

ZNOVU K ÚDAJNÝM PROBLÉMŮM S MODULEM PRUŽNOSTI BETONU, MOŽNOST SPECIFIKACE DLE ZMĚNY Z3 ČSN EN 206-1 BACK TO SUPPOSED PROBLEMS WITH MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE, POTENCY OF SPECIFICATION ACCORDING TO CHANGE Z3 OF THE ČSN EN 206-1 STANDARD

PAVEL RIEGER, ALAIN ŠTĚRBA

ČSN EN 206-1[1] se již natolik vžila, že se specifikací základních požadavků na typový beton nejsou žádné vážné problémy. Horší situace je se specifikací doplňujících požadavků uvedených v článku 6.2.3. Důvodem může být původní evropské znění tohoto článku, ve kterém chyběly některé závažné požadavky, jako např. modul pružnosti. Následující příspěvek proto komentuje některé doplňky dané změnou Z3 uvedené normy z května 2008 a vyjadřuje se k některým kritickým publikacím.

ČSN EN 206-1[1] has been established to a point, in which there are no problems with specification of basic requirements for designed concrete. A worse scenario occurs in the specification of supplemental requirements, specified in the article 6.2.3. The reason might consist in the original European version of this article, in which some important requirements were missing, for example the modulus of elasticity. The following article comments on some auxiliary parts given by the Z3 change of the mentioned standard from May 2008 and reflects on some critical publications.

Témata vztahu specifikace přetvárných vlastností betonu a vzájemného vztahu modulu pružnosti a pevnosti betonu v tlaku byla již dostatečně osvětlena, v poslední době např. články Vaškové, Števíly a Veselého [2] a Teplého [3]. Nadále se však vyskytují články a akce, které z uvedených hledisek kritizují kromě technických norem a činnosti projektantů i činnost výrobců betonu. Především jsou to publikace Petra Mokříže [4, 5], který s dobrou vůlí o nápravu uvádí i některé názory, které jsou v rozporu s některými současnými správnými trendy. Těmito trendy jsou především změny směřující ke snížení energetických nároků na výrobu betonu, a tím i jeho vstupních složek, zejména

cementu. Dále je to stále zlepšování zpracovatelnosti betonu vyžadované zejména odběrateli betonu. Jeho kladným důsledkem je kromě snížení pracnosti ukládky betonu i zlepšování pracovních a hygienických podmínek (hlavně pokud jde o hlučnost a vibrace). Usnadnění zpracovatelnosti má navíc pozitivní vliv i na některé výsledné parametry ztvrdlého betonu, a tím celé konstrukce, hlavně na hutnost, nepropustnost, dokonalé obalení výztuže a na pohledovost povrchů.

Výše uvedené tendence mohou mít vliv na vztah mezi **přetvárnými vlastnostmi** a pevností betonu v tlaku. V zájmu zjednodušení bude jako charakteristika přetvárnosti uváděn dále jen **modul pružnosti** a to s vědomím, že u jiných charakteristik (mimo jiné dotvarování a smršťování) mohou být specifické odlišnosti. Tyto odlišnosti však neovlivní řešení základního problému, kterým je správná, úplná a účelná **specifikace požadavků** na vlastnosti betonu.

Pro určitou pevnost betonu v tlaku směrně (s výjimkami) platí, že lepší zpracovatelnost (tekutost, snadnohutitelnost, samozhutitelnost) a větší obsah jemných zrn (včetně zrn příměsí, např. popílku) mají na velikost modulu pružnosti negativní vliv. Uvedený vliv může být zcela nebo částečně (v mírné závislosti na přísadou ovlivněném obsahu vzduchu) eliminován použitím novodobých účinných superplastičnických přísad. S relativním poklesem modulu pružnosti proti dřívějšímu období je však třeba počítat.

U nás o tom svědčí především příspěvek Misáka a Vymazala [6], ve kterém jsou výsledky sto třiceti průměrných hodnot sečnového modulu pružnosti graficky porovnávány s výpočtovými hodnotami uvedenými v tab. 3.1 ČSN EN 1992-1-1 [7] a to v neprospěch měřených hodnot. Velmi závažný je hlavně rozptyl měřených hodnot. Kvantitativní hodnocení popsaných skutečností je uvedeno v následující kapitole.

Další nové výsledky obsahuje příspěvek Hely a Křížové [8] zaměřený na maltovou složku betonu (použit jemnozrnný beton s $D_{\max} = 4$ mm). Porovnávány byly betony s konstantním obsahem pojiva 360 kg/m^3 a superplastifikátoru. Všechny čerstvé betony měly přibližně stejnou konzistenci (rozlítí malty kolem 135 mm). Betony, u kterých bylo 90 kg/m^3 cementu nahrazeno příměsí (čtyři druhy popílku, struska z Třince), měly modul pružnosti výrazně nižší. Při respektování reálných k -hodnot (u popílku hodnoty 0,40) by byla rozdílnost jistě menší.

Se snížením hodnot modulu pružnosti se počítá i v zahraničí. Německá směrnice pro samozhutitelné betony [9] počítá u samozhutitelného betonu se snížením modulu pružnosti o 15 %. Jsou však uváděny i jiné, příznivější zkušenosti.

Poněkud mírněji posuzuje vliv samozhutitelnosti Evropská směrnice pro samozhutitelný beton [10]: „Protože objem tmelu je v samozhutitelném betonu často vyšší než u vibrovaného betonu, lze předpokládat, že modul pružnosti bude o něco nižší. To by však mělo být dostatečně ošetřeno předpoklady bezpečnosti, ze kterých jsou odvozeny vztahy v ČSN EN 1992-1-1. U předpjatého betonu jde hlavně o modul pružnosti v době předpjínání. Protože má samozhutitelný beton vyšší objem cementového tmelu, lze předpokládat, že součinitel dotvarování bude rovněž vyšší než u běžného betonu stejné pevnosti. Tyto rozdíly jsou nicméně malé a jsou podchyteny předpoklady bezpečnosti v tabulkách a vztazích v Eurokódu.“

Uvedené i neuvedené příklady ukazují, že s určitým posunem musíme uvažovat. Druhou, podstatně závažnější skutečností je později popsaná problematika bezvýhradného používání teoretické závislosti [7] modulu pružnosti na pevnosti betonu v tlaku i při značné citlivosti konstrukce na přetvoření.

ZÁVISLOST MODULU PRUŽNOSTI NA PEVNOSTI BETONU V TLAKU

Pro případy, kdy nejsou pro stanovení modulu pružnosti k dispozici přesnější poklady, udává ČSN EN 1992-1-1 [7] následující vztah určující závislost statického modulu E_{cm} [GPa] na průměrné pevnosti betonu v tlaku f_{cm} [MPa]:

$$E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)^{0,3}, \quad (1)$$

kde f_{cm} se odvozuje z pevnostní třídy f_{ck} [MPa] za použití vzorce $f_{cm} = f_{ck} + 8$.

Dále je v normě uveden postup, jak výpočtem získané hodnoty zpřesnit jejich přizpůsobením dalším známým podmínkám (korekcemi závislými na použitém druhu kameniva). I po provedení uvedených a dalších korekcí půjde však vždy o hrubé odhady.

O rozdílů mezi teoretickými hodnotami danými vzorcem (1) a výsledky zkoušek a o velkém rozptylu měřených hodnot svědčí výše uvedený příspěvek Misáka a Vymazala [7]. Zde jsou graficky znázorněny výsledky statického modulu pružnosti sto třiceti betonů. Každý výsledek E_z je přitom průměrem šesti experimentálně zjištěných hodnot. Z hodnot E_z jsou dále odvozovány pro každou pevnost betonu v tlaku střední hodnoty E_{zs} a minimální hodnoty $E_{z,min}$.

Rozdíly mezi hodnotami E_{cm} dle vzorce (1) a středními hodnotami E_{zs}

Při pevnosti v tlaku 40 MPa je střední hodnota E_{zs} přibližně o 5,4 GPa (-16 %) menší než hodnota E_{cm} vypočtená dle vzorce (1). Při vysokých pevnostech v tlaku (80 MPa) je obdobný rozdíl menší: -3,8 MPa (-9,3 %). Podrobnější relativní odhady dává rovnice (2)

$$E_{cm}/E_{zs} = 1,08 + 2,7/f_{cm} \quad (2)$$

Rozdíly mezi hodnotami E_{cm} dle vzorce (1) a minimálními hodnotami $E_{z,min}$

Nejzávažnější je vysoký rozptyl všech jednotlivých výsledků E_z , proto i velké rozdíly mezi hodnotami E_{cm} a minimálními hodnotami $E_{z,min}$. Při pevnosti v tlaku 40 MPa je střední hodnota $E_{z,min}$ přibližně o 11,9 GPa (-36 %) menší než hodnota E_{cm} . Při vysoké pevnosti v tlaku 80 MPa je odpovídající rozdíl: -10,3 MPa (-25 %). S růstem pevnosti v tlaku se relativní rozdíl zmenšuje. Podrobnější relativní odhady dává rovnice (3)

$$E_{cm}/E_{z,min} = 1,21 + 1,2/f_{cm} \quad (3)$$

Variabilita modulu pružnosti a její příčiny

Z grafů v příspěvku [7] je zřejmé, že veliká variabilita modulů pružnosti E_z je u všech pevnostních tříd betonu. V oboru pevností 20 až 100 MPa jsou rozdíly mezi maximálními hodnotami $E_{z,max}$ a minimálními hodnotami $E_{z,min}$ kolem 14 GPa. Relativní rozdíly se proto zmenšují s růstem pevnosti betonu v tlaku f_{cm} .

Na uvedeně variabilitě se podílí v první řadě **modul pružnosti použitého hrubého kameniva**. Modul pružnosti dále ovlivňuje podíl objemu kameniva k objemu betonu. Tento podíl je závislý v první řadě na obsahu vody, tím na použitém zhutňování (proto i na konzistenci čerstvého betonu), na maximální jmenovité horní mezi frakce kameniva (D_{max}), na použití přísad a na použité přepravě betonu (na nárocích na čerpatelnost).

Modul pružnosti betonu je ovlivněn i **vlastnostmi maltové a pojivové složky**. Proto se kromě vlivu vodního součinitele (tím nepřímo pevnosti betonu) uplatňují především vlivy provzdušnění. Takto se kromě provzdušňujících přísad uplatňují i některé plastifikační přísady. Ve shodě s platnými normami se připouští jejich vliv na zvětšení obsahu vzduchových pórů až o 2 %. Proto se může stát, že vliv plastifikační nebo superplastifikační přísady na modul pružnosti betonu bude menší, než by se dalo očekávat od přísadou dosaženého zmenšení vodního součinitele. Uvedený modul pružnosti dále snižují (v interakci s dalšími faktory někdy i zvyšují) např. i následující faktory: druh a obsah příměsí, druh cementu, přísady proti smrštění, polymerní přísady, vlhkost betonu. Samostatnou kapitolou je problematika modulu pružnosti lehkých betonů.

V době používání konstrukce modul pružnosti stále roste, zvláště v případě použití pucolánových a latentně hydraulických složek. Zpravidla bývá ovlivněn i vlivy prostředí. Teplý [11] upozorňuje na vliv mrazu. Při některých zkouškách porušení vnitřní struktury se po cyklech zmrazování a rozmrazování měří dynamický modul pružnosti. Podle doporučení RILEM se připouští jeho snížení až na 80 % hodnoty změřené před požadovaným počtem cyklů zmrazování a rozmrazování. Na druhé straně jsou známá sledování (Bílek [12], Brameshuber [13]), kdy za určitých podmínek (např. přírod-

ních) může vliv mrazu ovlivnit dynamický modul pružnosti i pozitivně.

Vysoký rozptyl hodnot statického modulu pružnosti ovlivňuje i **zkoušební metoda**. Brameshuber popsal [14] výsledek mezilaboratorních zkoušek dvanácti laboratoří, ve kterých byly prováděny zkoušky na identickém betonu. Poměr minimálního a maximálního výsledku vyšel 0,74. Proto je třeba zdokonalit metody zkoušení a upravit zkušební normu. Výsledky zkoušek nezanedbatelně ovlivňuje také volba zkušebních těles. Z dlouhodobých zkušeností vyplývá, že výsledky zjištěné na válcích jsou o 5 až 10 % horší než výsledky zjištěné na trámčích. Dále, podle Dohnálka [15], dávají zkoušky na vývrtech poněkud jiné výsledky než zkoušky těles vyrobených ve zkušebních formách.

Nikoliv bezdůvodně uvedli v příspěvku [16] Šmilauer a Bittnar: „Zvětšování modulu pružnosti (a všeobecněji zmenšování deformací) je řádově obtížnější než zvětšování pevnosti. Pro řešení těchto úloh je proto třeba využít i popsané náročné postupy.“

Uvedené nejistoty se týkají projektanta hlavně tím, že si jich bude vědom. Podobné nebo větší nejistoty jsou i u dalších druhů přetvoření, např. dotvarování a smrštění. Vítek [17] proto doporučuje snahu o robustnost návrhu. Připomíná, že v době projektu není znám výrobce betonu, a tím nemohou být známy vlastnosti složek betonu, a tím ani jeho složení. V době projektu nemusí být znám ani dodavatel, který bude konstrukci realizovat. Projektant proto nemůže vždy znát všechny faktory (hlavně např. druh hrubého kameniva, konzistenci, důsledky z nároků na čerpatelnost a na provzdušnění), které ovlivňují modul pružnosti betonu zvolené pevnostní třídy. Z druhého pohledu není však dobré, že se k výrobcí betonu dostávají požadované specifikace často až „za pět minut dvanáct“. V současné praxi výroby transportbetonu, kdy dodavatel stavby není zároveň výrobcem betonu, mohou technologové betonu jen s povzdechem naslouchat vyprávění svých starších kolegů (např. Ing. Miroslava Moravce) o tom, jak předvýrobní příprava velký staveb probíhala několik měsíců i let před samotnou stavbou.

Ze všech uvedených důvodů je účelné použít postup uvedený v následující kapitole.

**ZÁVISLOST SPECIFIKACE POŽADAVKŮ
NA CITLIVOSTI KONSTRUKCE
NA PŘETVOŘENÍ**

Na rozdíl od původního evropského znění jsou ve změně Z3 ČSN EN 206-1 [1] do jejího článku „6.2.3 Doplňující požadavky“ zahrnuty dříve chybějící závažné požadavky, mimo jiné i požadavek na modul pružnosti. Proto se projektant může a musí rozhodnout, zdali požadavek na modul pružnosti uplatní. Jak bude dále uvedeno a zdůvodněno, nemá tato specifikace důsledky pouze technické; dosti závažné jsou i její důsledky ekonomické. Proto je třeba především pečlivě rozlišovat, zdali má chybný odhad modulu pružnosti závažné nebo málo závažné důsledky. Toto rozlišení rozhodne o zařazení modulu pružnosti (event. dalších požadavků ovlivňujících přetvoření prvku nebo konstrukce) do specifikovaných doplňujících požadavků na typový beton dle čl. 6.2.3 ČSN EN 206-1 (dále jen „specifikovaných požadavků“).

Malá citlivost na přetvoření

V první řadě jde o případy, kdy o návrhu prvku nebo konstrukce nerozhoduje závažný požadavek na použitelnost, když např. není třeba limitovat průhyb prvku většího rozpětí nebo limitované výšky. Do zařazení „malá citlivost“ mohou dále patřit případy, kdy namáhání v kritických průřezích staticky neurčitých konstrukcí není významně ovlivněno změnami přetvoření, tedy i modulem pružnosti.

Při „malé citlivosti“ není třeba modul pružnosti zařazovat do specifikovaných požadavků. Když v době projektu nebudou známy výrobní podmínky, bude třeba předpokládat, že skutečný modul pružnosti bude kolem střední hodnoty E_{zs} a že se v krajním případě mohou vyskytnout mimořádně nízké hodnoty kolem $E_{z,min}$. V zájmu návaznosti na tabulku eurokódu 3.1 jsou tyto hodnoty uvedeny v tab. 1.

Velká citlivost na přetvoření

V případech závažného vlivu modulu pružnosti by měl mít projektant v zásadě možnost stanovit hodnotu modulu pružnosti podle svých potřeb, podobně jako stanovuje požadovanou pevnostní třídu. Pro reálnost požadavku a v zájmu hospodárnosti by požadované hodnoty neměly příliš překračovat hodnoty E_{cm} a naprosto výjimečně by měly být požadovány hodnoty vyšší než 40 GPa.

V tomto případě zařadí projektant stanovenou hodnotu modulu pružnosti do seznamu požadavků, které bude nárokovat specifikátor u výrobce čerstvého betonu. Specifikátor uplatní uvedený požadavek projektanta tím, že jej zařadí do doplňujících požadavků na typový beton (čl. 6.2.3 ČSN EN 206-1 [1]).

**Ekonomické a ekologické důvody
uvedeného rozlišování**

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole, stále se vyskytují názory, že u betonu požadované pevnostní třídy by měl výrobce betonu automaticky dodržovat statický modul pružnosti uvedený v tabulce 3.1 ČSN EN 1992-1-1 [7]. Tento názor se zcela vymyká z pojetí platné normy ČSN EN 206-1 [1] a ze současné praxe. Jako příklad lze uvést, že výrobci betonu uvádějí pro beton určité třídy v cenících nejen základní cenu, ale i příplatky za další požadavky (případně i slevy za hospodárněji vyráběné betony). Hlavně jde o nároky stupňů vlivu prostředí XF2 až XF4, a tím zpravidla i na provzdušnění. Oprávněně jsou podobně vyjadřovány zvýšené nároky i u požadavků na odolnost proti dalším vlivům prostředí a další nezanedbatelné náročné specifické požadavky. Některé z nich si vyžádají použití ekonomicky náročnějších složek betonu (např. požadavek na urychlení tvrdnutí betonu v zimním období), jiné si vyžádají nezanedbatelné náročnou zku-

šebnickou činnost (samostatné průkazní zkoušky, kontrolu shody). Některé ze základních a doplňujících požadavků jsou přitom splnitelné jen ve stanoveném oboru pevnostních tříd.

Nejde přitom pouze o otázku cen. Např. požadavek vyžadující výhradní použití portlandského cementu CEM I nebo zvýšený obsah tohoto cementu (např. při nepoužití příměsí) má nezanedbatelný vliv nejen na spotřebu energie, ale i na emise. Další příklady vlivů na životní prostředí budou uvedeny v následující kapitole. **Povinnost automatického plnění doplňujících požadavků i v těch případech, kdy není důvod je nárokovat, by proto mělo zbytečné, ekonomicky i ekologicky nežádoucí důsledky.**

**DŮSLEDKY SPECIFIKACE MODULU
PRUŽNOSTI PRO VÝROBCE BETONU**

Když je specifikace pevnostní třídy betonu doplněna o specifikaci statického modulu pružnosti, musí výrobce betonu v první řadě prověřit **současný stav**, tedy provést příslušné zkoušky. U běžných typových betonů nejsou zkoušky modulu pružnosti vyžadovány. V souladu s platnými technickými normami nemusí být tyto zkoušky součástí průkazních zkoušek, a není prováděna kontrola shody.

V případě, že je výše uvedenými zkouškami zjištěno, že nově specifikovaná hodnota modulu pružnosti je větší než zaručeně dosažitelná hodnota příslušného typového betonu, je třeba provést zpravidla zkoušky betonu nově navrženého složení. Jednou z možností, jak zvětšit modul pružnosti, je změna druhu hrubého kameniva. Jako **příklad** lze uvést náhradu hrubého předcovaného těžného kameniva s modulem pružnosti kolem 35 GPa drceným čedičovým kamenivem s modulem pružnosti kolem 75 GPa. Směrně lze pak očekávat, že dosud dosahovaný modul pružnos-

Tab. 1 Pevnostní a pružnostní charakteristiky betonu pevnostních tříd C - $f_{ck,cube}$
Tab. 1 Strength and elasticity characteristics of concrete of the strength levels C - $f_{ck,cube}$

Charakteristika	1)	Hodnoty pevností betonu v tlaku a statických modulů pružnosti												
$f_{ck,cube}$ [MPa]		15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95
f_{cm} [MPa]		20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88
E_{cm} [GPa] ²⁾	(1)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42
E_{zs} [GPa] ³⁾	(2)	22	24	25	27	29	30	31	32	33	34	35	37	38
$E_{z,min}$ [GPa] ³⁾	(3)	15	17	18	20	22	23	24	25	26	27	28	30	31

Pozn. 1) čísla výše uvedených použitých rovnic, 2) viz Eurokód ČSN EN 1992-1-1 [7], 3) odvozeno z [6]

ti se uvedenou změnou zvětší o 20 % přírůstku modulu pružnosti kameniva, tedy o $0,2 \cdot (75 - 35) = 8$ GPa. (Použití směrné pravidlo – růst o 20 % přírůstku modulu pružnosti kameniva – bylo odvozeno z podrobných zkoušek publikovaných Schiesslem a kol. [18]). Vhodnost změny složení betonu je nutno potvrdit **průkaznými zkouškami**. Dalším důsledkem uvedeného doplňujícího požadavku je běžně neprováděná **kontrola shody** statického modulu pružnosti v tlaku, která byla nově stanovena v ČSN EN 206-1 [1] změnou Z3.

Zvětšení nákladů nemusí být ovlivněno pouze uvedenými dosti náročnými zkouškami. Např. změna dodavatele kameniva si zpravidla vyžádá nejen změnu ceny kameniva, ale i zvětšení nákladů na jeho **dopravu** (kamenivo s velkým modulem pružnosti není vždy v blízkosti betonárny). Navíc je třeba zpravidla počítat i s **provozními obtížemi** vyplývajícími z odděleného skladování a z dávkování další složky betonu. Celospolečenský dopad mohou mít i energetické nároky na drcení kameniva, které jsou u tvrdého a houževnatého kameniva vyhovujícího požadavku na vysoký modul pružnosti významně větší než u běžně používaného kameniva vyhovující pevnosti.

Z uvedeného je zřejmé, že není účelné obecně (nezávisle na konkrétních podmínkách) vždy vyžadovat (a tím i garantovat), aby všechny typové betony plnily současně se základními požadavky i pouze teoreticky podložené požadavky na modul pružnosti nebo některé další vlastnosti betonu.

ZÁVĚR

Příspěvek ukazuje, že požadavky na dodržení modulu pružnosti lze racionálně plnit i v rámci současně platných technických norem.

Pokud jde o navrhování, je možno připustit, že vlivem současných ekonomických a ekologických trendů (lepší zpracovatelnost betonů – u transportbetonu nyní hlavně konzistence S4 a též snadnohutnitelné betony a samozhutnitelné betony, používání příměsí a směsných cementů, širší používání hrubého těženého snadněji drtitelného kameniva, snaha o použití recyklovaného kameniva) dochází k výše specifikovanému zmenšování statického modulu pružnosti a ke zvětšování jeho variability. Podle vysvětlení Procházký [19] lze však dopad

Literatura:

- [1] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČNI, 2001, včetně změny Z3 z května 2008
- [2] Vašková J., Števíla M., Veselý V.: Modul pružnosti automaticky? Beton TKS 6/2007
- [3] Teplý B.: Ještě k modulu pružnosti, Beton TKS 1/2008
- [4] Pokorný J., Mokříž P.: Beton – nejrozšířenější stavební materiál, současné problémy při návrhu a realizaci některých betonových konstrukcí, 15. Beton. dny (2008)
- [5] Mokříž P.: Studie bez názvu zaměřená na specifikaci betonu, zvláště na jeho pružnost, dotvarování, smrštění a pevnosti v tahu, 2008 až 2009, Ing. Petr Mokříž, PPP, s. r. o.
- [6] Misák P., Vymazal T.: Modul pružnosti vs. pevnost v tlaku, Beton TKS 2/2009
- [7] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, ČNI (2006)
- [8] Hela R., Křížová K.: Moduly pružnosti v závislosti na návrhu složení betonu, 8. konf. Technologie betonu (2009)
- [9] Selbstverdichtender Beton – Eigenschaften und Prüfung. (Samozhutnitelný beton – vlastnosti a zkoušení), Beton 7+8/2006
- [10] Evropská směrnice pro samozhutnitelný beton, www.svb.cz/pomucky.htm, květen 2005
- [11] Teplý B., Rovnaník P.: Účinky mrazu na beton, Beton TKS, 4/2007
- [12] Bílek V., Mosler T., Keršner Z., Schmid P.: ...a nejlepší je beton, který zmrzne. Betonářské dny 2001, Sb. př. (2001)
- [13] Brameshuber W., Spörel F.: Frostwiderstand (XF1 und XF3) von CEM III-Betonen – langjährige Auslagerung im Vergleich zum Laborprüfverfahren (Mrazuvzdornost (XF1 und XF3) betonů s CEM III – dlouhodobé uložení v porovnání s laboratorní zkušební metodou), CEMEX HOZ-Seminar 2007
- [14] Brameshuber W., Brockmann T.: Ringversuch zur Ermittlung des statischen Elastizitätsmoduls von Beton. (Mezilaboratorní zkoušky ke zjištění statického modulu betonu), Beton 6/2003
- [15] Dohnálek J.: Stanovení pevnosti betonu v tlaku na jádrových vývrtech – průkaznost a reprodukovatelnost: Konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví (2007)
- [16] Šmilauer V., Bittnar Z.: Elastické vlastnosti betonu z víceúrovňové homogenizace, Beton TKS 4/2006
- [17] Vítek J. L.: Smršťování a dotvarování betonu – obecné zákonitosti, 6. konf. Technologie betonu (2007)
- [18] Schiessl P., Spengler A., Wiegling K. H.: Einfluss der Gesteinkörnung auf den E-Modul von Beton (Vliv kameniva na E-modul betonu), Beton 2/2003
- [19] Procházký J.: Zavádění EN 1992: „Navrhování betonových konstrukcí“ do praxe – Úvodní část, Beton TKS 1/2003

uvedeného vlivu řešit i bez změny eurokódu EN 1992-1-1. V krajním případě lze pro mezní stav použitelnosti použít jiný součinitel spolehlivosti, než je obvyklá hodnota 1,0.

Zařazení modulu pružnosti mezi specifikované požadavky si u výrobce betonu vyžádá nezanedbatelné vícepráce, navíc dosti často i použití nákladnějších a dopravně náročnějších složek betonu. Z uvedeného důvodu má specifikace doplňujícího požadavku technické i tržní dopady. Pro dosavadní výjimečnost požadavku nejsou nyní zpravidla tyto dopady zahrnuty do ceníků betonů. S cenovým dopadem je však třeba počítat. Specifikace sledovaného doplňujícího požadavku by proto měla být

uplatňována pouze v případech velké citlivosti prvku nebo konstrukce na přetvoření.

Téměř vše, co je v příspěvku uvedeno pro statický modul pružnosti, lze v zásadě uplatňovat i u ostatních charakteristik přetvoření, případně i u dalších doplňujících požadavků.

Ing. Pavel Rieger
ZAPA beton, a. s.
Videňská 495, 142 01 Praha 4
e-mail: pavel.rieger@zapa.cz

Ing. Alain Štěrba
Loudin a spol., s. r. o.
Křivá 8, 130 00 Praha 3
e-mail: a.sterba@volny.cz