

Betonové konstrukce

prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.
Ing. Radek Štefan

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí

Beton

- Nechořlavý materiál.
- Ve srovnání s jinými stavebními materiály má vynikající vlastnosti z hlediska požární odolnosti.
- Přesto je chování betonu (resp. betonových a železobetonových konstrukcí) působením požáru negativně ovlivněno.
- Při vystavení zvýšeným teplotám dochází v betonu k mechanickým, fyzikálním a chemickým procesům vedoucím k nevratným změnám jeho vlastností.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

2

Beton

Mechanické, teplotní a fyzikální vlastnosti betonu
v závislosti na teplotě podle ČSN EN 1992-1-2

- Hodnoty vlastností založeny na zkouškách při rychlosti zahřívání $2-50 \text{ K min}^{-1}$ (~ odpovídá normovému požáru).
- Při dlouhodobém vystavení zvýšené teplotě mohou být vlastnosti jiné.
- Při výpočtu je nutné uvažovat návrhové hodnoty příslušných vlastností

mechanické vlastnosti

$$X_{d,fi} = k_{\theta} \cdot \frac{X_k}{\gamma_{M,fi}}$$

teplotní a fyzikální vlastnosti

$$X_{d,fi} = \frac{X_{k,\theta}}{\gamma_{M,fi}}, \text{ resp. } X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} \cdot X_{k,\theta}$$

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

3

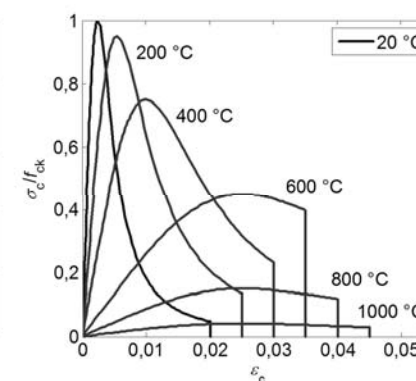
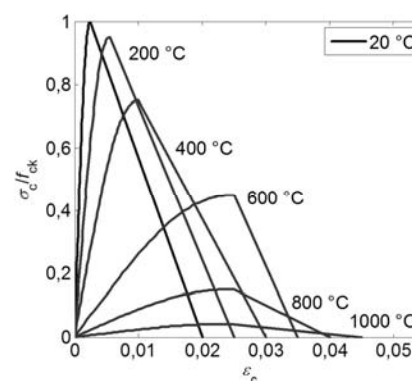
Beton

Mechanické vlastnosti betonu

Obyčejný beton s křemičitým kamenivem:

lineární model sestupné větve

nelineární model sestupné větve



2. 2. 2012

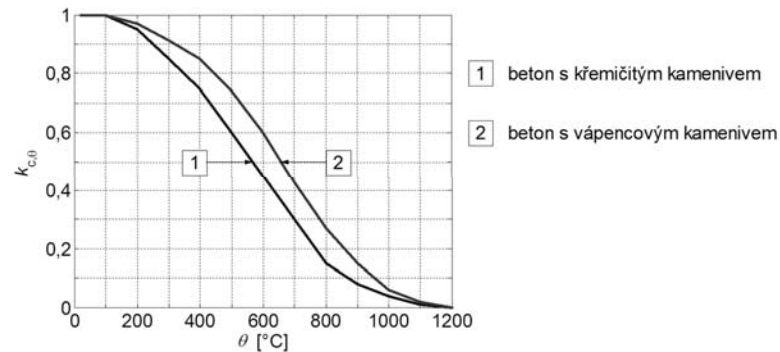
Betonové konstrukce

4

Beton

Mechanické vlastnosti betonu

Součinitel $k_{c,\theta}$ pro redukci charakteristické hodnoty pevnosti betonu v tlaku při zvýšených teplotách



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

5

Beton

Teplotní a fyzikální vlastnosti betonu

Norma udává vztahy vyjadřující teplotní závislost

- teplotního poměrného přetvoření betonu
- měrné tepelné kapacity betonu
- objemové hmotnosti betonu
- tepelné vodivosti betonu

2. 2. 2012

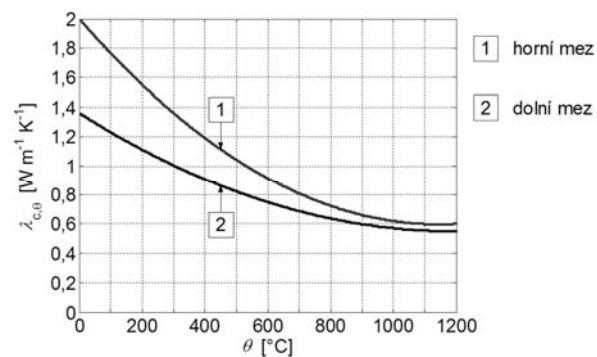
Betonové konstrukce

6

Beton

Teplotní a fyzikální vlastnosti betonu

Tepelná vodivost betonu $\lambda_{c,\theta}$



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

7

Výztuž

- Norma ČSN EN 1992-1-2 rozlišuje vlastnosti betonářské a předpínací výztuže.
- Parametry definující vlastnosti betonářské výztuže jsou v normě uvedeny ve dvou třídách - N a X.
- V ČR se běžně uvažuje třída N.

2. 2. 2012

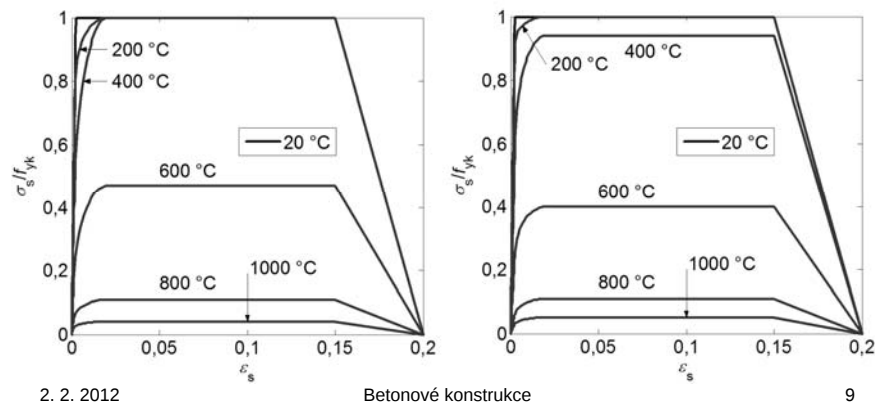
Betonové konstrukce

8

Výztuž

Mechanické vlastnosti výztuže

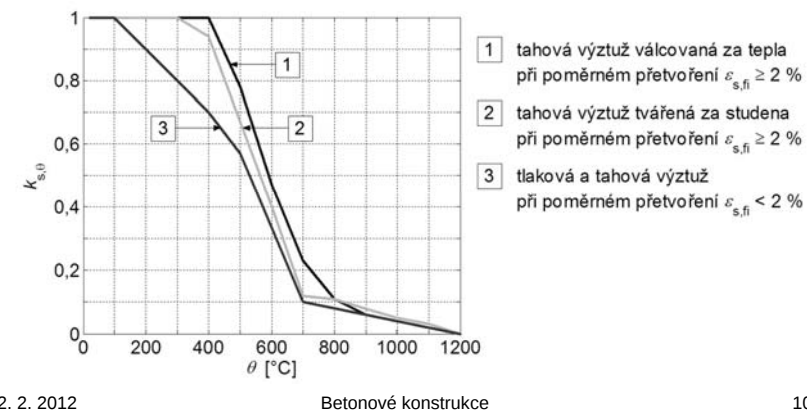
Pracovní diagramy betonářské výztuže třídy N a třídy tažnosti B:
výztuž válcovaná za tepla výztuž tvářená za studena



Výztuž

Mechanické vlastnosti výztuže

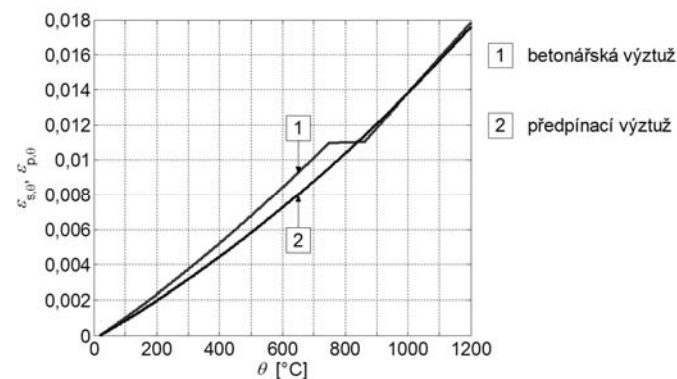
Součinitel $k_{s,\theta}$ pro redukci charakteristické hodnoty meze kluzu (f_{yk})
tahové a tlakové výztuže třídy N



Výztuž

Teplotní a fyzikální vlastnosti výztuže

Norma udává pouze vztahy vyjadřující teplotní závislost teplotního poměrného přetvoření výztuže.



Návrhové přístupy

Rozdělení dle úrovně přesnosti a komplexnosti

- analýza prvku
- analýza části konstrukce
- globální analýza konstrukce

Návrhové přístupy

Rozdělení dle použitých metod návrhu

- návrh založený na normalizovaných zkouškách požární odolnosti
- návrh s využitím tabulkových údajů
- návrh pomocí zjednodušených výpočetních metod
- návrh pomocí zpřesněných výpočetních metod
- návrh vycházející z požární zkoušky celé konstrukce (*full-scale testing*)

tabulky a zkoušky ... tzv. *osvědčená návrhová řešení*

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

13

Návrhové přístupy

Rozdělení dle uvažovaného modelu požáru

- požární scénář předpokládající rovnoměrné rozložení teploty plynů v požárním úseku (nominální teplotní křivky, parametrické teplotní křivky)
- požární scénář předpokládající nerovnoměrné rozložení teploty plynů v požárním úseku (vicezónové modely, výpočetní dynamické modely)

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

14

Návrhové přístupy - možné kombinace

		Požární scénář		
		Rovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku		Nerovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku
		Nominální teplotní křivky	Parametrické teplotní křivky	
Úroveň návrhu	Analýza prvku	Zkoušky Tabulky Zjednodušené metody Zpřesněné metody	Zkoušky? Tabulky? Zjednodušené metody Zpřesněné metody	Zkoušky Zjednodušené metody Zpřesněné metody
	Analýza části konstrukce	Zkoušky? Zjednodušené metody? Zpřesněné metody	Zkoušky? Zjednodušené metody? Zpřesněné metody	Zkoušky Zpřesněné metody
	Globální analýza konstrukce	Zpřesněné metody	Zpřesněné metody	Zkoušky Zpřesněné metody

„?“ v současnosti tuto metodu nelze použít, avšak není vyloučeno, že v budoucnu to možné bude.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

15

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1992-1-2 pro betonové konstrukce

- Tabulkové hodnoty pro
 - sloupy
 - stěny
 - tažené prvky
 - nosníky
 - desky

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

16

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1992-1-2 pro betonové konstrukce

- Zjednodušené výpočetní metody
 - metoda izotermie 500 °C pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (B.1)
 - zónová metoda pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (B.2)
 - metoda pro štíhlé sloupy ztužených konstrukcí (B.3), na které jsou založeny tabulky uvedené v příloze C
 - metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení (D)
 - zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky (E)

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

17

Návrhové přístupy

Norma ČSN EN 1992-1-2 pro betonové konstrukce

- Zpřesněné výpočetní metody
 - norma definuje pouze obecné zásady
- Požární zkoušky
 - nejsou předmětem *návrhových norem* (stanovení požární odolnosti pomocí požárních zkoušek se provádí podle příslušných *zkušebních norem*)
- Normu ČSN EN 1992-1-2 nelze použít pro konstrukce s vnější předpínací výztuží a pro skořepinové konstrukce!

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

18

Návrh podle tabulek - úvod

- Nejjednodušší přístup k návrhu (resp. posouzení) betonových prvků na účinky požáru.
- Je třeba zohlednit všechny doplňující a omezující podmínky a ustanovení normy (např. redistribuce, minimální plocha průřezu apod.).
- Tabulky sestaveny na základě výpočtů a zkoušek.
- Hodnoty v tabulkách pokrývají řadu dalších parametrů (např. teplotní a fyzikální vlastnosti materiálů), které nejsou v tabulkách přímo vyjádřeny.

⇒ Tabulky jsou pro některé případy značně konzervativní!

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

19

Návrh podle tabulek - úvod

- Tabulové hodnoty se vztahují k **normovému požáru** (vyjadřují tzv. **normovou požární odolnost**) a platí pro prvky z **obyčejného betonu** ($\rho = 2000\text{--}2600 \text{ kg m}^{-3}$) s **křemičitým kamenivem**.
- Pro **nosníky a desky** z betonu s **vápencovým** nebo **lehkým kamenivem** (s obsahem min. 80 % hm. kameniva) a pro **stěny** z betonu s **vápencovým** kamenivem lze požadavky na **min. rozměry průřezu redukovat o 10 %**.
- Pokud prvek splňuje tabulkové požadavky, nemusí se provádět další posouzení **únosnosti ve smyku, kroucení, kotvení výztuže a odštěpování** (ale pokud $a \geq 70 \text{ mm}$, musí se zohlednit požadavky na povrchovou výztuž).

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

20

Návrh podle tabulek - úvod

- **Nosná funkce prvku** (kritérium **R**) je zajištěna, pokud jsou splněny tabulové požadavky na min. rozměry průřezu prvku a osovou vzdálenost výztuže od nejbližšího líce průřezu vystaveného požáru.
- **Základní podmínky**
 - $h_s \geq h_{s,min}$ tloušťka desky
 - $t \geq t_{min}$ tloušťka stěny
 - $b \geq b_{min}$ (i) min. rozměr pravoúhl. průřezu sloupu nebo nosníku, (ii) průměr kruhového průřezu sloupu, (iii) šířka průřezu v úrovni těžiště tahové výztuže nosníku s proměnnou šířkou, (iv) šířka spodní příruby nosníku tvaru I
 - $b_w \geq b_{w,min}$ šířka stojiny nosníku tvaru I
 - $a \geq a_{min}$ osová vzdálenost výztuže od nejbližšího líce průřezu vystaveného požáru

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

21

Návrh podle tabulek - úvod

- **Požárně dělicí funkce** prvku (kritéria **E** a **I**) je zajištěna, pokud je tloušťka prvku (stěny nebo desky) větší nebo rovna požadované minimální tloušťce podle příslušné tabulky (tabulka pro nenosné dělicí stěny, resp. pro prostě podepřené plné desky).
- Jsou-li požárně dělicí prvky navzájem spojeny, musejí být styky provedeny a posouzeny podle normy.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

22

Návrh podle tabulek - úvod

- Mezi tabulkovými hodnotami lze použít lineární interpolaci.
- **Speciální případy**
 - výztužné pruty (resp. předpínací pruty, dráty, lana) se shodnými pevnostmi jsou rozmístěny ve více vrstvách
 - výztuž tvořena pruty (dráty, lany) z ocelí s různými pevnostmi
 - současné použití betonářské a předpínací výztuže (částečně předpjaté prvky)

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

23

Návrh podle tabulek - úvod

- Tabulky vycházejí z podmínky

$$R_{d,fi,t} \geq E_{d,fi,t}, \text{ kde}$$

$$E_{d,fi,t} = E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d, \text{ za předpokladu } \eta_{fi} = 0,7$$

- Hodnoty a_{min} pro výztuž v tažených oblastech prostě podepřených nosníků a desek pnutých v 1 směru jsou stanoveny za předpokladu kritické teploty výztuže $\theta_{cr} = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$.
- Pro předpínací výztuž se uvažuje pro pruty $\theta_{cr} = 400 \text{ } ^\circ\text{C}$ a pro dráty a lana $\theta_{cr} = 350 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow$ při použití předpínací výztuže je nutné zvýšit tabulkové hodnoty a_{min} :
 - při použití předpínacích prutů o **10 mm**
 - při použití předpínacích drátů a lan o **15 mm**

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

24

Návrh podle tabulek - úvod

- Pokud nevyhoví požadavek na rozměr průřezu (skutečný rozměr je menší než požadovaná tabulková hodnota)
 - ⇒ nutno opravit návrh nebo prokázat požární odolnost jiným způsobem
- Pokud nevyhoví požadavek na osovou vzdálenost výztuže od líce průřezu vystaveného požáru
 - ⇒ lze tabulkovou hodnotu $a_{\min}$ upravit (redukovat) s přihlédnutím ke skutečnému napětí ve výztuži při požární situaci
 - ⇒ pokud ani tak nevyhoví, nutno opravit návrh nebo prokázat požární odolnost jiným způsobem

2. 2. 2012

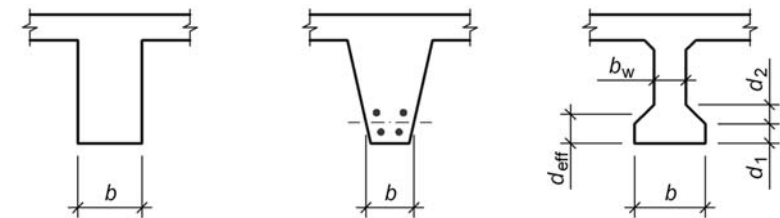
Betonové konstrukce

25

Nosníky

- Posuzují se podmínky $b \geq b_{\min}$, $b_w \geq b_{w,\min}$, $a \geq a_{\min}$

pro nosníky tvaru I také $d_{\text{eff}} = d_1 + 0,5 d_2 \geq b_{\min}$
(netýká se nosníků se vzrůstající šířkou stojiny v místě rozšíření)



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

26

Nosníky

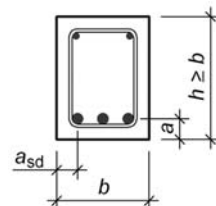
- Otvory ve stojinách nosníků nesnižují požární odolnost, pokud pro zbývající plochu průřezu prvku v tahové oblasti platí

$$A_c \geq 2 \cdot b_{\min}^2$$

- Je-li použita výztuž v jedné vrstvě a $b \leq b_{\min(4 \text{ nebo } 3)}$ kde $b_{\min(4 \text{ nebo } 3)}$ je hodnota uvedená ve sloupci (4) příslušné tabulky v případě prostě podepřených nosníků, resp. ve sloupci (3) příslušné tabulky v případě spojitých nosníků,

⇒ je nutné o 10 mm zvýšit požadavek na osovou vzdálenost a_{sd} spodních rohových prutů od bočního líce průřezu

- Posuzuje se $a_{sd} \geq a_{sd,\min} = a_{\min} + 10$



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

27

Nosníky

Hodnoty $b_{\min}$, $a_{\min}$ a $b_{w,\min}$ pro prostě podepřené nosníky ze železobetonu a předpjatého betonu

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]						
	$b_{\min}/a_{\min}$				$b_{w,\min}^{**}$		
					Třída WA	Třída WB	Třída WC
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
R 30	80/25	120/20	160/15*	200/15*	80	80	80
R 60	120/40	160/35	200/30	300/25	100	80	100
R 90	150/55	200/45	300/40	400/35	110	100	100
R 120	200/65	240/60	300/55	500/50	130	120	120
R 180	240/80	300/70	400/65	600/60	150	150	140
R 240	280/90	350/80	500/75	700/70	170	170	160

Pro $b \leq b_{\min(4)}$, kde $b_{\min(4)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (4), platí $a_{sd,\min} = a_{\min} + 10$ [mm].
Pro $b > b_{\min(4)}$, kde $b_{\min(4)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (4), platí $a_{sd,\min} = a_{\min}$.

*1) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.
***) V ČR se uvažuje třída WA.
- Pro předpjaté nosníky se vzdálenost $a_{\min}$ zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.
- Při použití betonu s vápencovým nebo lehkým kamenivem lze hodnoty $b_{\min}$ redukovat o 10 %.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

28

Nosníky

Hodnoty $b_{\min}$, $a_{\min}$ a $b_{w,\min}$ pro spojité nosníky ze železobetonu a předpjatého betonu

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]						
	$b_{\min}/a_{\min}$				$b_{w,\min}^{**}$		
					Třída WA	Třída WB	Třída WC
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
R 30	80/15*	160/12*	-	-	80	80	80
R 60	120/25	200/12*	-	-	100	80	100
R 90	150/35	250/25	-	-	110	100	100
R 120	200/45	300/35	450/35	500/30	130	120	120
R 180	240/60	400/50	550/50	600/40	150	150	140
R 240	280/75	500/60	650/60	700/50	170	170	160

Pro $b \leq b_{\min(3)}$, kde $b_{\min(3)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (3), platí $a_{sd,\min} = a_{\min} + 10$ [mm].
 Pro $b > b_{\min(3)}$, kde $b_{\min(3)}$ je hodnota $b_{\min}$ uvedená ve sloupci (3), platí $a_{sd,\min} = a_{\min}$.

*1) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.
 **1) V ČR se uvažuje třída WA.
 - Pro předpjaté nosníky se vzdálenost $a_{\min}$ zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.
 - Při použití betonu s vápencovým nebo lehkým kamenivem lze hodnoty $b_{\min}$ redukovat o 10 %.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

29

Nosníky

- Hodnoty v tabulce pro spojité nosníky platí pouze za předpokladu, že jsou splněny následující podmínky (jinak se každé pole posoudí jako nosník prostě podepřený)

- redistribuce ohybového momentu při návrhu za běžné teploty je max. 15 %, případně, při redistribuci > 15 %, je zajištěna dostatečná rotační kapacita v podporách pro požadovanou požární odolnost

- pro požadovanou požární odolnost R 90 a vyšší je nad každou vnitřní podporou do vzdálenosti $0,3 \cdot l_{\text{eff}}$ od osy podpory provedena horní výztuž o průřezové ploše minimálně $A_{s,\text{req},\text{fi},x}$

$$A_{s,\text{req},\text{fi},x} = \max \left\{ A_{s,\text{req},0} \cdot \left(1 - \frac{2,5 \cdot x}{l_{\text{eff}}} \right), A_{s,\text{req},x} \right\} \quad \text{pro } x \in \langle 0, (0,3 \cdot l_{\text{eff}}) \rangle$$

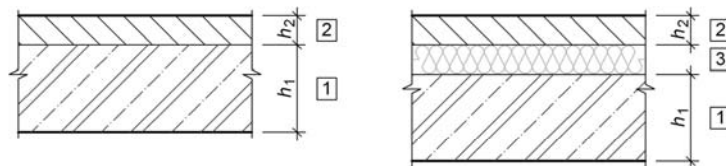
2. 2. 2012

Betonové konstrukce

30

Desky

- Požárně dělicí funkce desek (EI) je zajištěna splněním podmínky $h_s \geq h_{s,\min}$, kde $h_{s,\min}$ se určí z tabulky pro prostě podepřené plné desky.
- Nehořlavé vrstvy podlah přispívají k požárně dělicí funkci desek, a to i tehdy, kdy jsou odděleny hořlavou vrstvou.



- 1 betonová deska
 2 nášlapná vrstva (nehořlavá)
 3 izolace (může být hořlavá)

$$h_s = h_1 + h_2$$

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

31

Desky

- Nosná a požárně dělicí funkce desek (R) se ověřuje podmínkami $h_s \geq h_{s,\min}$ a $a \geq a_{\min}$ (+ dříve uvedené modifikace pro výztuž ve více vrstvách).
- Hodnoty $h_{s,\min}$ a $a_{\min}$ jsou uvedeny v příslušných tabulkách.
- Výběr tabulky závisí na typu desky. Norma rozlišuje:
 - prostě podepřené desky
 - spojité desky
 - lokálně podepřené desky
 - žebrové desky

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

32

Desky

Prostě podepřené desky

- Pro desky pnuté ve dvou směrech je vzdálenost $a_{\min}$ vztažena ke spodní vrstvě výztuže.
- Za desky pnuté ve dvou směrech se považují pouze desky podepřené po celém obvodu.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

33

Desky

Hodnoty $h_{s,\min}$ a $a_{\min}$ pro železobetonové a předpjaté prostě podepřené desky pnuté v jednom a ve dvou směrech

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]			
	$h_{s,\min}$	$a_{\min}$		
		Deska pnutá v jednom směru	Deska pnutá ve dvou směrech	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2,0$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

*1) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.

- Rozměry l_x a l_y jsou vzájemně kolmá rozpětí desky pnuté ve dvou směrech, platí $l_y \geq l_x$.

- Pro předpjaté desky se vzdálenost $a_{\min}$ zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.

- Při použití betonu s vápencovým nebo lehkým kamenivem lze hodnoty $h_{s,\min}$ redukovat o 10 %.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

34

Desky

Spojité plné desky

- Pokud jsou splněny následující podmínky, určí se hodnoty $h_{s,\min}$ a $a_{\min}$ pro spojitě desky ze sloupců (2) a (4) tabulky pro prostě podepřené desky (jinak se každé pole desky posoudí jako deska prostě podepřená):
 - redistribuce ohybového momentu při návrhu za běžné teploty je max. 15 %
 - pro REI 90 a vyšší je nad každou vnitřní podporou do vzdálenosti $0,3 \cdot l_{\text{eff}}$ od osy podpory zavedena horní výztuž o průřezové ploše min. $A_{s,\text{req},\text{fi},x}$ (viz *spojité nosníky*)

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

35

Desky

Spojité plné desky

- nad mezilehlými podporami je provedena horní nosná výztuž o ploše $A_s \geq 0,005 A_c$
tato podmínka musí být splněna, pouze pokud nastane některý z následujících případů:
 - (a) je použita výztuž tvářená za studena
 - (b) jedná se o spojitou desku o dvou polích, u které není v krajních podporách bráněno v pootočení
 - (c) v návrhu není zohledněna možnost redistribuce účinků zatížení kolmo k rozpětí (např. pomocí mezi-lehlých stěn nebo podpor ve směru rozpětí vzájemně umístěných ve vzdálenosti menší nebo rovné rozpětí)

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

36

Desky

Lokálně podepřené desky

- Pokud byla při návrhu za běžné teploty uvažována redistribuce ohybových momentů > 15 %, stanoví se hodnota $a_{\min}$ z tabulky pro prostě podepřené desky, sloupce (3).
- Vzdálenost $a_{\min}$ se vtahuje ke spodní vrstvě výztuže.
- Pro REI 90 a vyšší musí v obou směrech probíhat přes celé rozpětí minimálně 20 % veškeré horní výztuže požadované nad podporami při návrhu za běžné teploty. Tato výztuž se umístí ve sloupových pruzích.

Desky

Hodnoty $h_{s,\min}$ a $a_{\min}$ pro železobetonové a předpjaté lokálně podepřené desky

Normová požární odolnost	Požadované rozměry [mm]	
	$h_{s,\min}$	$a_{\min}$
(1)	(2)	(3)
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

*) Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.
Pro předpjaté desky se vzdálenost $a_{\min}$ zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.

Desky

Žebrové desky

- Pro žebrové desky je třeba kromě podmínek vztahujících se k vlastní desce (přírubě) ověřit také podmínky pro žebra.
- Postup stanovení požární odolnosti železobetonových a předpjatých žebrových desek pnutých v jednom směru
 - pro žebra se použijí zásady a tabulky platné pro prostě podepřené nebo spojitě nosníky
 - pro příruby se hodnoty $h_{s,\min}$ a $a_{\min}$ určí z tabulky pro prostě podepřené desky

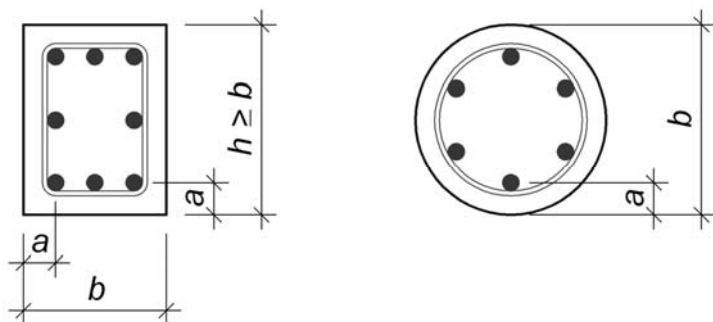
Ostatní případy - viz norma.

Sloupy - úvod

- V normě uvedeny tři metody pro tabulkové posouzení požární odolnosti sloupů:
 - metoda A
 - metoda B
 - metoda pro štíhlé sloupy
- Všechny tři metody platí pouze **pro sloupy ztužených konstrukcí**.
- Tabulky pro sloupy neztužených konstrukcí: mohou být uvedeny v národní příloze (v NA pro ČR zatím nejsou).
- Nosná funkce (R) se ověřuje tabulkovým posouzením minimálního rozměr sloupu a osově vzdálenosti výztuže od líce sloupu.

Sloupy - úvod

Posuzované parametry sloupů



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

41

Sloupy - metoda A

- Pro převážně tlačené sloupy.

- Podmínky použitelnosti:

1) Účinná délka sloupu při požární situaci

$$l_{0,fi} \leq 3 \text{ m}$$

kde $l_{0,fi}$ lze konzervativně uvažovat jako $l_{0,fi} = l_0$, příp. pro sloupy s R 30 a více:

$$l_{0,fi} = 0,5 l \quad \text{pro sloupy v mezilehlých podlažích}$$

$$l_{0,fi} = (0,5-0,7) l \quad \text{pro sloupy v nejvyšším podlaží}$$

(l ... skutečná délka sloupu - střed-střed)

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

42

Sloupy - metoda A

2) Výstřednost 1. řádu při požární situaci

$$e_{0,fi} \leq e_{\max}$$

kde $e_{0,fi}$ lze konzervativně uvažovat jako $e_{0,fi} = e_0$, příp. jako:

$$e_{0,fi} = \frac{M_{0Ed,fi}}{N_{0Ed,fi}}$$

Maximální výstřednost se uvažuje v rozmezí

$$0,15 \cdot h \leq e_{\max} \leq 0,4 \cdot h \quad \text{resp.} \quad 0,15 \cdot b \leq e_{\max} \leq 0,4 \cdot b$$

3) Plocha podélné výztuže $A_s \leq 0,04 \cdot A_c$

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

43

Sloupy - metoda A

Hodnoty $b_{\min}$ a $a_{\min}$ pro železobetonové a předpjaté sloupy s pravoúhlým nebo kruhovým průřezem - metoda A

Normová požární odolnost	Požadované rozměry $b_{\min}/a_{\min}$ [mm]			
	Sloup vystavený požáru z více než jedné strany			Sloup vystavený požáru z jedné strany
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40*	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45* 450/40*	350/57* 450/51*	175/35
R 180	350/45*	350/63*	450/70*	230/55
R 240	350/61*	450/75*	-	295/70

* Průřez musí být vyztužen minimálně 8 pruty.

Pro předpjaté sloupy se vzdálenost $a_{\min}$ zvětší při použití předpínacích prutů o 10 mm, při použití předpínacích drátů a lan o 15 mm.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

44

Sloupy - metoda A

Parametr μ_{fi} ... stupeň využití při požární situaci

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}$$

zjednodušeně lze uvažovat $\mu_{fi} = \eta_{fi}$ (odpovídá plnému využití při běžné teplotě)

Sloupy - metoda B

• Podmínky použitelnosti:

1) Výstřednost 1. řádu při požární situaci

$$\frac{e_{0,fi}}{b} \leq 0,25 \quad \wedge \quad e_{0,fi} \leq e_{\max} \quad e_{\max} = 100 \text{ mm}$$

2) Štíhlost sloupu při požární situaci

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{0,fi}}{i} \leq 30$$

3) Pokud $A_s \geq 0,02 A_c$ a požadovaná požární odolnost > R 90
 $\Rightarrow$ výztuž musí být rovnoměrně rozložena po stranách průřezu.

Sloupy - metoda B

Hodnoty $b_{\min}$ a $a_{\min}$ pro sloupy s pravoúhlým nebo kruhovým průřezem - metoda B

Normová požární odolnost	Mechanický stupeň vyztužení ω	Požadované rozměry $b_{\min}/a_{\min}$ [mm]			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
R 30	0,10	150/25*	150/25*	200/30 : 250/25*	300/30 : 350/25*
	0,50	150/25*	150/25*	150/25*	200/30 : 250/25*
	1,00	150/25*	150/25*	150/25*	200/30 : 300/25*
R 60	0,10	150/30 : 200/25*	200/40 : 300/25*	300/40 : 500/25*	500/25*
	0,50	150/25*	150/35 : 200/25*	250/35 : 350/25*	350/40 : 550/25*
	1,00	150/25*	150/30 : 200/25*	200/40 : 400/25*	300/50 : 600/30
R 90	0,10	200/40 : 250/25*	300/40 : 400/25*	500/50 : 550/25*	550/40 : 600/25*
	0,50	150/35 : 200/25*	200/45 : 300/25*	300/45 : 550/25*	500/50 : 600/40
	1,00	200/25*	200/40 : 300/25*	250/40 : 550/25*	500/50 : 600/45
R 120	0,10	250/50 : 350/25*	400/50 : 550/25*	550/25*	550/60 : 600/45
	0,50	200/45 : 300/25*	300/45 : 550/25*	450/50 : 600/25*	500/60 : 600/50
	1,00	200/40 : 250/25*	250/50 : 400/25*	450/45 : 600/30	600/60
R 180	0,10	400/50 : 500/25*	500/60 : 550/25*	550/60 : 600/30	(1)
	0,50	300/45 : 450/25*	450/50 : 600/25*	500/60 : 600/50	600/75
	1,00	300/35 : 400/25*	450/50 : 550/25*	500/60 : 600/45	(1)
R 240	0,10	500/60 : 550/25*	550/40 : 600/25*	600/75	(1)
	0,50	450/45 : 500/25*	550/55 : 600/25*	600/70	(1)
	1,00	400/45 : 500/25*	500/40 : 600/30	600/60	(1)

*1 Obvykle je rozhodující krycí vrstva požadovaná normou ČSN EN 1992-1-1.

(1) Vyžaduje šířku průřezu sloupu větší než 600 mm. Je nutné zvláštní posouzení vzpěru.

Sloupy - metoda pro štíhlé sloupy

• Příloha C normy ČSN EN 1992-1-2 „Vzpěr sloupů při požární situaci“.

• Založená na zjednodušené výpočetní metodě pro sloupy (příloha B.3 normy).

• Podmínky použitelnosti:

1) Šířka sloupu: $b \leq 600 \text{ mm}$

2) Štíhlost sloupu při požární situaci

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{0,fi}}{i} \leq 80$$

Sloupy - metoda pro štíhlé sloupy

- Celkem 9 tabulek.
- Výběr tabulky: ω , $e_{0,fi}$
- Výběr hodnot v tabulkách: λ_{fi} , n
- Lze interpolovat v rámci jedné tabulky i mezi tabulkami.

Zjednodušené výpočetní metody

- Stanovení mezní únosnosti prvku (průřezu) při požární situaci.
- Vztahují se k nosné funkci prvku (kritérium R).
- **Nutný předpoklad: znalost rozložení teploty v analyzovaném průřezu pro příslušnou dobu vystavení požáru.**

Zjednodušené výpočetní metody

Zjednodušené výpočetní metody v ČSN EN 1992-1-2

- Metoda izotermie 500 °C pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (**B.1**)
- Zónová metoda pro prvky namáhané ohybovým momentem a/nebo normálovou silou (**B.2**)
- Metoda pro štíhlé sloupy ztužených konstrukcí (**B.3**), na které jsou založeny tabulky uvedené v příloze C
- Metoda pro ověření únosnosti ve smyku a kroucení (**D**)
- Zjednodušená výpočetní metoda pro nosníky a desky (**E**)

Zpřesněné výpočetní metody

- Slouží k realistickému přiblížení skutečného chování konstrukcí nebo jejich částí vystavených účinkům požáru.
- Normě ČSN EN 1992-1-2 udává pouze hlavní zásady, které musejí být při použití zpřesněných výpočetních metod dodrženy.
- Lze použít v souvislosti s jakoukoli teplotní křivkou, pokud jsou pro ni známy závislosti vlastností materiálů na teplotě.
- Způsoby porušení, které metoda nezohledňuje (např. odštěpování, lokální vybočení tlakové výztuže), musejí být vyloučeny jiným způsobem (např. doplňujícím výpočtem, konstrukční úpravou).

Zvláštní pozornost je třeba věnovat

- Problematice **odštěpování betonu** (norma definuje, za jakých podmínek lze vznik odštěpování vyloučit).
- Specifikům návrhu prvků z **vysokopevnostního betonu**.

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

53

Podrobnější informace

- Procházka, J. a kol. **Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru**. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- Wald, F. a kol. **Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí**. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

54

Podrobnější informace

- Wald, F. a kol. **Prokazování požární odolnosti statickým výpočtem**. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-89113-69-9.
- Procházka, J. a kol. **Navrhování betonových konstrukcí 1: Prvky z prostého a železového betonu**. Praha: ČBS, 2009. ISBN 80-903807-1-9.



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

55

Softwarová podpora návrhu

Programy vyvíjené na katedře betonových a zděných konstrukcí FSv ČVUT v Praze

- Program TempAnalysis
- Program HygroThermAnalysis
- Soubor programů FiDeS

Volně dostupné na adrese:

<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>

(nebo jednoduše Google: **Radek Štefan**)

2. 2. 2012

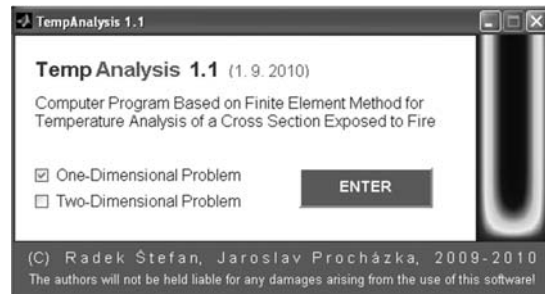
Betonové konstrukce

56

TempAnalysis

- Výpočetní program pro teplotní analýzu obdélníkových průřezů (deska, stěna, nosník, sloup) vystavených požáru.
- Uživatelské rozhraní v anglickém jazyce.
- Řeší 1D (desky/stěny) a 2D (nosníky/sloupy) úlohy.

Úvodní okno programu



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

57

HygroThermAnalysis

- Výpočetní program pro teplotně-vlhkostní analýzu betonových obdélníkových průřezů (desky, stěny, nosníky, sloupy) vystavených požáru.
- Narozdíl od programu **TempAnalysis** umožňuje zohlednit vliv vlhkosti a jejího transportu.
- Slouží pro stanovení rozložení teploty, vlhkosti a pórového tlaku v betonových průřezích vystavených požáru a k určení rizika odštěpování betonu způsobeného nárůstem pórového tlaku.

2. 2. 2012

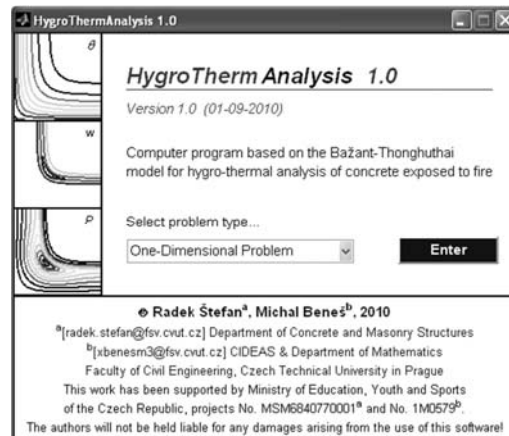
Betonové konstrukce

58

HygroThermAnalysis

- Řeší 1D (desky/stěny) a 2D (nosníky/sloupy) úlohy.

Úvodní okno programu



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

59

FiDeS (Fire Design Software)

Jedná se o celkem pět samostatných programů

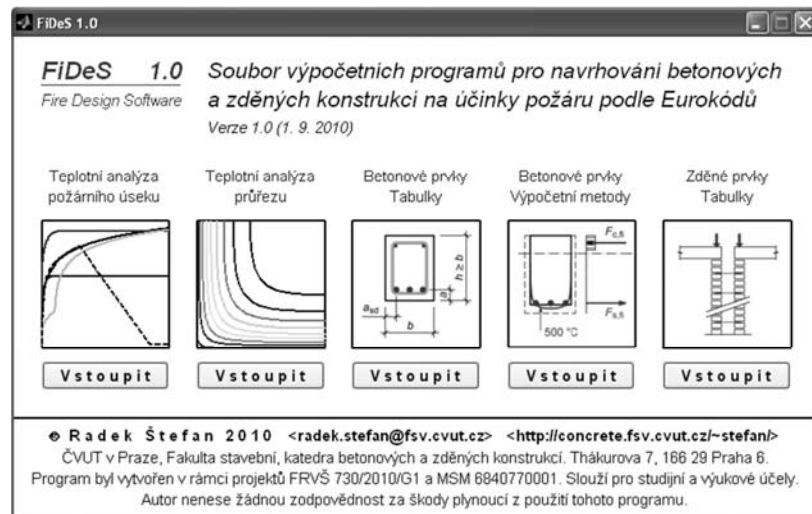
- program pro teplotní analýzu požárního úseku
- program pro teplotní analýzu průřezu
- program pro posouzení požární odolnosti betonových prvků
- program pro stanovení požární odolnosti betonových prvků pomocí zjednodušených výpočetních metod uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2
- program pro posouzení požární odolnosti zděných prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1996-1-2

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

60

Úvodní okno programu



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

61

Příklad protokolu



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

62

Podpora návrhu pomocí tabulek

- Vývojové diagramy s odkávkami na jednotlivá ustanovení normy

Volně dostupné na adrese:

<http://fire.fsv.cvut.cz/vzdelavani/index.php>

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

63

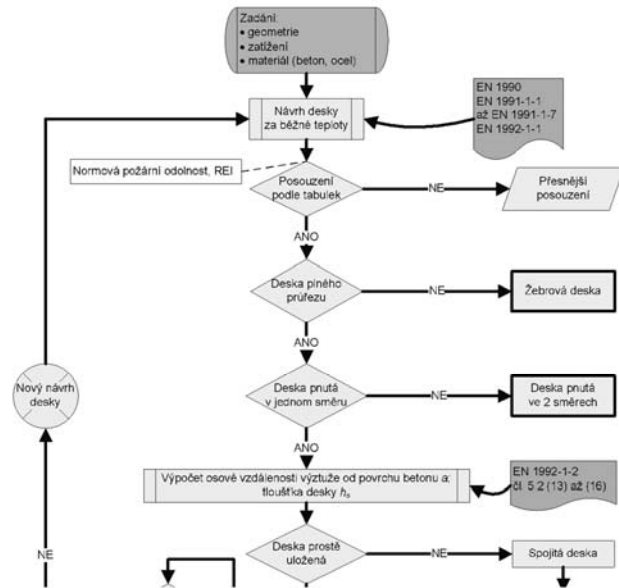


2. 2. 2012

Betonové konstrukce

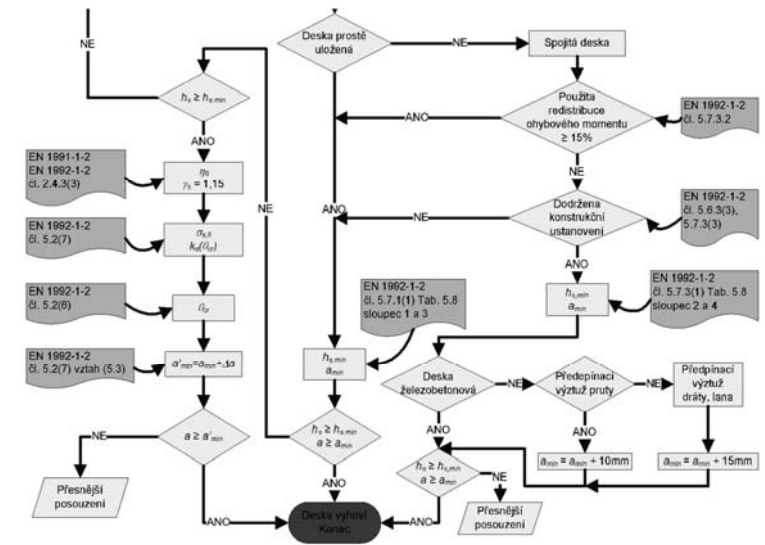
64

ŽELEZOBETONOVÉ A PŘEDPJATÉ DESKY VYSTAVENÉ POŽÁRU ZDOLA OVĚŘENÍ PODLE TABULEK



2. 2. 2011

65



2. 2. 2012

Betonové konstrukce

66

Děkuji za pozornost!

2. 2. 2012

Betonové konstrukce

67