

ALKALITA, DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ PŘEDPJATÉHO BETONU PRESTRESSED CONCRETE ALCALINITY, CREEP AND SHRINKAGE

BOHUMÍR VOVES

Tři vlastnosti betonu pojednáváné v časopisu Beton 6/2003 jsou v tomto příspěvku předkládány z hlediska ČSN 73 2401 a ČSN 73 6207. Dostatečná alkalita betonu a injektážní malty zajišťuje stálou ochranu předpínací výztuže před korozí. Dotvarování a smršťování betonu se může měnit, např. s druhem cementu a kameniva, s vlhkostí prostředí a s rozměry konstrukce.

Three concrete features discussed in periodical Beton 6/2003 are presented in this paper from the point of view of ČSN 73 2401 and ČSN 73 6207. Sufficient alkalinity of concrete and grouting achieves the permanent corrosion protection of prestressing steel. Concrete creep and shrinkage may vary, e.g. with the type of cement and aggregate, with the ambient humidity and with the member size.

V předpjaté konstrukci má beton za úkol jednak podílet se na nosnosti a jednak chránit předpínací výztuž před korozí. Neplní-li beton jeden z těchto úkolů, selhává nosná funkce a trvanlivost konstrukce.

ALKALITA BETONU

Cenný příspěvek [1] se zabývá výsledky výzkumu zaměřeného na betony vysokých pevností využitelných u ocelobetonových konstrukcí. Pro zvýšení pevnosti betonu potlačuje jeho alkalitu. To je zřejmě u ocelobetonu přijatelné, ale pro předpjatý beton nepřipustné. Aby některé z údajů příspěvku nebyly omylem zavedeny do předpjatého betonu, je dále pojednávána alkalita betonu a injektážní malty (dále pouze betonu).

Jako pojivo je pro předpjatý beton výhradně používán portlandský cement. Ten obsahuje kyslíčnick vápenatý CaO, z kterého po přidání záměsové vody vzniká hydroxid vápenatý Ca(OH)₂. Tím je zajištěna alkalita betonu s pH 12,6, která chrání předpínací výztuž před korozí. Směsné cementy, např. železoportlandský cement s vedlejší přísadou vysokopecní strusky obsahující proto méně CaO, jsou pro předpjatý beton nepřijatelné. Z důvodu ekologie a šetření energií je nutné dávku cementu udržovat pod 480 kg/m³ hotového betonu. Vyšší dávky nejsou pro předpjatý beton přínosné, ale pro zvětšení objemových změn a výskytu trhlin spíše chybné.

Příměs vysokopecní strusky může obsahovat látky, které reagují s Ca(OH)₂, takže oslabují alkalitu, nebo dokonce jsou příčinou koroze ocele, a proto není v předpjatém betonu přípustná.

K reaktivnosti s alkáliemi v cementu dochází v betonu z nevhodného druhu kameniva. U betonu z kameniva obsahujícího aktivní oxid křemičitý SiO₂, např. z buližníku v okolí Prahy, vlivem alkálií v cementu může dojít k trhlinám s výskytem výpotků SiO₂ až k rozpadu betonu. U betonu z dolomitu, tj. uhličitánu vápenatohorečnatého, CaMg(CO₃)₂, vzniklého působením mořské vody na uhličitánu vápenatý CaCO₃, (např. ojedinele v podhůří Jeseníků), dochází k dedolomitizaci vznikem hydroxidu hořečnatého Mg(OH)₂, provázené trhlinami a rozpadem betonu.

Reaktivnosti kameniva s alkáliemi lze zabránit snížením alkálií v cementu. To je pro předpjatý beton nepřipustné a, protože jsou v Česku běžně dostupná kameniva, která reaktivní s alkáliemi nejsou, např. vyvřelé horniny (žula, granodiorit, diorit a čedič), i zbytečné. Ostatně v předpjatém betonu není dolomitové kamenivo užíváno a vhodné kamenivo je použitelné, pokud jeho výrobcem zkouškou prokáže, že kamenivo není reaktivní s alkáliemi.

Příměs křemičitých úletů (mikrosilika) obsahuje SiO₂, reaguje s Ca(OH)₂ a podstatně snižuje alkalitu. Její použití v předpjatém betonu je proto nepřipustné.

Superplastifikátor lze v předpjatém betonu použít, pokud je ověřen průkaznou zkouškou a pokud neobsahuje škodlivé látky.

DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ BETONU

Příspěvek [2] pojednává o vztazích pro dotvarování a smršťování betonu zaváděných do výpočtu mostů z předpjatého betonu podle ČSN 73 6207 a jiných předpisů a porovnává příslušné výsledky výpočtů přetvoření. K některým bodům příspěvku jsou dále uváděny připomínky.

Zásady navrhování konstrukcí z předpjatého betonu byly u nás od roku 1950 odvozovány z měření a pozorování při zatěžovacích zkouškách zkušebních prvků do zlomu a ověřovány při zatěžovacích zkouškách konstrukcí (zejména mostů) předávaných do provozu. Poznatky byly rozšířeny i laboratorními zkouškami betonu zaměřenými kromě jiných vlastností na pracovní diagram, modul pružnosti, dotvarování a smršťování. Výroba zkušebních těles a krátkodobé zkoušky probíhaly v roce 1959 a dlouhodobá měření v následujících letech. Zkoušeny byly betony stálého složení z žulové drtě, labského písku a čtyř druhů cementu a to portlandských cementů třídy 450 ze Štramberka, třídy 350 z Maloměřic a rychlovažných cementů třídy 200 z Maloměřic a třídy 300 z Hranic (u RVC třída značí vaznost – pevnost v tlaku po 24 hod). Z výsledků výzkumu byly po zvážení stanoveny smluvní hodnoty vhodné pro praktické navrhování konstrukcí z předpjatého betonu. Ty byly využity v ČSN 73 2004 a po získání dalších poznatků při revizích v ČSN 73 1251, ČSN 73 2401 a ČSN 73 6207.

Charakteristiky betonu pro navrhování konstrukce, např. dovolené namáhání a modul pružnosti, jsou stanoveny v hodnotách odpovídajících stáří 28 dní a nezávislých na stáří betonu.

Pro studijní účely (nikoli pro navrhování konstrukce) je možné křichlou pevnost betonu R_t v MPa po t dnech přibližně určit z pevnosti R po 28 dnech a modul pružnosti E_t v GPa z pevnosti R_t podle vztahů:

$$R_t = R \sqrt[3]{\frac{\lg t - 0,5}{\lg 28 - 0,5}} \quad (1)$$

$$E_t = 55 \frac{R_t}{R_t + 18,8} \quad (2)$$

Při zavedení předpětí, kdy bývá $R_t = 0,8 R$, může napětí betonu dosáhnout 1,25 násobku dovoleného namáhání, které by bylo odvozeno z R_t . To je přípustné, protože je to stadium provádění. Při tom je modul pružnosti u betonu značky B 400 $E_t = 34,6 \text{ GPa} = 0,96E$ a je tedy roven přibližně $E = 36 \text{ GPa}$.

Vztahy (1) a (2) a jejich výsledky nejsou do běžného navrhování zaváděny. Ale při vyhodnocování zatěžovacích zkoušek starších konstrukcí, např. mostů, je účelné porovnávat pevnosti betonu R_t zjištěné nedestruktivním způsobem a moduly pružnosti E_t odvozené z průhybu konstrukce. Např. u betonu značky B 400 je pro $t = 20$ roků $R_t = 57,5 \text{ MPa}$ a $E_t = 41,4 \text{ GPa}$.

Dotvarování betonu podle ČSN 73 6207 vychází z lineární teorie, předpokládající, že v oboru dovolených namáhání je přetvoření úměrné napětí, a z teorie stárnutí, založené na předpokladu, že přírůstek přetvoření od dlouhodobého napětí závisí na stáří betonu při vnesení tohoto napětí a době jeho trvání. Dotvarování se vyjadřuje součinitelem dotvarování φ , který závisí na stáří betonu jednak na začátku t_0 a jednak na konci působení napětí a na součiniteli vlhkosti prostředí φ_v . Součinitel φ se určuje z jediné křivky $\varphi = \varphi_v [f(t) - f(t_0)]$. Vliv rozměrů konstrukce na φ není uvažován, protože konstrukce z předpjatého betonu bývají tenkostěnné, jak vyplývá obvykle z poměru plochy a obvodu jejich průřezu. Teorie stárnutí umožňuje zavést princip superpozice napětí nebo přetvoření vyvozených předpětím a zatížením, které začaly působit v různých dobách. Tím je usnadněn výpočet vlivu dotvarování betonu.

Jiné teorie, např. teorie následnosti, podle které dotvarování nezávisí na t_0 a roste s $(t - t_0)$ a podle které pro součinitel dotvarování platí $\varphi = \varphi_v f(t - t_0)$, nejsou v ČSN 73 6207 uvažovány.

Poměrné zkrácení ε betonu, vyvolané jeho smršťováním je podle ČSN 73 6207 závislé na stáří betonu a na vlhkosti prostředí. Předpokládá se, že průběh ε je afinní průběhu φ . Po měsíci nabývá smrštění polovinu konečné hodnoty.

Hodnoty φ a ε stanovené v ČSN 73 6207 byly odvozeny z dříve popsanych zkoušek a měření. Při navrhování jsou používány, pokud nebudou na základě zkoušek nebo jiných údajů v konkrétním případě stanoveny hodnoty jiné.

Dotvarování a smršťování betonu uvažované ve výpočtu podle ustanovení normy mohou být odlišná od skutečného chování betonu v konstrukci. Má-li dotvarování a smršťování zvláštní význam pro konstrukci, např. dotvarování při spojování letmo betonovaných krakorců, je třeba postup prací řídit podle výsledku zkoušky použitého betonu a změřených přetvoření, aby rozdíly skutečného dotvarování a dotvarování uvažovaného ve výpočtu neztížily průběh prací na staveništi.

Není účelné porovnávat výsledky výpočtů dotvarování a smršťování betonu podle dostupných předpisů a početních vztahů, které mohou vycházet z různých odchýlných předpokladů, ale správné je porovnávat výsledky výpočtů s hodnotami změřenými při zkouškách a z porovnání odvozovat upřesnění příslušných vztahů pro výpočet dotvarování a smršťování betonu za určitých podmínek (např. pro beton z nově zaváděného kameniva).

ZÁVĚR

Ochrana předpínací výztuže před korozi je založena na alkalitě betonu. Proto je nutné při výrobě betonu omezovat vliv činitelů, které by mohly alkalitu betonu snižovat. Při navrhování konstrukcí z předpjatého betonu je třeba do výpočtu zavádět hodnoty dotvarování a smršťování betonu podle platných předpisů, pokud nebudou na základě zkoušek nebo jiných údajů stanoveny hodnoty jiné.

Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc.
Pod Fialkou 7, 150 00 Praha 5
tel.: 257 216 282

Literatura:

- [1] Lukáš J., Brandštetr J., Melcher J., Krátký J., Karmazínová M., Vymazal T., Bílek V.: Složení a vlastnosti některých typů vysokohodnotných a samozhutňujících betonů, Beton TKS, 6/2003, str. 10–16
- [2] Navrátil J.: Statika mostních konstrukcí a teorie stárnutí, Beton TKS, 6/2003, str. 36–37

Pokračování článku ze strany 46

pravda, že dodavateli se v tomto případě zamítá velké množství dobrých dodávek. To je daň výběrovému šetření a malému počtu zkoušek. Např. pro 1 % vadných se

Literatura:

- [1] ČSN 01 0250 Statistické metody v průmyslové praxi
- [2] Egermayer F., Boháč M.: Statistika pro techniky SNTL Praha 1984
- [3] Kučera V.: Účinnost přejímacích plánů při kontrolních zkouškách betonu, Pozemní stavby 6, SNTL, Praha 1983
- [4] Vorlíček M.: Kontrola jakosti při malém počtu měření, Stavebnický časopis č. 7, Věda, Bratislava 1989

dodávka zamítne asi v 50 % případech. Pro ilustraci ještě ukážeme, jak by se změnila OC-křivka, kdybychom v kritériu (2) zvýšili počet zkoušek na devět.

Z obrázku 8 vidíme, že dodávky s 5 % vadných jsou zamítány téměř vždy, takže kritérium (2) pro devět prvků ve výběru by mohlo být mírnější.

Kritéria shody v normách, pokud jsou, nebo předstírají, že jsou založena na objektivních statistických metodách, by měla být doprovázena rozbohem, z kterého by byla vidět účinnost těchto kritérií. Tímto rozbohem by se zamezilo tomu, aby kritéria shody ve skutečnosti nezaručovala něco úplně jiného, než norma deklaruje.

ZÁVĚR

Jsem přesvědčen, že mezi betonáři, členy České betonářské společnosti, autorizova-

nými inženýry, pracovníky akreditovaných laboratoří, pracovníky certifikačních orgánů a ostatními odborníky je dost těch, kteří pevně věří, že beton třídy **C40/50**, který je ve shodě s ČSN EN 206-1, má charakteristickou pevnost 50 MPa, a že pod touto pevností je nejvíce 5 % možných výsledků zkoušek. Také bych se rád s touto vírou ztotožnil a proto budu vědět každému, kdo mě zbaví mých obav, že např. v betonu třídy **C40/50**, který je ve shodě s ČSN EN 206-1, může být pod charakteristickou hodnotou 50 MPa nikoli 5 %, ale až 47 % možných výsledků zkoušek.

Ing. Václav Kučera, CSc.
Technický a zkušební ústav stavební Praha
Prosecká 76a, 190 00 Praha 9
e-mail: vkucera@tzus.cz