

# Spřažené ocelobetonové konstrukce podle ČSN EN 1994

J.Studnička

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Spřažené ocelobetonové konstrukce

- EN 1994-1-1: Navrhování pozemních staveb
- EN 1994-1-2 : Požární návrh
- EN 1994-2 : Mosty

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## ČSN EN 1994-1-1

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Rozsah platnosti ČSN EN 1994-1-1

- Obvyklé konstrukce pozemních staveb, převážně nosníky a sloupy
- Nepokrývá: konstrukce visuté, zavěšené, předeprnuté, dvojité spřažené atp.

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Formát EN

- Zásady a aplikační pravidla: zásady se musí dodržet, pravidla ukazují osvědčený způsob, jak vyhovět zásadám
- Zásady jsou označeny P a zpravidla obsahují sloveso „musí“ (v originále shall)
- Zásad je velmi málo, převážná část normy obsahuje pravidla
- Pravidla lze nahradit (při zajištění aspoň stejné spolehlivosti jako při použití doporučených pravidel)
- Pravidla zpravidla obsahují slovesa: „má“, „doporučuje se“, „lze“ apod. (v originále should, recommend, may)
- Norma se doslovně přeloží do národních jazyků, v tzv. Národní příloze lze změnit jen přesně definované parametry (v EN 1994-1-1 je jich 19), kterými se nastavuje bezpečnost návrhu
- Česka národní příloha se vesměs přidržuje doporučených hodnot

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Definice a termíny

- Jako v ostatních ČSN EN, navíc:
- Smykové spojení, které může být: podle únosnosti: úplné nebo částečné, podle prokluzu: tuhé nebo poddajné
  - úplné: není slabým místem nosníku
  - částečné: je slabým místem, protože se použije méně spřahovacích prvků
  - tuhé: žádný prokluz (kozlíky)
  - poddajné: ve spojení je deformace (tmy)
- Podepíraná a nepodepíraná konstrukce (rozumí se při montáži)
- Kompozitní chování: spolupůsobení oceli a betonu v jedné konstrukci
- Tuhost bez trhlín a s trhlínami (beton namáhaný tahem se vylučuje nebo nevylučuje z výpočtu)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Značky

- Návrhové hodnoty zatížení: index  $E_d$
- Návrhové hodnoty únosnosti: index  $R_d$
- Hodnoty odpovídající pružnému působení: index  $e_l$
- Hodnoty odpovídající plastickému působení: index  $p_l$

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Zásady

- Navrhování podle mezních stavů EN 1990 (používáme vztah (6.10) neboli variantu A pro kombinaci více zatížení; naproti tomu betonáři používají variantu B, neboli větší hodnotu ze vztahů (6.10a) a (6.10b))
- Zatížení podle EN 1991
- Materiálové hodnoty: beton EN 1992, ocel EN 1993
- Součinitele materiálu k určení návrhové pevnosti: přebírají se z EN 1992 a EN 1993, specifické hodnoty kupř. pro spřažení jsou v EN 1994
- Spřažené konstrukce: z betonu C20/25 až C60/75 a oceli S235 až S460: vysoké pevnosti jsou zatím předmětem výzkumu, neznamená to, že je nelze používat
- Spřahovací prvky: v normě pouze trny, vše ostatní se považuje za firemní výrobky, které musí být ověřeny (standardní protlačovací zkoušky popsány v Příloze B normy)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Trvanlivost

- Povinná kapitola ve všech EN
- Pro spřažené konstrukce obsahuje pouze doporučení pro pozinkování trapezových plechů uvnitř budov

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

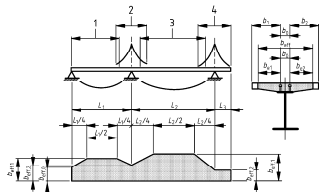
## Analýza

- Modelování konstrukce: styčníky kloubové, tuhé a polotuhé (pro polotuhé Příloha A), interakce s podložím
- Stabilita: zpravidla postačí první řád, kritérium  $\alpha = F_{cr}/F_{Ed} > 10$
- Posuvné a neposuvné styčníky (stejně jako ocel)
- Imperfekce (stejně jako ocel)
- Analýza účinků zatížení: obecně pružný výpočet bez započítání taženého betonu
- Posouzení spřaženého průřezu: pružný nebo plastický výpočet podle klasifikace průřezu (zohledňuje lokální boulení), klasifikace jako pro ocel, jakákoli pásnice spojená s betonem je třídy 1
- Betonová deska (betonová pásnice) se do výpočtu zahrne účinnou šířkou  $b_{eff}$

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Účinná šířka betonové pásnice

- Prostý nosník uprostřed:
    - $b_{eff} = b_o + \sum b_{ci}$
    - $b_{ci} = l_i/8$
  - Spojitý nosník:
    - $b_{eff} = b_o + \sum b_{ci}$
    - $b_{ci} = l_i/8$
  - koncová podpora:
    - $b_{eff} = b_o + \sum \beta_i b_{ci}$
    - $\beta_i = (0,55 + 0,025l_i/b_{ci})$
- $l_i$  podle obrázku



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Lineární pružná analýza

- Pružný výpočet vnitřních sil
- Pružný výpočet únosnosti průřezu: beton se převede na ocel prostřednictvím poměru modulů pružnosti  $n = E_s/E_c$
- Modifikováním hodnoty  $n$  lze přibližně zohlednit i vlivy dlouhodobých zatížení či smrštění betonu
- U spojitých nosníků je nutno uvážit vliv trhlín v oblastech záporných momentů na rozdělení vnitřních sil (odhadem je délka této oblasti  $0,15l_i$ , příp. lze iterovat nebo použít částečnou redistribuci podle tabulky normy)
- U pružného výpočtu únosnosti průřezu je nutné rozlišovat stádia výstavby (konstrukce spřažená – nespřažená) a napětí v jednotlivých vláknech sčítat: MSÚ je dosažen, když se napětí rovná návrhové pevnosti oceli, betonu nebo výtuzě
- Pozn.: u plastického výpočtu únosnosti se stádia výstavby nemusí uvažovat, MSÚ je dosažen, když kupř. pro nosník  $M_{Ed} = M_{pl,Rk}$ ; lze činit další zjednodušení, např. zanedbat vliv teploty

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Nelineární analýza

- Započítá se vliv prokluzu ve spojení beton – ocel

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Lineární pružná analýza s omezenou redistribucí

- Použije se u spojitého nosníku. Proveďte se pružný výpočet momentů na konstantním průřezu a opraví se redistribucí (snížením) momentů u vnitřních podpěr podle tabulky. Příslušné se poté upraví kladné momenty
- Druhá možnost je, že se pružně vypočítají momenty pro průřez se zmenšenými momenty setrvačnosti u vnitřních podpěr (průřezy s trhlínami) a použije se dolní řádek tabulky

Třída průřezu v oblasti záporných momentů	1	2	3	4
Pro analýzu „bez trhlín“	40	30	20	10
Pro analýzu „s trhlínami“	25	15	10	0

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

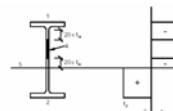
## Tuhoplastická analýza

- Plastické rozdělení momentů s uvažováním plastických kloubů
- Jen pro konstrukci s průřezem 1
- Splnit řadu dalších podmínek (uvedeny v normě)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

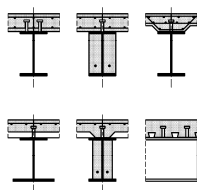
## Klasifikace průřezů

- Stejně zásady jako u ocelových konstrukcí
- Přidaná tabulka pro průřezy částečně obetonované
- Ocelobetonové průřezy s pánsnicemi třídy 1 nebo 2 a stojinou 3 lze počítat plasticky s tím, že se uvažuje jen s částí stojiny (přibližně 20 tlouštěk u pánsnice a totéž u neutrální osy, zbytek vypadne)



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Nosníky: MSÚ

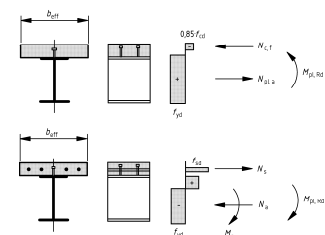


- Deska plná nebo žebrová
- Únosnost průřezu lze stanovit pružně nebo plasticky (podle třídy průřezu):
  - nosníky navržené plasticky mohou mít úplné nebo částečné smykové spojení
  - nosníky navržené pružně mají vždy jen úplné smykové spojení

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Plastický výpočet, úplné smykové spojení

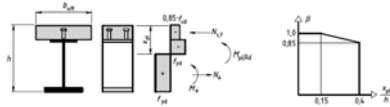
- plná deska viz obrázky
- obdobně u žebrové desky, ale s betonem v žebrech se nepočítá (uvažuje se jen průběžná vrstva betonu)
- aby mohlo dojít k rozvoji plastického působení, musí se použít dostatečné tažné spřahovací prvky
- poloha neutrální osy; ze součtové výminky rovnováhy
- $M_{pl,Rd}$



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Výjimka pro vysokopevnostní ocel

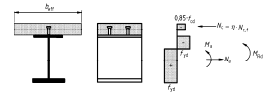
- Oceli S420 a S460
- Pokud je neutrální osa  $x_{pl}$   $> 0,15 h$ , redukuje se moment únosnosti vypočítaný z plastického rozdělení napětí součinitelem  $\beta$ , viz graf vpravo



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Plastický výpočet, částečné smykové spojení

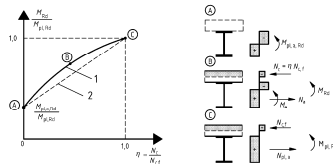
- plná deska, kladný moment
- síla v desce odpovídá únosnosti skutečně použitých spřáhovacích prostředků ( $\eta = N_s/N_{sf}$  je stupeň smykového spojení, je to současně poměr počtu skutečně použitých trnů ku počtu trnů potřebných pro úplné smykové spojení; je-li  $\eta = 1$ , jde o úplné spojení)
- pro použití částečného smykového spojení musí být splněny další podmínky, viz norma



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Plastický výpočet, částečné smykové spojení

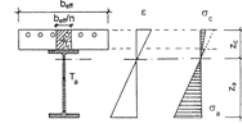
- $M_{Rd} = M_{pl,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,Rd}) (N_s/N_{sf})$
- Obrázek: A – nese pouze ocel  
B – částečné smykové spojení  
C – úplné smykové spojení



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Pružný výpočet, úplné smykové spojení

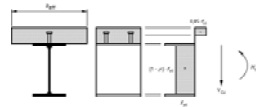
- plná deska, viz obrázek
- obdobně u žebrové desky, ale s betonem v žebrech se nepočítá (uvažuje se jen průběžná vrstva betonu)
- na obr. napětí pro kladný moment
- poloha neutrální osy prochází těžištěm homogenizovaného průřezu
- návrhová únosnost se určí jako moment ( $M_{d,Rd}$ ), který vyvolá v jednom z materiálů (beton, ocel, výztuž) napětí rovné návrhové pevnosti



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

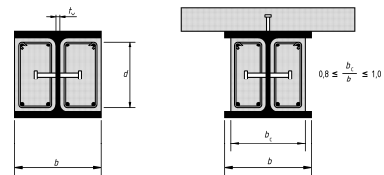
## Vertikální smyk

- Únosnost ve smyku je dána únosností ocelového průřezu, beton se zanedbá, takže  $V_{pl,Rd} = V_{pl,s,Rd}$
- Současné působení momentu a smyku: stejné jako u oceli, pevnost oceli stojiny se pro velký smyk snižuje součinitelem  $\rho = (2V_{Ed}/V_{Rd} - 1)^2$
- U stěhlých stěn se musí posoudit boulení podle ČSN EN 1993-1-5



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

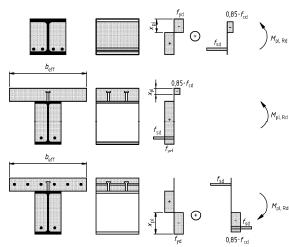
## Nosníky s obetonovanými průřezy



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Nosníky s obetonovanými průřezy

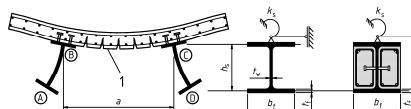
- Únosnost v ohybu se určí plastickým výpočtem
- Kladný moment
- Kladný moment
- Záporný moment



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Stabilita při ohybu (klopení)

- Při betonování je nutné ověřit stabilitu samotného ocelového nosníku
- Spřažený nosník: prostý nosník stabilizuje betonová deska u tlačného pásu spojitého nosníku; tlačené jsou dolní pásnice u vnitřních podpor
- Únosnost s vlivem klopení:  $M_{k,Rd} = \chi_{LT} M_{Rd}$
- Součinitel klopení podle ČSN EN 1993-1-1; je potřeba znát  $M_{cr}$
- Metoda obráceného U-rámu: podrobnosti v textu pro mosty



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Stabilita při ohybu (klopení)

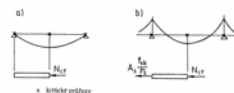
- Tabulka v normě uvádí velikosti průřezů, kdy spojitý nosník při splnění dalších podmínek (podobně dlouhá pole, nepřilíš se lišíci zatížení, vyztužení v podporách atd.) vyhoví na stabilitu bez výpočtu

$\bar{\chi}_{LT}$

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Smykové spojení

- Spřahovací prvky přenesou podélnou smykovou sílu mezi ocelí a betonem
- Tažné spřahovací prvky: tmy, zarážky Hilti, perforovaná lišta obecně nikoli
- Pružný návrh nosníku: spřahovací prvky se rozdělí podle průběhu podélné síly  $V_t = V_{Ed} S_x / I_1$
- Plastický návrh nosníku: spřahovací prvky se rozdělí rovnoměrně mezi kritickými průřezy



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Úplné smykové spojení

- Spřahovací prvky nejsou slabým místem nosníku (přidáním dalších prvků se neztvrdí únosnost nosníku)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Neúplné (částečné) smykové spojení

- Spřahovací prvky jsou (úmyslně) slabým místem nosníku
- Únosnost nosníku je tudíž snížena oproti únosnosti s úplným spřažením
- Používá se z ekonomických důvodů nebo proto, že potřebné prvky na nosník nelze umístit
- Lze použít jen u plasticky navrhovaných nosníků s duktilními spřahovacími prostředky!!!
- Další omezení: čl.6.6.2.1

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

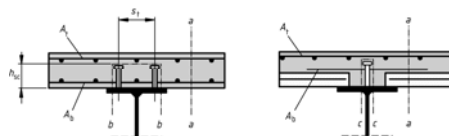
## Spřahovací prostředky

- Trny průměru 16 – 25 mm (únosnost v normě)
- Nastřelované zarážky Hilti (únosnost v textu ke školení)
- Perforovaná lišta 50 a 100 mm vysoká (dtto)
- Jiné spřahovací prvky: únosnost se získá z protlačovacích zkoušek podle přílohy B
- Prvky umístěné v žebrové desce: snižuje se jejich únosnost (vzorce v normě)
- Požadavky na rozmístění trnů (rozteče, krytí, nejmenší tloušťky pásnice atd.)
- Na nosniku lze použít jen spřahovací prvky s podobnou poddajností

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Přenesení síly z trnů do desky

- Plochy možného smykového porušení: únosnost se posoudí výpočtem



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

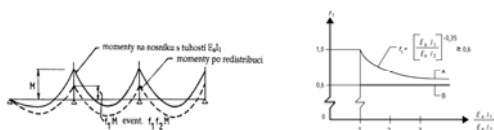
## Nosníky: MSP

- Průhyby
- Trhliny v betonu

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Průhyby

- pružný výpočet
- vliv prokluzu v trnech na průhyby se zanedbá
- u spojitého nosníku se momenty stanovené pružným výpočtem na nosníku s konstantním průřezem upraví součiniteli podle obrázku. Příslušné se poté upraví kladné momenty a vypočítá se průhyb ( $I_1$  je pro průřez bez trhlín,  $I_2$  pro průřez s trhlínami).
- vliv deformací žeber u žebrové desky na průhyb lze zanedbat jen pro žebra do 80 mm



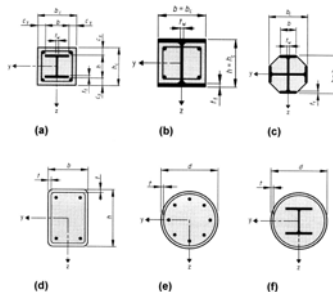
seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Trhliny v betonu

- Navrhuje se minimální výztuž a omezují se průměry výztuže

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Ocelobetonové sloupy



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Ocelobetonové sloupy: tlak

- únosnost průřezu:  $N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0,85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$
- vzpěrný tlak:
  - ohybová tuhost  $(EI_{eff}) = E_s I_x + E_s I_y + 0,6 E_{cm} I_c$
  - kritická síla  $N_{cr} = \pi^2 (EI_{eff}) / L^2$
  - poměrná štíhlost  $\lambda = (N_{pl,Rd} / N_{cr})^{0,5}$
  - součinitel vzpěrnosti z ČSN EN 1993-1-1:  $\chi$  (přřazení křivek v EN 1994-1-1)
  - únosnost:  $\chi N_{pl,Rd}$
- posoudí se vybočení k oběma hlavním osám
- u krátkých trub vyplněných betonem je možné využít vliv ovinutí

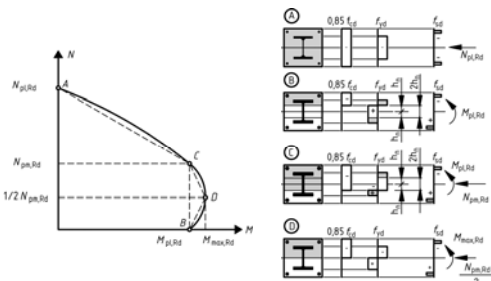
seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Ocelobetonové sloupy: ohyb

- únosnost průřezu:  $M_{pl,Rd}$  z rovnováhy sil (stejně jako u nosníků)
- u pravoúhlých průřezů jednoduché
- u trubky vyplněné betonem jsou potřeba pomůcky, viz text ke školení

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

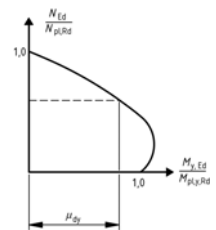
## Ocelobetonové sloupy: tlak a ohyb



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Ocelobetonové sloupy: tlak a ohyb

- posouzení na vzpěrný tlak:  $N_{Ed} < \chi N_{pl,Rd}$
- posouzení na ohyb:  $M_{Ed} < \alpha_M \mu_d M_{pl,Rd}$ 
  - součinitel  $\mu_d$  z interakčního diagramu
  - součinitel  $\alpha_M = 0,9$  pro obvyklé oceli S235 a S355 (0,8 pro S460)
- mohou působit momenty v obou hlavních rovinách, viz text ke školení



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

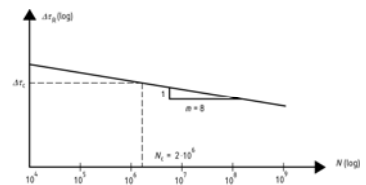
## Ocelobetonové sloupy: tlak a ohyb

- interakční diagramy se najdou v odborné literatuře nebo je lze získat výpočtem, kdy se posunuje neutrální osa po průřezu: každé poloze odpovídá dvojice  $M, N$  a při dostačující hustotě bodů lze čáru vynést
- lze používat i zjednodušenou interakční závislost (lomená čára A, B, C a D).

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Únava

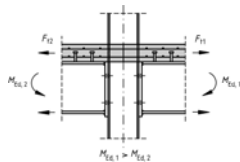
- posoudí se u nosníků s opakovaním cyklu zatížení aspoň 2 mil.
- ocel: ČSN EN 1993-1-9
- trny: S-N křivka je v normě:  $\Delta \tau_c = 90 \text{ MPa}$



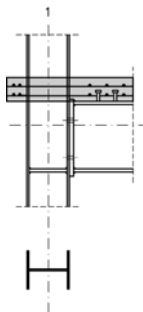
seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Ocelobetonové styčníky

- V normě jsou údaje umožňující počítat typické ocelobetonové spoje jako polotuhé

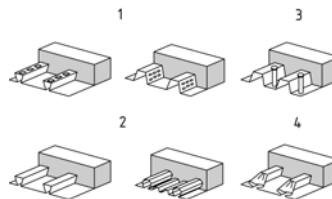


seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010



## Plechobetonové desky

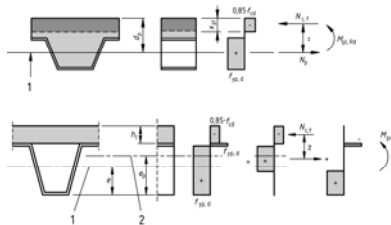
- Za určitých podmínek lze využít plechový profil jako úplnou nebo částečnou náhradu výztuže žebrové desky
- Spřažení: 1 až 4 podle obr.



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Plechobetonové desky

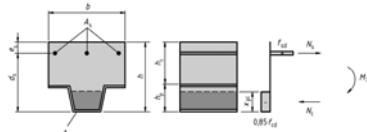
- Kladný moment (osa prochází deskou nebo plechovým průřezem)



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Plechobetonové desky

- Záporný moment (osa prochází deskou nebo plechovým průřezem)



seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Přílohy

- A: Pomůcky pro metodu komponent (polotuhé styčníky)
- B: Zkoušky desek, zkoušky spřahovacích prvků
- C: Smršťování

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## ČSN EN 1994-1-2

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010



## Rozsah platnosti ČSN EN 1994-1-2

- obvyklé konstrukce pozemních staveb, převážně nosníky a sloupy, vyprojektované podle ČSN EN 1994-1-1
- jen pasivní požární bezpečnost
- převážně se vyšetřuje mechanická únosnost (kritérium R), zmínky také o zachování celistvosti konstrukce (kritérium E) a izolace (kritérium I)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Názvosloví

- Normový požár
- Parametrický požár
- Doba požární odolnosti (kupř. R60)
- Součinitel průřezu (A/V)
- Kritická teplota oceli
- Účinný průřez (používá se u zjednodušených výpočtů)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

$$\eta = \frac{G_k + \psi_{E_d} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

## Zatížení při požáru

- $E_{i,d} = \eta E_d$
- $\eta = (G_k + \psi_{E_d} Q_{k,1}) / (\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1})$  je redukční součinitel
- G, Q stálé a proměnné zatížení
- $\gamma$  příslušné součinitele zatížení
- $\psi_{E_d}$  součinitel podle ČSN EN 1991-1-2
- přibližně je  $\eta = 0,65$

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Vlastnosti materiálu

- pevnost i modul pružnosti pro ocel i beton s teplotou klesají
- pracovní diagramy pro zvýšenou teplotu jsou v normě
- k = vlastnost při normální teplotě/ vlastnost při zvýšené teplotě
- tabulky součinitelů k pro ocel i beton jsou v normě
- tepelné vlastnosti (jsou potřeba pro zpřesněné výpočty)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Postupy navrhování

- Tabulky
- Jednoduché výpočetní modely
- Zpřesněné výpočetní modely

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Tabulky

- Částečně obetonovaný nosník s deskou
- Spřažený sloup obetonovaný
- Spřažený sloup dutý vyplněný betonem
- V tabulkách se pro požadovanou dobu požární odolnosti a pro úroveň zatížení  $\eta E_d = E_{i,d} / R_d$  odečtou potřebné rozměry
- Tabulky jsou bezpečným odhadem skutečnosti

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Jednoduché výpočetní modely

- Spřažené desky
- Spřažené nosníky s deskou (nosníky obetonované i neobetonované)
- Spřažené sloupy částečně obetonované a duté vyplněné betonem
  
- V přílohách normy jsou podrobné postupy jak s pomocí mnoha součinitelů a tabulek stanovit únosnost při zvýšené teplotě (pro danou nebo požadovanou dobu požární odolnosti)

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010

## Zpřesněné výpočetní modely

- Zpřesněné výpočetní modely jsou založeny na zásadách přenosu tepla a lze je použít pro jakoukoli spřaženou konstrukci a pro jakýkoli model požáru (není třeba se omezovat jen na normový požár, ale lze uvažovat i výstřednější průběhy reálného požáru)
- Komerční softwary

seminář ČKAIT: Pízeň 20.4.2010