

NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ S PŘIHLÉDNUTÍM K ČSN EN 206 A ČSN P ENV 13670

DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES WITH REGARD TO ČSN DN 206 AND ČSN P ENV 13670

JAROSLAV PROCHÁZKA

Normy ČSN EN 206-1 a ČSN P ENV 13670 uvádějí řadu informací, na které navazuje základní norma pro navrhování betonových konstrukcí, která má ve stadiu přípravy označení prEN 1992-1-1. V rámci projektu musí být uvedeny údaje upřesňující provádění betonových konstrukcí v rámci tzv. „specifikace“.

In standards ČSN EN 206-1 and ČSN P ENV 13670 are mentioned many information in connection with the basic standard for design of concrete structures, which is prepared under the notation prEN 1992-1-1. In the technical documentation of the concrete structures it is necessary mentioned the "project specification" in which must be explained also the detail for the execution of those structures.

Úvod

Základním požadavkem při návrhu betonové konstrukce je zajištění její spolehlivosti a trvanlivosti. Při návrhu konstrukce je nutno vycházet z předpokladu, že při výrobě budou zajištěny požadavky jak z hlediska kvality a požadovaných vlastností betonu, tak z hlediska uložení výztuže apod. Nejedná se tedy pouze o zajištění příslušné třídy betonu, ale i o dosažení dalších ukazatelů kvality betonu. Vzhledem k tomu, že metodika navrhování betonových konstrukcí s přímým přihlédnutím k požadavkům trvanlivosti není zatím dostatečně propracována, trvanlivost konstrukce se zajišťuje požadavkem splnění řady různých ustanovení jak v oblasti projektování (požadavky na tloušťku betonu krycí vrstvy výztuže, maximální hodnotu šířky trhlin, dekomprese apod.), tak v oblasti provádění (požadavky na složení betonu a jeho výrobu, uložení, zhutnění a ošetření, zajištění tloušťky krycí vrstvy výztuže apod.).

DÍLČÍ SOUČINITELÉ SPOLEHLIVOSTI MATERIÁLŮ

V mezních stavech únosnosti lze podmínku spolehlivosti napsat podle prEN 1990 [1] ve tvaru:

$$E_d \leq R_d,$$

kde R_d je návrhová hodnota účinků zatížení,

E_d návrhová hodnota odpovídajícího odporu.

Návrhovou hodnotu odporu lze zjednodušeně vyjádřit vztahem

$$R_d = R \left(\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}} ; a_d \right) \quad i \geq 1,$$

kde $X_{k,i}$ je charakteristická hodnota materiálové vlastnosti i ,

$\gamma_{M,i}$ dílčí součinitel materiálu vyjádřený vztahem:

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} * \gamma_{m,i},$$

γ_{Rd} dílčí součinitel pokrývající nejistoty modelu odporu a geometrických odchylek,

$\gamma_{m,i}$ dílčí součinitel zohledňující možnosti nepříznivé odchylky materiálové vlastnosti od její charakteristické hodnoty,

a_d návrhové hodnoty geometrických veličin,

η_i střední hodnota převodního součinitele zohledňující:

- vliv měřítka,
- vliv vlhkosti a teploty,
- ostatní důležité charakteristiky.

V základní připravované normě pro navrhování prEN 1992-1-1 [2] jsou pro trvalé a dočasné návrhové situace předepsány hodnoty dílčích součinitelů materiálů: pro beton $\gamma_c = 1,5$, pro výztuž $\gamma_s = 1,15$. Tyto hodnoty odpovídají geometrickým tolerancím (třída 1 v ENV 13670-1 [5]) a běžné úrovni provádění a kontroly (kontrolní třída 2 v ENV 13670-1 [4]). Tedy pokud ve specifikaci není stanoveno jinak, platí tolerance třídy 1 a kontrolní třída 2 podle ENV 13670-1 [5].

Při vyšší úrovni provádění a zpřísněných kontrolních postupech bude možné při návrhu použít snížených hodnot dílčích součinitelů materiálu. V informativní Příloze A prEN 1992-1-1 [2] je navrhována:

1) Redukce dílčích součinitelů založená na řízení kvality a redukování tolerancích.

Je-li konstrukce betonována na staveništi, nebo betonový výrobek vyráběn za dodržování systému kontroly jakosti zaručujícího, že nepříznivé odchylky rozměrů příčného průřezu jsou v rámci v zpřísněných tolerancích (viz tab. 1), pak hodnota dílčího součinitele výztuže může být snížena na $\gamma_s = 1,10$ pokud zároveň hodnota variačního součinitele pevnosti betonu nepřesáhne 10 %, pak lze též snížit hodnotu dílčího součinitele betonu na $\gamma_c = 1,4$.

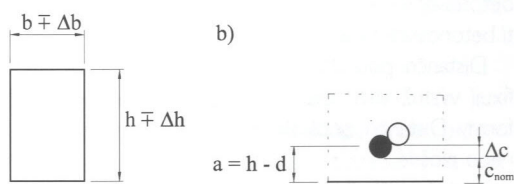
Poznámka: Kriterium bude prakticky použitelné při výrobě dílců, ale v zásadě jej bude možné použít za jistých okolností i pro konstrukce betonované na stavbě.

Tab. 1
Zpřísněné
tolerance

Tab. 1
Advanced
tolerances

h nebo b [mm]	Zpřísněné tolerance [mm]	
	Rozměry příčného řezu $\pm \Delta h, \pm \Delta b$ [mm]	Poloha výztuže $\pm \Delta c$ [mm]
≤ 150	5	5
400	10	10
≥ 400	30	20

- 2) Redukce dílčích součinitelů založená na redukováných nebo měřených geometrických parametrech uvažovaných při návrhu.
Pokud do výpočtů při návrhu zavedeme kritické rozměry, včetně účinné výšky (obr. 1), které jsou buď:
– redukované o tolerance, nebo
– změřené na hotové konstrukci,
bude možné použít snížených hodnot dílčích součinitelů materiálu $\gamma_s = 1,05$, $\gamma_c = 1,45$.



- 3) Redukce založená na stanovení pevnosti betonu v hotové konstrukci.
Při stanovení pevnosti betonu hotové konstrukce nebo konstrukčního prvku (viz prEN 13791 [5]) a odpovídajících výrobních normách bude možné redukovat hodnotu γ_c převodním součinitelem η , v běžných případech vychází $\eta = 0,85$.

Poznámka: Hodnota γ_c , na kterou je tato redukce vztažena, může být již redukována hodnota γ_c podle 1 nebo 2.

TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY VÝZTUŽE

Tloušťka a hutnost betonové krycí vrstvy výztuže má značnou důležitost jak z hlediska trvanlivosti železobetonových a předpjatých konstrukcí, tak z hlediska jejich požární odolnosti.

Krytí výztuže betonem je požadováno z důvodů zajištění:

- soudržnosti výztuže s betonem včetně odolnosti odštěpování povrchové vrstvy betonu (u výztuže se soudržností),
- ochrany výztuže před korozi,
- požadované požární odolnosti.

Hodnoty tloušťky krycí vrstvy výztuže se stanoví:

- a) s ohledem na požadovanou soudržnost a korozní ochranu v prEN 1992-1-1 [2],
- b) s ohledem na požadovanou požární odolnost v prEN 1992-1-2 [3].

Tloušťka krycí vrstvy výztuže je dána vzdáleností vnějšího povrchu výztuže (včetně těmínků a spon) od nejbližšího povrchu výztuže.

Jmenovitá hodnota tloušťky krycí vrstvy betonu c_{nom} je v prEN 1992-1-1 [2] dána vztahem

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c \quad (1)$$

kde c_{min} je minimální tloušťka krycí vrstvy betonu stanovená jako větší z hodnot s přihlédnutím k požadované soudržnosti a korozní ochraně výztuže, Δc návrhová tolerance (toleranční zvětšení).

Minimální tloušťky krycí vrstvy betonu c_{min} podle prEN 1992-1-1 jsou uvedeny tab. 2, a to jednak s ohledem na požadovanou soudržnost výztuže s betonem, jednak s ohledem na požadovanou korozní ochranu výztuže v závislosti na stupních vlivu prostředí (environmental classes – třídách prostředí) definovaných nově v ČSN EN 206-1 [4] Tab. 1. V ČSN EN 206-1 jsou též uvedeny nejnižší přípustné třídy betonu v jednotlivých stupních vlivu prostředí (viz Tab. F v této normě).

Obr. 1
Tolerance průřezových veličin
a) Příčný řez,
b) Poloha výztuže (nepříznivý směr pro účinnou výšku)

Fig. 1
Section tolerances
a) cross section
b) position of reinforcement (unfavourable direction for the effective depth)

Tab. 2
Požadavky na hodnotu minimálního krytí pro obyčejný beton dle prEN 1992-1-1 [2]

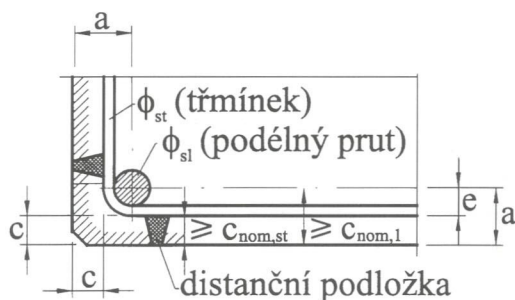
Tab. 2
Minimum cover requirements for normal – weight concrete according to prEN 1992-1-1

Podmínky soudržnosti																																													
Výztuž	Minimální krytí $c_{min}^{1)}$																																												
Betonářská	$\geq \emptyset$ nebo \emptyset_{min} , kde \emptyset je průměr prutu, \emptyset_n je náhradní průměr skupinové vložky																																												
Předpínací – dodatečně	Kruhový kabel se soudržností: náhradní průměr (stanoví se z celkové plochy předpínací výztuže v kabelu)																																												
Předpínací – předem	Obdélníkový kabel se soudržností: menší rozměr, ne však méně než 50 mm, ne více než 80 mm																																												
¹⁾ Při použití kameniva s jmenovitým rozměrem zrna $d_g > 32$ mm, uvedené hodnoty c_{min} se musí zvětšit o 5 mm.																																													
Podmínky prostředí																																													
	Stupně vlivu prostředí podle ČSN EN 206-1 [4] Tab. 1																																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bez rizika</th> <th colspan="4">Koroze způsobená karbonatací</th> <th colspan="3">Koroze způsobená chloridy</th> <th colspan="3">Koroze způsobená mořskou vodou</th> </tr> <tr> <th>X0</th> <th>XC1</th> <th>XC2</th> <th>XC3</th> <th>XC4</th> <th>XD1</th> <th>XD2</th> <th>XD3</th> <th>XS1</th> <th>XS1</th> <th>XS1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>c_{min} betonářská výztuž ¹⁾²⁾</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>30</td> <td colspan="3">45</td> <td colspan="3">45</td> </tr> <tr> <td>c_{min} předpínací výztuž ¹⁾²⁾</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>40</td> <td colspan="3">55</td> <td colspan="3">55</td> </tr> </tbody> </table>	Bez rizika	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chloridy			Koroze způsobená mořskou vodou			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS1	XS1	c_{min} betonářská výztuž ¹⁾²⁾	10	15	25	30	45			45			c_{min} předpínací výztuž ¹⁾²⁾	20	25	35	40	55			55		
Bez rizika	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chloridy			Koroze způsobená mořskou vodou																																					
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS1	XS1																																			
c_{min} betonářská výztuž ¹⁾²⁾	10	15	25	30	45			45																																					
c_{min} předpínací výztuž ¹⁾²⁾	20	25	35	40	55			55																																					
¹⁾ Minimální krytí pro desky a prvky z betonu o dvě pevnostní třídy větší, než je požadována v Tab. F 1 uvedené v ČSN EN 206-1 [4] (mimo třídu prostředí XC1) lze hodnotu snížit o 5 mm za předpokladu zajištění polohy výztuže přiměřeným počtem dostatečně tuhých distančních tělísek.																																													
²⁾ Uvedené hodnoty minimálního krytí výztuže pro životnost konstrukce 100 let musí být zvětšeny o 10 mm, pro životnost konstrukce menší než 50 let přiměřeně sníženy.																																													

Vzhledem k tomu, že hodnoty tloušťky krycí vrstvy betonu c_{\min} musí být v hotové konstrukci spolehlivě dodrženy, zavádí se tzv. návrhová tolerance Δc , která musí pokrýt nevyhnutelné rozměrové odchylky vyplývající z nerovností výztuže a jejího ukládání, zhotovení bednění, druhu a upevnění fixačních přípravků, jakož i způsobu uložení a ztuhnutí betonu. Hodnota Δc nezahmňuje nevyhnutelné chyby případného následného měření tloušťky krycí vrstvy.

S přihlédnutím k nevyhnutelným rozměrovým odchylkám bednění a výztuže (viz ČSN EN 13670-1) je v prEN 1992-1-1 doporučeno u běžných konstrukcí volit hodnotu $\Delta c = 10$ mm. Z uveřejněných měření [9], [10] vyplývá, že při $\Delta c = 10$ mm je nejmenší rozměr c_{\min} 10 % kvantilem, při $\Delta c = 15$ mm je nejmenší rozměr c_{\min} 5 % kvantilem.

S ohledem na požadovanou požární odolnost se kontroluje vzdálenost těžiště výztuže a od nejbližšího povrchu betonu, který může být vystaven požáru. Pokud tuto vzdálenost nestanovíme přesněji, lze použít tabulkových hodnot uvedených v prEN 1992-1-2 [3].



Obr. 2
Krycí vrstva
výztuže c

Fig. 2
Concrete cover c

Návrhová hodnota krycí vrstvy výztuže c (obr. 2) lze tedy odvodit ze vztahů:

$$c \geq c_{\text{nom,st}} \quad (2)$$

$$c \geq c_{\text{nom,l}} \cdot \frac{\phi_{\text{st}}}{\phi_{\text{sl}}} \quad (3)$$

$$c \geq a - 0,5 \phi_{\text{sl}} - \phi_{\text{st}} \quad (4)$$

kde

$c_{\text{nom,l}}$ je jmenovitá hodnota krycí vrstvy podélných prutů,

$c_{\text{nom,st}}$ jmenovitá hodnota krycí vrstvy třmínků (popř. příčných prutů ležících pod podélnými pruty),

a jmenovitá hodnota nejmenší osové vzdálenosti výztužné vložky od povrchu betonu,

ϕ_{sl} jmenovitý průměr podélných prutů,

ϕ_{st} jmenovitý průměr třmínků (popř. příčných prutů);

hodnoty $c_{\text{nom,l}}$ a $c_{\text{nom,st}}$ se stanoví s ohledem na požadovanou soudržnost a korozní ochranu výztuže, hodnota a pak s ohledem na požadovanou požární odolnost.

Návrhová hodnota krycí vrstvy výztuže c se pak volí s přihlédnutím k výškám vyráběných fixačních prvků výztuže v bednění, popř. ve formě. Postup stanovení hodnoty c je přehledně uveden ve vývojovém diagramu (obr. 3).

Polohu výztuže v bednění lze zajistit pomocí různých prvků. Tyto fixační prvky musí:

- zajistit požadované krytí výztuže před a v průběhu betonáže,
- nesmí ovlivnit použitelnost a trvanlivost betonových konstrukčních prvků po jejich vybetonování.

Nejběžněji používané fixační prvky jsou distanční podložky, podpěry (podpěrky) a rozpěry (rozpěrky) výztuže. Fixační prvky mohou být umělohmotné nebo betonové; v některých prostředích se požaduje použití betonových fixačních prvků.

Distanční podložky jsou zabetonované prvky, které fixují výztuž vůči nejbližšímu povrchu bednění popř. formy. Distanční podložky mohou být bodové, liniové nebo plošné

Podpěry výztuže jsou zabetonované prvky zajišťující horní výztuž (obvykle výztuž u horního povrchu desek) v její správné poloze.

Rozpěry výztuže jsou zabetonované prvky zajišťující protilehlou výztuž (obvykle výztuž u druhého povrchu stěn) v její správné poloze.

Předpokládá se, že pokud beton vyhovuje mezním hodnotám předepsaným v normě EN 206-1, je správně uložen, ztuhne a ošetřen (např. podle EN 13670-1), má požadovanou tloušťku krycí vrstvy výztuže pro specifikované podmínky prostředí (prEN 1992-1-1), byl správně zvolen stupeň vlivu prostředí a provádí se požadovaná údržba, pak tento beton splňuje požadavky na trvanlivost pro jeho zamýšlené použití ve specifikovaných podmínkách.

TRHLINY

Požadavky na vznik a šířku trhlin jsou kladeny nejen z hlediska správné funkce a vzhledu konstrukce, ale též z hlediska její trvanlivosti.

Limitní hodnoty stanovené s přihlédnutím k správné funkci a charakteru konstrukce, jakož i k nákladům vyžadovaným na stanovené omezení trhlin, mají být odsouhlaseny se zákazníkem a uvedeny v předpokladech návrhu. Pokud nejsou kladeny zvláštní požadavky (např. na vodotěsnost), lze uvažovat limitní hodnoty podle tab. 3.

U železobetonových prvků pozemních staveb jsou uvedené hodnoty pro kvazistálou kombinaci zatížení vyhovující z hlediska vzhledu a trvanlivosti. U předpjatých prvků jsou uvedené hodnoty pro častou kombinaci zatížení vyhovující z hlediska trvanlivosti; při dekompresi všechny části předpínací výztuže nebo hadice musí být uvnitř tlačené oblasti, a to nejméně ve vzdálenosti 25 mm od hranice této tlačené oblasti. U předpjatých prvků s nesoudržnou výztuží jsou limitní hodnoty stejné jako u železobetonových prvků. U prvků se soudržnou i nesoudržnou předpínací výztuží se použijí hodnoty uvedené v tab. 3 pro předpjaté prvky.

Stupně vlivu prostředí	Železobetonové prvky	Předpjaté prvky
	Kvazistálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,4 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
XC1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekomprese

¹⁾ Udaná hodnota je stanovena z hlediska vzhledu, nikoliv trvanlivosti; pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.
²⁾ Pro tyto stupně vlivu prostředí je třeba ještě požadovat dekompresi při kvazistálé kombinaci zatížení.

Tab. 3
Limitní hodnoty pro maximální stanovenou výšku trhliny

Tab. 3 Limitation of maximum estimated crack width

Ve stupni vlivu prostředí XD3 je třeba provést zvláštní opatření. Volba těchto opatření závisí na charakteru působícího agresivního činitele.

SPECIFIKACE BETONU

Specifikace betonu, která se předkládá výrobci betonu, musí obsahovat všechny příslušné požadavky na vlastnosti betonu (viz ČSN EN 206-1 kap. 6). Je třeba stanovit i případné požadavky na vlastnosti betonu, které jsou nutné pro dopravu po dodání, ukládání, zhutnění, ošetřování nebo další úpravy. Specifikace musí obsahovat také všechny zvláštní požadavky (např. požadavek pro architektonickou povrchovou úpravu – pohledový beton).

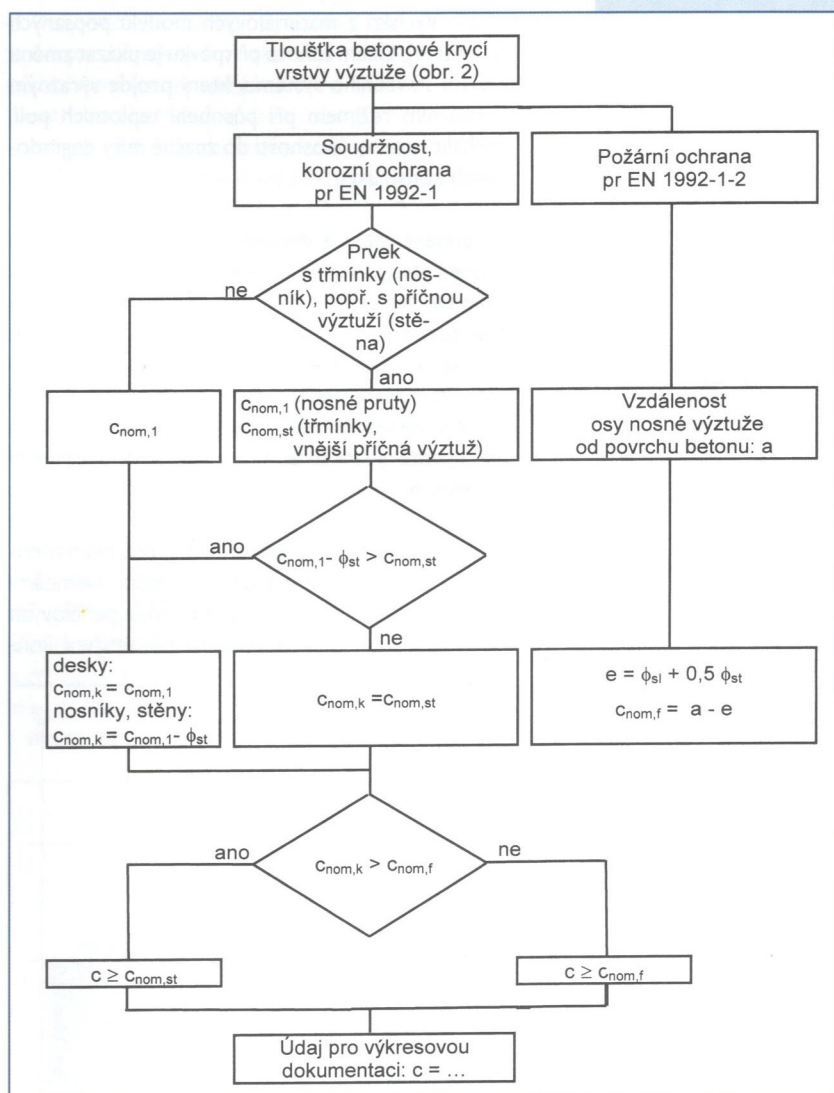
Beton může být specifikován jako typový beton, nebo jako beton předepsaného složení. Odpadají tedy takové definice, jako byl u nás zavedený pojem vodostavebný beton (viz ČSN 73 1209). Je tedy třeba ve specifikaci betonu přesně definovat požadované vlastnosti betonu.

Podrobnější informace pro vypracování specifikací jsou uvedeny v ČSN EN 206-1 [4] (kapitola 6 – specifikace betonu) a ČSN ENV 13670-1 [5] (kapitola 4 – specifikace provádění).

Tento příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru MSM 210000001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“ dílčí část „Spolehlivost betonových konstrukcí“.

Literatura:

- [1] prEN 1990 (Draft – December 2000) Basis of structural design
- [2] prEN 1992-1-1 (2st draft – January 2001) Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
- [3] prEN 1990-1-2 (2st draft – November 2000) Design of concrete structures – Part 1-2: Fire resistance of concrete structures
- [4] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [5] ČSN ENV 13670-1 Provádění betonových konstrukcí – Část 1: Společná ustanovení



Obr. 3 Vývojový diagram stanovení hodnoty tloušťky krycí vrstvy výztuže

Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.
 FSv ČVUT v Praze
 Thákurova 7, 166 29 Praha 6
 tel.: 02 2435 4633, fax: 02 311 7362
 e-mail: jaroslav.prochazka@fsv.cvut.cz

Fig. 3 Flowchart for the assessment of concrete cover