

STUDIUM VLIVU TVARU, VELIKOSTI A ZPŮSOBU PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍHO TĚLESA NA VÝSLEDEK ZKOUŠKY STATICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI BETONU V TLAKU ■ THE STUDY OF SPECIMEN SHAPE AND SIZE ON TEST RESULT OF MODULS OF ELASTICITY

Petr Huňka, Jiří Kolísko

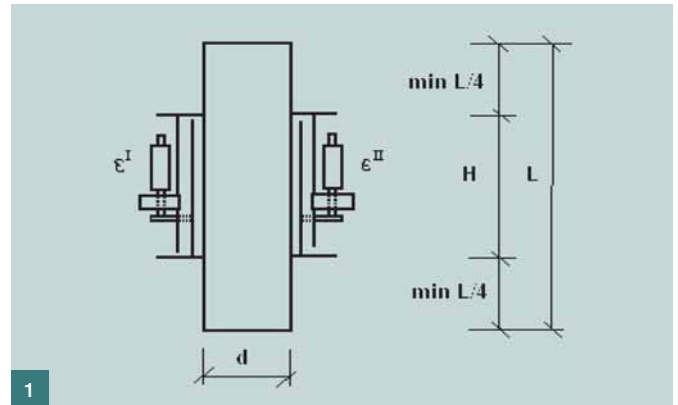
Statický modul pružnosti je v posledních letech stále častěji frekventovaným parametrem charakterizujícím vlastnosti betonu. Přechod na evropské normy vyvolává nejasnosti, jak nakládat s tímto parametrem při návrhu a provádění konstrukcí. Některé nejasnosti jsou také spojeny s jeho ověřováním zkouškami a s následným praktickým využitím získaných výsledků. Článek se zabývá vybranými aspekty zkoušení a vlivy na výsledek experimentálního stanovení hodnot statického modulu pružnosti betonu. Na základě srovnávacího experimentálního programu je studován zejména vliv přípravy zkušebních těles a dále vliv tvaru a velikosti zkušebního tělesa na výsledek zkoušky statického modulu pružnosti betonu v tlaku. Srovnávací testy byly provedeny na válcích a trámčích klasicky vyrobených z forem a dále na trámčích získaných z betonových bloků, které mají simulovat odběr z reálné konstrukce. ■ Modulus of elasticity is one of very important material parameter for concrete structures, that goes into series of static computing and is near by other physically-mechanic characteristic of concretes as creep, shrinkage, frost resistance, durability etc.. Modulus of elasticity describes ability of concrete to conduct lively under load. Modulus is determining from deformations, which impending after known loading. Values determined on same material test specimen, who were made and treated identically, have not same rate for series of technological influences. New Europe standardization causes some dubiousness not only on application of this material constant but on measurement method, too. Project was focused on comparison study of specimen shape and size on test result of elasticity modulus. Cylindrical and prism concrete test specimens of different size were tested and results were compared.

Jednou z hlavních materiálových charakteristik každého betonu je modul pružnosti betonu E , který popisuje schopnost betonu chovat se pod určitým zatížením do jisté míry pružně a určuje, jak moc se bude daný beton (materiál) pod zatížením deformovat. Modul pružnosti vstupuje do statických výpočtů a má úzký vztah k řadě dalších fyzikálně-mechanických vlastností betonu, jako je dotvarování, smršťování, mrazuvzdornost atd. Je obecně známo, že hodnoty modulu E stanovené na zkušebních vzorcích z betonů stejných pevnostních tříd, avšak různého složení nenabývají s ohledem na řadu technologických vlivů stejných hodnot [5], [6], [7].

STANOVENÍ STATICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI V TLAKU – ČSN ISO 6784

Dle ČSN ISO 6784 by se pro zkoušku mělo přednostně použít válců o průměru 150 mm a výšce 300 mm, avšak je možno použít i jiná zkušební tělesa, která mají poměr příčného rozměru k výšce v rozmezí 1 : 2 až 1 : 4, přičemž příčný rozměr tělesa je nejméně čtyřnásobek největšího zrna kameniva v betonu. Této podmínce vyhovují například velmi často používané trámce 100 × 100 × 400 mm.

Na každé zkušební těleso se osazují minimálně dva snímače deformací, které nesmí být umístěny v krajních čtvrtinách délky vzorku a jejichž délka musí být alespoň 2/3 příčného



Obr. 1 Umístění snímačů deformací na zkušebním tělese [5] ■
Fig. 1 Surface strain indicator on testing specimen

rozměru tělesa. Během zkoušky je těleso opakovaně zatěžováno v mezích mezi 0,5 MPa, což je dolní napětí, a 1/3 pevnosti betonu v tlaku srovnávacích těles, která se zjišťuje na třech tělesech stejného stáří, stejné velikosti a stejného uložení jako tělesa, která budou použita pro stanovení statického modulu pružnosti betonu [8].

OVLIVNĚNÍ VÝSLEDNÉ HODNOTY STATICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI BETONU

Podrobný rozbor všech možných vlivů je nad rámec tohoto článku. Pro ucelenost dalšího textu zde proto uvádíme pouze určitý nástin vlivů na výslednou hodnotu modulu pružnosti betonu, a to zejména na experimentální stanovení. Vlivy lze rozdělit v zásadě do dvou skupin:

• Technologické vlivy

- složení betonové směsi (druh a množství kameniva, cementu, příměsí a přísad, vodní součinitel)
- technologie výroby a zpracování betonové směsi (míra zhutnění, způsob a doba ošetřování během tuhnutí a tvrdnutí)

• Zkušební vlivy

- tvar a velikost zkušebního tělesa (válece, trámce, poměr příčného rozměru k výšce)
- způsob získání zkušebního tělesa (tělesa z forem z laboratoře x stavba, vývrty z konstrukcí)
- stáří zkušebního tělesa
- prostředí během zkoušky (teplota, vlhkost)
- rychlost zatěžování, excentricita působící síly aj.

Řada jednotlivých vlivů je uvedena a popsána v literatuře [1], [2], [3], [4] a je zřejmé, že na výslednou hodnotu modulu pružnosti má vliv celá řada činitelů. Z hlediska složení betonové směsi má dominantní vliv na výsledný modul pružnosti druh a poměr míšení použitého hrubého a drobného kameniva, které tvoří nosnou kostru betonu. Z hlediska ošetřování má značný vliv tepelné urychlování tvrdnutí. Z hlediska

zkoušení některé vlivy „řeší“ norma ČSN ISO 6784 (zkušební tělesa, uspořádání zkoušky, rychlost zatěžování, přesnost měřících přístrojů). V následující experimentální části je rozebírána zejména míra vlivu tvaru zkušebního tělesa na měřené hodnoty modulu.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Výroba a ošetřování zkušebních těles

Pro účely experimentu bylo navrženo připravit sérii stejně starých vzorků z betonu třídy C25/30 XC1 S3 (tab. 1). Jednalo se o nejčastěji vyráběný beton v betonárně, která zajišťovala pro experimentální výzkum čerstvý beton.

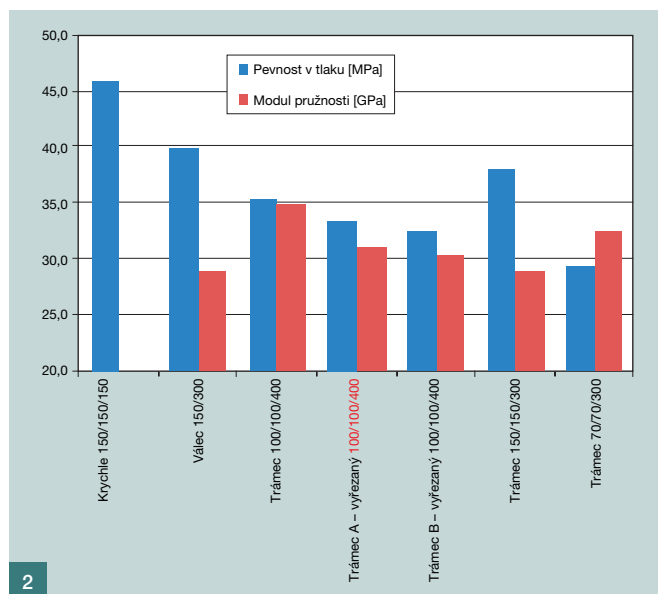
Betonová směs byla vyrobena 6. února 2008 na betonárně llbau Řeporyje a autodomíchávačem dopravena do Kloknerova ústavu ČVUT v Praze. Čerstvý beton byl uložen do forem a zhutněn na vibračním stole. Celkem bylo pro stanovení modulu pružnosti a pevnosti betonu v tlaku vyrobeno padesát zkušebních těles různých tvarů a velikostí.

Dále byly vyrobeny tři bloky o rozměrech 500 × 500 × 150 mm, 500 × 500 × 100 mm a 500 × 500 × 700 mm určené k rozřezání či odvtřání zkušebních těles za účelem simulace získávání těles z reálné konstrukce. Pro hutnění betonu v blocích byl použit ponorný vibrátor.

Všechny vyrobené betonové prvky byly odformovány následující den a po označení byly vzorky uloženy do vody o teplotě 20 °C.

Doposud naměřené hodnoty

Měření byla v KÚ ČVUT v Praze uskutečněna na zatěžovacím stroji INSTRON. Zatěžovací cyklus byl naprogramován dle požadavků normy ČSN ISO 6784 a po zahájení zkoušky probíhal automatizovaně bez zásahu obsluhy. Deformace byly snímány dvěma proti sobě umístěnými extenzometry napojenými přímo do řídicí ústředny zatěžovacího stroje. Odměrná délka snímačů byla ve všech případech 150 mm. Aby



Obr. 2 Porovnání modulů pružnosti a pevnosti betonu v tlaku
 Fig. 2 Comparison of strength and modulus of elasticity

Tab. 1 Složení použitého betonu C25/30 XC1, sednutí kužele 160 mm
 Tab. 1 Mix design C25/30 XC1, slump test 160 mm

Složení betonu C25/30 XC1 S3	Množství
CEM I 42,5 R (Radotín) [kg/m ³]	344
popílek Mělník [kg/m ³]	38
kamenivo 0–4 Hostín [kg/m ³]	788
kamenivo 8–16 Hostín [kg/m ³]	984
superplastifikátor ChrysoFluid Optima 206 [kg/m ³]	3,33
voda [kg/m ³], w/c = 0,35	125

Tab. 2 Statický modul pružnosti betonu C25/30 XC1 ve stáří cca 150 dnů
 Tab. 2 C25/30 XC1 - modulus of elasticity in 28 days

Rozměry tělesa [mm]	Poměr d/L [-]	Počet těles [ks]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Pevnost betonu v tlaku [MPa]	Modul pružnosti betonu [GPa]
Krychle o hraně 150	1:1	tři	2 270	46	-
Válec 150 x 300	1:2	tři	2 290	40	29
Trámec 100 x 100 x 400	1:4	tři	2 260	35,5	35
Trámec A – vyřezaný 100 x 100 x 400 ^{a)}	1:4	tři	2 260	33,5	31
Trámec B – vyřezaný 100 x 100 x 400 ^{b)}	1:4	tři	2 280	32,5	30,5
Trámec 150 x 150 x 300	1:2	čtyři	2 270	38	29
Trámec 70 x 70 x 300	1:4,2	čtyři	2 260	29,5	32,5

Poznámka: ^{a)} Trámec A – řezány čela a dvě boční strany, dvě strany jsou z formy
^{b)} Trámec B – řezány čela a čtyři boční strany trámce

Tab. 3 Moduly pružnosti válce x trámce ve stáří 28 dní
 Tab. 3 Modulus of elasticity in 28 days – cylinders x prisms

Třída betonu	Pevnost v tlaku (válcová nebo hranolová) ^{c)} [MPa]		Modul pružnosti ^{c)} [GPa]		Poměr modulů pružnosti ^{d)} [%]
	Válec	Trámce	Válec	Trámce	Trámce *100/ Válec
C25/30 XC1	40	35,5	29	35	120,5
C25/30 XC1	37	29,5	28	29,5	105,4
C30/37 XC1	36	33,5	30	32,5	108,3
C30/37 XC2	33	28,5	36,5	39	106,8
C30/37 XF4	46	43,5	35,5	39,5	111,3
C35/45 XF2	56	54	40	41	102,5
C45/55 XF2	57	55	35	37	105,7
C55/67	71,5	-	40,5	47,5	117,3

Poznámka: ^{c)} Výsledek zkoušky pevnosti a modulu pružnosti je vždy průměrná hodnota ze tří těles
^{d)} Modul pružnosti válců uvažován jako hodnota 100%

byl v průběhu relativně rozsáhlého experimentálního programu eliminován možný vliv časového vývoje vlastností betonu mezi jednotlivými termíny zkoušek, byly testy prováděny na tělesech až po delší době tvrdnutí. Zkoušky byly zahájeny ve stáří 150 dní po betonáži a proběhly v intervalu dvou týdnů. Porovnání průměrných naměřených vlastností pro různé tvary a velikosti těles je uvedeno v tabulce 2. Pro každý typ tělesa byly zkoušeny nejméně tři vzorky.

Další měření uskutečněná na betonech v konstrukcích

V Kloknerově ústavu bylo v období srpen 2007 až srpen 2008 při kontrolních zkouškách na betonech aplikovaných do reálných konstrukcí prováděno dle možností i srovnávání modulů pružnosti v tlaku na dalších betonech různých pevnostních tříd. Porovnávány byly vždy válce o rozměrech 150 × 300 mm s trámcí o rozměrech 100 × 100 × 400 mm ve stáří 28 dní zrání a srovnatelného uložení. Souhrnné průměrné výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

ZÁVĚR

Se zpřesňováním výpočtových modelů a zvyšováním a zpřesňováním požadavků projektantů i investorů na výsledné parametry betonu se ukazuje téma měření objektivní hodnoty statického modulu pružnosti jako velmi aktuální. Cílem článku je poukázat na vlivy plynoucí zejména z uspořádání normové zkoušky dle ČSN ISO 6784 na výsledky měření. Odhlédneme-li od všech nejistot měření plynoucích z přesnosti měřidel, osazení zkušebních těles do stroje, lidský faktor při provádění testů atd., lze z dosud provedených testů konstatovat:

- Není překvapující, že tvar zkušebních těles významně ovlivňuje výsledek zkoušky. Nezanedbatelný rozdíl lze však zaznamenat i v případě, že zkušební tělesa rozměrově vyhovují limitům požadovaným normou ČSN ISO 6784, tj. mezi válcem 150 × 300 mm a hranolem 100 × 100 × 400 mm.
- Z dosud provedených měření je patrné, že výsledky naměřené na trámcích se štíhlostním poměrem 1:4 poskytují zjevně vyšší hodnoty statického modulu pružnosti než měření na válcích s štíhlostním poměrem 1:2 ze stejného betonu a stejně ošetřovaných. Příčiny této skutečnosti jsou v současnosti zkoumány. Důvody lze spatřovat např. ve vlivu výrazně rozdílného štíhlostního poměru. Z něj plyne i rozdílná napjatost v koncových partiích zkoušených vzorků, a tím i ovlivnění měřených deformací neboli v menších deformacích hranolu, kde měřená oblast odpovídá více namáhání prostým tlakem, oproti válci s nižším štíhlostním poměrem. Dalším ovlivňujícím faktorem může být i rozdílný způsob přípravy (hutnění) válců (svisle) a trámců (naležato), který může vést k jinému uspořádání kostry hrubého kameniva. U menších hranolů o hraně 100 × 100 × 400 mm může být tento faktor ještě více zdůrazněn.
- Při uvažování válce jako úrovně 100 %, bylo u zkušební záměsi C25/30 XC1 maximální dosažené zvýšení hodnot o 20,5 %. U kontrolních zkoušek na betonech aplikovaných do konstrukcí se zvýšení na trámcích pohybovalo v rozmezí 2,5 až 20,5 %.
- Ze srovnání výsledků měřených na zkušební receptuře C25/30 XC1 na trámcích 100 × 100 × 400 mm vyřezaných z bloků a vyrobených z forem je patrné, že vyřezané trámce poskytují nižší hodnoty modulu pružnosti. Při uvažování trámců z forem jako srovnávací úrovně 100 % je snížení relativně značné, a to o cca 13 %.
- Objemová hmotnost ztvrdlého betonu stanovená z tvaru

Literatura:

- [1] *Bechyně S.*: Technologie betonu – pružnost betonu, 1. v., Praha, SNTL, 1959. 168 s.
- [2] *Aitcin P.-C.*: Vysokohodnotný beton, 1. č. v., Praha, ČKAIT, Betonové stavitelství, 2005, 320 s., ISBN 80-86769-39-9
- [3] *Adámek J., Novotný B., Koukal J.*: Stavební materiály, Brno, CERM, 1997, 205 s., ISBN 80-214-0631-3
- [4] *Pytlík P.*: Technologie betonu, 2. v., Brno, VUTIUM, 2000. 390 s., Učebnice sv. 1. ISBN 80-214-1647-5
- [5] *Cikrle P.*: Zkoušení stavebních materiálů, CERM Brno 1997
- [6] *Huňka P.*: Diplomová práce: Sledování růstu modulu pružnosti vysokohodnotného betonu, listopad 2006, Stavební fakulta VUT v Brně
- [7] *Cikrle P., Huňka P.*: Porovnání metodik zkoušení modulu pružnosti betonu, Sb. konference Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2005
- [8] ČSN ISO 6784 Beton – Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku

zkoušených těles byla relativně homogenní. Proto tento vliv na hodnotu měřeného statického modulu v dosud provedených experimentech nepokládáme za významný.

Co říci závěrem? Experimentální stanovení a vyhodnocení statického modulu pružnosti betonu má určitá úskalí. Na některá jsme se pokusili v tomto článku upozornit. Z dosud provedených experimentů a získaných zkušeností lze konstatovat, že vliv tvaru zkušebního tělesa, a to i v rámci limit požadovaným normou ČSN ISO 6784 (válec 150 × 300 mm na jedné straně intervalu a hranol 100 × 100 × 400 mm na straně druhé), může být velmi výrazný. Pro stejný beton tak lze naměřit hodnotu, která požadavkům projektu či normy zcela bezpečně vyhoví, anebo hodnotu, která bude výrazně nevyhovující. Paradoxně oba výsledky budou stanoveny ve stejné laboratoři normovým způsobem.

Přitom nově zavedená změna Z3 normy ČSN EN 206-1 zavádí v tabulce NA.17 pro posouzení shody u statického modulu pružnosti relativně přísné kritérium. Spodní mezní přípustná odchylka od požadované hodnoty (např. definované třídou) je rovna 0. Jak experimenty prozatím ukazují, vliv na nižší hodnotu statického modulu pružnosti má i příprava těles, tj. zda byla tělesa vyrobena ve formě či vyřezána z konstrukce. Vyřezané trámce mají očekávaně i nižší pevnosti v tlaku, což koresponduje také s normou ČSN EN 13 971 pro posuzování betonu na vzorcích odebraných z konstrukcí.

Autoři děkují za spolupráci a cenné připomínky paní Ing. Haně Kučerové, Ph.D., ze společnosti Chryso Chemie, s. r. o., a betonárně Ilbau Řeporyje, dodavateli betonové směsi pro experimentální výzkum.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS10/228/OHK1/2T/31 a grantovým projektem GAČR P104/10/2359.

Ing. Petr Huňka
tel.: 224 353 521, e-mail: hunka@klok.cvut.cz



Doc. Ing. Jiří Kolisko, Ph.D.
tel.: 224 353 537, e-mail: kolisko@klok.cvut.cz



oba: Kloknerův ústav ČVUT v Praze
Šolínova 7, 166 08 Praha 6
<http://web.cvut.cz/ki/>