

Poznámka: Ze zahraničních podkladů je známo, že v charakteristikách soudržnosti rozhoduje zejména tloušťka epoxidového povlaku (nikoli druh epoxidového materiálu).

4. Závěr

Provedené zkoušky a jejich vyhodnocení potvrdily předpoklad poklesu soudržnosti výztuže opatřené epoxidovým povlakem (epoxy-coated) ve srovnání s výztuží bez epoxidového povlaku (bezpovlakové). Soudržnost povlakové výztuže byla při našich zkouškách až o 45 % nižší než soudržnost u bezpovlakové výztuže.

Ve srovnání s obdobnými zkouškami provedenými v zahraničí, zejména ve Spojených státech amerických, jsou námi naměřené hodnoty soudržnosti povlakové výztuže s betonem nižší. U zkoušek provedených v zahraničí dosahovala soudržnost povlakové výztuže cca 85 % hodnoty soudržnosti bezpovlakové výztuže, u našich zkoušek cca 55 %.

Doporučujeme proto ověřit tloušťku naneseného povlaku. Zatím nevylučujeme ani možnost, že tak výrazný pokles soudržnosti je způsoben i tím, že povrchová úprava zkoušené žebírkové výztuže není pro nanášení epoxidového povlaku vhodná. Je třeba vzít v úvahu, že stávající zkoušky představují pouze první etapu výzkumu povlakové výztuže. Byl proveden pouze omezený počet zkoušek, který nemohl

poskytnout odpovídající statistické vyhodnocení. Z uvedených výsledků se proto nedají vyvodit takové závěry, které by měly všeobecnou platnost.

6. Literatura

1. Treece, Jirsa: "Bond strength of Epoxy-Coated Reinforcement Bars", ACI Material Journal. Vol. 86. No. 2. (1989)
2. Choi, Oan, Dervin: "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement: Bar Parameters", ACI Material Journal. Vol. 88 No. 2. (1991)
3. Treece, Jirsa: "Bond strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars", The University of Texas at Austin. Report No. 87-1. (1987)

Ing. Jan Rozehnal

Kloknerův ústav ČVUT

oddělení konstrukcí, zaměření na betonové konstrukce

Pod Kynclovkou 11, 182 00 Praha 8

PŘÍČINY NADMĚRNÉ KORÓZE OCELOVÉ VÝZTUŽE V BETONU A MOŽNOSTI JEJÍ POVRCHOVÉ OCHRANY

Sortiment výroby a.s. Nová huť Ostrava - vliv prostředí na železobetonové konstrukce - karbonizace betonu - korozní zkoušky povlaků výztuže - ochranné povlaky - ohybové a korozní zkoušky povlaků výztuže - cenové rozvahy zavedení výroby povlakové výztuže.

Nová huť a.s. Ostrava patří mezi nejvýznamnější výrobce ocelové výztuže do betonu v ČR. Jedná se o výrobu hladkých a žebírkových tyčí (převážně Ø 10 až Ø 40 mm), hladkého drátu (Ø 5,5 až Ø 10 mm) a drátu Toros (drát zpevněný zkroucením za studena). Uvedené výrobky se dodávají ve formě tyčí a v případě hladkého provedení do Ø 10 mm i ve svitcích. Roční produkce se pohybuje do 360 kt. Ocelové výztuže se NH vyrábí v jakosti 10 335, 10 338, 10 425 a 10 505 dle ČSN, dále v jakosti 10 245 dle KN a jakosti III S a IV S dle DIN.

Příčiny znehodnocení železobetonových konstrukcí korozí.

Výztuž vyráběná v uvedených jakostech snadno podléhá korozním vlivům v prostředí znečištěných korozně aktivními složkami. V posledních desetiletích dosáhlo znečištění městské a průmyslové atmosféry tak vysokého stupně, že dochází ke značnému znehodnocení stavebních konstrukcí jak z těžkého betonu, tak i pórobetonu. Jde o korozní vliv oxidu uhličitého a oxidu siřičitého, kyseliny sírové a dusičné, tvořících se v atmosféře z produktů spalování uhlí a nafty, dále posypových solí (chloridů) na vozovkách za spolupůsobení vody a vzdušného kyslíku, který kromě své agresivity podporuje významně korozní aktivitu jiných složek v prostředí.

U těžkého nebo také nazývaného pevného betonu dochází působením oxidu uhličitého k tzv. karbonizaci, při které se vápenný hydrát v betonu jednoduchým pochodem mění na uhličitán vápenatý: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Reakce začíná na povrchu tělesa u železobetonu a postupuje dovnitř, kde otevírá cestu agresivním složkám k ocelové výztuži, která začne korodovat. Objemový nárůst korozních zplodin na povrchu ocelové výztuže svým tlakem převyšuje pevnost betonu a jeho soudržnost s výztuží. Tím se beton trhá, dochází k deformacím staveb a i k jejich haváriím. Od konstrukcí, u kterých se životnost očekávala až 200 let, se ve světě dospělo k takovým, které mohou zůstat stát třeba i jen 20 let. Jedná se o dálniční mosty, viadukty, přechody pro chodce, tunely a další stavební objekty.

U pórobetonových konstrukcí vyztužených ocelí dochází k odlupování krycí pórobetonové vrstvy korozními pochody na povrchu výztuže. Korozní účinek na ocelovou výztuž je zde usnadněn tím, že pórobeton je značně nasáklý a propouští k povrchu výztuže všechny korozně aktivní složky prostředí. Korozní stimulatory, především síranové ionty, se do pórobetonu vnášejí i surovinami, kupříkladu popílky. Hlavní faktor korozí - voda se dostává k výztuži hlavně při autoklavování, nevhodném uložení na staveništi a po zabudování v objektu. Podmínky pro znehodnocování ocelové výztuže v pórobetonu se vytvářejí snižováním hodnoty pH do oblasti aktivní korozí za vzniku rzi. Při výrobě pórobetonu je hodnota pH cca 12; již rok po jeho výrobě poklesne pH působením kyslíku a kyselých

dešťové vody na pH 9 a ocel v pórobetonu koroduje. Dle literárních údajů je zabudovaná ocel do pórobetonu termodynamicky stabilní pouze při pH 11 až 12,6.

Zkoušky s možností protikorozní ochrany ocelové výztuže se prováděly ve světě několika způsoby, od přidání částecek nepatrných rozměrů do cementu zastavit karbonizaci tím, že se sníží pórovitost u těžkého betonu, přes impregnaci a utěsnění konstrukcí z betonu nátěrem proti vodě aplikací duraplastů, až po úpravu celého prostředí v betonu inhibitory korozí a ochranné povlaky výztuže.

Ohybové a korozní zkoušky povlakované výztuže

Ve VZÚ Nové huti byly provedeny ohybové a korozní zkoušky vybraných povlaků nanesených na vzorky betonářské žebírkové oceli (BŽO). Zkoušeny byly povlaky připravené technologií práškového plastování aplikací epoxidové pryskyřice Komaxitu E 2110 a modifikovaných epoxidových pryskyřic s rychlou dobou gelace a vytvrzování (25s). Jde o epoxi-fenolicou pryskyřici (EPF - O) vyrobenou v BaL Komárově, dále o aplikaci Valsparu 1003 - G1 fy Corro-coat (Norsko) a Interponu HD 34 fy International Paint (Itálie). Tloušťka povlaků se pohybovala od 200 do 250 µm. Pro porovnání proběhly zkoušky i se žárově zinkovanou výztuží (tloušťka 70 až 90 µm) a povlaky připravenými ze základní disperzní barvy v 2022 (minimální tloušťka byla 100 µm).

Tažnost organických povlaků byla ověřována při ohybu vzorků výztuže (l = 300 mm) přes trn, zhotovený z tvrdého dřeva, přičemž výztuž byla ohýbána o 120° při době ohybu 90s a teplotě místnosti (23°C). Vzhledem k průměru ocelové tyče 12 mm byl průměr trnu zvolen 100 mm (norma ASTM 775/A 775M-86).

V rámci provedených zkoušek povlaky nepopraskaly ani se neoddělyly z povrchu; tím byl splněn požadavek normy ASTM. K popraskání a odlupování povlaku došlo pouze u výztuže s válcovými okujemi opatřené barvou V 2022 (ostatní povlaky byly nanášeny pouze na povrch zbavený okují mechanickou nebo chemickou cestou). U povlaků připravených z Valsparu 1003 - G1 byla zaznamenána po ohybových zkouškách na vnějším povrchu v místě ohybu vzorků mikroskopická poškození. Dle zkušebního systému SRN - Institutu pro stavební techniku (Berlín 1990) a z něj vycházejícího systému Švýcarského-Spolkového systému pro stavbu silnic (Bern 1991) povlak vykazující takové poškození - odpovídající třídě S1 (DIN 53230) - předepsané zkoušce nevyhověl.

Korozní zkoušky odolnosti vybraných povlaků byly provedeny jednak se vzorky výztuže po ohybových zkouškách a jednak se vzorky rovnými při aplikaci stejných povlaků.

Zkoušky probíhaly v agresivním prostředí simulující podmínky



*Ing. Václav Pešat
Výzkumný a zkušební ústav
Nová huť a.s. Ostrava*

prostorů v betonu inhibitory korozí a ochranné povlaky výztuže.

v solné komoře (ČSN 03 8132). Povrchově chráněná výztuž byla jednou denně ponořována do 3,5 %-ního roztoku chloridu sodného pro dobu 30 minut, načež byla zavěšována do vzdušné části kondenzační komory, kde byla 100 %-ní relativní vlhkost vzduchu a teplota $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Roztok chloridu sodného byl na dně komory v množství 25 l a byl ohříván při automatické regulaci teploty. Doba trvání zkoušky byla 30 dnů (cyklů), každý druh zkoušky probíhal na třech vzorcích.

Odolnost povlaků po ohybové zkoušce se hodnotila především na vnějších plochách v místě ohybu BŽO, u rovných vzorků se hodnotil povrch po celé délce. Výsledky korozních zkoušek jsou uvedeny v tab.1.

Druh povlaku	Vzorky rovných tyčí	Vzorky tyčí po ohybové
Komaxit E 2110 BaL Komárov	1 kor.bod na každém vzorku	3 až 5 kor.bodů; v místě otlaku po ohybu kor.body
EPF - O Bal Komárov	2 kor.body na každém vzorku	5 až 10 kor.bodů; v místě otlaku po ohybu kor.body
Valspar 1003 - G1 norské proven.	1 - 2 kor.body	vnitřní strana ohybu: 3 až 4 kor.body vnější strana ohybu: 15 až 25 % plochy napadené korozí - mezi žebry
Interpon HD 34 Ital. proven.	ojediněle kor.body	1 až 2 kor. body na vnější straně ohybu
Zinkový	kor.skvrnny na 5% plochy, bílá rez na povrchu	kor.skvrnny na 5 až 10% plochy, bílá rez na povrchu
Barva v 2020 otrysk. povrch	korozie na 40 až 60% plochy	kor. na 45 až 60 % plochy rovnoměrně napadení
Barva V 2020 povrch s okujemi	korozie na 30 až 40 % plochy, rovnoměrně napadení	kor. na 30 až 60 % plochy rovnoměrně napadení

Tab. č. 1. Vizualní posouzení stavu korozního porušení vybraných povlaků a základního materiálu BŽO při cyklické zkoušce ve 3,5 %-ním roztoku chloridu sodného za simulovaných podmínek dle ČSN 03 8132 po 30 cyklech

Ze zkoušených povlaků se u nás používá k ochraně armovací výztuže do pórobetonu nátěrová hmota vodou ředitelná s pojivovou složkou na bázi akrylátové disperze vyráběná v Chemolaku Smolenice pod ozn. V 2022. Tato barva obsahuje antikorozi pigmenty a inhibitory. Aplikuje se metodou dvojnásobného máčení (s intervalem mezi prvním a druhým máčením alespoň 6 h). Jak vyplývá z výsledků provedených zkoušek v porovnání s povlaky připravenými z modifikovaných epoxidovaných pryskyřic technologií práškového plastování je její protikorozi ochranná účinnost podstatně nižší.

Rovněž ochranná účinnost zinkových povlaků v porovnání s povlaky připravenými z práškových plastů je nižší. Zn povlaky se rozpouštějí, čímž lze očekávat jejich omezenou životnost.

Dle výsledků zkoušek krychelné pevnosti provedené dle ČSN 73

1317 na zkušebních krychlích z betonu v TAZUS Praha, státní zkušebně 204 - pracoviště Ostrava, je soudržnost pozinkované BŽO s betonem asi 22% vyšší než soudržnost BŽO bez ochrany. Vzhledem k tomu, že uvedená norma se nedoporučuje pro zkoušky soudržnosti BŽO opatřené organickými povlaky s betonem, výsledky provedených zkoušek na tomto úseku zde nejsou uváděny.

Soudržnost ocelové výztuže chráněné reaktoplasty s betonem se provádí dle mezinárodně uznávaných předpisů, kupříkladu dle normy ASTM A 775 M. A 1.2.5.1, původně vydané FHWA - RD - 74 - 18 (Federal Highway Administration Report). Dle této normy by kritická soudržnost chráněné oceli s betonem neměla být menší než 80% hodnoty změřené u nepovlečených roxorů. Tyto zkoušky provádí specializovaná pracoviště. Připravené vzorky BŽO povlečené reaktoplasty byly ve spolupráci s SVÚOM Praha za tím účelem předány Kloknerovu ústavu ČVUT.

Práškové plastování betonářské žebírkové oceli

Z provedených zkoušek a zahraničních údajů je zřejmé, že za nejvhodnější ochranu ocelové výztuže do betonu je možno považovat její povlečení modifikovanými epoxidovými pryskyřicemi v automatických úpravárenských linkách s těmito základními operacemi:

- příprava povrchu tyčí BŽO otryskáním
- indukční předehřev tyčí BŽO na teplotu 270°C
- povlékání BŽO modifikovanými epoxidovanými pryskyřicemi s rychlou dobou vytvrzování
- vytvrzení povlaků akumulovaným teplem v tyčích
- chlazení povlaků, odběr povlakované BŽO, skladování a kontrola kvality povlaků.

Z předběžné ekonomické rozvahy vyplývá, že při současné úrokové míře musí činit hrubý zisk 895 Kč/t, čímž cena finálního výrobku bude 9 733 Kč/t; náklady na povlakování při aplikaci prášku EPF-O vyrobeného v BaL Komárov tedy činí asi 48 % z ceny vstupního materiálu. Pro výpočet byla jako reprezentant použita BŽO průměru 25 mm. U výztuží menších průměrů budou náklady na povlakování jedné tuny vyšší.

Výstavby hutní úpravárenské linky se jeví jako ekonomicky účelná pouze za předpokladu, že požadavky na odběr povlakované ocelové výztuže stavebních organizací se budou pohybovat minimálně v rozmezí 7 až 10 kt ročně. V úvahu přichází především plastování tyčí BŽO o \varnothing 10 až 32 mm v délkách 12 m.

Literatura:

1. Pešat V., Súkeník P., Urban V.: Možnosti povrchové ochrany betonářské oceli. Závěrečné zprávy I. a II. etapy úkolu, NHO, VZU Ostrava 1991 a 1993
2. Pívoda P., Rabinski L.: Možnosti odbytu žebírkové oceli s epoxidovým povlakem. Zpráva VÚHŽ a.s Dobrá, 1992
3. Janovský V.: Korozie a ochrana materiálu, 34,1990, 4, s. 56-60
4. Boubelová E., Bartoň R.: KOM 28, 1984, 3, s. 54 - 55
5. Čapoun K.: KOM 22, 1978, 3, s. 88 - 90
6. Němcová J.: KOM 18, 1974, 1, s. 11

Ing. Václav Pešat

Pracuje ve Výzkumném a zkušebním ústavu NH a.s. Ostravě jako samostatný výzkumný pracovník v oboru povrchových úprav a ochrany proti korozí. Jeho činnost je zaměřena na zvýšení jakosti a tím i konkurenční schopnosti finálních hutnických a strojírenských výrobků NH a.s. na tuzemských a zahraničních trzích.

Při řešení těchto úkolů spolupracuje se specializovanými pracovišti, státními ústavy, popřípadě zahraničními firmami.