

MODUL PRUŽNOSTI

Uživatel zprávy: **ZAPA beton a.s.**

Tento dokument slouží pro interní i externí použití:

1. Obchodní zástupce – obchodní podmínky a stanovení cen
2. Pracovníky provozu – odběr zkušebních těles
3. Pracovníky laboratoře a oddělení technologie

1 Úvod

Modul pružnosti je základním materiálovým parametrem, který definuje vztah mezi napětím betonu a jeho deformací. Používá se k výpočtu deformací konstrukcí, ale rovněž ovlivňuje rozložení vnitřních sil u staticky neurčitých konstrukcí. Tento dokument vychází a cituje publikaci Technická pravidla ČBS 05 – Modul pružnosti betonu [1].

Zkratky a značení uváděné v tomto předpokládá elementární znalost problematiky. Podrobnější vysvětlivky lze nalézt v [1], Eurokodu 2 – ČSN EN 1992-1-1 [2] nebo fib Model Code 2010 [3].

Dokument má za cíl nastavit pravidla při specifikaci modulu pružnosti a objasnit pravidla pro hodnocení shody tohoto parametru. Tento dokument platí pouze pro betony, u kterých bylo zaslavněno dodržení parametru předepsaného modulu pružnosti E_{cm} .

2 Hodnoty uváděné v předpisech a vlastnosti betonu ZAPA

V návrhových předpisech jsou uváděny přibližné střední hodnoty parametru sečnového modulu pružnosti. V tabulce jsou uvedeny betony, které se používají pro konstrukce citlivé na dotvarování.

Tabulka 1: Střední orientační hodnoty uvažované návrhovými předpisy

Třída betonu	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75
EC2 [GPa]	31.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0
MC2010 [GPa]	28.0	29.7	31.4	33.0	34.5	36.0	37.5	38.9

V následující tabulce jsou hodnoty modulu pružnosti dosahované na standardních betonech s těžným přírodním kamenivem z betonárny Kačerov. Vzhledem k podobným materiálům používaných na většině provozů v rámci ZAPA – Čechy, lze tyto hodnoty brát jako orientační pro všechny vyráběné betony.

Tabulka 2: Hodnoty dosahované na betonech ZAPA s přírodním těžným kamenivem

Pevnostní třída	Minimální naměřená hodnota E [GPa]	Maximální naměřená hodnota E [GPa]	Průměrná hodnota E [GPa]	Hodnota E_{cm} v Eurokódu 2 [GPa]
C 25/30	29,1	32,6	30,4	31,0
C 30/37	31,1	36,3	32,4	33,0
C 40/50	34,1	36,0	35,0	35,0

Z výše dosažených výsledků vyplývá značný rozptyl dosahovaných výsledků na betonech jednotlivých pevnostních tříd a také to, že průměrné střední hodnoty jsou v souladu s požadavky uvedených předpisů.

3 Terminologie

E_{cm}	Sečnový modul pružnosti – střední hodnoty
E_{ci}	Reálně naměřená hodnota modulu pružnosti v i-tém měření v souladu s TP ČSB 05 (ČSN ISO 1920-10)
E_{cai}	Průměr z posledních i reálně naměřených výsledků
$E_{c,min}$	Minimální hodnota (zaručená) modulu pružnosti
f_c	Pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	Charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{ck, cyl}$	Charakteristická (válcová) pevnost betonu v tlaku
$f_{ck, cube}$	Charakteristická (krychelná) pevnost betonu v tlaku
f_{cm}	Průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku

4 Specifikace modulu pružnosti

Modul pružnosti může být dle TP ČBS 05 specifikován pouze střední (průměrnou) hodnotou modulu pružnosti E_{cm} !!!

Pokud specifikátor (objednatel) požaduje minimální zaručenou hodnotu modulu pružnosti $E_{c,min}$ je nutné uvažovat E_{cm} nejméně o 4GPa vyšší než je požadovaná minimální zaručená hodnota.

Podle Eurokodu znamená rozdíl 4GPa u modulu pružnosti rozdíl mezi pevnostními třídami C30/37 a C50/60!

Pokud tedy zákazník požaduje **zaručenou hodnotu modulu pružnosti $E_{c,min}$** je nutné ho na tuto skutečnost upozornit a ověřit správnost naspecifikování modulu pružnosti (střední vs. zaručená minimální hodnota). V případě potvrzení požadavku na zaručenou hodnotu je nutné nacenit beton o 2 pevnostní třídy vyšší včetně nákladů na ověřování shody!!!

Příklad:

Zákazník si objedná beton:

C30/37 – XC4, XA1, XF2 – CI 0,2 – D_{max}22 – S4

Modul pružnosti $E_{c,min} = 31 \text{ GPa}$

Pro zaručené splnění tohoto požadavku na **minimální** hodnotu modulu pružnosti **31 GPa** je tedy nutné navrhnout a vyrobit beton, který splňuje požadavek na **střední** modul pružnosti **alespoň 35GPa** (tedy minimálně o 4GPa vyšší). Z tabulky 1 tohoto dokumentu (nebo Eurokodu, či TP ČBS 05) se jedná o beton složením i cenou pevnostní třídě min. C40/50. Z toho důvodu je nutné (i přes specifikovanou pevnostní třídu C30/37) upravit cenu betonu dle požadavku na minimální modul pružnosti.

Modul pružnosti musí být specifikován:

1. **Bez požadavku** na předepsaný modul pružnosti – beton dle ČSN EN 206 a ČSN P 73 2404

C30/37 – XC4, XA1, XF2 – CI 0,2 – D_{max}22 – S4

2. **S požadavkem** na předepsaný modul pružnosti – beton dle ČSN EN 206 a ČSN P 73 2404

C30/37 – XC4, XA1, XF2 – CI 0,2 – D_{max}22 – S4

Modul pružnosti $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$ podle TP ČBS 05

3. S požadavkem na **zaručený modul pružnosti** – beton dle ČSN EN 206 a ČSN P 73 2404

C30/37 – XC4, XA1, XF2 – CI 0,2 – D_{max}22 – S4

Modul pružnosti $E_{c,min} = 31 \text{ GPa}$

5 Kontrola kvality

Společnost ZAPA beton a.s. standardně kontrolní odběry pro zkoušku modulu pružnosti neprovádí.

V případě požadavku zákazníka na dodávku betonu s předepsaným modulem pružnosti musí být smluvně ujednány podmínky kontroly tohoto betonu dle *TP ČBS 05 – Modul pružnosti betonu*. Kontrola shody v takovém případě probíhá v četnosti 1 zkouška na každých 500m³ nebo 1x měsíčně pokud není se zákazníkem dohodnuto jinak. Náklady na zkoušku (v externí laboratoři – ZAPA neprovádí) jsou účtovány zákazníkovi dle skutečně provedených zkoušek a domluveného KZP (kontrolně zkušebního plánu). Pokud se provádí kontrolní odběr betonu na stavbě, musí se splnit veškeré požadavky TP ČBS 05 a normy ČSN EN 12350-1, ČSN EN 12390-1, ČSN EN 12390-2 a ČSN EN 1920-10.

Odběr vzorků betonu na provozech ZAPA:

Zkušebními vzorky pro zkoušku statického modulu pružnosti jsou zkušební válce rozměru 150x300mm.

Pro zkoušku statického modulu pružnosti se odebírá sada 2ks válců pro samotnou zkoušku modulu pružnosti a 3ks referenčních těles pro zkoušku pevnosti v tlaku. Tato tělesa jsou přednostně také válcového tvaru, avšak v případě potřeby lze použít jako referenční tělesa zkušební krychle.

Ošetřování zkušebních těles je prováděno stejným způsobem jako standardní kontrolní odběry na betonárně. Všechna tělesa pro zkoušku modulu pružnosti musí být označena číslem dodacího listu, pevnostní třídou betonu, číslem střediska, datem výroby a poznámkou o požadované zkoušce (např. Modul pružnosti, E_{cm})

Shoda betonu se specifikací modulu pružnosti dle TP ČBS 05

Shoda betonu s předepsaným parametrem se hodnotí dle TP ČBS 05 kap. 6.2.1.

$$E_{cai} \geq E_{cm}$$

$$E_{ci} \geq E_{cm} - 4 \text{ GPa}$$

Shoda betonu se specifikací minimálního (zaručeného) modulu pružnosti $E_{c,min}$

Shoda betonu s předepsaným parametrem se hodnotí dle vztahu:

$$E_{ci} \geq E_{c,min}$$