasti provozních zatížení) se do realizovaného počtu zatěžovacích cyklů (1,4 · 10⁶) rozdíl v pevnosti v soudržnosti neprojevil.

Při jiných únavových zkouškách (BCA, viz odst. 4.3. výše) se pozorovalo, že prvky s povlakovou výztuží vykazaly postupné zvětšení šířky trhlin (asi o 20 až 60 % podle amplitudy zatěžování) a jen malé zvětšení průhybů (o 5 až 10 %).

4.6. Řezání, ohybání a svařování

Z ekonomických důvodů se v pecích nanášejí povlaky na přímé pruhy a veškeré tvarové úpravy se provádějí dodatečně.

Při stříhání vložek dochází k místnímu odloupení epoxidových vrstev. Poškozená místa se musí natřít tekutou pryskyřicí.

Ohybání se provádí při teplotě 12 až 15°C. Při nižší teplotě je povlak příliš křehký, vyšší teplota nepřináší žádné výhody. Válečky a vřetena (jádra, trny) musí být z měkkého materiálu (ne z kovu), např. ze dřeva apod., podobně pracovní plochy stolů, ohybaček apod.

Opravy povlaků na staveništi jsou nespolehlivé a doporučuje se je provádět před uložením do skladu, popř. do bednění.

Při svařování vznikají škodlivé výpary a je třeba dbát na hygienická opatření. Při svařování plynem a na tupo je třeba odstranit veškerý povlak ze styčných ploch a předejít tak následnému křehkému porušení. Při svařování obloukem se povlak odstraňovat nemusí.

4.7. Manipulace, opravy

Povlaková výztuž vyžaduje opatrné zacházení. Je nutné vyloučit přímý dotyk povlaku s tvrdými, zejména s kovovými předměty, zabránit odírání, vláčení vložek apod.

Při ukládání se vložky nemají poškrábat, např. během dopravy ve svazcích apod. Je třeba používat speciální závěsná zařízení bránící průhybu vložek ve svazcích. Doporučuje se používat plastové úchyty a lana s bandážemi. Výztuž se má ukládat na dřevěné podložky s dřevěnými zarážkami na omezení sesuvu svazků a v krátké vzdálenosti, aby se svazky neprohýbaly. Nedoporučuje se dlouhodobé skladování (např. do příští sezóny). Je nezbytné používat vazací drát s povlakem (doporučuje se povlak PVC), popř. plastové spojovací prvky. Musí se omezit pochoz po položené výztuži, musí se předcházet poškození následkem pádu nářadí, pojezdu dopravních prostředků a poškození povlaku nešetřným ukládáním betonové směsi.

Jakost povrchu se musí kontrolovat nejméně dvakrát, a to jednak bezprostředně po dodávce, jednak těsně před zabetonováním. Při provádění oprav se postupuje podle zvláštních předpisů, ve kterých je stanoveno, kdy se opravy provádějí a jak (podle americké normy ASTM nesmí celková plocha poškození překročit 2 %, podle britských předpisů pouze 1 % z celkové plochy povlaku výztuže atd.). Čištění poškozených míst se provádí drátěným kartáčem a smirkovým papírem. Opravené místo je vždy méně odolné proti korozi, a proto je žádoucí poškozenou plochu čištěním neztvrdit. Při opravách je nezbytné dodržovat poměry míšení, dobu zpracovatelnosti, dobu tvrdnutí opravného nátěru a bezpečnostní a hygienické předpisy.

4.8. Chování povlakové výztuže v betonu

Výčet požadovaných vlastností povlaků je uveden výše. Tyto vlastnosti musí být zaručeny po celou dobu životnosti konstrukce.

V silně alkalickém prostředí okolního betonu musí být povlak trvale odolný, nesmí změkknout, nesmí se od výztuže odloupnout. Zatím nejsou k dispozici téměř žádné údaje o dlouhodobých účincích alkalického prostředí. Z dostupných zkoušek je však zřejmé, že povlak působí jako izolant a je-li povlaková vrstva neporušena, nemůže k elektrochemickému procesu dojít (povlaková výztuž nepůsobí jako elektroda). Poškozené místo však může působit jako katoda, zejména je-li v blízkosti anody. Rozsah poškození určuje intenzitu elektrochemického procesu.

Jestliže existuje vodivé prostředí mezi povlakovou a bezpovlakovou výztuží (v USA a v Kanadě bylo v 80. letech např. obvyklé používat povlakové rohože pouze při horním povrchu např. mostních desek, při dolním povrchu nikoliv). Je reálné nebezpečí vzniku macro článku (existuje-li aktivní (anoda) a pasivní (katoda) zóna, vodivé prostředí mezi anodou a katodou, kyslík u katody).

Podmínky jsou pro vznik elektrochemické koroze obzvláště příznivé, pokud je povlečená výztuž v mokřém betonu, obsahuje-li přitom beton chloridy a je-li nepovlečená výztuž současně v betonu suchém, dostatečně zásaditém. Pak stačí i jen malá poškození povlaku ke vzniku elektrochemického procesu.

Dosavadní výsledky výzkumů naznačují, že v takovém případě je lokální proces koroze až desetkrát intenzivnější, než při výhradním použití obyčejné výztuže bez povlaku. O účinnosti epoxidových povlaků v prostředí zkarbonatizovaného betonu zatím nejsou k dispozici prakticky žádné informace. Zkušenosti z USA ukazují, že se použitím

povlaků podstatně zmenšil výskyt poškození konstrukcí korozi při působení chloridů (např. na mostech vystavených účinku rozmrazovacích solí).

Ze srovnávacích studií vyplynulo, že ochrana výztuže epoxidovými povlaky

- je účinnější než kvalitní, dobře zpracovaný beton, než speciální beton (např. s přísadou latexu), než ochranný povrchový systém,
- je při krátkodobém (do 35 let) působení prostředí svou účinností srovnatelná s ochranou výztuže pozinkováním,
- je trvanlivější než pozinkování.

Epoxidovými povlaky se následkem ztráty přilnavosti zásadně ovlivňuje mechanismus spolupůsobení s betonem a soudržnost je zajištěna téměř výhradně mechanickým opřením žebírek. Problematiká je kontrola a záruka jakosti. Doporučuje se některé předpisy zpřísnit, např. pro odolnost proti vzniku trhlin při ohybání, je zapotřebí užít přípustné tolerance tloušťky povlaku, atd.

4.9. Trhliny v betonu a v povlaku

- Praktické zkušenosti i výsledky laboratorních zkoušek ukazují, že
- epoxidové povlaky podstatně snižují výskyt a míru koroze výztuže v trhlinách betonových prvků, a to do tloušťky cca 0,38 mm asi na čtvrtinu (proti výztuži bez povlaku). Při tloušťce trhlin do 0,05 mm se koroze povlakové výztuže prakticky nevyskytuje vůbec (u bezpovlakové výztuže asi kolem 13 %),
 - opakované zatížení může způsobit drobná poškození, a to zejména na žebírkách, což může způsobit místní korozi,
 - dlouhodobé a opakované zatěžování může způsobit, že se pryskyřice vytlačí z míst s vysokým napětím, např. před příčnými žebírky. V těchto místech se pak koncentrují ionty chloridu a vzniká nebezpečí důkové koroze.

Trhlinami v povlaku mohou k výztuži proniknout korozní látky, dochází k jejich místní koncentraci, k následné korozi a k místnímu zmenšení vzdorujícího průřezu vložky. Tím může vzniknout nebezpečí křehkého porušení. Zatím se zdá, že nebezpečí takové koroze nehrozí, nedosahuje-li rozsah a míra poškození povlaků hodnot, které jsou stanoveny v platných předpisech.

4.10. Trvanlivost epoxidových povlaků

Krátkodobé zkoušky trvanlivosti buď probíhají nebo se jejich výsledky teprve zpracovávají.

Uvedené poznatky jsou odvozeny z výsledků sledování skutečných konstrukcí, a to zejména mostů v USA, které byly vystaveny teprve před necelými dvaceti roky.

Tak např. v Pensylvánii z celkového počtu 22 mostovek po asi 10 letech provozu nevykazovala žádná z 11 konstrukcí s povlakovou výztuží žádné příznaky napadení korozi. Naproti tomu nepovlečená výztuž ve 4 ze zbývajících 11 mostů byla zkorodovaná.

Při stavebně technických průzkumech mostů v USA však byly zjištěny případy silného korozního poškození, a to zejména následkem nedostatečné kvality povlaků. Tyto mosty stojí přes 10 let v extrémních podmínkách poměrně vysoké teploty, vlhkosti a vysokého obsahu chloridů. Poškození jsou největší nad úrovní hladiny přílivu. Zjistilo se, že povlaky byly porušeny trhlinami a že nebyly dostatečně přilnavé k výztuži při ohybových zkouškách. Koroze se pak od trhlin šířila pod povrchem po celé délce vložek. Tloušťka krycích vrstev byla vesměs nedostatečná a nespĺňovala požadavky předpisů.

Z dílčích poznatků lze dospět k závěru, že trvanlivost povlakové úpravy je určena zejména kvalitou povlaků, kvalitou provedení celé konstrukce a přísnou kontrolou jak výztuže, tak projektu a vlastního provádění stavby. Ukázalo se, že k poruchám dochází zejména při současném výskytu více nepříznivých činitelů, k nimž nutno zahrnout i působení povětrnosti před uložením betonové směsi a zvětšenou šířku trhlin při propařování.

Dosavadní, i když poměrně krátkodobé zkušenosti ukazují, že epoxidové povlaky samy o sobě neposkytují absolutní záruky dlouhodobé odolnosti proti korozi,

- nejsou-li splněny další požadavky, a to zejména na dostatečnou tloušťku krycí vrstvy a na správně zpracovaný beton,
- není-li zaručena přísná kontrola jakosti povlaků a nejsou-li poruchy před betonáží odstraněny.

4.11. Praktické zkušenosti a potřeby

K prvnímu rozsáhlému použití výztuže s epoxidovým povlakem se přistoupilo v roce 1973 při stavbě mostu v Pensylvánii. Na trhu se jednolité povlakové vložky objevily v roce 1976, první síť s povlakem v roce 1984. Americká norma pro použití povlakových vložek vyšla

v r. 1981, podobná norma pro použití povlakových sítí se zpracovává. V poslední době byly vydány další národní normy, např. německá, švýcarská, britská atd.

V Německu směřuje vývoj k použití epoxidových povlaků na jednotlivých vložkách, zatímco na sítě se zřejmě dá přednost povlakům PVC.

Zatímco některé dosavadní zkušenosti jsou uvedeny v předchozím odstavci, postrádají se dosud dostatečné znalosti

- o pevnosti v soudržnosti při opakovaném zatížení,
- o pevnosti stykování přesahem při opakovaném zatížení,
- o účinku příčných trmíků z povlakové výztuže na soudržnost nosných vložek,
- o vlivu současného výskytu trhlin v betonu, opakovaného zatěžování a korozního prostředí na soudržnost,
- o vlivu těchto činitelů při současném působení zvýšené teploty na tenkostěnné konstrukce, např. chladících věží.

Požaduje se zahájit vývoj vhodného materiálu použitelného k povlakům trmíků a spon.

Zatím nejsou k dispozici vyčerpávající informace o jakosti povlaků v okolí svarových spojů v sítích, o vlivu jakosti povlaků na soudržnost a kotvení, o dlouhodobém vlivu počasí a ultrafialového záření na jakost povlaků, o vlivu trhlin v betonu na korozi a soudržnost atd.

4.12 Použití povlakové výztuže v různých státech

Největší spotřeba povlakové výztuže je ve Spojených státech. V 70. letech činila roční spotřeba cca 1 000 tun, v roce 1987 již cca 180 000 tun, tj. 5 až 7 % celkového ročního odbytu výztuže. Očekává se, že v krátké době dosáhne spotřeba 250 000 tun za rok.

V Kanadě se hlásí prudký nárůst spotřeby, ale přesná čísla nejsou k dispozici. Jen při stavbě známého mostu ve Vancouveru se spotřebovaly 4 000 tun povlakové výztuže. Ve státě Ontario platí závazný předpis používat při horním povrchu mostovek výhradně povlakovou výztuž.

Na středním východě se spotřebovává cca 30 000 tun za rok.

Údaje o spotřebě povlakové výztuže v jiných státech se nepodařilo získat, nicméně se zvyšuje počet závazných předpisů, podle nichž nelze v některých případech použít žádnou jinou výztuž než odolnou proti korozi. Tak ve Spojeném království (UK) jde o části konstrukcí mostů, přístavních zařízení, o sila a o objekty chemických provozů, potrubí, vodárny apod. V Nizozemí a ve Skandinávii bylo vystavěno několik zkušebních objektů. V Dánsku se povlaková výztuž používá při stavbě tzv. Východního mostu, zatímco na výstavbu tzv. Východního tunelu se spotřebovalo 20 až 26 tisíc tun.

4.13. Cenové údaje

Při hodnocení hospodárnosti výdajů je třeba vzít v úvahu celkové náklady, zahrnující i náklady na údržbu a opravy. Zahraniční zkušenosti ukazují, že i eventuelní dvojnásobné výdaje na povlakovou výztuž (ve srovnání s náklady na tradiční výztuž bez povlaku) jsou dobrou investicí. Ve spojených státech se v podmínkách tvrdé soutěže uplatňuje povlaková výztuž i při ceně o 40 až 70 % vyšší než za obyčejnou výztuž.

V Evropě se zatím povlaková výztuž tolik nepoužívala a k dispozici jsou jen informativní údaje.

V UK je průměrná cena povlakové výztuže asi 2,1 krát vyšší. Záleží však na druhu a na průměru výztuže (vložky menších průměrů jsou dražší (asi 2,8 až 3,3 x) než průměrů větších (1,2 až 1,5 x)).

V UK se použitím povlakové výztuže zvýšila celková pořizovací cena

silničních a železničních mostů zhruba o cca 1,5 % (povlaková výztuž pouze při horním povrchu), cena objektů s chemickým provozem o cca 3 % (veškerá výztuž je povlaková).

Z rozborů provedených v USA vyplývá, že

- lze očekávat významný nárůst spotřeby povlakové výztuže, protože se hospodárnost jejich použití i při zvýšené pořizovací ceně jasně prokázala,
- lze očekávat zvýšenou spotřebu povlakové výztuže z jednotlivých vložek i z výztužných sítí,
- povlaková výztuž podstatně prodlužuje životnost mostů, parkovišť, průmyslových objektů s chemickým provozem, chladících věží apod.

5. Závěr

Epoxidový povlak výztužných ocelí je zatím nejrozšířenějším z možných opatření protikorozní ochrany výztuže, kterým se podstatně prodlužuje životnost železobetonových konstrukcí.

Úspěšnost použití povlakové výztuže je podmíněna kvalitou provedení povlaku, kvalitou projektu a stavebních prací a dále přísnou kontrolou jakosti a dodržování předpisů. Použití povlakové výztuže v žádném případě nesnižuje nároky na jakost stavebních prací ani neumožňuje žádné úlevy v dodržování norem a obvyklých prováděcích předpisů.

Dosavadní zkušenosti ukazují, že zvýšené pořizovací náklady (o 1,5 až 3 % z celkové pořizovací ceny) se vyplácejí, protože se podstatně snižují náklady na údržbu a rekonstrukce a snižuje se riziko poruch a havárií. U nás se povlaková výztuž zatím nevyrábí a v podstatě nepoužívá, k dispozici nejsou ani národní směrnice pro návrh a provádění.

Poznámka: V příštích číslech časopisu BETON A ZDIVO budou čtenáři postupně seznámeni s některými zahraničními předpisy a normami pro navrhování a pro provádění betonových konstrukcí s povlakovou výztuží.

Literatura:

/1/ CEB bulletin No. 148 - "Durability of Concrete Structures". State of Art Report, February 1982

/2/ CEB bulletin No. 152 - "Durability of Concrete Structures". Workshop Report, April 1984

/3/ CEB bulletin No. 182 - "Durable Concrete Structures". CEB Design Guide, 2. edition, June 1989

/4/ CEB bulletin No. 211 - "Protection Systems for Reinforcement". State of Art Report, February 1992

Ing. Vladimír Urban, CSc.,

Znalec z oboru stavebnictví, autorizovaný inženýr v oborech pozemní stavby, zkoušení a diagnostika.

Obor činnosti:

Navrhování, konstrukční zásady, metody vyztužování, standardizace, zkušebnictví, stavebně technické průzkumy, diagnostika, opravy a rekonstrukce stavebních konstrukcí.

PROTIKOROZNÍ OCHRANA BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE ORGANICKÝMI POVLAKY

Způsoby ochrany před korozním napadením staveb - betonářská výztuž s povlakem z práškových plastů - způsob výroby - povlečená výztuž při přepravě - skladování - ohýbání a spojování

V poslední době se stále častěji objevuje problematika působení povětrnosti na životnost železobetonových staveb. Často dochází v extrémních podmínkách až k desetinásobnému snížení životnosti oproti předpokladu. Jednou z hlavních příčin je vliv koroze ocelové výztuže-dle ocelářské terminologie betonářské žebírkové oceli (dále BŽO).

Oxidy železa vznikající při korozi zaujímají větší objem než původní BŽO, což vede ke vzniku prasklin v okolním betonu. Tím dochází k zvýšenému průniku korozního média k povrchu kovu a k dalšímu urychlení koroze. Beton dále rozpraskává a pevnost stavby se snižuje.

Vznik koroze BŽO je způsoben zejména porušením pasivačního

povlaku oceli. Alkalita betonu dosahuje obvykle hodnot pH 12-13. Toto prostředí je vhodné pro vznik pasivačního povlaku na oceli.

Působením např. vzdušného CO₂ nebo působením kyselých dešťů dochází však k neutralizaci Ca(OH)₂ obsaženého v betonu. Klesne-li alkalita prostředí pod pH 10, je narušena pasivační vrstva a nastává koroze BŽO.

Korozi BŽO vyvolávají také chloridy, které se dostávají do staveb buď užitím kontaminovaného



Ing. Petr Sůkeník
Státní výzkumný ústav
ochrany materiálu