

betonu, nebo např. splachy zimních silničních posypů. Popsané procesy probíhají prakticky vždy, jejich rychlost je však závislá na podmínkách expozice. K výraznému poklesu životnosti dochází proto zvláště u takových staveb, jako jsou mosty, letištní plochy, elektrárenských chladičů věže, průmyslové komplexy, stavby dálniční sítě, budovy ve velkých městských aglomeracích, přímořské oblasti apod.

Korozní napadení staveb lze řešit několika způsoby:

1. Úpravou betonu:

- zvýšením tloušťky betonu - tento způsob není příliš efektivní,
- použitím nepropustných fólií na povrchu stavby - klade značné nároky na pracnost,
- modifikací betonu (např. polymerními disperzemi) - je nutno zachovat takovou technologii, aby nedocházelo při stavbě k tvorbě pórů a prasklin.

2. Povlakování BŽO:

- pozinkování - zinek tvoří obětovanou ochranu s omezenou životností,
- povlakování organickými povlaky.

Protikorozi ochrana BŽO organickými povlaky:

Jako nejvhodnější se v současnosti ukazuje aplikace práškových plastů. Konkrétně epoxidů, resp. jejich modifikací. Jejich povlaky vytváří trvalou bariéru proti pronikání korozního média k ocelovému podkladu. Mají výborné mechanické i protikorozi vlastnosti. V USA se začalo s ochranou BŽO práškovými epoxidy již zhruba před 20 lety. V Evropě o něco později. Principem je nástřik nabitého práškového plastu v práškovací kabině na uzemněný předmět (v tomto případě BŽO). Prášek se roztaví a vytvrdí. Princip je zdánlivě jednoduchý, povlékání je však nutno provádět ve speciálním závodě (často přímo v hutích). Při výrobě je nutno řešit takové otázky jako kvalita předúpravy, použití speciálních prášků, přesné dodržování teplot a plynulosti povlékání. Na výrobek jsou kladeny přísné kvalitativní požadavky.

Povlak musí být celistvý, je průběžně sledována jeho pórovitost a vadné kusy jsou vyřazovány. Musí mít předepsané mechanické vlastnosti (odolnost proti úderu, odolnost proti praskání při ohybu na předepsaný rádius, odolnost proti oděru atd.). Musí odolávat alkáliím, chloridům apod. Za splnění všech těchto ukazatelů zodpovídá výrobce.

Povlékaná BŽO je určena pro stavby exponované v silně korozním prostředí. Její spotřeba je např. v USA okolo cca 7% z celkové produkce výztuží.

Aplikace povlečené BŽO vyžaduje zvláštní postupy také od stavebních firem.

- Přeprava a skladování:

Povlečené BŽO se paletizují. Svazky se prokládají dřevěnými trámkami. Vázání se nesmí holým drátem. Zvedání a manipulace s BŽO se provádí na zařízení s rozpěrným nosníkem a s více vaznými body. Je nutno zabránit poškození povlaku úderem či tvrdými předměty. Opatrnost je třeba i při umísťování povlečených BŽO do sítí (užívají se např. překryvné můstky) a při zalévání betonem.

- Ohybání povlečené BŽO:

Ohyb výztuže musí mít povolený rádius a je prováděn přes měkký trn (např. z tvrdého dřeva).

- Spojování povlékané BŽO:

Povlékanou BŽO nelze svařovat, proto se užívají metody spojování plastovými spojkami, svazování povlečeným drátem nebo přesahem.

- Opravy vad:

Konce tyčí a drobné defekty se opravují speciálními nátěry. Obvykle přímo ve výrobním závodě. V menší míře i na staveništi (např. po krácení BŽO či vady o rozloze menší než 1% povlečené plochy). Ukládání BŽO do sítí i opravy vad je třeba provádět pozorně, neboť vzniká nebezpečí vrubové koroze.

Závěrem lze říci, že použití povlékané BŽO je perspektivní oblast stavebnictví. Přes nutnost použití dražší výztuže a některé zvláštní postupy při vlastní stavbě přináší investorovi značné úspory z hlediska životnosti staveb a nákladnosti oprav.

Ing. Petr Súkeník

vedoucí oddělení práškových plastů
Státní ústav ochrany materiálu Praha
U měšťanského pivovaru 4
170 04 Praha

ZKOUŠKY SOUDRŽNOSTI ŽEBÍRKOVÉ VÝZTUŽE S EPOXIDOVÝM POVLAKEM

Žebírková výztuž s povlakem - zkoušky soudržnosti - porovnání výsledků zkoušek soudržnosti s betonem pro povlakovou a bezpovlakovou výztuž.

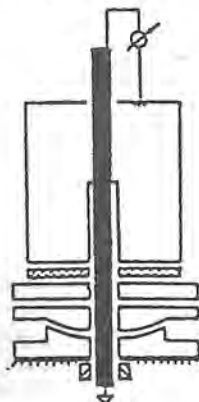
1. Úvod

Vyspělé země celého světa věnují v poslední době značné úsilí na ochranu betonářské výztuže proti korozi, obzvláště je-li tato výztuž vystavena agresivním účinkům prostředí, jako jsou mořská voda, chemické vlivy a podobně.

V souvislosti s řešením problémů spojených s korozi výztuže, s její ochranou a se vstupem know-how na naše území by mohla i epoxidová výztuž najít své použití zejména v konstrukcích vystavených agresivním účinkům prostředí, jako jsou chemické provozy, chladičové věže, mostní stavby, garáže, stavby přiléhající k silničnímu tělesu a podobně. Průzkum provedený u československých stavebních firem ukázal zájem těchto organizací o problematiku epoxidové výztuže. V loňském roce byl zahájen v Kloknerově ústavu ČVUT ve spolupráci s NH Ostrava a s Výzkumným ústavem pro ochranu materiálů výzkum povlakové výztuže zaměřený v této etapě na soudržnost povlakové výztuže s betonem.

2. Popis provedených zkoušek

Pro zamýšlené zkoušky soudržnosti byl zvolen v souladu s doporučením CEB-RILEM-POT systém PULL-OUT, spočívající ve vytahování zkoušené výztuže z betonových krychlí. Schema zkoušky je patrné z obrázku 1. Délka zabetonování ve všech krychlích byla 100mm.



Obr. 1: Schema zkušebního zařízení.

Zkoušky soudržnosti byly provedeny na krychlích o hraně 200 mm. Byly zkoušeny vždy série povlakové a bezpovlakové výztuže 10 425 /N/ o profilech 10, 12, 16 a 20 mm odebraných z jedné vsázky.

Pro každý profil výztuže byly provedeny zkoušky soudržnosti ve dvou pevnostních třídách betonu B 20 a B 40. Pevnost betonu byla po každé sérii ověřována zkouškami pevnosti betonu v tlaku a příčném tahu na krychlích vyrobených současně ze stejné záměsi jako prvky pro zkoušky soudržnosti.



Ing. Jan Rozehnal
Kloknerův ústav ČVUT

	10	12	16	20
B 30				37,0 MPa 39,4 MPa
B 35		43,1 MPa	40,7 Mpa 43,5 MPa	
B 40	45,3 MPa 46,6 Mpa			

Tab. 1: Přehled pevností betonu $R_{c,cu}$ zkoušených krychlí a zařízení do tříd.

Zkoušky se prováděly na zkušební stroji Amsler 500 kN monotním zaběžováním až do porušení prvku. Měřené veličiny, tj. síla, čas a posun nezatiženého konce výztuže byly zaznamenány automatickou měřicí ústřednou Peekel.

3. Výsledky a vyhodnocení zkoušek

Při zkouškách došlo k rozdílnému způsobu porušení zkušebních těles s povlakovou a bezpovlakovou výztuží. Zatímco u těles s bezpovlakovou výztuží nastalo porušení prokluzem výztuže, u povlakové výztuže došlo k explozivnímu rozštípnutí zkušebního tělesa.

Z následující tabulky (tab. 2) vyplývá, že maximální napětí nebo napětí odpovídající posunům 0,1 a 0,2 mm pro jednotlivé profily nabývají vyšších hodnot u bezpovlakové výztuže než u výztuže s epoxidovým povlakem. Přitom největších rozdílů mezi povlakovou a bezpovlakovou výztuží bylo dosaženo u měřených veličin odpovídajících posunu 0,2 a 0,1 mm, tj. při posunutích, s jejichž výskytem se zpravidla ještě počítá při provozním stádiu železobetonových konstrukcí.

[mm]	třída betonu	max. napětí [MPa]	napětí [MPa] při posunu	
			0,1 mm	0,2 mm
POVLAKOVÁ VÝZTUŽ				
10	B 40	532.55 (1.30)	90.9 (0.23)	159.5 (0.39)
12	B 35	476.5 (1.16)	75.9 (0.19)	148.1 (0.36)
16	B 35	495.8 (1.21)	76.3 (0.19)	128.9 (0.31)
20	B 30	335.03 (0.82)	41.0 (0.10)	68.35 (0.17)
BEZPOVLAKOVÁ VÝZTUŽ				
10	B 40	549.15 (1.34)	190.33 (0.46)	345.56 (0.84)
12	B 35	454.5 (1.11)	138.67 (0.34)	235.4 (0.57)
16	B 35	441.60 (1.08)	135.5 (0.33)	184.3 (0.45)
20	B 30	355.05 (0.87)	71.62 (0.17)	102.7 (0.25)

Tab. 2: Průměrné hodnoty napětí ve výztuži (Poměr napětí ve výztuži k normové pevnosti oceli $R_{an} = 410$ MPa - vyznačeno kurzívou)

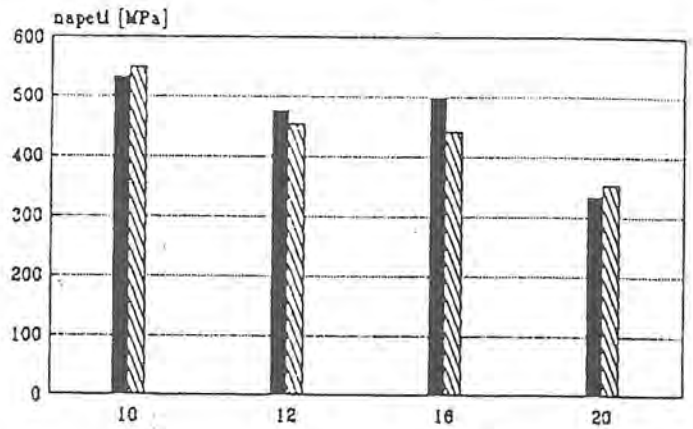
Z tab. 2 je zřejmé, že poměrně největšího namáhání se dosáhlo při zkouškách prutů o průměru 10 mm, nejmenšího u prutů o průměru 20 mm. Přitom výpočtová pevnost výztuže se překročila u průměrů 10 až 16 mm, zatímco u průměru 20 mm se dosáhlo 82 %, popř. 87 % této pevnosti.

Následující tabulka (tab. 3) a graf (obr. 2) zobrazují poměr dosažených napětí (síly) v povlakové výztuži k napětí (síle) v bezpovlakové výztuži.

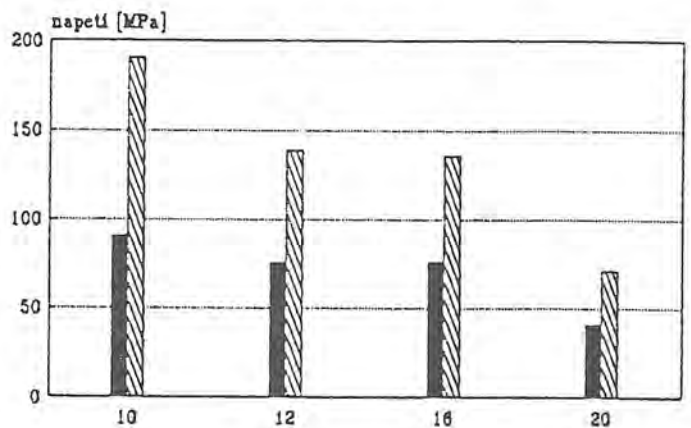
[mm]	třída betonu	max. napětí	napětí při posunu	
			0,1 mm	0,2 mm
10	B 40	0,97	0,48	0,46
12	B 35	1,05	0,55	0,63
16	B 35	1,20	0,56	0,70
20	B 30	0,94	0,57	0,67

Tab. 3: Poměr napětí v povlakové a bezpovlakové výztuži

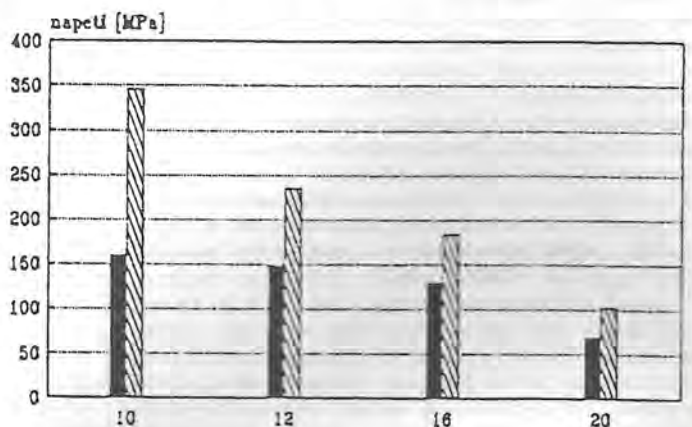
maximální napětí



napětí při posunu 0,1 mm



napětí při posunu 0,2 mm



profil

■ povlaková ▨ bezpovlaková

Obr. 2: Porovnání napětí v povlakové a bezpovlakové výztuži

Z výše uvedené tabulky a grafu lze odvodit závěr, že napětí (síly) u odpovídajících si profilů povlakové výztuže jsou výrazně nižší než u bezpovlakové výztuže. Tento rozdíl je u dosavadních zkoušek nejvíce patrný u napětí (síly) měřeného při posunu 0,2 a zejména 0,1 mm, a to bez zřejmé závislosti na velikosti profilu výztuže. Napětí v povlakové výztuži dosahuje v těchto případech pouze hodnoty pohybující se okolo 55 % hodnoty napětí v bezpovlakové výztuži stejného profilu při posunu 0,2 mm.

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, zaměřeni 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 zkrcováním 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 prostředích 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 nasáklavý 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 zastaví 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.



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

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 ($l = 300 \text{ mm}$) 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 nevyhoví.

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