

ZAVÁDĚNÍ EN 1992: „NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ“ DO PRAXE – ÚVODNÍ ČÁST

INTRODUCTION OF EN 1992-1-1 TO PRACTICE – INTRODUCTORY PART

SERIÁL
EN 1992

JAROSLAV PROCHÁZKA

Seriál příspěvků připravovaný pro 3. ročník časopisu bude upozorňovat na schválenou normu EN 1992-1-1, zejména na její odlišnosti oproti ENV 1992-1-1,3 až 6. V této úvodní části je upozorněno na návazné normy a používané materiály.

The following set of papers will draw the attention to the approved standard EN 1992-1-1, especially to its differences with ENV 1992-1-1,3. In this introductory part is call attention on the join standards and used materials.

Evropské normy jsou zpracovávány a vydávány Evropskou normalizační komisí (CEN). Normy pro navrhování stavebních konstrukcí jsou obvykle nazývány Eurokódy. Zpracováním jednotlivých Eurokódů byly pověřeny subkomise (SC) ustanovené při technické komisi 250 (TC 250) pracující v rámci CEN.

Eurokódy tvoří následující normy, které se obvykle sestávají z několika částí:

EN 1990 Eurokód:	Zásady navrhování konstrukcí
EN 1991 Eurokód 1:	Zatížení konstrukcí
EN 1992 Eurokód 2:	Navrhování betonových konstrukcí
EN 1993 Eurokód 3:	Navrhování ocelových konstrukcí
EN 1994 Eurokód 4:	Navrhování sřpažených ocelobetonových konstrukcí
EN 1995 Eurokód 5:	Navrhování dřevěných konstrukcí
EN 1996 Eurokód 6:	Navrhování zděných konstrukcí
EN 1997 Eurokód 7:	Navrhování geotechnických konstrukcí
EN 1998 Eurokód 8:	Navrhování konstrukcí odolných vůči zemětřesení
EN 1999 Eurokód 9:	Navrhování hliníkových konstrukcí

Eurokódy byly v první fázi vypracovány jako evropské přednormy (ENV) s tím, že po jejich ověření a shromáždění připomínek budou přednormy upraveny a vydány jako evropské normy (EN). Aby bylo dosaženo mezinárodního konsensu při

schvalování Eurokódů ENV, byly v nich uvedeny tzv. „rámečkové“ hodnoty, které byly při zavádění ENV do soustav národních norem upřesňovány v národních aplikačních dokumentech (NAD) platných v zemích, kde se konstrukce budou realizovat. Vzhledem k tomu, že v době zavádění Eurokódů ENV nebyly vypracovány všechny potřebné návazné evropské normy, bylo v NAD povoleno též používání některých ustanovení ze stávajícího souboru stávajících národních norem. Eurokódy jsou v současné době zavedeny v ČR jako soubor předběžných norem ČSN P ENV, který má stejnou platnost jako stávající soubor ČSN. Je nutno si uvědomit, že pokud se v současné době rozhodneme používat při návrhu soustav převzatých Eurokódů ČSN P ENV, nelze používat ustanovení z původní soustavy ČSN, pokud to není výslovně dovoleno v příslušném NAD.

Při převodu Eurokódů ENV na Eurokódy EN bylo přihlédnuto k připomínkám uživatelů, k novým ověřeným poznatkům získaným v období od vypracování ENV (hlavní zásady však zůstaly zachovány) a k přehlednějšímu zpracování, aby bylo usnadněno používání EN. Dále bylo rozhodnuto, že při vydání příslušného Eurokódu EN musí být k dispozici všechny evropské normy, na které se Eurokód EN odvolává; předpokládá se tedy vždy vydání tzv. „balíku norem“.

Zavedení příslušného Eurokódu EN probíhá v následujících krocích:

- **Zkušební období** – po vypracování a schválení konečného návrhu příslušné části Eurokódu EN v subkomisi, je návrh připomínkovan národními normalizačními společnostmi; pak subkomise zváží připomínky a upraví návrh tak, aby bylo dosaženo konečné shody členů subkomise; schválený návrh subkomise odešle komisi CEN/TC 250 k formálnímu hlasování (délka období max. 6 měsíců);

- **Období schválení CEN** – od obdržení schváleného návrhu probíhá editace EN, překlady (němčina, francouzština), konečná úprava dokumentu; po formálním schválení EN komisí CEN/TC250 je návrh

vydán jako EN a zpřístupněn národním normalizačním společenstvem (délka období max. 8 měsíců);

- **Překlad do národního jazyka** – po obdržení EN národní normalizační společnost zajistí překlad (délka období max. 12 měsíců);

- **Kalibrace** (probíhá souběžně s překladem) – v období max. 24 měsíců (včetně překladu) musí být stanoveny „národní definované parametry“ (NDP), jejichž výběr Eurokód EN umožňuje, dále proveden výběr alternativních postupů navrhování a tříd spolehlivosti uvedených v EN, stanoveny geografické a klimatické údaje specifické pro členský stát (pokud nejsou v uvažovaném EN uvedeny) a zpracována příslušná národní opatření. Všechny tyto údaje musí být uvedeny v tzv. národní příloze (NP). Na konci období musí být EN publikována v národním jazyce spolu s národní přílohou (NP) a vyhlášena její platnost. Národní přílohy členských států, přeložené do angličtiny, němčiny a francouzštiny budou k dispozici na internetových stránkách CEN;

- **Koexistence** – během tohoto období může být EN používána jako v té době platné národní normy. Období současné platnosti Eurokódů EN a příslušných národních norem by mělo být co nejkratší s ohledem na nákladné udržování dvou souborů norem, schvalovací stavební řízení apod. Po skončení období koexistence se musí konfliktní národní normy zrušit.

Většina Eurokódů týkajících se navrhování pozemních staveb byla převedena na normy EN v roce 2002 a očekává se jejich schválení a vydání v CEN v první polovině roku 2003. Soubor předběžných Eurokódů ENV zabývající se navrhováním speciálních konstrukcí a mostů má být převeden na normy EN do konce roku 2004.

Národní vydání prvních částí EN se očekává v roce 2003 (ČSN EN 1990 „Zásady navrhování konstrukcí“ a ČSN EN 1991-1-1 „Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb“).

V oblasti navrhování betonových konstrukcí jsou již vypracovány a schváleny normy:

- EN 1992-1-1 „Navrhování betonových konstrukcí – část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby“,
- EN 1992-1-2 „Navrhování betonových konstrukcí – část 1.2: Obecná pravidla – Návrh na účinky požáru“.

V rámci převodu jsou rozpracovány normy:

- EN 1992-2 „Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Betonové mosty“,
- EN 1992-3 „Navrhování betonových konstrukcí – část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky“.

Uvedené normy mají tvořit ucelený soubor Eurokódů EN pro navrhování betonových konstrukcí.

Při překladech Eurokódů EN do češtiny bude používána i mírně odlišná terminologie a označování veličin oproti předchozím zvyklostem. Např. místo termínu „výpočtový“ bude používán termín „návrhový“ (design), tj. návrhové zatížení, návrhová pevnost; místo termínu „nahodilé zatížení“ bude používán termín „proměnné zatížení“ (variable load) apod. Rovněž ve značení dochází k některým úpravám. Např. účinky zatížení se označují písmenem E oproti písmenu S používanému v ENV. Ve srovnání s ČSN 73 1201 dochází k řadě změn u značek, např. pevnosti se označují písmenem f oproti používanému R , posouvající síla se označuje písmenem V (v) oproti používanému Q (q), proměnlivé zatížení se označuje Q (q) oproti používanému V (v); pro beton se užívá index c místo indexu b apod. Tyto změny jsou nutné. Výhodou bude jednotné používání značek v celé Evropě a jednotná terminologie.

ROZSAH PLATNOSTI EUROKÓDU 2, SOUVISEJÍCÍ A NÁVAZNÉ EN

Soubor norem EN 1992 bývá nazýván Eurokód 2 (Eurocode 2). Do tohoto souboru patří:

Část 1-1:	Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
Část 1-2:	Obecná pravidla – Navrhování na účinky požáru
Část 2:	Betonové mosty
Část 3:	Nádrže na kapaliny a zásobníky

Evropské normy pro navrhování betonových konstrukcí jsou zpracovávány ve čtyřech úrovních (obr. 1):

- úroveň 1: zásady zajištění spolehlivosti (včetně trvanlivosti) a zatížení stavebních konstrukcí;
- úroveň 2: návrh a konstrukční úpravy betonových konstrukcí;

Obr. 1 Přehledné schéma evropských norem pro navrhování betonových konstrukcí

Fig. 1 Tabular scheme of European standards for design of concrete structures

- úroveň 3: konstrukční materiály (zejména beton a výztuž) a provádění betonových konstrukcí
- úroveň 4: zkoušení materiálů.

Eurokód 2 platí pro navrhování pozemních a inženýrských staveb z prostého, železového a předpjatého betonu. Vyhovuje principům a požadavkům z hlediska bezpečnosti a použitelnosti konstrukcí, jejichž zásady pro návrh a posouzení jsou uvedeny v EN 1990: „Zásady navrhování konstrukcí“. Eurokód 2 uvádí pouze požadavky s přihlédnutím k únosnosti, použitelnosti, trvanlivosti a požární odolnosti betonových konstrukcí. Ostatní požadavky např. týkající se tepelné a zvukové izolace nejsou zde uvažovány.

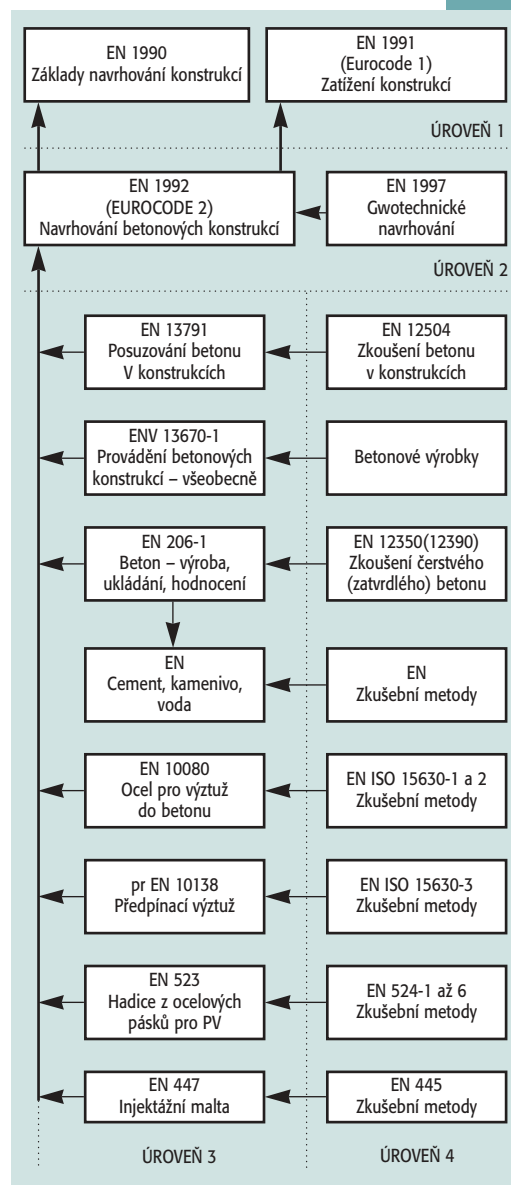
Eurokód 2 se odvolává na celou řadu návazných norem, jejichž přehledné schéma je na obr. 1. Výrobové normy, popř. i normy pro zkoušení těchto výrobků jsou v současné době zpracovány buď jako normy EN, popř. připomínkovány před schválením jako přednormy prEN. Výrobové normy by měly být vydávány jako normy harmonizované (hEN), neboť mají-li být odstraněny překážky volného obchodu, nelze u výrobku uplatňovat národní odlišnosti.

POUŽÍVANÉ MATERIÁLY

Beton

Oproti ENV 199-1-1 jsou v EN 1992-1-1 uvedeny i třídy vysokopevnostních betonů, a to C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105. Označení tříd zůstává stejné jako v ENV. Třídy se označují písmenem C a poměrem charakteristických (dříve normových) 28-denních pevností v tlaku, a to válcové f_{ck} ke krychelné $f_{ck,cube}$. Vzhledem k tomu, že betony vyšších tříd jsou křehčí a nemají tak výrazné plastické chování jako betony stávajících tříd, byly upraveny vztahy pro jejich charakteristické vlastnosti (tab. 2). V pracovním diagramu betonu v tlaku dochází u těchto betonů ke zkrácení plastické oblasti. Vzhledem k těmto okolnostem jsou pak upraveny i postupy pro navrhování prvků z těchto betonů.

Návrhové hodnoty pevnosti betonu jsou udány následovně:



a) návrhová pevnost betonu v tlaku f_{cd}

$$f_{cd} = a_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (1)$$

kde γ_c je součinitel spolehlivosti betonu, a_{cc} součinitel uvažující dlouhodobé účinky na tlakovou pevnost betonu a ne příznivé účinky ze způsobu zatížení; a_{cc} lze uvažovat v rozmezí 0,8 až 1,0 dle Národní přílohy; doporučená hodnota je 1,0;

b) návrhová pevnost betonu v tahu f_{ctd}

$$f_{ctd} = a_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c \quad (2)$$

kde γ_c je součinitel spolehlivosti betonu, a_{ct} součinitel uvažující dlouhodobé účinky na tahovou pevnost betonu a nepříznivé účinky způsobu zatížení; uvažuje se dle Národní přílohy, doporučená hodnota a_{cc} je 1,0.

Hodnoty součinitele spolehlivosti betonu γ_c budou udány v Národní příloze. Do-

	Třídy betonu													Vztah	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,ube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm}=f_{ck}+8$
f_{cm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{cm}=0,3f_{ck}(2/3) > C50/60$ $f_{cm}=2,12\ln[1+(f_{cm}/10)] > C50/60$
$f_{ck,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ck,0,05}=0,7f_{cm}$ (0,05 kvantil)
$f_{ck,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ck,0,95}=1,3f_{cm}$ (0,95 kvantil)
$E_{cm}^{1)}$ (GPa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm}=22(f_{cm}/10)^{0,3}$ (f_{ck} v MPa)
ϵ_{c1} (o/oo)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	obr. 2a
ϵ_{cu} (o/oo)					3,50					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	obr. 2a
ϵ_{c2} (o/oo)					2,00					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	obr. 2b
ϵ_{cu2} (o/oo)					3,50					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	obr. 2b
A					2,00					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	
ϵ_{c3} (o/oo)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	obr. 2c
ϵ_{cu3} (o/oo)					3,50					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	obr. 2c

Tab. 1 Pevnostní a deformační charakteristiky pro třídy betonu
Fig. 1 Strength and deformation characteristic for concrete classes

poručené hodnoty γ_c v mezních stavech únosnosti jsou: pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci $\gamma_c = 1,5$, pro mimořádnou návrhovou situaci $\gamma_c = 1,2$; při návrhu na účinky požáru viz EN 1992-1-2. Doporučená hodnota γ_c v mezních stavech použitelnosti je $\gamma_c = 1,0$. Menší hodnoty γ_c lze připustit pouze při splnění zvláštních podmínek (kontrola jakosti výroby atd.).

Pracovní diagram betonu v tlaku pro výpočet účinků zatížení (obr. 2a – tlaková napětí a stlačení jsou uvedena v absolutní hodnotě) při krátkodobém jednosém zatížení (obr. 2a) lze v oblasti $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c1}$ popsat vztahem

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \quad (3)$$

$$\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}, \quad k = 1,1 E_{cm} \frac{\epsilon_{e1}}{f_{cm}}$$

kde hodnoty ϵ_{c1} , E_{cm} , f_{cm} jsou uvedeny v tab. 1.

Při navrhování příčných průřezů v mezním stavu únosnosti mohou být použity následující pracovní diagramy betonu:

- a) parabolicko- rektangulární (obr. 2b – σ_c tlaková napětí a stlačení jsou

uvedena v absolutní hodnotě) pro který platí v oblasti $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$

$$\sigma = f_{cd} \left[1 - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad (4)$$

v oblasti $\epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2}$ platí

$$\sigma_c = f_{cd}, \quad (5)$$

kde hodnoty ϵ_{c2} , ϵ_{cu2} jsou uvedeny v Tab. 1

- b) **bilineární** (obr. 2c – tlaková napětí a stlačení jsou uvedena v absolutní hodnotě), kde hodnoty ϵ_{c3} , ϵ_{cu3} jsou uvedeny v Tab. 1.

- c) **rovnoměrné rozdělení tlakového napětí ηf_{cd}** na účinné výšce tlačene oblasti λx (obr. 2d),

kde

pro $f_{ck} \leq 50$ MPa:
 $\eta = 1,0$; $\lambda = 0,8$

pro $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa:
 $\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200$;
 $\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400$

Oproti ENV 1992-1-1 jsou v EN 1992-1-1 udány vztahy pro pevnosti betonu v závislosti na jeho stáří.

Pevnost betonu v tlaku $f_{cm}(t)$ ve stáří t dní závisí na druhu použitého cementu, teplotě a ošetřování betonu. Pro průměrnou teplotu 20 °C a normové podmínky ošetřování je

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}, \quad (6)$$

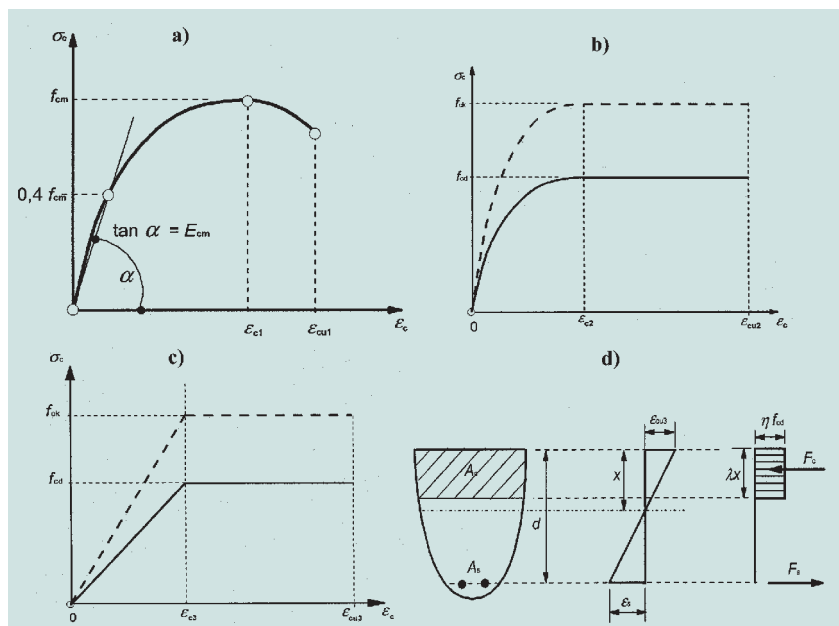
$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$$

Obr. 2 a) Schematický pracovní diagram betonu v tlaku pro výpočet účinků zatížení

b) Parabolicko- rektangulární pracovní diagram betonu v tlaku
c) Bilineární pracovní diagram betonu v tlaku

d) Rovnoměrné rozdělení napětí betonu v tlačené oblasti MSÚ

Fig. 2 a) Schematic of the stress- strain diagram for structural analysis
b) Parabola-rectangular diagram for concrete under compression
c) Bi-linear stress- strain diagram for concrete under compression
d) Rectangular stress distribution of concrete in compression part of cross section ULS



kde s je koeficient závislý na druhu cementu, uvažuje se hodnotou 0,20 pro rychle tuhnutí vysokopevnostní cement (R);

0,25 pro normální a rychle tuhnutí cementy (N);

0,38 pro pomalu tuhnutí cementy (S).

Pevnost betonu v tahu $f_{ctm}(t)$ ve stáří t dní je značně závislá na ošetřování betonu, jeho vysychání a rozměrech prvku. Přibližně lze uvažovat

$$f_{ctm}(t) = \beta_{cc}(t) \alpha f_{ctm} \quad (7)$$

kde $\alpha = 1$ pro $t < 28$ dní; $\alpha = 2/3$ pro $t \geq 28$ dní.

Pružné deformace betonu závisejí na jeho složení, zejména kamenivu. Přibližné hodnoty 28denního modulu pružnosti betonu E_{cm} (sečnového modulu při napětí $\sigma_c = 0,4 f_{ctm}$) pro křemenné kamenivo jsou uvedeny v Tab. 1. Pro vápencové a pískovcové kamenivo mohou být hodnoty sníženy o 10 % a 30 % resp. Pro čedičové kamenivo naopak zvýšeny o 20 %.

Modul pružnosti betonu $E_{cm}(t)$ ve stáří t dní lze stanovit ze vztahu

$$E_{cm}(t) = (f_{ctm}(t) / f_{ctm})^{0,3} E_{cm} \quad (8)$$

Pevnost betonu v tahu za ohybu $f_{ctm,fl}$ pro vyztužené prvky závisí na průměrné hodnotě dostředné pevnosti betonu v tahu a na výšce příčného průřezu, lze ji stanovit ze vztahu

$$f_{ctm,fl} = \max\{(1,6 - h/100)f_{ctm}; f_{ctm}\} \quad (9)$$

kde h je celková výška příčného průřezu prvku v mm.

Pevnost betonu v dostředném tahu f_{ct} lze přibližně stanovit z pevnosti betonu v příčném tahu $f_{ct,sp}$ ze vztahu

$$f_{ct} = 0,9 f_{ct,sp} \quad (10)$$

Dotvarování a smršťování betonu závisí na vlhkosti obklopujícího prostředí, rozměrech prvku a složení betonu. Dotvarování betonu je ovlivněno též zralostí betonu v okamžiku počátku zatížení a závisí na trvání a intenzitě zatížení. Při stanovení hodnot smršťování a dotvarování musí být tyto okolnosti uvažovány.

Konečnou **hodnotu součinitele dotvarování $\varphi(\infty, t_0)$** lze určit, pokud není vyžadována větší přesnost, přímo z grafů uvedených v normě za předpokladu, že beton stáří (t_0) v okamžiku začátku jeho zatěžování není vystaven napětí většímu než $0,45 f_{ck}(t_0)$ – **lineární dotvarování**.

Vztahy pro hodnoty součinitele dotvarování závislé na délce zatížení jsou uvedeny v Příloze B této normy, a to v závislosti na stáří betonu v době zatížení t_0 , jmenovitém rozměru příčného průřezu h_0 (průřezová plocha A_c podělená polovičním obvodem $u/2$) a třídě betonu. Poměrně přetvoření z dotvarování $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$ v okamžiku $t = \infty$ při konstantním napětí σ_c lze stanovit za vztahu

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_{cm}(t_0)), \quad (11)$$

kde $E_{cm}(t_0)$ je modul pružnosti betonu v čase (t_0).

Pokud pevnost betonu stáří (t_0) v okamžiku jeho začátku zatěžování je $\sigma_c > 0,45 f_{ck}(t_0)$, je třeba uvažovat **nelineární dotvarování**. Takovéto napětí může vzniknout v důsledku předpínání, např. u předpjatých prvků v úrovni předpínací výztuže. V těchto případech nelineární součinitel dotvarování $\varphi_k(\infty, t_0)$ se stanoví ze vztahu

$$\varphi_k(\infty, t_0) = \varphi(t, t_0) \cdot \exp(1,5(k_\sigma - 0,45)), \quad (12)$$

kde k_σ je poměr napětí $\sigma_c / f_{cm}(t_0)$.

Při stanovení hodnoty poměrného smršťování betonu (ε_{cs}) se přihlíží jak k účinku vysychání betonu (ε_{cd}), tak k účinku chemického (autogenního) smršťování (ε_{ca}), tedy

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad (13)$$

Konečná hodnota smršťování vyozeného vysycháním betonu je $\varepsilon_{cd}(\infty, t_s) = \varepsilon_{cd,0} k_h$; poměrné přetvoření betonu $\varepsilon_{cd}(t)$ v časovém úseku (t, t_s) se stanoví ze vztahu

$$\varepsilon_{cd}(\infty, t_s) = \varepsilon_{cd,0} k_h \beta_{ds}(t, t_s) \quad (14)$$

kde $\varepsilon_{cd,0}$ je jmenovitá hodnota smršťování vyozeného vysycháním závislá na třídě betonu a relativní vlhkosti obklopujícího prostředí udaná v normě v tabulce; vztahy pro určení $\varepsilon_{cd,\infty}$ bez použití tabulek jsou uvedeny v Příloze B normy; k_h součinitel závislý na jmenovitém rozměru h_0 ; např. při $h_0 = 0,1$ m je $k_h = 1,0$, při $h_0 = 0,2$ m je $k_h = 0,85$, při $h_0 = 0,3$ m je $k_h = 0,75$, $h_0 > 0,5$ m $k_h = 0,70$.

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$$

t stáří betonu v uvažovaném okamžiku, t_s stáří betonu na začátku vysychání (obvykle konec ošetřování betonu), h_0 jmenovitý rozměr příčného průřezu prvku ($2A_c / u$).

Hodnotu autogenního smršťování betonu stáří t lze stanovit ze vztahu

$$\varepsilon_{ca}(t) = 2,5 (f_{ck} - 10) (1 - \exp(-0,2 t^{0,5})). \quad (15)$$

Betonářská výztuž

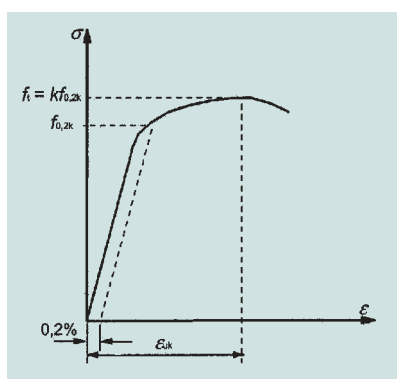
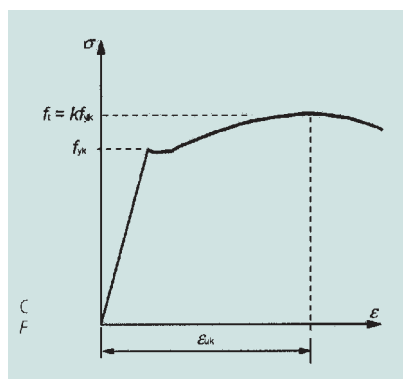
Ustanovení uvedená v EN 1992-1 předpokládají použití betonářské výztuže ve tvaru tyčí, vyrovnaných svitků a svařovaných sítí (neuvažuje se výztuž opatřená povlakem).

Značka betonářské oceli je tvořena prvním písmenem udávajícím skupinu ocelí (betonářská ocel B), dále následuje číslo udávající charakteristickou (dříve normovou) hodnotu meze kluzu v MPa. Výrobky se třídí podle značky, třídy tažnosti, jmenovitého průměru, charakteristiky povrchu a svařitelnosti.

Pro navrhování betonových konstrukcí podle EN 1992-1-1 jsou u betonářské výztuže důležité následující charakteristické vlastnosti:

Mez kluzu – kterou výrobci udávají hodnotou R_e . Podle hutních norem se tato mez vztahuje na hodnoty založené na sledování dlouhodobé úrovně kvality výroby. Při navrhování betonových konstrukcí používáme však charakteristickou mez kluzu f_{yk} (podle dřívějšího označení normovou mez kluzu R_{sn}) založenou pouze na výztuži použité v konstrukci. U meze kluzu je charakteristická (normová) hodnota udána 5% kvantilem. Neexistuje přímý vztah mezi f_{yk} a hodnotou R_e . Metody hodnocení a ověřování meze kluzu R_e uvedené v hutních normách poskytují dostačující ověření i pro hodnotu f_{yk} (resp. R_{sn}); lze tedy uvažovat $f_{yk} = R_e$. Maximální skutečná tahová pevnost $f_{y,max}$ nesmí pak přesáhnout hodnotu $1,3 f_{yk}$. Mez kluzu f_{yk} je základní hodnota, ze které vycházíme při navrhování.

Tažnost – podle EN je dána charakteristickými hodnotami ε_{uk} a $(f_t/f_y)_k$ – viz obr. 3. Hodnota ε_{uk} udává poměrné celkové prodloužení při největším tahovém napětí dosaženém při trhačí zkoušce výztuže; hodnota $(f_t/f_y)_k$ udává charakteristickou hodnotu poměru meze pevnosti a meze kluzu, které byly dosaženy při trhačí zkoušce; charakteristická hodnota zde představuje 10% kvantil. Tažnost je podle EN označována písmenem udávajícím třídu tažnosti (A – normální, B – vysoká, C – velmi vysoká). Třídy A, B (normální, vysoká tažnost) jsou stejné jak bylo uvedeno v ENV 1992-1-1; nově se zavá-



Obr. 3 Pracovní diagramy betonářské oceli
a) ocel za tepla válcovaná, b) ocel za studena tvářená

Fig. 3 Stress strain diagrams for reinforcing steel a) hot rolled steel, b) cold worked steel

dí třída C (velmi vysoká tažnost). Použití oceli s touto třídou tažnosti je zamýšleno zejména pro konstrukce v seismických oblastech. Sledování tažnosti je důležité zejména z hlediska možných plastických deformací výztuže.

Ohýbatelnost – podle EN je charakterizována chováním výrobku při zkoušce ohybem. Pro ohýbatelnost je podle EN předepsána zkouška zpětným ohybem vložky podle trnu předepsaného poloměru, přičemž při prvním i zpětném částečně vratném ohybu provedeném po uměle stárnutí vložky (ohřevem) nesmí vzniknout viditelné trhliny na povrchu vložky. Ohýbatelnost je důležitá z hlediska předepsaných minimálních hodnot vnitřních průměrů zakřivení betonářské výztuže v normách pro navrhování betonových konstrukcí.

Soudržnost betonářské výztuže s betonem závisí především na geometrii povrchu vložky. Podle EN 1992-1-1 se předpokládá, že soudržnost je závislá na vztažné ploše žebírek f_{Rv} kterou lze stanovit z geometrie žebírek. Požadované hodnoty vztažné plochy žebírek, resp. tvaru žebírek, jsou uvedeny v normách pro navrhování.

Tolerance bývají udávány v % mezní úchytky hmotnosti; jsou nutné z hlediska dodržení požadované spolehlivosti navrhovaných betonových konstrukcí.

Svařitelnost – podle EN 1992-1-1 je předpokládána, přičemž povolené postupy svařování jsou uvedeny v této normě s odvoláním na EN ISO 17760 „Dovolené postupy svařování výztuže“.

Vzhledem k tomu, že při schvalování EN 10080 nebylo dosaženo konsensu týkající

cího se číselných hodnot uvedených vlastností, jsou požadavky na vlastnosti betonářské výztuže, které lze použít při navrhování podle EN 1992-1-1, uvedeny v normativní Příloze C normy EN 1992-1-1 – viz Tab. 2. Požadavky jsou vztaheny na výztuž uloženou v zatvrdlém betonu. Pokud jsou zpracování výztuže na stavbě ovlivněny vlastnosti výztuže, musí být tyto vlastnosti ověřeny po tomto zpracování. Požadované vlastnosti výztužných ocelí se ověřují metodami uvedenými v EN 10080.

Použijeme-li tedy při návrhu normu EN 1992-1-1, je nutné u použité betonářské výztuže přihlížet nejen k mezi kluzu, ale porovnat i všechny její další důležité charakteristické vlastnosti s požadavky uvedenými v Příloze C normy.

Při běžném navrhování lze předpokládat **pracovní diagram betonářské oceli** (obr. 4):

- se stoupající větví s návrhovým mezním poměrným přetvořením ϵ_{ud} a maximálním napětím $k f_{yk}/\gamma_s$ při poměrném přetvoření ϵ_{uk} , kde $k = (f_t/f_y)_{kv}$
- s vodorovnou větví bez omezení poměrného přetvoření, kde γ_s je součinitel spolehlivosti výztuže, ϵ_{ud} návrhové mezní poměrné přetvoření oceli uvedené v Národní příloze; doporučená hodnota $\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk}$.

Hodnota modulu pružnosti betonářské výztuže E_s se uvažuje 200 MPa.

Hodnoty součinitele spolehlivosti výztuže γ_s budou udány v Národní příloze. Doporučené hodnoty γ_s v mezních stavech únosnosti jsou: pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci $\gamma_s = 1,15$, pro mimořádnou návrhovou situaci $\gamma_s = 1,0$; při návrhu na účinky požáru viz EN 192-1-2. Doporučená hodnota γ_s v mezních stavech použitelnosti $\gamma_s = 1,0$. Menší hodnoty γ_s lze připustit pouze při splnění zvláštních podmínek (kontrola tolerancí atd.).

Předpínací výztuž

Ustanovení uvedená v EN 1992-1 předpokládají použití předpínací výztuže ve tvaru drátů, tyčí a lan.

Značka předpínací oceli se podle EN

Tab. 2 Požadované vlastnosti betonářské výztuže (označení viz obr. 3)

Fig. 2 Required properties of reinforcement (notation see Fig. 3)

Výrobek	Tyče a vyrované svitky			Svařované sítě			Kvantil %
	A	B	C	A	B	C	
Třída tažnosti							–
Charakteristická mez kluzu f_{yk} , popř. $f_{0,2k}$ v MPa	400 až 600						5,0
Minimální hodnota	≥1,05	≥1,08	≥1,15	≥1,05	≥1,08	≥1,15	10
$k = (f_t/f_y)_k$	<1,35	<1,35					
Charakteristická hodnota ϵ_{uk} (%)	≥2,5	≥5,0	≥7,5	≥2,5	≥5,0	≥7,5	10
Rozmezí únavového napětí (pro $n \geq 2 \cdot 10^6$ cyklů s horní mezí βf_{yk}^1)	≥150 MPa			≥100 MPa			10
Ohybatelnost	Zkouška ohybem ³⁾			–			
Pevnost svaru ve stříhu	–			0,3 A ²⁾ f_{yk}			Minimum
Soudržnost:	Vložka Ø mm						
Minimální	5 – 6						0,035
vztažná plocha	6,5 – 12						0,040
žebírek $f_{R, min}$	≥12						0,056
Max. odchylka od jmenovité hmotnosti vložky v %	Vložka Ø mm						
	≥8						± 6,0
	>8						± 4,5

¹⁾ hodnota b viz Národní příloha; doporučená hodnota $\beta = 0,6$;

²⁾ A průřezová plocha drátu;

³⁾ Zkouška zpětným ohybem podle EN 10080, průměr trnu podle EN 1992-1-1

udává písmenem udávajícím skupinu oceli (předpínací výztuž Y) a pak následuje číslo udávající minimální pevnost oceli v tahu v MPa.

Výrobky se podle EN třídí s přihlednutím k:

- pevnosti, která je vyjádřena charakteristickou hodnotou zkušební napětí $0,1 (f_{p0,1k}$ napětí při trvalém protažení $0,1 \%$);
- charakteristické hodnotě poměru pevnosti v tahu a zkušební napětí $0,1 (f_{pk}/f_{p0,1k})$ a charakteristické hodnotě poměrného protažení při maximálním zatížení (ϵ_{uk});
- třídě relaxačního chování (třída 1 – dráty a lana běžně, třída 2 – dráty a lana s nízkou relaxací, třída 3 tyče);
- rozměru;
- charakteristice povrchu.

Pracovní diagram typické předpínací oceli je uveden na obr. 5.

Požadované hodnoty lze stanovit z hodnot uvedených v EN 10138; tato norma uvádí maximální sílu F_m a charakteristickou hodnotu zkušební síly $F_{p0,1}$ při trvalém protažení $0,1 \%$, obě hodnoty jsou založeny na sledování dlouhodobé úrovně kvality výroby. Při navrhování betonových

Obr. 4 Pracovní diagramy betonářské výztuže (pro tah i tlak); A – idealizovaný, B – návrhový

Fig. 4 Stress-strain diagrams for reinforcing steel (for tension and compression); A – idealised, B – design

konstrukcí používáme však charakteristickou zkušební mez $f_{p0,1k}$ a charakteristickou tahovou pevnost f_{pk} založenou pouze na výztuži použité v konstrukci. Neexistuje přímý vztah mezi soubory těchto dvou hodnot. Charakteristické hodnoty zkušební síly $F_{p0,1}$ podělené průřezovou plochou označenou v EN 10138 jako S_n , spolu s metodami zkoušení a ověřování, poskytují dostačující ověření i pro hodnotu $f_{p0,1k}$, která se stanoví jako $F_{p0,1k}/S_n$. Předpínací ocel se nesmí svařovat, pouze lana mohou obsahovat vystřídání svař, které však musí být provedeny před tažením za studena.

Pracovní diagram předpínací oceli pro běžné navrhování průřezů je znázorněn na obr. 6:

- se stoupající větví s návrhovým mezním poměrným přetvořením ϵ_{ud} ; diagram může být založen na skutečném pracovním diagramu (pokud je tento znám) s napětím nad mezí pružnosti redukovaným podle obr. 6, nebo
- s vodorovnou větví bez omezení poměrného přetvoření,

kde γ_s je součinitel spolehlivosti výztuže, ϵ_{ud} návrhové mezní poměrné přetvoření oceli uvedené v Národní příloze; doporučená hodnota $\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk}$; pokud nejsou známy přesnější hodnoty lze uvažovat $\epsilon_{ud} = 0,02$ a $f_{p0,1k}/f_{pk} = 0,9$.

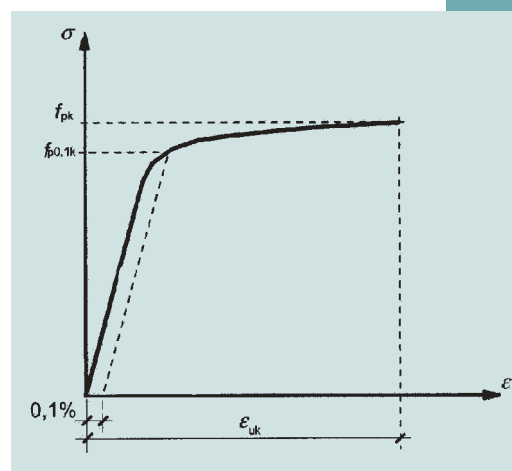
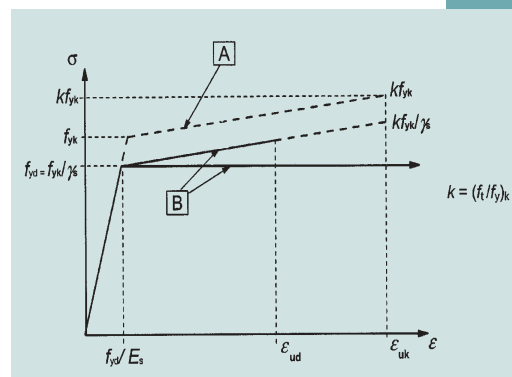
Modul pružnosti předpínací oceli E_p pro dráty a tyče je 205 MPa, pro lana 195 MPa.

Součinitel spolehlivosti předpínací výztuže γ_s se uvažuje pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci $\gamma_s = 1,15$, pro mimořádnou návrhovou situaci $\gamma_s = 1,0$; hodnoty mohou být upřesněny v Národní příloze.

V příštím čísle časopisu navážeme pokračování kapitolou o trvanlivosti a krytí výztuže.

Obr. 6 Pracovní diagram předpínací oceli v tahu; A – idealizovaný, B – návrhový

Fig. 6 Stress-strain diagrams for prestressing steel in tension; A – idealised, B – design

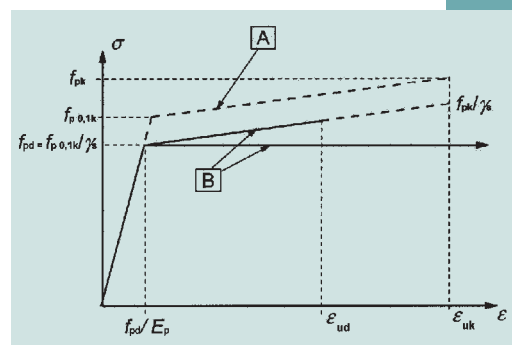


Obr. 5 Pracovní diagram pro předpínací oceli (absolutní hodnoty pro tahové napětí a přetvoření)

Fig. 5 Stress-strain diagrams for prestressing steel (absolute values for tensile stress and strain)

Příspěvek byl vypracován za podpory VZ MSM 210000001.

Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.
Katedra betonových konstrukcí a mostů, ČVUT FSV
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
tel.: 224 354 633, fax: 233 335 797
e-mail: proch@beton.fsv.cvut.cz



Literatura

- [1] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [2] ČSN P ENV 1992-1-2 až 6 Navrhování betonových konstrukcí Část 2: Navrhování na účinky požáru, Část 3: Betonové dílce a montované konstrukce, Část 4: Konstrukce z lehkého hutného betonu, Část 5: Nesoudržná a vnější předpínací výztuž, Část 6: Konstrukce z prostého betonu
- [3] EN 1990: Zásady navrhování (Final Draft – January 2002)
- [4] prEN 1992-1-1: 2001 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (Draft for Stage 49 – July 2002)
- [5] prEN 1992-1-2: 2001 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla – Navrhování na účinky požáru (Draft for Stage 49 – July 2002)
- [6] ČSN EN 206 Beton. Vlastnosti výroba, ukládání a kritéria hodnocení
- [7] ČSN ENV 13670-1 Obecné zásady provádění betonových konstrukcí