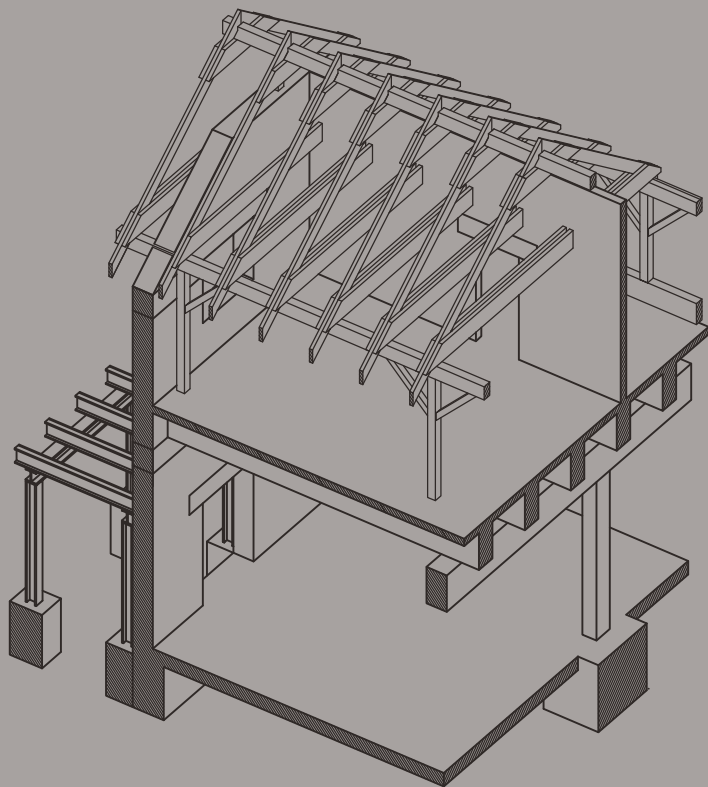


CVIČEBNICE STAVEBNÍ MECHANIKY II



evropský
sociální
fond v ČR



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



STŘEDNÍ
PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA
STAVEBNÍ
OPAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Cvičebnice stavební mechaniky II

pro žáky středních průmyslových škol stavebních
oboru 36-47-M/01 Stavebnictví

Ing. Klára Hazuchová

2014
Opava



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato příručka vznikla na základě finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci projektu OP VK „Stavebnictví 21“, reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.

Obsah

| | |
|---|-----|
| 1. Obsah | 3 |
| 2. Úvod | 5 |
| 3. Zatížení stavebních konstrukcí | 7 |
| 4. Vnitřní síly u železobetonových průřezů | 13 |
| 5. Statická schémata a veličiny | 17 |
| 5.1 Teorie výpočtu a vykreslení průběhů N, V, M na prostých nosnících | 17 |
| 5.2 Příklady výpočtu a vykreslení průběhů N, V, M na prostých nosnících | 21 |
| 6. Materiálové charakteristiky | 33 |
| 6.1 Beton – označování a charakteristiky | 33 |
| 6.2 Betonářská výztuž – značení a charakteristiky | 36 |
| 6.3 Rostlé dřevo – značení a charakteristiky | 40 |
| 6.4 Konstrukční ocel – značení a charakteristiky | 44 |
| 7. Teoretický základ ke stropním železobetonovým konstrukcím | 47 |
| 7.1 Teorie ŽB ohýbaných prvků | 47 |
| 7.2 Obecné zásady vyztužování | 59 |
| 7.3 Konstrukční zásady | 62 |
| 8. Návrh a posouzení železobetonových konstrukcí | 67 |
| 8.1 Návrh ŽB ohýbaných prvků | 67 |
| 8.1.1 Deskové konstrukce | 67 |
| 8.1.2 Trámové konstrukce | 81 |
| 8.2 Návrh ŽB dostředně tlačенých prvků | 93 |
| 8.2.1 Železobetonový sloup | 93 |
| 9. Základové konstrukce | 107 |
| 9.1 Základové patky | 108 |
| 9.2 Základové pásy | 108 |
| 9.3 Návrh a posouzení základové konstrukce | 108 |
| 10. Vzpěrný tlak u dřevěných a ocelových prvků | 117 |
| 10.1 Teorie prutů namáhaných na tlak | 117 |
| 10.2 Vzpěrný tlak rovinný u ocelových konstrukcí | 119 |
| 10.3 Vzpěrný tlak rovinný u dřevěných konstrukcí | 123 |
| 11. Ohýbané dřevěné a ocelové prvky | 127 |
| 11.1 Prostý ohyb u dřevěných prvků | 127 |
| 11.2 Prostý ohyb u ocelových prvků | 128 |
| 12. Mezní stav použitelnosti u dřevěných a ocelových prvků | 131 |
| 12.1 Mezní průhyby na dřevěných nosnících | 131 |
| 12.2 Mezní průhyby na ocelových nosnících | 134 |
| 13. Použité zdroje | 136 |

2. Úvod

Milí studenti,

do rukou se vám dostává materiál, který by vám měl posloužit k jednodušší orientaci v problematice výpočtu stavebních konstrukcí. Předmětem je zajistit vám jasný, přehledný a kompletní podklad pro výpočet ohýbaných a tlačných železobetonových, dřevěných a ocelových konstrukcí. Jedná se o návod jak postupovat, v jakých tabulkách hledat a také jak nalézt příslušné hodnoty pro návrh a posouzení jednotlivých prvků. V předních kapitolách se dozvíme základní informace o zatížení konstrukcí, zopakujeme si základní statická schémata nosníků zatížených základními druhy zatížení, vykreslíme si vnitřní síly po výšce průřezu ŽB prvku.

Postupně se propracujeme k samotným návrhům a posouzení jednotlivých prvků konstrukce.

Principem příručky jsou tabulky umístěné v textu, nikoliv na konci brožury, pro snadnější orientaci v problematice. Praktické příklady s výpočtem se týkají jen části ŽB prvků, které se jeví jako problematičtější učivo. Ocelové a dřevěné konstrukce jsou řešeny jako postupy teoretické nebo jednoduché příklady včetně užitých tabulek.

V každé části textu jsou prakticky uvedeny vysvětlivky značení včetně možných převodů jednotek.

Cílem je vysvětlit základní princip a postup navrhování stavebních konstrukcí podle evropských norem a českých příloh těchto norem platných v ČR.

Důvodem zpracování učebnice jest touha po přiblížení krásy tohoto maturitního předmětu. Vždyť člověka baví zvláště to, co umí či pochopí.

Ing. Klára Hazuchová
autor publikace

Opava, listopad 2013

3. Zatížení stavebních konstrukcí

dle ČSN EN 1991

Návrhové zatížení f_d :

$$f_d = f_k \cdot \gamma_F$$

f_k ... charakteristická hodnota zatížení

γ_F ... součinitel zatížení, př. vyjadřuje odchylky zatížení od reprezentativní hodnoty

| Součinitelé zatížení pro pozemní stavby | | | | |
|---|---|--------------------------------------|------------|------------|
| Varianta | | Zatížení | γ_F | |
| A <i>EQU</i> | Ztráta stability konstrukce (pevnost materiálu nebo základové půdy není významná) | Stálá zatížení nepříznivá (příznivá) | γ_G | 1,1 (0,9) |
| | | Nahodilá zatížení | γ_Q | 1,5 (0) |
| B <i>STR</i> | Porucha konstrukce nebo prvků pilot, základových stěn apod. (závislá na pevnosti materiálu) | Stálá zatížení nepříznivá (příznivá) | γ_G | 1,35 (1,0) |
| | | Nahodilá zatížení | γ_Q | 1,5 (0) |
| C <i>GEO</i> | Porucha základových konstrukcí | Stálá zatížení nepříznivá (příznivá) | γ_G | 1,35 (1,0) |
| | | Nahodilá zatížení | γ_Q | 1,5 (0) |

Tab. 1

Rozdělení mezního stavu únosnosti (I.MS):

EQU ... ztráta statické rovnováhy konstrukce nebo její části - opěrné zdi, balkón; používá se pro ověření statické rovnováhy konstrukcí jako celku. Ověřuje se překlopením, zabořením apod.

STR ... je to vnitřní porucha nebo nadměrná deformace konstrukce (čili nosných) prvků tam, kde rozhoduje pevnost konstrukčních materiálů, jedná se o MS spojené s dosažením pevnosti betonu, oceli, nadměrným protažením výztuže apod.

GEO ... porucha nebo nadměrná deformace základové půdy, kde rozhodující pro únosnost je pevnost zeminy nebo skalního podloží

Kombinace zatížení - pro jedno nahodilé zatížení:

I.MS $f_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k$

II.MS $f_d = g_k + q_k$

f_d ... návrhová hodnota zatížení

g_k ... charakteristická hodnota stálého zatížení

q_k ... charakteristická hodnota proměnného zatížení

Pamatuj!

dolní index „k“ znamená *charakteristická* hodnota

dolní index „d“ znamená *návrhová* nebo-li výpočtová hodnota (netýká se jen zatížení)

v tomto případě: „k“ **krát** součinitel **rovná se** „d“

| Užitné kategorie | | |
|------------------|--|---|
| Kategorie | Stanovené použití | Příklad |
| A | Obytné plochy a plochy pro domácí činnosti | Místnosti obytných budov a domů; lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích; ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety. |
| B | Kancelářské plochy | |
| C | Plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí (kromě ploch uvedených v jiných kategoriích) | <p>C1: plochy se stoly atd., např. plochy ve školách, Kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích.</p> <p>C2: plochy se zabudovanými sedadly, např. plochy v kostelech, divadlech nebo kinech, v konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražních nebo jiných čekárnách.</p> <p>C3: plochy bez překážek pro pohyb osob, např. plochy v muzeích, ve výstavních sálech, přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražních halách.</p> <p>C4: plochy určené k pohybovým aktivitám, např. taneční sály, tělocvičny, jeviště apod.</p> <p>C5: plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí, např. budovy pro veřejné akce jako koncertní síně, sportovní haly včetně tribun, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště.</p> |
| D | Obchodní plochy | <p>D1: plochy v malých obchodech</p> <p>D2: plochy v obchodních domech</p> |

Tab. 2

převzato Tab. 6.1 ČSN EN 1991-1-1

| Užitná zatížení stropních konstrukcí, balkonů a schodišť | |
|--|----------------------------|
| Kategorie zatěžovaných ploch | q_k [kN/m ²] |
| kategorie A - stropní konstrukce | 1,5 až <u>2,0</u> |
| - schodiště | <u>2,0</u> až 4,0 |
| - balkóny | <u>2,5</u> až 4,0 |
| kategorie B | 2,0 až <u>3,0</u> |
| Kategorie C | |
| - C1 | 2,0 až <u>3,0</u> |
| - C2 | 3,0 až <u>4,0</u> |
| - C3 | 3,0 až <u>5,0</u> |
| - C4 | 4,5 až <u>5,0</u> |
| - C5 | <u>5,0</u> až 7,5 |
| Kategorie D | |
| - D1 | <u>4,0</u> až 5,0 |
| - D2 | 4,0 až <u>5,0</u> |

Tab. 3

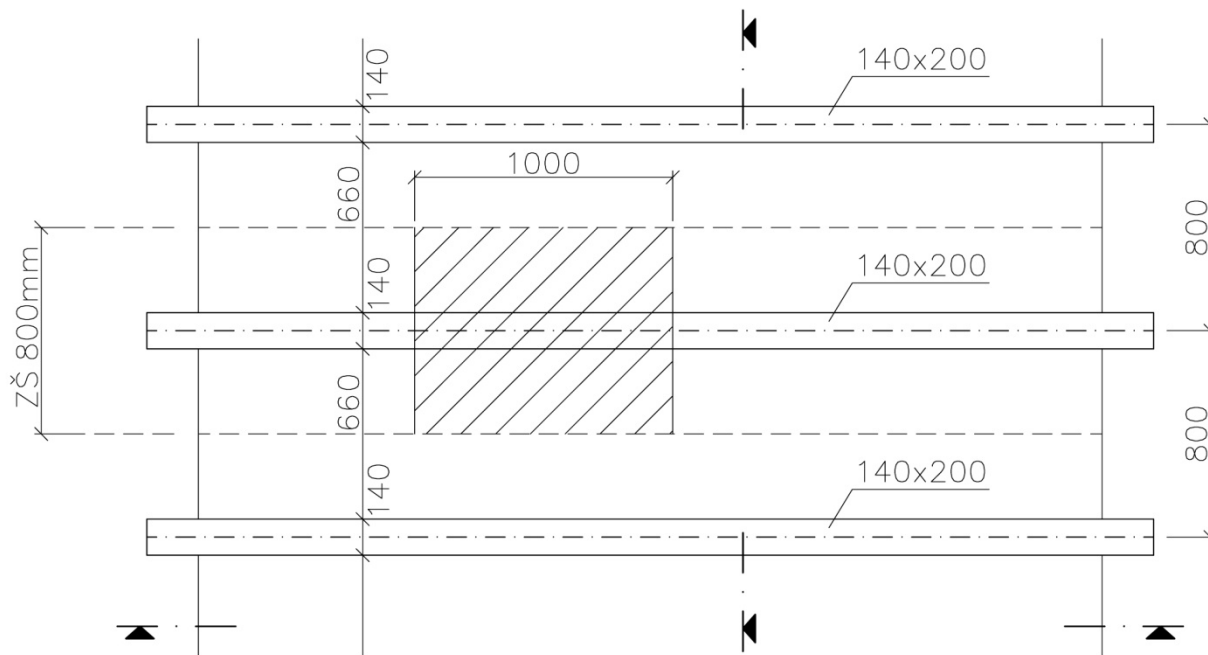
převzato Tab. 6.2 ČSN EN 1991-1-1

Pozn. Hodnoty doporučené pro použití jsou podtržené.

Př. Výpočet zatížení

Zadání:

Vypočítejte zatížení stropního trámu v konstrukci dřevěného trámového stropu místnosti kanceláře v administrativní budově. Trám má rozměr 140/200 mm a světlé rozpětí 3,50 m, osová vzdálenost mezi nosníky činí 0,8 m.



Obr. 1 Půdorys dřevěného trámového stropu

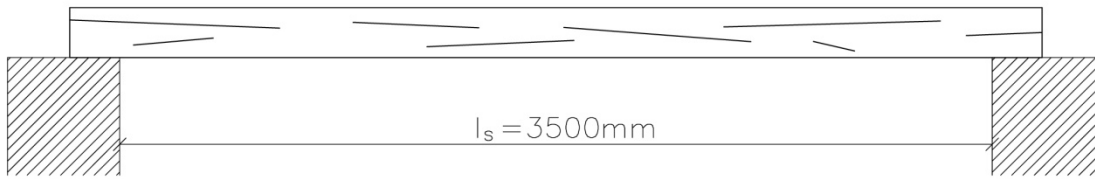
3.1 Stálé zatížení

| Skladba stropní konstrukce (bez vlastní tíhy trámu) | Tloušťka konstrukce [mm] | Tloušťka konstrukce [m] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Výpočet m.kN/m ³ .m.m | g_k [kN/m ²] |
|--|--------------------------|-------------------------|--|----------------------------------|----------------------------|
| Parkety (javor) | 14 | 0,014 | 700 | 0,014 . 7 . 1 . 1 | 0,098 |
| 2x OSB/3 4 PD | 2x 20 | 0,04 | 750 | 0,04 . 7,5 . 1 . 1 | 0,3 |
| Lepenka | - | - | 1 kg/m ² | - | 0,01 |
| Minerální vlna | 200 | 0,2 | 150 | 0,2 . 1,5 . 1 . 1 | 0,3 |
| OSB/3 4 PD | 18 | 0,018 | 750 | 0,018 . 7,5 . 1 . 1 | 0,135 |
| Hliníkový rošt | - | - | 4 kg/m ² | - | 0,04 |
| SDK Knauf RED | 15 | 0,015 | 900 | 0,015 . 9 . 1 . 1 | 0,135 |
| Charakteristická hodnota stálého zatížení celkem: | | | | Σg_k | 1,018 |

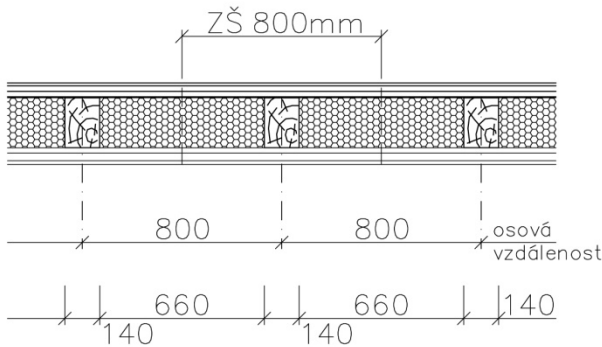
Návrhová hodnota stálého zatížení:

$$g_d = g_k \cdot \gamma_G = 1,018 \cdot 1,35 = 1,3743 \text{ kN/m}^2$$

$\gamma_G \dots$ dle Tab. 1



Obr. 2 Podélný řez dřevěným trámovým stropem



Obr. 3 Příčný řez dřevěným trámovým stropem

3.2 Proměnné zatížení (nahodilé, užité)

Užitné zatížení kanceláře v administrativní budově: Užitná kategorie budovy B dle Tab. 2
 Charakteristická hodnota proměnného zatížení: $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ dle Tab. 3
 Návrhová hodnota proměnného zatížení: $q_d = q_k \cdot \gamma_Q = 3,0 \cdot 1,5 = 4,50 \text{ kN/m}^2$

3.3 Celkové zatížení (kombinace)

Návrhová hodnota kombinace zatížení (na 1 m^2):

$$f_d' = g_d + q_d = g_k \cdot \gamma_G + q_k \cdot \gamma_Q = 1,018 \cdot 1,35 + 3,0 \cdot 1,5 = 5,8743 \text{ kN/m}^2$$

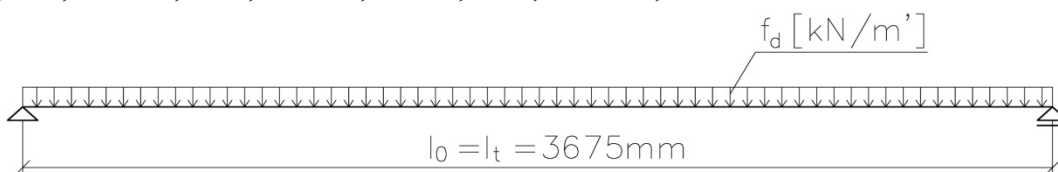
Nutno připočítat vlastní tíhu trámu! Vlastní tíha trámu se nepřenásobuje ZŠ!

| Vlastní tíha trámu | Tloušťka konstrukce [mm] | Tloušťka konstrukce [m] | Objemová hmotnost [kg/m^3] | Výpočet $\text{kN/m}^3 \cdot \text{š} \cdot \text{v}$ | $G_{\text{kvl.tíha}}$ [kN/m^2] |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Trám | 140 x 200 | 0,14 x 0,20 | 380 | 3,8 . 0,14 . 0,20 | 0,1064 |

Návrhová kombinace zatížení (na $1 \text{ m}'$):

$$f_d = f_d' \cdot Z\text{Š} + g_{\text{kvl.tíha}} \cdot \gamma_G$$

$$f_d = 5,8743 \cdot 0,8 + 0,1064 \cdot 1,35 = 4,7 + 0,1436 = 4,81436 \text{ kN/m}'$$



Obr. 4 Statické schéma dřevěného trámu jako prostého nosníku

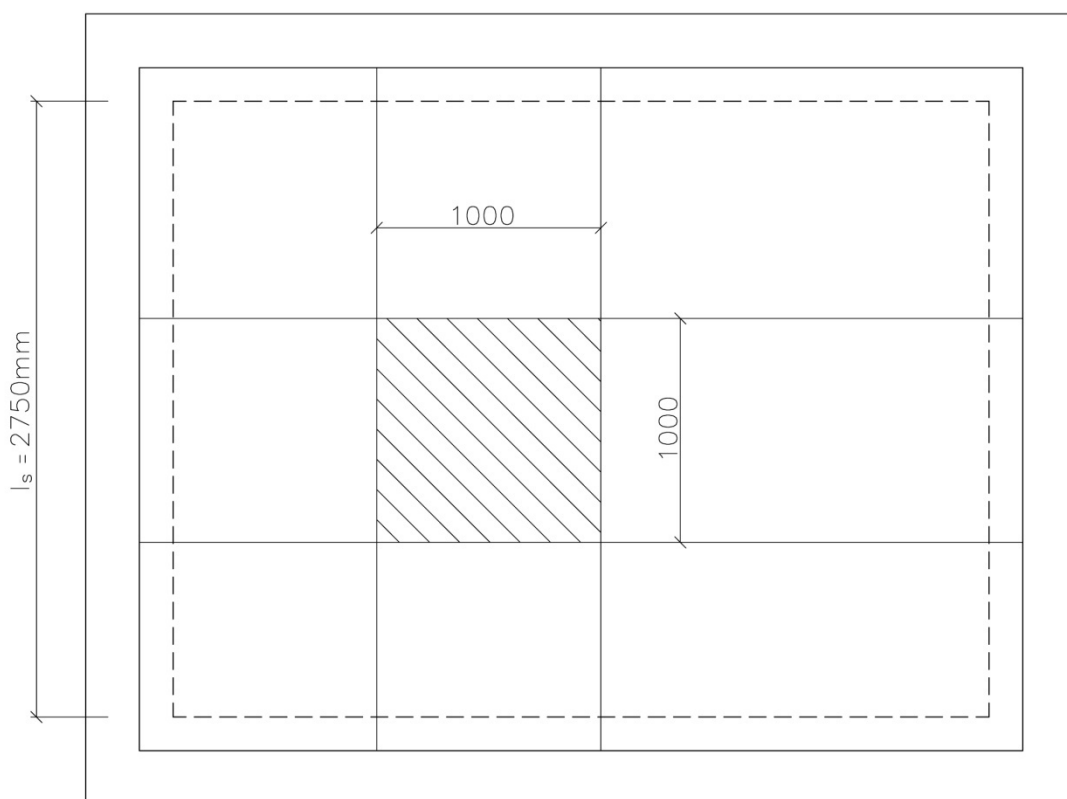
$$l_0 = 1,05 \cdot l_s = 1,05 \cdot 3,5 = 3,675 \text{ m (tzn. světlé rozpětí + 5% rozpětí)}$$

$l_0, l_t \dots$ účinné (teoretické) rozpětí

Reakce a ohybové momenty počítáme pomocí návrhové hodnoty zatížení f_d , která ve statickém schématu zaujímá rovnoměrné spojitě zatížení o rozpětí l_0 .

Pamatuj!

- ŽB konstrukce deskové:
- 1) desky pnuté v 1 směru - deska prostě podepřená
- deska oboustranně vetknutá
 - 2) desky pnuté v obou směrech - deska křížem vyztužená



Obr. 5 Půdorys ŽB deskové konstrukce

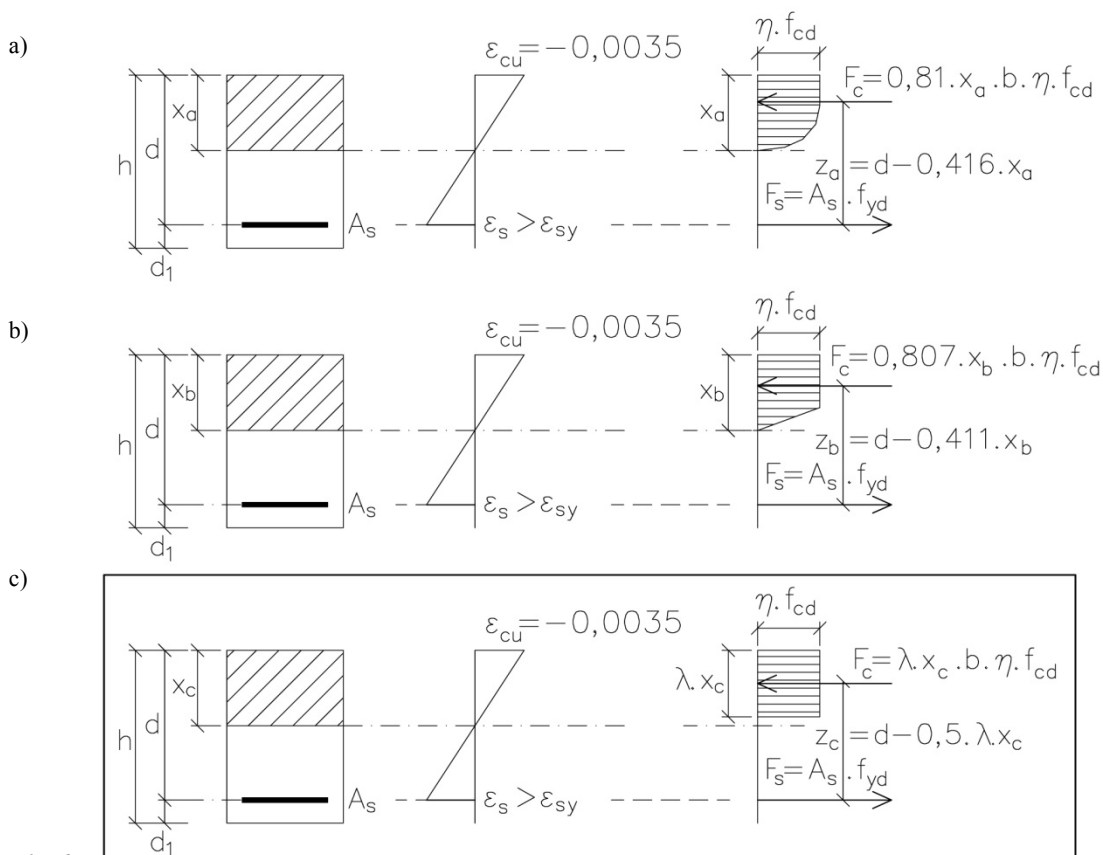
Zatěžovací pás $1 \times 1 \text{ m}$, zatěžovací šířka $1 \text{ m}' = 1 \text{ m}^2$.
 $1 \text{ m}' \dots$ jeden metr běžný

4. Vnitřní síly u železobetonových průřezů

Rozdělení napětí v tlačené části ŽB průřezu se uvažuje podle určeného pracovního diagramu betonu.

EC 2 (Eurokód 2, EN 1992) doporučuje 3 rozdělení napětí v průřezu:

- parabolicko-rektangulární** – nejvíce odpovídá skutečnému namáhání
- bilineární** – nahrazuje předchozí velmi dobře
- rektangulární (tzn. obdélníkové)** – nejjednodušší, dobře nahrazuje skutečné namáhání



Obr. 6

h ... výška průřezu

d ... účinná výška průřezu

d_1 ... vzdálenost osy výztuže od bližšího povrchu průřezu

$$d_1 = c_d + \varnothing_s$$

c_d ... krytí výztuže betonem

\varnothing_s ... průměr výztuže

x ... výška tlačené oblasti betonu

ϵ_{cu} ... poměrné přetvoření betonu (dle tab. Pevnostní třídy betonu)

ϵ_{sy} ... poměrné přetvoření tahové výztuže

η ... [éta] součinitel tlakové pevnosti betonu $\eta = 1$ pro betony s $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
 $\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50) / 200$ pro $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$

λ ... [lambda] součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti

$$\lambda = 0,8$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50) / 400$$

pro betony s $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

pro $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$

A_s ... skutečná plocha tahové výztuže

f_{cd} ... návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

f_{ck} ... charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]

γ_c ... součinitel spolehlivosti materiálu, pro beton $\gamma_c = 1,5$ [-]

f_{yd} ... návrhová mez kluzu tahové výztuže

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

f_{yk} ... charakteristická mez kluzu tahové výztuže [MPa]

γ_s ... součinitel spolehlivosti materiálu, pro výztuž $\gamma_s = 1,15$ [-]

z ... rameno vnitřních sil

F_c ... tlaková síla v betonu

F_s ... síla v tahové výztuži

b ... šířka průřezu

M_{Ed} ... ohybový moment od návrhového zatížení

M_{Rd} ... ohybový moment únosnosti průřezu

ξ ... [ksí]

Posouzení průřezu:

(desky a trámy s nosnou výztuží v jednom směru)

Při posuzování průřezu zjišťujeme, jestli *maximální ohybový moment od návrhového zatížení*

M_{Ed} nepřekročí ohybový moment únosnosti průřezu M_{Rd} .

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

Hodnoty, které jsou dány:

- geometrie průřezu: šířka b , výška h , účinná výška d ;
- plocha tahové výztuže A_s ;
- materiálové charakteristiky: betonu f_{cd} , oceli f_{yd} ;
- ohybový moment od návrhového zatížení M_{Ed} .

Pro průřez jednostranně vyztužený platí:

silová podmínka rovnováhy:

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$-F_c + F_s = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$\lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$x = A_s \cdot f_{yd} / (\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

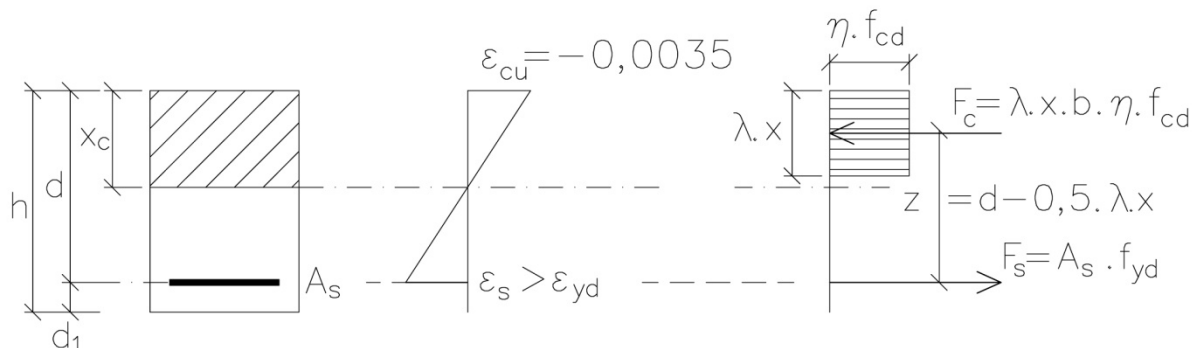
momentová podmínka rovnováhy:

$$\sum M_i = 0$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z = F_s \cdot z$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z$$



Obr. 7

Po výpočtu výšky tlačené oblasti nutno zkontrolovat předpoklad o napětí ve výztuži.

Dosazení návrhové meze kluzu oceli f_{yd} platí, když ocel dosáhne alespoň meze kluzu, tzn. pokud platí $\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$.

Na základě obrázku rozdělení napětí v průřezu (vnitřních sil v průřezu) lze podmínku také vyjádřit jako omezení výšky tlačené oblasti x , neboli její poměrné hodnoty:

$$\xi = x / d$$

$$\xi \leq \xi_{bal,1}$$

$$\xi_{bal,1} = \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}) \quad \varepsilon_{sy} = \varepsilon_{yd}$$

$$\text{pro } \varepsilon_{cu} = 0,0035 \text{ a } E_s = 200 \text{ GPa} \quad \xi_{bal,1} = 700 / (700 + f_{yd})$$

5. Statická schémata a veličiny

5.1 Teorie výpočtu a vykreslení průběhů N, V, M na prostých nosnících

Prostý nosník je staticky určitá konstrukce. Její podpory (klouby) odebírají celkem 3° volnosti (**pevný kloub** odebírá 2° volnosti – posuvnou a normálovou složku, **posuvný kloub** odebírá 1° volnosti – posuvnou složku). Obecně působící síla v rovině působí na nosník a v něm vyvozuje 3 složky vnitřních sil. Složky vnitřních sil vznikají v konstrukci nosníku jako odezva na působení vnějších sil.

Tři složky vnitřních sil:

1) *osová síla působící v ose nebo rovnoběžně s osou nosníku* – v konstrukci vyvolující tlakové nebo tahové napětí, tzv. **normálová síla** s označením **N**

2) *kolmá síla na osu nosníku* – v konstrukci vyvolující posunutí průřezu (smykové napětí), tzv. **posouvající síla** s označením **V**

3) *ohybový moment* – v konstrukci vyvolávající ohybové napětí, u horních vláken nosníku obvykle tlakové, u dolních tahové napětí, s označením **M**

Obecně se dá říct, že se průběh vnitřních sil po délce mění, proto jejich průběh znázorňujeme pomocí diagramu (křivky). Velikost a tvar se řídí jistými pravidly, které rychle vedou ke stanovení nejmenších a největších hodnot potřebných pro navrhování konstrukcí.

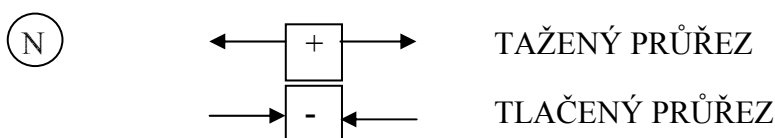
Definice

N **Normálová síla** – algebraický součet všech složek sil působících v podélné ose nosníku, které na nosník působí od jeho levého (pravého) konce až po vyšetřovaný průřez, postupuje-li se při stanovení od levého (pravého) konce. Znaménko je záporné, způsobují-li tlak, kladné v případě tahu.

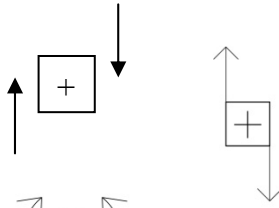
V **Posouvající síla** – algebraický součet všech složek sil působících kolmo na podélnou osu nosníku od jeho levého (pravého) konce po vyšetřovaný průřez, postupuje-li se při jejich stanovení od levého (pravého) konce.

M **Ohybový moment** – algebraický součet všech statických momentů posouvajících složek sil působících na nosníku od jeho levého (pravého) konce až po vyšetřovaný průřez, přičemž vyšetřovaný průřez je tzv. *momentový střed*, pokud postupujeme od levého (pravého) konce. Momentový střed je vždy v těžišti vyšetřovaného průřezu. Ohybový moment je kladný, jsou-li tahem namáhána dolní vlákna.

Obr. 8 Znaménková konvence



(V)



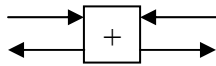
při postupu ZLEVA >>> kladné ve směru NAHORU

při postupu ZPRAVA >>> kladné ve směru DOLŮ

(M)



při postupu ZLEVA (ZPRAVA) >>>



kladné, namáhají-li tahem spodní vlákna

Pravidla pro zjišťování průběhů posouvajících sil a ohybových momentů

(V)

Zakreslují se kolem základní čáry. Nad základní čáru se vynášejí kladné hodnoty, pod základní čáru záporné hodnoty posouvajících sil.

Místo na nosníku: **bez zatížení** – diagram posouvajících sil konstantního průběhu

pod osamělým břemenem – v průběhu je skok (schod), jehož velikost je rovna velikosti osamělého břemene

pod osamělými břemeny – průběh stupňovitý (schodovitý)

mezi osamělými břemeny – je průběh konstantní

pod spojitým rovnoměrným zatížením – křivka 1.stupně (1° , šikmá přímka). Říkáme, že průběh je lineárně závislý. Sklon přímky (směrnice) je tím větší, čím větší je zatížení.

pod spojitým trojúhelníkovým zatížením – křivka 2.stupně (2° , parabola) Zda je křivka vydutá či vypouklá rozhoduje umístění vodorovné tečny, kterou klademe v místě, kde je trojúhelníkové zatížení rovno nule.

pod spojitým lichoběžníkovým zatížením – křivka 2.stupně (2° , parabola). Vodorovná tečna paraboly je v místě nejmenšího zatížení.

Místo v diagramu: kde je posouvající síla nulová nebo skokem mění znaménko, tj. **NEBEZPEČNÝ PRŮŘEZ**. V nebezpečném průřezu nabývá maximální hodnoty ohybový moment.

M

Nanášejí se od základní čáry tak, že na stranu spodních vláken se kreslí kladné ohybové momenty, tzn. kreslí se pod základní čáru. Nad základní čáru se kreslí záporné ohybové momenty.

Místo na nosníku: **bez zatížení** – je dán křivkou 1.stupně (1° , šikmou přímkou)

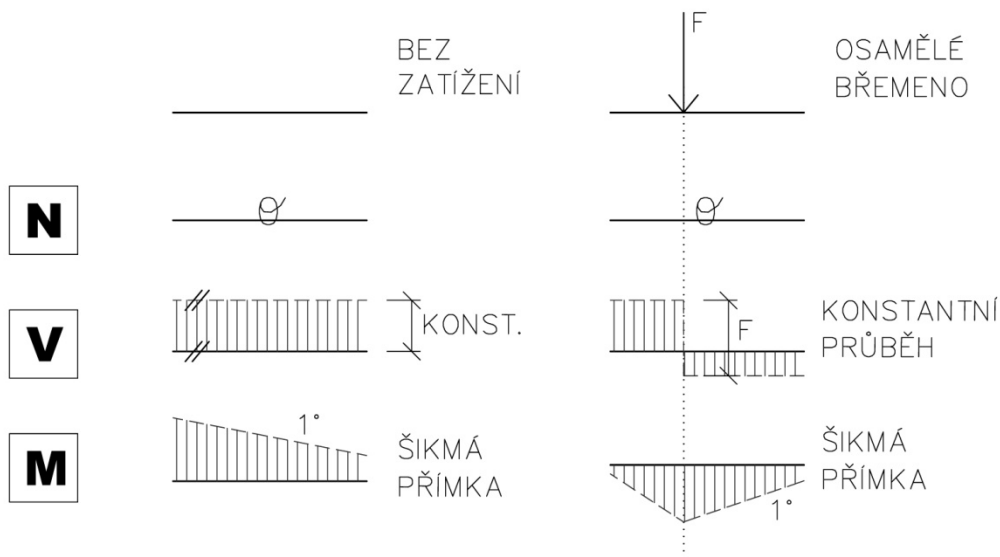
pod osamělými břemeny – je zlom

mezi osamělými břemeny – je lomená čára (mění se lineárně)

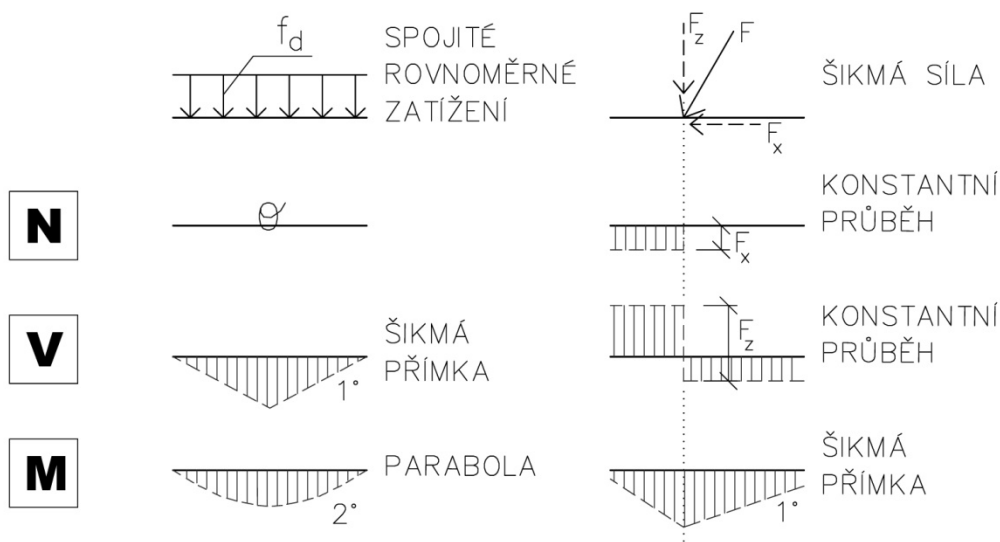
pod spojitým rovnoměrným zatížením – křivka 2.stupně (2° , parabola). Vrchol paraboly je v místě max.ohybového momentu.

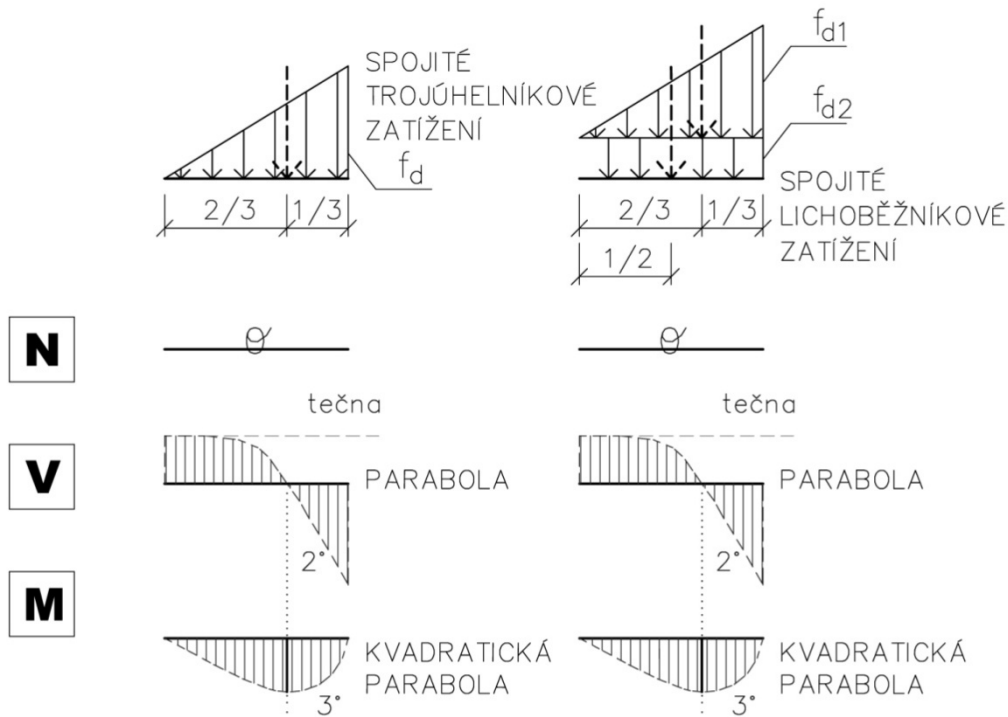
pod spojitým trojúhelníkovým zatížením – křivka 3.stupně (3° , kvadratická parabola)

pod spojitým lichoběžníkovým zatížením – křivka 3°



Obr.9 Základní případy průběhů N, V, M podle druhu zatížení





Pravidla pro konzoly a nosníky s převislými konci

Ve vetknutí jsou odebírány 3° volnosti. Konzola je tedy staticky určitá konstrukce.

Všechna pravidla pro kreslení průběhů N, V, M jsou stejná jako u prostého nosníku.

(V)

pravostranný krakorec (konzola) – je vždy kladné, pokud zatížení působí shora

levostranný krakorec (konzola) – je vždy záporné, pokud zatížení působí shora

(M)

Záporné po celé délce, a to působí-li zatížení shora. Tahem jsou totiž namáhána vždy horní vlákna nosníku.

Postupujeme-li od **volného konce**, nemusíme počítat reakce.

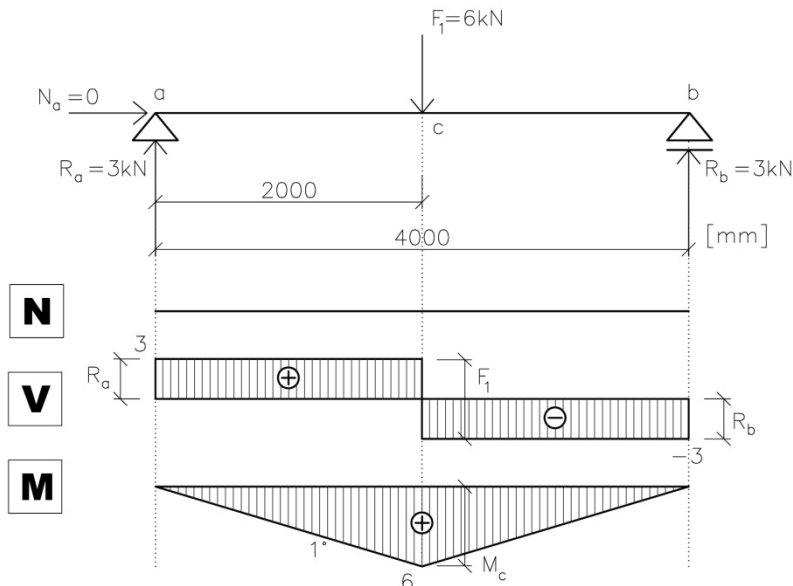


Obr. 10

5.2 Příklady výpočtu a vykreslení průběhů N, V, M na prostých nosnících

Př. 1

Obr. 11



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$R_a \cdot 4 - F_1 \cdot 2 = 0 \gg \gg R_a = 3 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

$$-R_b \cdot 4 + F_1 \cdot 2 = 0 \gg \gg R_b = 3 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

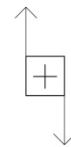
$$R_a - F_1 + R_b = 0$$

$$3 - 6 + 3 = 0$$



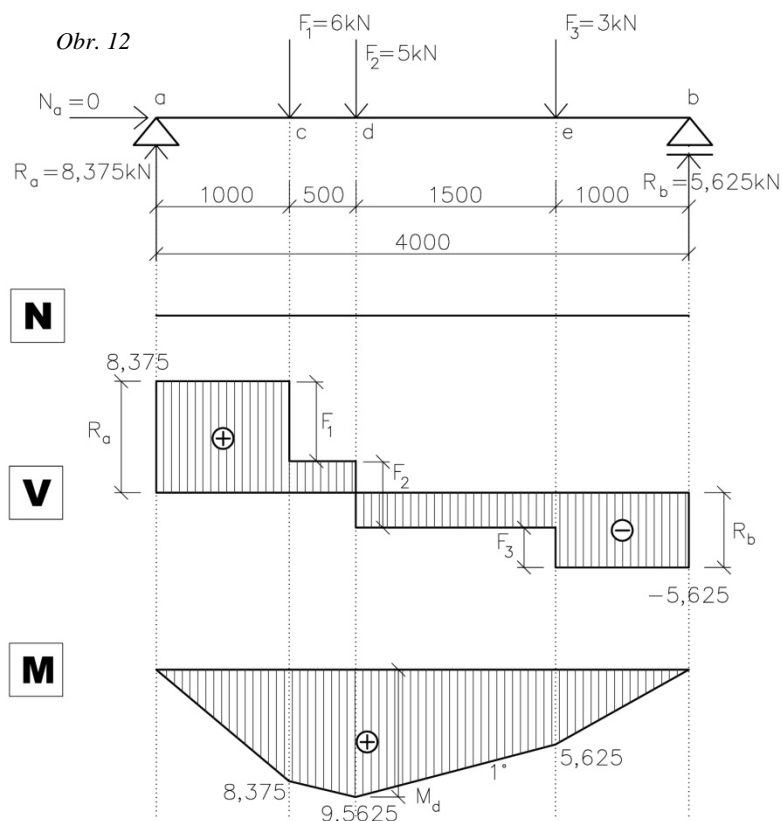
$$M_{cL} = R_a \cdot 2 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ kNm}$$

$$M_{cP} = R_b \cdot 2 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ kNm}$$



Př. 2 Prostý nosník zatížený osamělými břemeny

Obr. 12



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$F_1 \cdot 1 + F_2 \cdot 1,5 + F_3 \cdot 3 - R_b \cdot 4 = 0 \gg \gg R_b = 5,625 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$R_a - F_1 - F_2 - F_3 + R_b = 0$$

$$R_a - 6 - 5 - 3 + 5,625 = 0$$

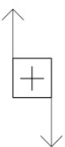
$$\gg \gg R_a = 8,375 \text{ kN}$$



$$M_{cL} = R_a \cdot 1 = 8,375 \text{ kNm}$$

$$M_{cP} = R_b \cdot 3 - F_3 \cdot 2 - F_2 \cdot 0,5 = 5,625 \cdot 3 - 3 \cdot 2 - 5 \cdot 0,5 = 8,375 \text{ kNm}$$

$$M_{dL} = R_a \cdot 1,5 - F_1 \cdot 0,5 = 8,375 \cdot 1,5 - 6 \cdot 0,5 = 9,5625 \text{ kNm}$$



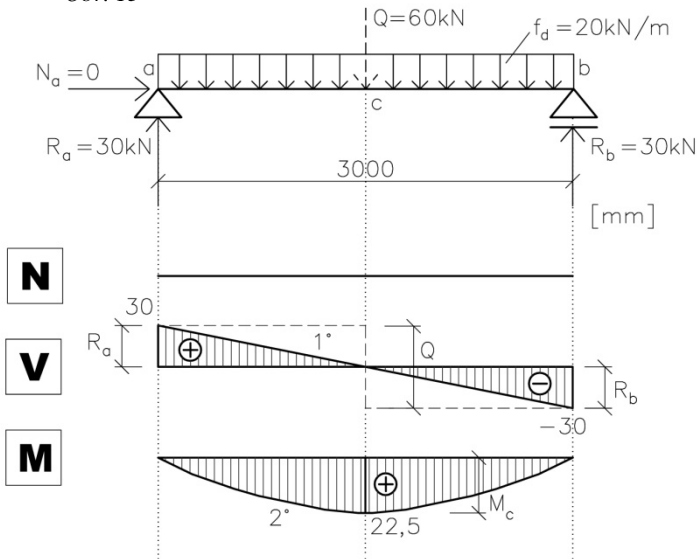
$$M_{dP} = R_b \cdot 2,5 - F_3 \cdot 1,5 = 9,5625 \text{ kNm}$$

$$M_{eL} = R_a \cdot 3 - F_1 \cdot 2 - F_2 \cdot 1,5 = 5,625 \text{ kNm}$$

$$M_{eP} = R_b \cdot 1 = 5,625 \text{ kNm}$$

Př. 3 Prostý nosník zatížený spojitým zatížením

Obr. 13



$$Q = f_d \cdot l = 20 \cdot 3 = 60 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$Q \cdot 1,5 - R_b \cdot 3 = 0 \Rightarrow R_b = 30 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{io b} = 0$$

$$R_a \cdot 3 - Q \cdot 1,5 = 0 \Rightarrow R_a = 30 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$R_a - Q + R_b = 0$$

$$30 - 60 + 30 = 0$$

$$\sum_{i=1}^n M_{icL} = 0$$

$$M_{cL} = R_a \cdot 1,5 - Q' \cdot 1,5 / 2 = 30 \cdot 1,5 - 30 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ kNm}$$

$$Q' = f_d \cdot \frac{1}{2} \cdot l = 20 \cdot 1,5 = 30 \text{ kN}$$

$$M_{cP} = R_b \cdot 1,5 - Q' \cdot 0,75 = 22,5 \text{ kNm}$$

$$M_c = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 20 \cdot 3^2 = 22,5 \text{ kNm}$$

Odvození M_c :

$$M_c = R_a \cdot \frac{1}{2} \cdot l - Q' \cdot \frac{1}{4} \cdot l = \left(\frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot l - \left(\frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l\right) \cdot \frac{1}{4} \cdot l = \frac{1}{4} \cdot f_d \cdot l^2 - \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2$$

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l$$

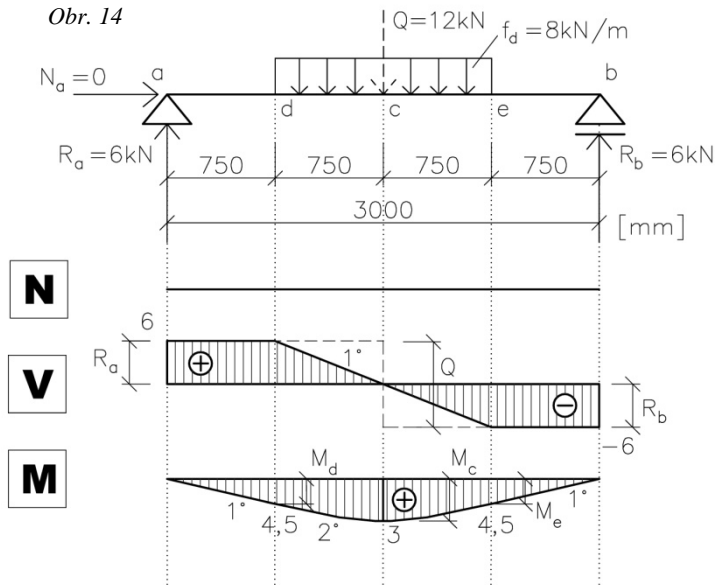
$$Q' = f_d \cdot \frac{1}{2} \cdot l$$

$$\boxed{M_{Ed} = M_c = M_{max} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2} \quad [\text{kNm}]$$

Tohoto vztahu lze užít výhradně u prostě uloženého nosníku zatíženého spojitým rovnoměrným zatížením. Např. dle příkladu 3.

Př. 4

Obr. 14



N

V

M

$$Q = f_d \cdot l = 8 \cdot 1,5 = 12 \text{ kN}$$



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$Q \cdot 1,5 - R_b \cdot 3 = 0 \Rightarrow R_b = 6 \text{ kN}$$

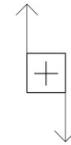
$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

$$R_a \cdot 3 - Q \cdot 1,5 = 0 \Rightarrow R_a = 6 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$R_a - Q + R_b = 0$$

$$6 - 12 + 6 = 0$$



$$M_{cL} = R_a \cdot 1,5 - Q' \cdot 0,75 / 2 = 6,75 \text{ kNm}$$

$$Q' = f_d \cdot \frac{1}{4} \cdot l = 8 \cdot 0,75 = 6 \text{ kN}$$

$$M_{cP} = R_b \cdot 1,5 - Q' \cdot 0,75 / 2 = 6,75 \text{ kNm}$$

$$M_{dL} = R_a \cdot 0,75 = 4,5 \text{ kNm}$$

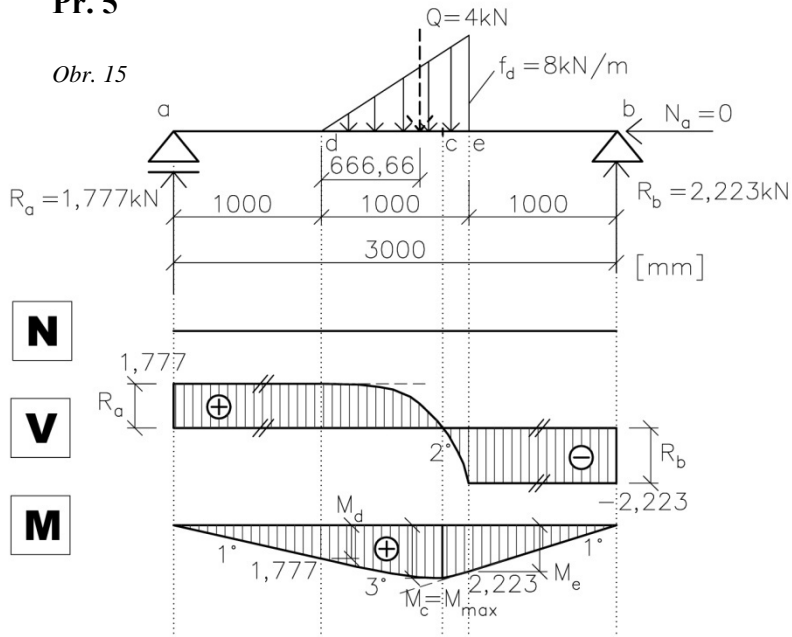
$$M_{dP} = R_b \cdot 2,25 - Q \cdot 0,75 = 4,5 \text{ kNm}$$

$$M_{eL} = R_a \cdot 2,25 - Q \cdot 0,75 = 4,5 \text{ kNm}$$

$$M_{eP} = R_b \cdot 0,75 = 4,5 \text{ kNm}$$

Př. 5

Obr. 15



$$Q = f_d \cdot 1/2 = 8 \cdot 1/2 = 4 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$-R_b \cdot 3 + Q \cdot 1,666 = 0 \gg \gg$$

$$R_b = 2,223 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

$$R_a \cdot 3 + Q \cdot 1,333 = 0 \gg \gg$$

$$R_a = 1,777 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$R_a - Q + R_b = 0$$

$$1,777 - 4 + 2,223 = 0$$

$$M_{dL} = R_a \cdot 1 = 1,777 \text{ kNm}$$

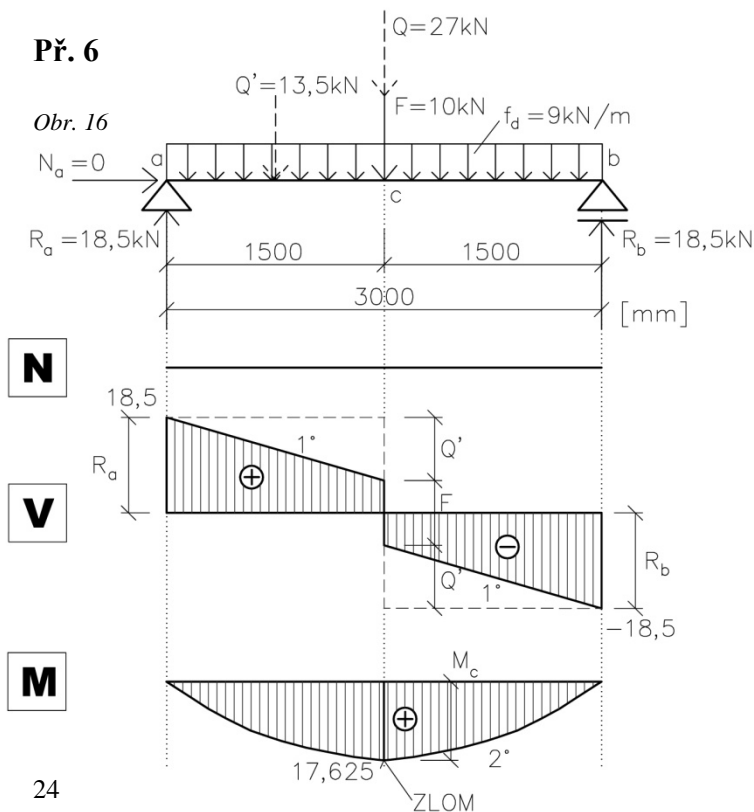
$$M_{dP} = R_b \cdot 2 - Q \cdot 0,666 = 1,777 \text{ kNm}$$

$$M_{EL} = R_a \cdot 2 - Q \cdot 0,334 = 2,223 \text{ kNm}$$

$$M_{EP} = R_b \cdot 1 = 2,223 \text{ kNm}$$

Př. 6

Obr. 16



$$Q = f_d \cdot 1 = 9 \cdot 3 = 27 \text{ kNm}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$-R_b \cdot 3 + Q \cdot 1,5 + F \cdot 1,5 = 0 \gg \gg R_b = 18,5 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

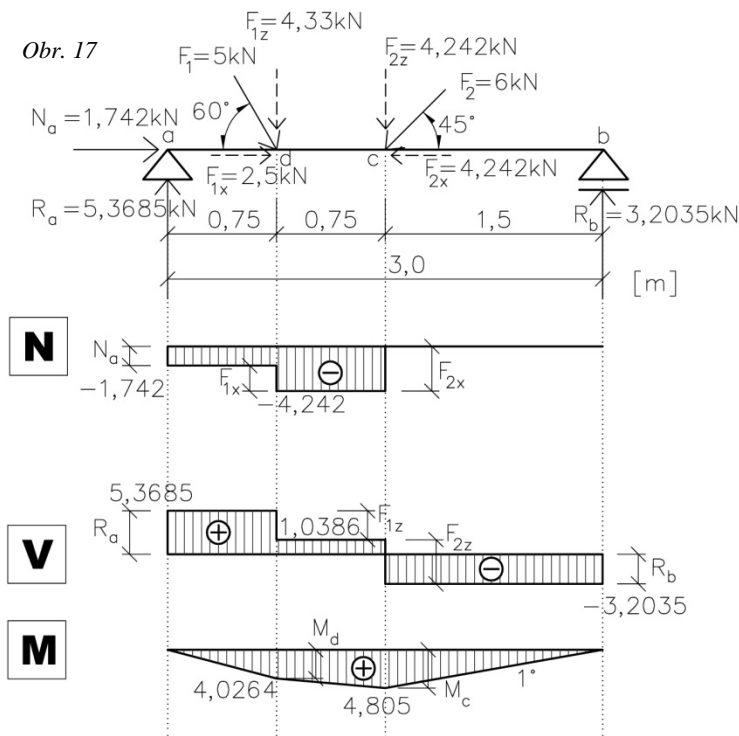
$$R_a \cdot 3 - Q \cdot 1,5 - F \cdot 1,5 = 0 \gg \gg R_a = 18,5 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$R_a - Q - F + R_b = 0$$

Př. 7

Obr. 17



$$18,5 - 27 - 10 + 18,5 = 0$$



$$M_{cL} = R_a \cdot 1,5 - Q' \cdot 0,75 = 18,5 \cdot 1,5 - 13,5 \cdot 0,75 = 17,625 \text{ kNm}$$

$$Q' = fd \cdot 1/2 = 9 \cdot 3/2 = 13,5 \text{ kN}$$

$$M_{cP} = R_b \cdot 1,5 - Q' \cdot 0,75 = 17,625 \text{ kNm}$$

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 60^\circ = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ kN}$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 45^\circ = 6 \cdot 0,707 = 4,242 \text{ kN}$$

$$F_{1z} = F_1 \cdot \sin 60^\circ = 5 \cdot 0,866 = 4,33 \text{ kN}$$

$$F_{2z} = F_2 \cdot \sin 45^\circ = 6 \cdot 0,707 = 4,242 \text{ kN}$$



$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0$$

$$N_a + F_{1x} - F_{2x} = 0$$

$$\gg \gg N_a = 1,742 \text{ kN}$$



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$-R_b \cdot 3 + F_{2z} \cdot 1,5 + F_{1z} \cdot 0,75 = 0$$

$$\gg \gg R_b = 3,2035 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

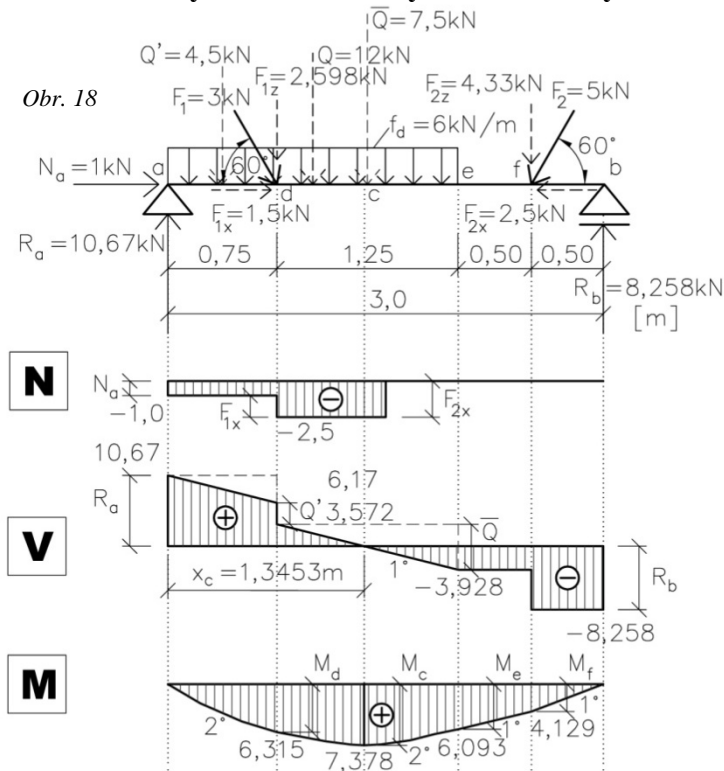
$$R_a \cdot 3 - F_{1z} \cdot 2,25 - F_{2z} \cdot 1,5 = 0$$

$$\gg \gg R_a = 5,3685 \text{ kN}$$

$$M_{cP} = R_b \cdot 1,5 = 3,2035 \cdot 1,5 = 4,805 \text{ kNm}$$

$$M_{cL} = R_a \cdot 0,75 = 5,3685 \cdot 0,75 = 4,0264 \text{ kNm}$$

Př. 8 Prostý nosník zatížený kombinovaným zatížením



$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 60^\circ = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ kN}$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 60^\circ = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ kN}$$

$$F_{1z} = F_1 \cdot \sin 60^\circ = 3 \cdot 0,866 = 2,598 \text{ kN}$$

$$F_{2z} = F_2 \cdot \sin 60^\circ = 5 \cdot 0,866 = 4,33 \text{ kN}$$



$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0$$

$$N_a + F_{1x} - F_{2x} = 0$$

$$\gggg N_a = 1,0 \text{ kN}$$



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$-R_b \cdot 3 + F_{2z} \cdot 2,5 + Q \cdot 1 + F_{1z} \cdot 0,75 = 0 \gggg R_b = 8,258 \text{ kN}$$

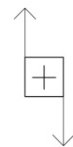
$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

$$R_a \cdot 3 - F_{1z} \cdot 2,25 - Q \cdot 2 - F_{2z} \cdot 1,5 = 0 \gggg R_a = 10,67 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$R_a - F_{1z} - Q - F_{2z} + R_b = 0$$

$$0 = 0$$



Výpočet polohy nebezpečného průřezu (průřez s M_{\max}) x_c :

Vytvoříme rovnici pro posouvající síly zleva (z průběhu V) k nule.

$$R_a - F_{1z} - f_d \cdot x_c = 0 \gggg 10,67 - 2,598 - 6 \cdot x_c = 0 \gggg x_c = 1,3453 \text{ m}$$

$$M_{cL} = R_a \cdot x_c - F_{1z} \cdot (x_c - 0,75) - f_d \cdot x_c \cdot x_c / 2 = 10,67 \cdot 1,3453 - 2,598 \cdot (1,3453 - 0,75) - 6 \cdot 1,3453 \cdot 1,3453 / 2 = 7,378 \text{ kNm}$$

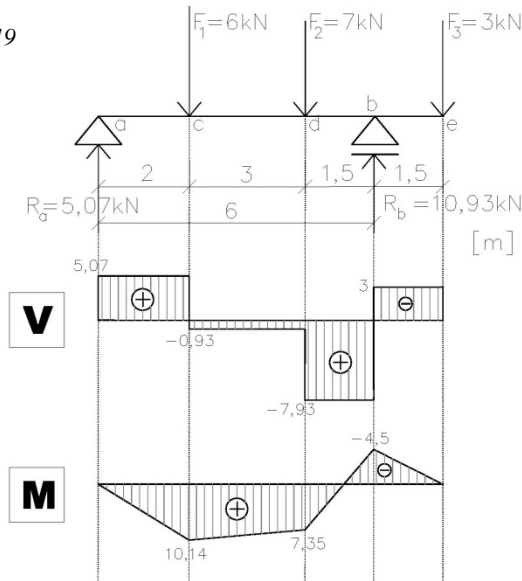
$$M_{dL} = R_a \cdot 0,75 - Q' \cdot 0,75 / 2 = 6,315 \text{ kNm}$$

$$M_{eP} = R_b \cdot 1 - F_{2z} \cdot 0,5 = 6,093 \text{ kNm}$$

$$M_{fP} = R_b \cdot 0,5 = 4,129 \text{ kNm}$$

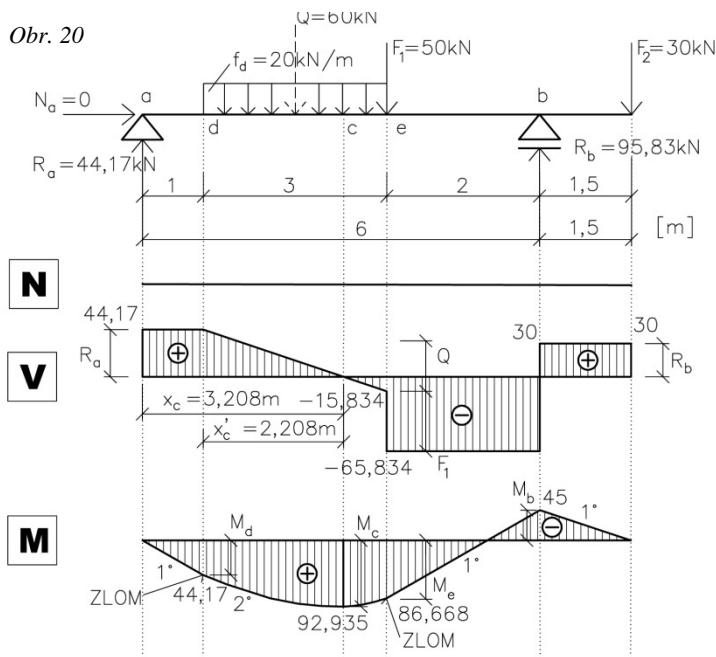
Př. 9 Prostý nosník s převislým koncem zatížený osamělými břemeny

Obr. 19



Př. 10 Prostý nosník s převislým koncem zatížený kombinovaným zatížením

Obr. 20



$$Q = f_d \cdot l = 20 \cdot 3 = 60 \text{ kN}$$



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$-R_b \cdot 6 + Q \cdot 2,5 + F_1 \cdot 4 + F_2 \cdot 7,5 = 0$$

$$\gg \gg \gg R_b = 95,83 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iob} = 0$$

$$R_a \cdot 6 - Q \cdot 3,5 - F_1 \cdot 2 + F_2 \cdot 1,5 = 0$$

$$\gg \gg \gg R_a = 44,17 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

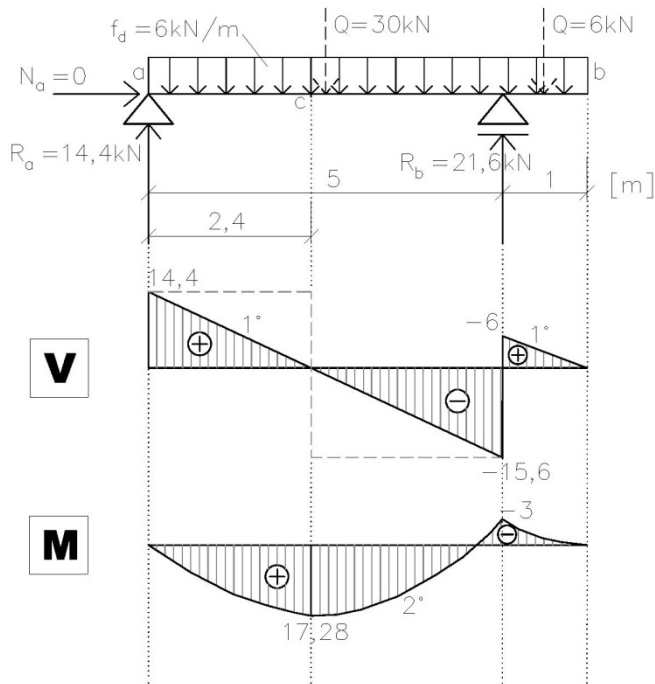
$$R_a - Q - F_1 - F_2 + R_b = 0$$

$$44,17 - 60 - 50 - 30 + 95,83 = 0$$

$$0 = 0$$

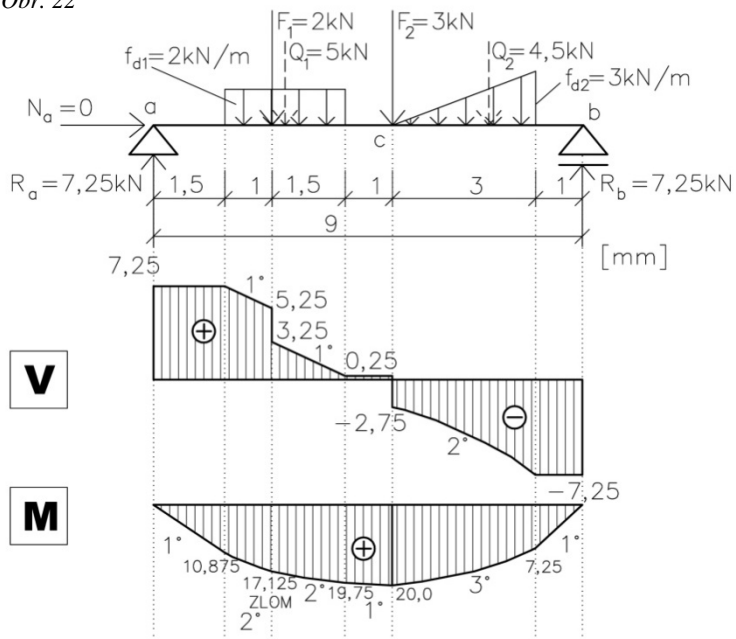
Př. 11 Prostý nosník s převislým koncem zatížený spojitým zatížením

Obr. 21



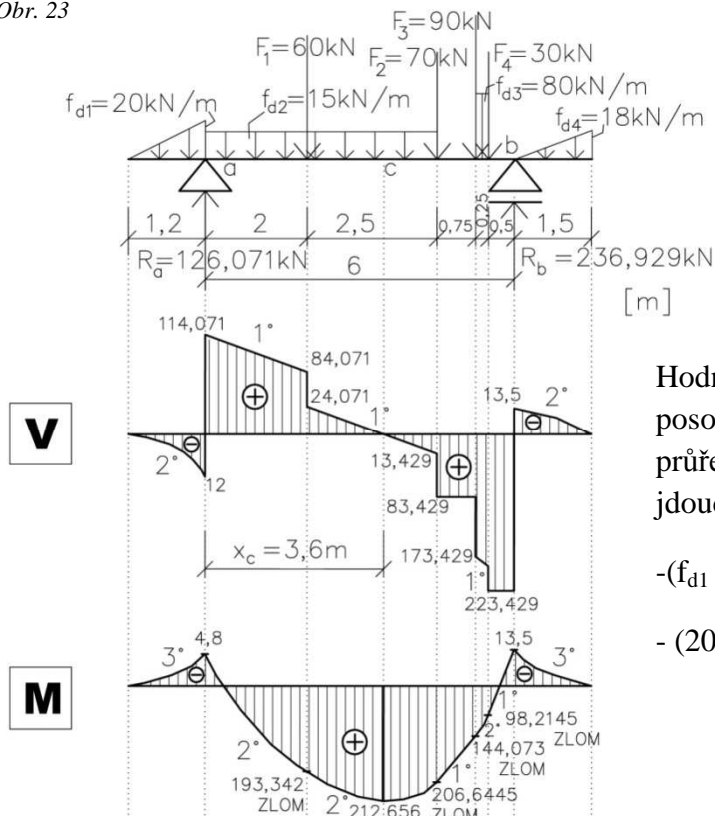
Př. 12 Prostý nosník zatížený kombinovaným zatížením

Obr. 22



Př. 13 Prostý nosník s oběma konci převislými

Obr. 23



Hodnota x_c se stanoví z průběhu posouvajících sil zleva od nebezpečného průřezu sestavením rovnice pro průběh jdoucí do nuly:

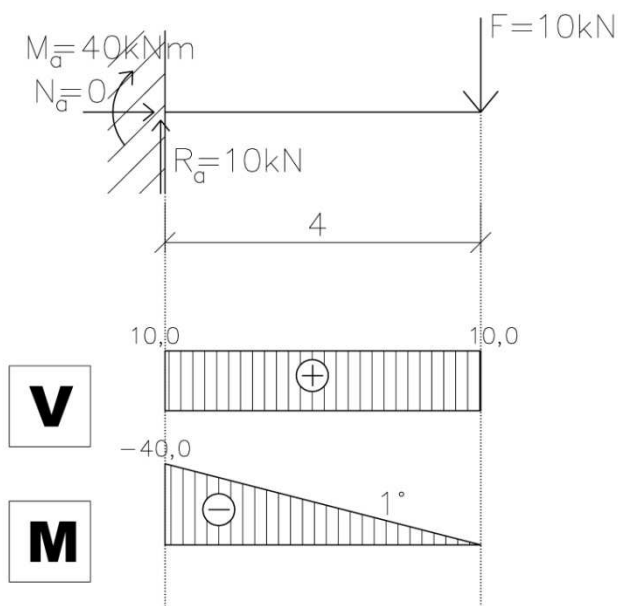
$$-(f_{d1} \cdot 1,2/2) + R_a - f_{d2} \cdot x_c' - F_1 = 0$$

$$-(20 \cdot 1,2/2) + 126,071 - 15 \cdot x_c' - 60 = 0$$

$$\gg \gg x_c' = 3,6 \text{ m}$$

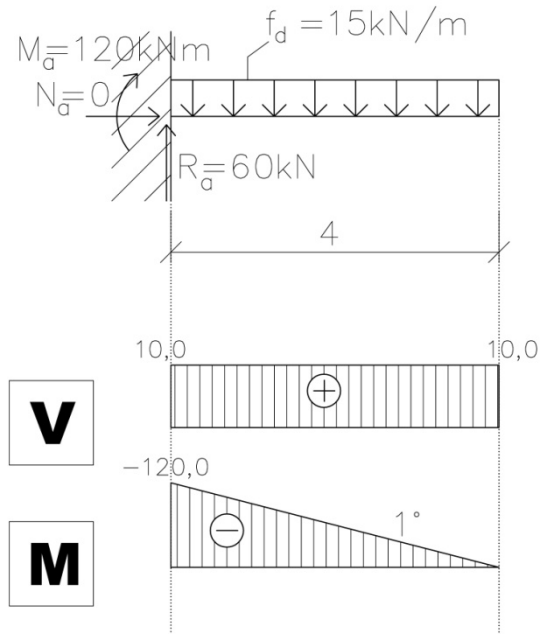
Př. 14 Konzola zatížená osamělým břemenem

Obr. 24



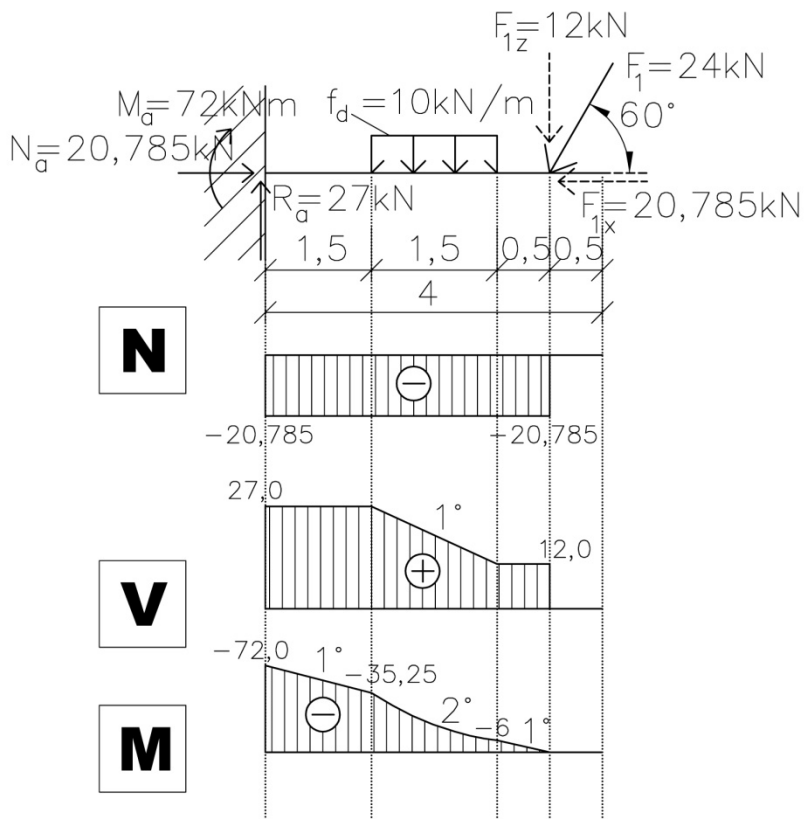
Př. 15 Konzola zatížená spojitým zatížením

Obr. 25



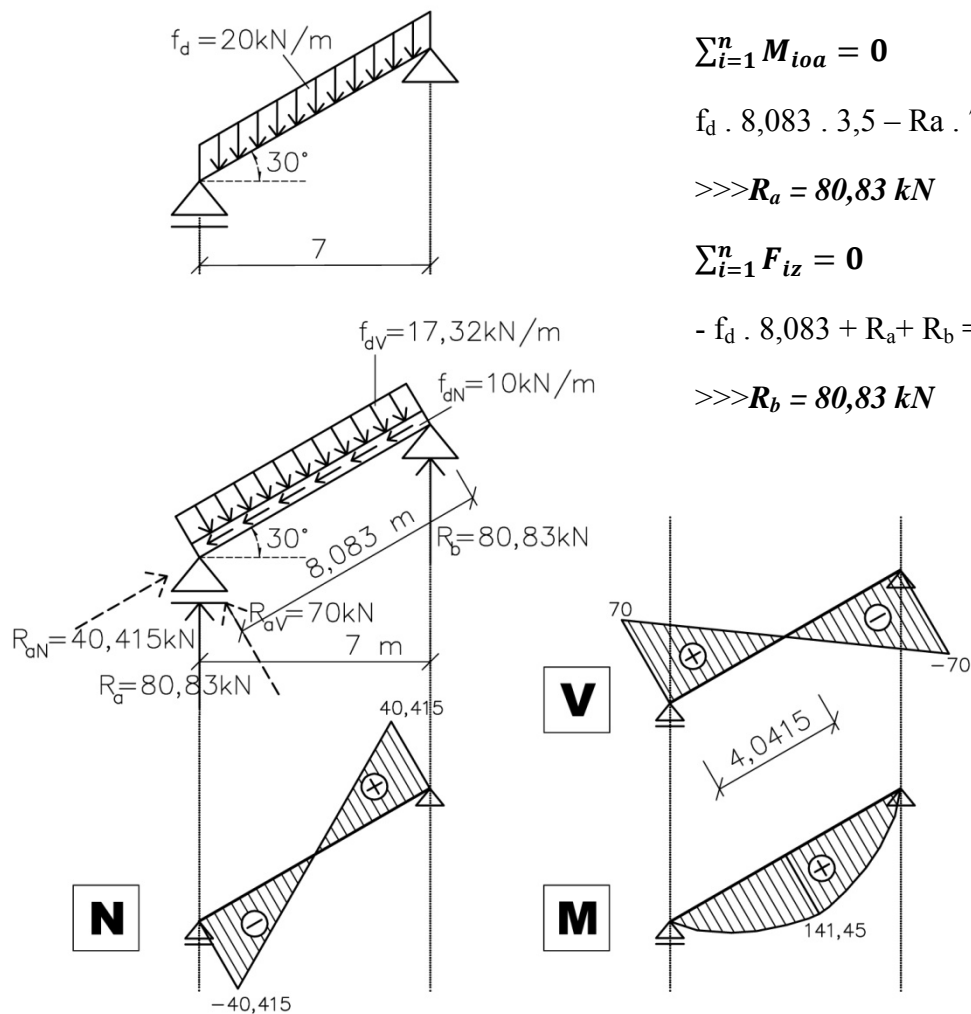
Př. 16 Konzola zatížená kombinovaným zatížením

Obr. 26



Př. 17 Šikmý nosník zatížený kombinovaným zatížením

Obr. 27



$$\sum_{i=1}^n M_{ioa} = 0$$

$$f_d \cdot 8,083 \cdot 3,5 - R_a \cdot 7 = 0$$

$$\gg \gg R_a = 80,83 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = 0$$

$$- f_d \cdot 8,083 + R_a + R_b = 0$$

$$\gg \gg R_b = 80,83 \text{ kN}$$

$$R_{bV} = R_b \cdot \cos 30^\circ = 70 \text{ kN}$$

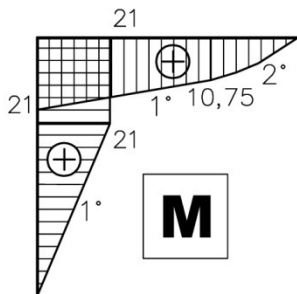
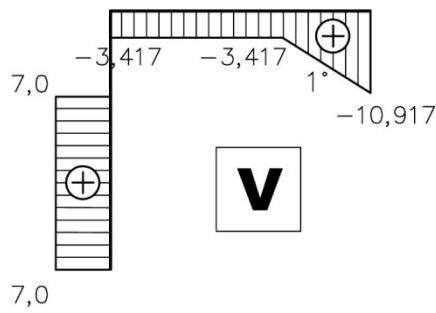
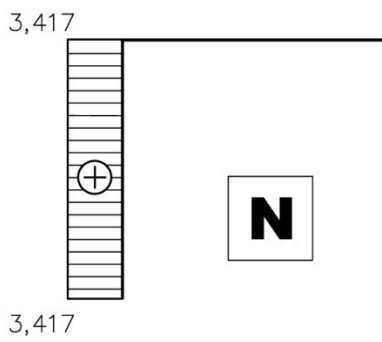
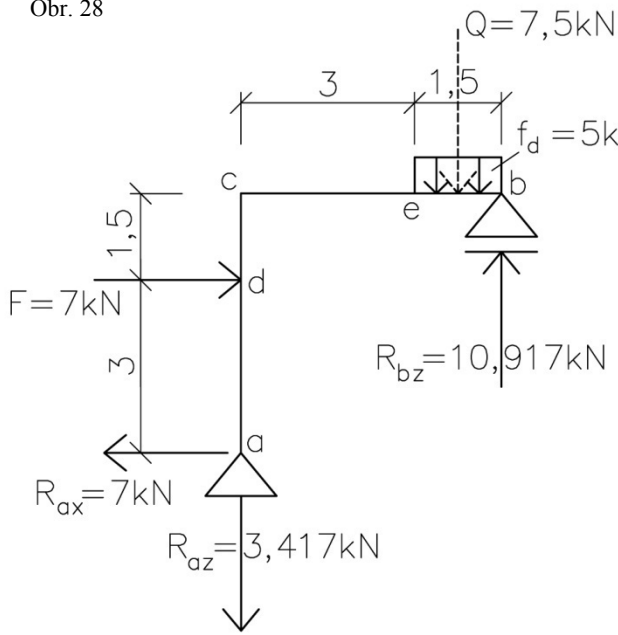
$$R_{bN} = R_b \cdot \sin 30^\circ = 40,415 \text{ kN}$$

$$M_{\max} = R_{bV} \cdot 4,0415 - f_{dV} \cdot 4,0415$$

$$\cdot 4,0415 / 2 = 141,45 \text{ kNm}$$

Př. 18 Lomený nosník zatížený kombinovaným zatížením

Obr. 28



$$F - R_{ax} = 0 \gg \gg R_{ax} = 7 \text{ kN}$$

$$M_a = M_b = 0 \text{ kNm}$$

$$M_c = R_{ax} \cdot 4,5 - F \cdot 1,5 = 21 \text{ kNm}$$

$$M_d = R_{ax} \cdot 3 = 21 \text{ kNm}$$

$$M_e = R_{bz} \cdot 1,5 - Q \cdot 0,75 = 10,75 \text{ kNm}$$

6. Materiálové charakteristiky

6.1 Beton – označování a charakteristiky

Značení betonu: **C** f_{ck} / $f_{c,cube}$

f_{ck} ... charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku [MPa]

$f_{c,cube}$... charakteristická krychlová pevnost betonu v tlaku [MPa]

Výpočet návrhových hodnot pevností v tlaku a v tahu:

$$f_{cd} = (\alpha_{cc} \cdot f_{ck}) / \gamma_c$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad \gamma_c = 1,5$$

$$f_{ctd} = (\alpha_{ct} \cdot f_{ctk 0,05}) / \gamma_c$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$$

f_{cd} ... návrhová pevnost betonu v tlaku [MPa]

f_{ctd} ... návrhová pevnost betonu v tahu

$f_{ctk 0,05}$... dolní kvantil charakteristické pevnosti betonu v tahu

α_{cc} ... součinitel, kterým se zohledňuje dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování $\alpha_{cc} = 0,8 \sim 1,0$

α_{ct} ... součinitel, kterým se zohledňuje dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování $\alpha_{ct} = 1,0$

γ_c ... dílčí součinitel bezpečnosti pro beton (součinitel spolehlivosti materiálu) [-]; $\gamma_c = 1,5$

Při výpočtu konstrukcí můžeme nahradit skutečný pracovní diagram idealizovanými pracovními digramy.

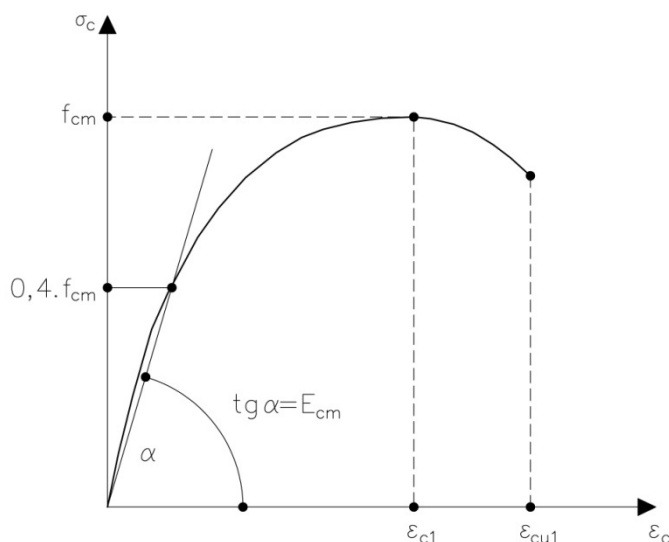
6.1.1 Pracovní diagram betonu v tlaku pro výpočet účinků zatížení

f_{cm} ... střední hodnota pevnosti betonu v tlaku

ε_c ... poměrné přetvoření betonu

E_{cm} ... střední hodnota modulu pružnosti

Obr. 29



6.1.2 Pracovní diagram betonu v tlaku pro navrhování průřezů

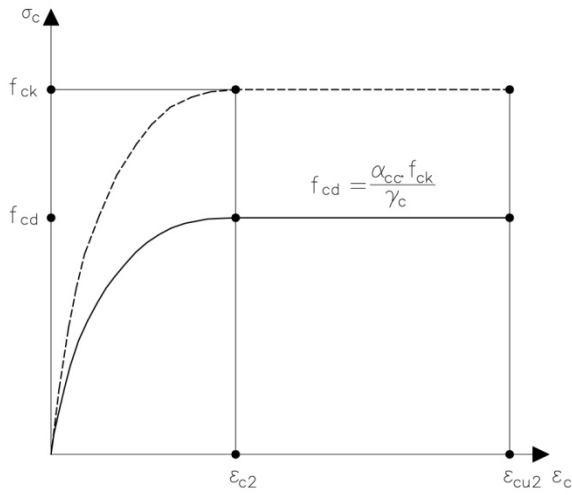
a) parabolicko-rektangulární

b) bilineární

c) lineární (obdélníkový)

a) parabolicko-rektangulární

Obr. 30

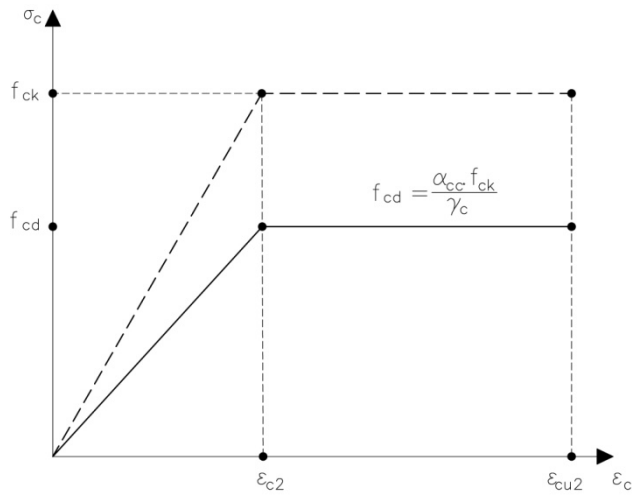


b) bilineární

ϵ_{c2} ... poměrné přetvoření při dosažení maximální pevnosti

ϵ_{cu2} ... maximální poměrné přetvoření

Obr. 31

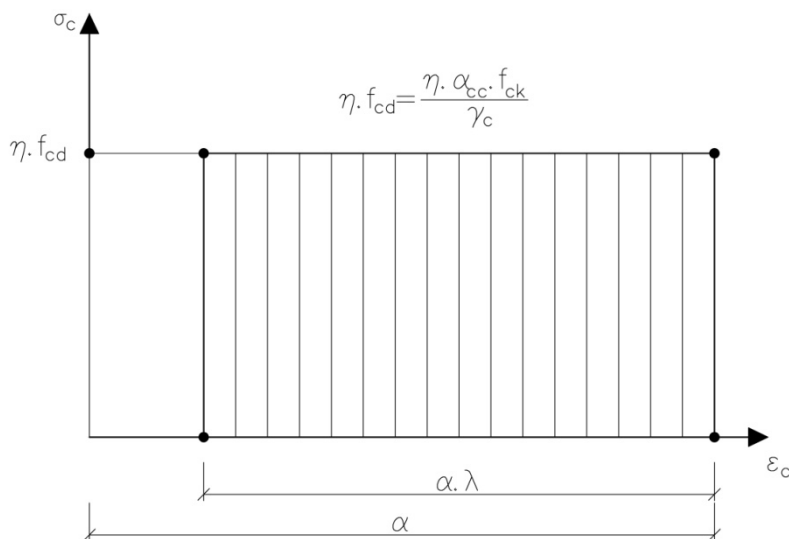


c) lineární (obdélníkový)

α ... součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti

η ... součinitel definující účinnou pevnost

Obr. 32



Pevnost betonu v tlaku je vyjádřena charakteristickou pevností v N/mm^2 [= MPa].
Pevnost se zjišťuje podle EN 12390-1 na zkušebních tělesech – buď na krychlích s délkou hrany 150 mm jako $f_{ck,cube}$, nebo na válcích 150/300 mm jako $f_{ck,cyl}$, ve stáří 28 dnů. Zkušební tělesa jsou vyrobena a ošetřována dle EN 12390-2.

Pevnostní třídy betonů a jejich charakteristiky

| Třídy betonu | | | | | | | | | | | | | | | Vztah |
|--------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|---|--|
| f_{ck} [MPa] | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 | |
| $f_{ck,cube}$ [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_{ctm} [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 | do C50/60 $f_{ctm}=0,3f_{ck}^{(2/3)}$ nad $f_{ctm}=2,12 \ln(1+0,1f_{cm})$ |
| $f_{ctk, 0.05}$ [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 | $f_{ctk, 0.05}=0,7f_{ctm}$ 5% kvantil |
| $f_{ctk, 0.95}$ [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 | $f_{ctk, 0.95}=1,3f_{ctm}$ 95% kvantil |
| E_{cm} [GPa] | 27 | 29 | 30 | 31 | 32 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 41 | 42 | 44 | $E_{cm}=22 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3}$ f_{cm} v [MPa] |
| ϵ_{c1} [%o] | 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 | Pracovní diagram betonu |
| ϵ_{cu} [%o] | 3,50 | | | | | | | | 3,2 | 3 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | Pracovní diagram betonu | |
| ϵ_{c2} [%o] | 2,00 | | | | | | | | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | Parabolicko- rektangulární pracovní diagram | |
| ϵ_{cu2} [%o] | 3,50 | | | | | | | | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | Parabolicko- rektangulární pracovní diagram | |
| n | 2,00 | | | | | | | | 1,75 | 1,6 | 1,45 | 1,4 | 1,4 | | |
| ϵ_{c3} [%o] | 1,75 | | | | | | | | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | Bilineární pracovní diagram | |
| ϵ_{cu3} [%o] | 3,50 | | | | | | | | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | Bilineární pracovní diagram | |

Tab. 4

Poznámky:

Pevnostní třídy betonu C8/10 a C100/115 podle EN 206-1 nejsou uvažovány.

Tabulka platí pro beton vystavený teplotám $<-40;50>^{\circ}\text{C}$.

Pro betony třídy C55/67 a vyšší jsou hodnoty poměrných přetvoření a exponent n stanoveny ze vztahů:

$$\epsilon_{cu}[\%o] = 2.8 + 27 [(98 - f_{cm})/100]^4$$

$$n = 1.4 + 23.4[(90 - f_{ck})/100]^4$$

$$\epsilon_{c2}[\%o] = 2.0 + 0.085 (f_{ck} - 50)^{0.53}$$

$$\epsilon_{cu2}[\%o] = 2.6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$$

$$\epsilon_{c3}[\%o] = 1.75 + 0.55[(f_{ck} - 50)/40]$$

$$\epsilon_{cu3}[\%o] = 2.6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$$

6.2 Betonářská výztuž – značení a charakteristiky

Značení betonářské výztuže:

Dle ČSN: 5-místný kód značení (výrobní) **XX YY Z**

XX ... hutní třída oceli

10 ... stavební oceli

11 ... strojařské oceli

YY ... 1/10 charakteristické meze kluzu oceli [MPa]

Z ... určitá technická vlastnost oceli

5 ... zaručená svařitelnost

6 ... dobrá svařitelnost

7 ... obtížná svařitelnost

8 ... ocel zpevňovaná zkručováním zastudena

9 ... ocel zpracovaná jiným způsobem

Dle EN: **B XXX Z**

B ... betonářská ocel

XXX ... mez kluzu oceli [MPa]

Z ... tažnost oceli

A ... normální tažnost



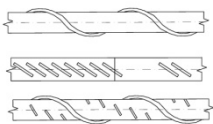


B ... vysoká tažnost

C ... velmi vysoká tažnost

Betonářské oceli vyráběné v ČR zařazené podle EN 1992-1-1 charakteristická mez kluzu v MPa

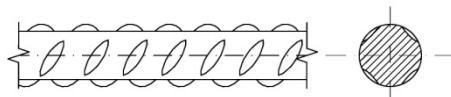
| Ozn. dle EN | Označení podle výrobců | | Jmenovitý průměr | Povrch | f_{yk} | f_{yd} | ϵ_{yd} |
|-------------|------------------------|----|---|-----------|----------|----------|-----------------|
| B 206 | 10 216 | E | | hladká | 206 | 179 | 0,00085 |
| B 325 | 10 335 | J | 6-8-10-12-14-16-18-20-22-25-28-32-39-50 | žebírkový | 325 | 283 | 0,00135 |
| B 245 | 10 245 | K | 10-12-14-16-18-20-22-25-28-32 | žebírkový | 245 | 213 | 0,00101 |
| B 410 | 10 425 | V | 6-8-10-12-14-16-18-20-22-25-28-32-39-50 | žebírkový | 410 | 357 | 0,00170 |
| B 490 | 10 505 | R | 8-10-12-14-16-18-20-22-25-28-32-36 | žebírkový | 490 | 426 | 0,00203 |
| B 490 | KARI drát | W | 4-5-6-7-8-10 | žebírkový | 490 | 426 | 0,00203 |
| B 490 | KARI síť | SZ | 4-5-6-7-8 | žebírkový | 490 | 426 | 0,00203 |

Tab. 5

| Druh výztuže | | Vlastnosti betonářské výztuže vyráběné po roce 1970 [MPa] | | | | | | | |
|--|--------------|---|--|---------------|--------|---------------|---------------------------------|---------------------|--------------|
| | | Označení | Návrhové pevnosti oceli (zaokrouhlené) | | | | Charakteristické pevnosti oceli | | Svařitelnost |
| | | | Tah | | Tlak | | Mez kluzu K (0,2) | Mez pevnosti P | |
| | | | C12/15 | \geq C16/20 | C12/15 | \geq C16/20 | | | |
| 10 216 | E | 190 | | | | 206 | | dobrá | |
| 11 373 | EZ | 215 pro $d_s \leq 16$ mm | | | | 235 | 340 | ke svařování vhodná | |
| | | 205 pro $d_s \leq 16$ mm | | | | 226 | | | |
| 10 245  | K | 220 | | | | 245 | 363 | zaručená | |
| 10 335  | J | 300 | | 300 | | 325 | 471 | zaručená | |
| 10 338  | T | 300 | | 270 | | 325 | 390 | podmíněná | |
| 10 425  | V | 340 | 375 | 340 | 375 | 410 | 569 | zaručená | |
| 10 505  | R | 340 | 425 | 340 | 420 | 490 | 720 | zaručená | |
| svařované sítě | Hladké dráty | S | 270 | 300 | 240 | 370 | 490 | 539 | nesvařitelná |
| | S vtisky | Sv | 320 | 375 | 290 | 340 | 441 | 530 | |
| | KARI | SZ | 340 | 425 | 290 | 380 | 490 | 539 | |

Poznámka:

KARI drát ozn. W



| <i>Tab. 7</i> Tyč hladká 10 216 | |
|--|-----------------|
| Jmenovitý průměr <i>d</i> | Hmotnost [kg/m] |
| 5,5 | 0,168 |
| 6 | 0,222 |
| 6,5 | 0,260 |
| 7 | 0,302 |
| 8 | 0,392 |
| 10 | 0,617 |
| 12 | 0,888 |
| 14 | 1,208 |
| 16 | 1,578 |
| 18 | 1,998 |
| 20 | 2,466 |
| 22 | 2,984 |
| 25 | 3,853 |
| 28 | 4,834 |
| 32 | 6,313 |

| <i>Tab. 8</i> Tyč žebírková 10 505 | |
|---|-----------------|
| Jmenovitý průměr <i>d</i> | Hmotnost [kg/m] |
| 6 | 0,22 |
| 8 | 0,39 |
| 10 | 0,61 |
| 12 | 0,89 |
| 14 | 1,21 |
| 16 | 1,58 |
| 18 | 2,00 |
| 20 | 2,47 |
| 22 | 2,98 |
| 25 | 3,85 |
| 28 | 4,83 |
| 32 | 6,31 |
| 36 | 7,99 |
| - | - |

| <i>Tab. 9</i> Tyč žebírková 10425 | |
|--|-----------------|
| Jmenovitý průměr <i>d</i> | Hmotnost [kg/m] |
| 6 | 0,222 |
| 8 | 0,395 |
| 10 | 0,617 |
| 12 | 0,89 |
| 14 | 1,21 |
| 16 | 1,58 |
| 18 | 2,00 |
| 20 | 2,47 |
| 22 | 2,98 |
| 25 | 3,85 |
| 28 | 4,83 |
| 32 | 6,31 |
| 39 | 9,38 |
| 50 | 15,43 |

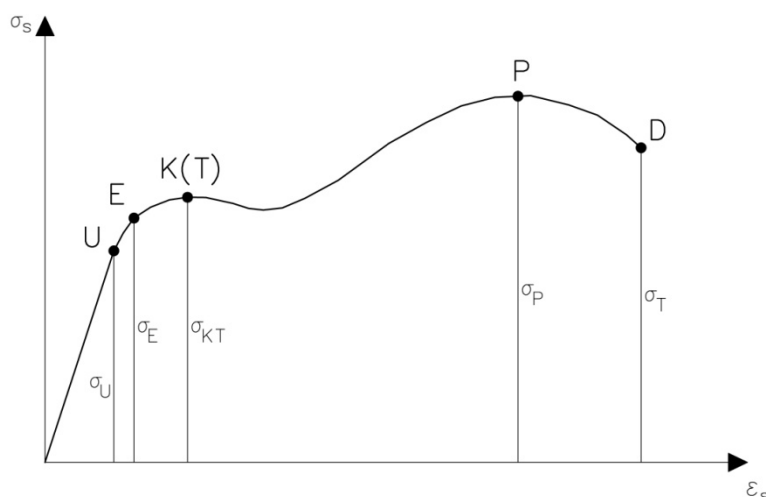
| <i>Tab. 10</i> Tyč žebírková 10 335 | |
|--|-----------------|
| Jmenovitý průměr <i>d</i> | Hmotnost [kg/m] |
| 6 | 0,222 |
| 8 | 0,395 |
| 10 | 0,617 |
| 12 | 0,890 |
| 14 | 1,210 |
| 16 | 1,580 |
| 18 | 2,000 |
| 20 | 2,470 |
| 22 | 2,980 |
| 25 | 3,850 |
| 28 | 4,830 |
| 32 | 6,310 |
| 39 | 9,380 |
| 50 | 15,430 |
| - | - |

| <i>Tab. 11</i> Tyč žebírková 10 338 | |
|--|-----------------|
| Jmenovitý průměr <i>d</i> | Hmotnost [kg/m] |
| 6,0 | 0,220 |
| 6,5 | 0,261 |
| 8,0 | 0,395 |
| 10,0 | 0,620 |

6.2.1 Pracovní diagram oceli

- vyjadřuje závislost mezi napětím a deformací prvku

Obr. 33



U ... mez úměrnosti ... závislost mezi prodloužením a napětím je vyjádřena přímkou, tzn. že napětí je přímo úměrné prodloužení – **HOOKŮV ZÁKON**.

Vztah mezi napětím a prodloužením je vyjádřen:

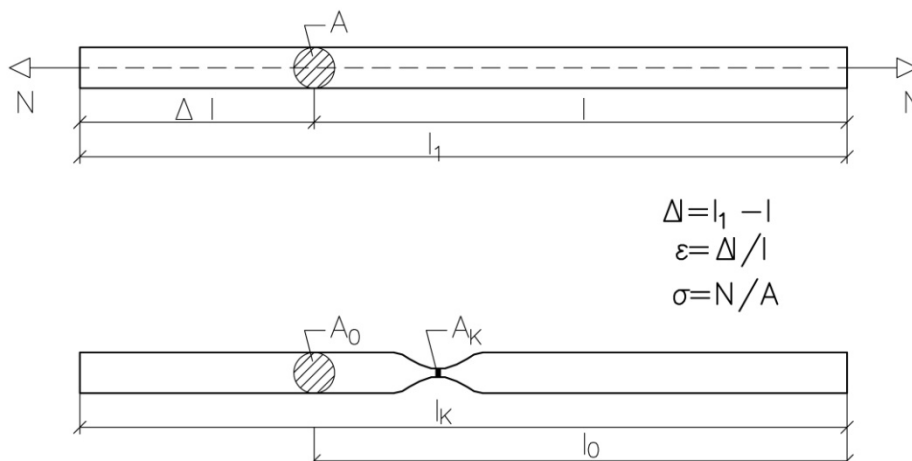
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

σ ... napětí

E ... modul pružnosti v tahu (Youngův modul)

ε ... poměrné prodloužení (přetvoření)

Obr. 34

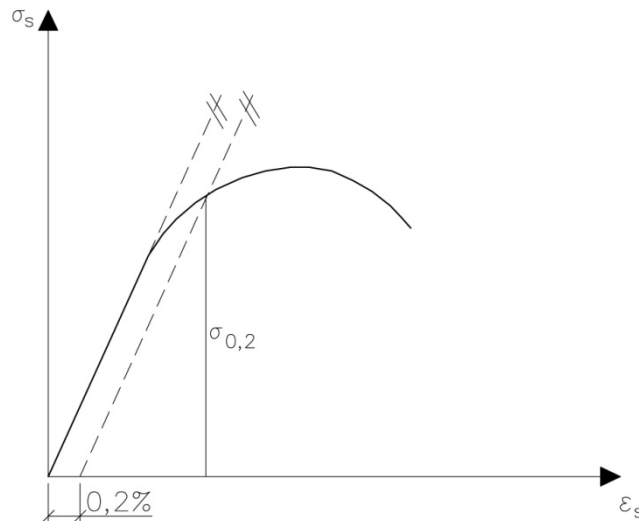


E ... mez pružnosti ... končí platnost Hookova zákona. U a E někdy splývají v 1 bod, v současné době je mez pružnosti smluvní mezí, kdy $\varepsilon = 0,01$, popř. $0,001$ (trvalé deformace). Po vymizení zatížení se tyč vrátí do původního stavu, poměrné deformace $0,01\%$. Deformace jsou pouze dočasné = pružné.

$K(T)$... mez kluzu (průtažnosti) ... při dalším zatěžování vznikne v oceli plastický stav, který se projeví trvalým prodloužením tyče při současném zmenšení průřezu. Deformace trvalé = nepružné. Této meze je dosaženo tehdy, jestliže nastává prodloužení tyče, aniž by se zvětšilo napětí. Toto napětí nazýváme mez průtažnosti. U ocelí tažených zatepla je mez průtažnosti výrazná, je charakterizována náhlým lomem pracovního diagramu a nazývá se mezí kluzu (σ_{KT}).

Mez kluzu je nejdůležitější mezí ve stavební praxi, určuje využitelnost materiálu a podle této meze ocel třídíme. V průběhu dalšího malého zatěžování se zkušební tyč zřetelně prodlužuje a dochází ke zužování průřezu až dosáhne meze pevnosti.

Obr. 35



U ocelí zpracovávaných za studena má pracovní diagram trvalý průběh bez lomu, zavádí se smluvní hodnota meze průtažnosti a to mez 0,2, kdy dojde k trvalému prodloužení tyče o 0,2% původní délky ($\sigma_{0,2}$).

P ... mez pevnosti ... maximální hodnota napětí, kterého bylo dosaženo. Při dalším zatěžování a prodlužování se zatížení snižuje, protože se zmenšuje průřez, nastává tzv. **KONTRAKCE PRŮŘEZU** a v místě největšího zúžení dojde k přetržení tyče – bod D. Z tohoto důvodu se počítá tažnost oceli.

Pamatuj!

U stavebních konstrukcí nelze hodnotu σ_{KT} , resp. $\sigma_{0,2}$ nikdy překročit!
V takovém případě by došlo k narušení použitelnosti konstrukce.

Výpočet návrhové meze kluzu oceli:

$$\boxed{f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s} \quad [MPa] \quad \gamma_s = 1,15 \quad \boxed{\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s}$$

f_{yd} ... návrhová mez kluzu oceli [MPa]

f_{yk} ... charakteristická mez kluzu oceli [MPa]

γ_s ... dílčí součinitel bezpečnosti pro ocel (součinitel spolehlivosti materiálu) [-]

ε_{yd} ... poměrné přetvoření oceli na mezi kluzu [-]

E_s ... modul pružnosti betonářské výztuže = 200 GPa

6.3 Rostlé dřevo – značení a charakteristiky

Značení rostlého dřeva: **Z XX**

Z... druh dřeviny XX ... charakteristická pevnost např. za ohybu $f_{m,k}$ [MPa]

C ... topol a jehličnaté dřevo

D ... listnaté dřeviny

Návrhová hodnota vlastnosti materiálu: $\boxed{X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M}$ [MPa]

X_d ... návrhová hodnota odpovídající 5% kvantilu předpokládaného statistického rozdělení vyšetřované vlastnosti materiálu

k_{mod} ... modifikační součinitel vyjadřuje vliv délky trvání zatížení a vlhkosti na pevnost dřeva
a desek na bázi dřeva

γ_M ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu

Podle ČSN EN 1995-1-1 a Národní přílohy je
dílčí součinitel vlastností materiálu γ_M :

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Základní kombinace: | γ_M |
| Rostlé dřevo | 1,30 |
| Lepené lamelové dřevo | 1,25 |
| LVL, překližka, OSB | 1,20 |
| Třískové desky | 1,30 |
| Vláknité desky, tvrdé | 1,30 |
| Vláknité desky, středně tvrdé | 1,30 |
| Vláknité desky, MDF | 1,30 |
| Vláknité desky, měkké | 1,30 |
| Spoje | 1,30 |
| Kovové desky s prolisovanými trny | 1,25 |
| Mimořádné kombinace: | 1,0 |

Tab. 12

Pozn. Třídy provozu (použití)

System tříd provozu je zaměřen zejména na určování hodnot pevností a na výpočet deformací při konkrétních podmínkách prostředí:

| Třída provozu (použití) | Popis |
|--------------------------------|--|
| 1 | Je charakterizována vlhkostí materiálů odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkostí okolního vzduchu přesahující 65% pouze po několik týdnů v roce. Ve třídě vlhkosti 1 nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny měkkého dřeva 12%. |
| 2 | Je charakterizována vlhkostí materiálů odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 85% pouze po několik týdnů v roce. Ve třídě vlhkosti 2 nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny měkkého dřeva 20%. |
| 3 | Je charakterizována klimatickými podmínkami vedoucími k vlhkosti vyšší než ve třídě vlhkosti 2. Kryté konstrukce by měly být zařazeny do třídy provozu 3 pouze výjimečně. |

Tab. 13

Třídy trvání zatížení

jsou charakterizovány účinkem konstantního zatížení působícího po určitou dobu během životnosti konstrukce:

| Třída trvání zatížení | Řád souhrnného trvání charakteristického zatížení | Příklady zatížení |
|------------------------------|--|---------------------------|
| stálé | déle než 10 let | vlastní tíha |
| dlouhodobé | 6 měsíců až 10 let | skladové zatížení |
| střednědobé | 1 týden až 6 měsíců | užitné zatížení |
| krátkodobé | méně než 1 týden | sníh ¹⁾ a vítr |
| okamžikové | - | velmi krátkodobé zatížení |

1) V oblastech s velkým zatížením sněhem po delší časové období se má část tohoto zatížení uvažovat jako střednědobé.

Tab. 14

Tabulka hodnot **modifikačního součinitele** k_{mod} :

| Materiál | Norma | Třída provozu | Třída trvanliví zatížení | | | | |
|--------------|------------|---------------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | | Stálé zatížení | Dlouhodobé zatížení | Střednědobé zatížení | Krátkodobé zatížení | Okamžikové zatížení |
| Rostlé dřevo | EN 14081-1 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |

Tab. 15

U deskového a hraněného řeziva rozlišujeme třídy dle užití normy:

ČSN 491531-1:

S0, SA >>>

SI, SB

SII

ČSN 732824-1:

S13 >>>

S10

S7

ČSN EN 338:

C24

C22

C16

Pozn. Řádky sobě odpovídají. Jehličnaté dřeviny – smrk, jedle, borovice, modřín.

Charakteristické pevnosti listnatého a jehličnatého dřeva:

| | Topol a jehličnaté dřeviny | | | | | | | | | | | Listnaté dřeviny | | | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 | |
| Vlastnosti pevnosti N/mm² = MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ohyb | f _{m,k} | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Tah rovnoběžně s vlákny | f _{t,0,k} | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Tah kolmo k vláknům | f _{t,90,k} | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | f _{c,0,k} | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| Tlak kolmo k vláknům | f _{c,90,k} | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 8,0 | 8,4 | 8,8 | 9,7 | 10,5 | 13,5 |
| Smyk | f _{v,k} | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 6,0 |
| Vlastnosti tuhosti kN/mm² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | E _{0,mean} | 7 | 8 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 11,5 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| 5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | E _{0,05} | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,4 | 6,7 | 7,4 | 7,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 10,0 | 10,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 11,8 | 14,3 | 16,8 |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům | E _{90,mean} | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,5 | 0,53 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku | G _{mean} | 0,44 | 0,5 | 0,56 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 |
| Hustota kg/m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hustota | ρ _k | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 530 | 560 | 590 | 650 | 700 | 900 |
| Průměrná hodnota hustoty | ρ _{mean} | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 |

Tab. 16

6.4 Konstrukční ocel – značení a charakteristiky

Značení oceli:
dle ČSN EN 10027-1

G S n n n an... +an+an (n = číslice, a = písmeno, an = alfanumerický znak)

G ... ocel na odlitky (pokud je požadována)

S ... konstrukční ocel

n n n ... stanovená minimální mez kluzu [MPa] pro nejmenší rozsah tloušťky výrobku

an... může obsahovat značení pro ocel:

| Nárazová práce v Joulech [J] | | | Zkušební teplota |
|---------------------------------|-----|-----|---------------------|
| 27J | 40J | 60J | °C |
| JR | KR | LR | 20 |
| J0 | K9 | L0 | 0 |
| J2 | K2 | L2 | -20 |
| J3 | K3 | L3 | -30 |
| J4 | K4 | L4 | -40 |
| J5 | K5 | L5 | -50 |
| J6 | K6 | L6 | -60 |

A ... precipitačně vytvrzeno

M ... termomechanicky válcováno

N ... normalizačně žháno nebo normalizačně válcováno

Q ... zušlechtěno

C ... se zvláštní svařitelností za studena

D ... pro žárové pokovování ponorem

E ... pro smaltování

F ... pro kování

L ... pro nízké teploty

P ... štětovnice

S ... pro stavbu plavidel

T ... pro trubky

W ... odolné proti atmosférické korozi

G ... jiné charakteristiky, následuje jedna nebo dvě číslice.

+an+an ... značení pro ocelové výrobky, př. S235JRG1, dle tab. 16, 17, 18 z ČSN EN 10027.

Fyzikální vlastnosti:

Vlastnosti oceli se nemění při změnách chemického složení, ani při tepelném zpracování.

Lze je charakterizovat veličinami :

E ... modul pružnosti (Youngův)

E = 210 000 MPa

G ... modul pružnosti ve smyku

G = 81 000 MPa

v ... součinitel příčné roztažnosti

v = 0,3

ρ ... měrná hmotnost

ρ = 7 850 kg/m³

α ... součinitel délkové roztažnosti

α = 0,000012 deg

Oceli v ČR pro stavební ocelové konstrukce:

Tab. 17

| Pevnostní třída oceli <i>podle ČSN EN 10 025-6 + A1</i> <i>(výrobky válcované za tepla)</i> | Číselná značka české oceli | Popis |
|---|----------------------------------|-------|
| S 235 (Fe 360) | S235JRG1 | 11373 |
| | S235JRG2 | 11375 |
| | S235J0 | 11378 |
| S 275 (Fe 430) | S275JR | 11443 |
| | S275J2G3 | 11448 |
| S 355 (Fe 510) | S355J2G3 | 11523 |
| | S355J0 | 11503 |

Charakteristické hodnoty základní oceli:

| Norma a pevnostní třída oceli | Jmenovitá tloušťka prvku t (mm) | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | t ≤ 40mm | | 40 mm < t ≤ 80 mm | |
| | f _y (N/mm ²) | f _u (N/mm ²) | f _y (N/mm ²) | f _u (N/mm ²) |
| EN 10025-2 | | | | |
| S235 | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S275 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S355 | 355 | 510 | 335 | 470 |
| S450 | 440 | 550 | 410 | 550 |
| EN 10025-3 | | | | |
| S275 N/NL | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S355 N/NL | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S420 N/NL | 420 | 520 | 390 | 520 |
| S460 N/NL | 460 | 540 | 430 | 540 |
| EN 10025-4 | | | | |
| S275 M/ML | 275 | 370 | 255 | 360 |
| S355 M/ML | 355 | 470 | 335 | 450 |
| S420 M/ML | 420 | 520 | 390 | 500 |
| S460 M/ML | 460 | 540 | 430 | 530 |
| EN 10025-5 | | | | |
| S235 W | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S355 W | 355 | 510 | 335 | 490 |
| EN 10025-6 + A1 | | | | |
| S460 Q/Q/QL 1 | 460 | 570 | 440 | 550 |
| EN 10210-1 | | | | |
| S235 H | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S275 H | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S355 H | 355 | 510 | 335 | 490 |
| S275 LH/NLH | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S355 LH/NLH | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S420 LH/NLH | 420 | 540 | 390 | 520 |
| S460 LH/NLH | 460 | 560 | 430 | 550 |

Tab. 18

Pozn.

Norma **EN 10025-2** se týká výrobků válcovaných za tepla z konstrukčních ocelí – nelegovaných konstrukčních ocelí; **EN 10025-3** výrobků válcovaných za tepla z konstrukčních ocelí – normalizačně žíhaných a normalizačně válcovaných, svařitelných jemnozrnných konstrukčních ocelí; **EN 10025-4** výrobků válcovaných za tepla z konstrukčních ocelí – termomechanicky válcovaných svařitelných jemnozrnných, **EN 10025-5** výrobků válcovaných za tepla – se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, **EN 10025-6 +A1** výrobků válcovaných za tepla z konstrukčních ocelí – plochých výrobků z ocelí vyšších mezí kluzů v ušlechtilých stavech; **EN 10210-1** se týká dutých profilů tvářených za tepla z nelegovaných a jemnozrnných konstrukčních ocelí. Přídavné symboly dle označení oceli na začátku kapitoly.

7 Teoretický základ k železobetonovým konstrukcím

7.1 Teorie ŽB ohýbaných prvků

7.1.1 Deskové konstrukce

7.1.1.1 *Desky vyztužené v jednom směru*

Jsou to plošné prvky o malé tloušťce, tzn. že tloušťka je vzhledem k půdorysným rozměrům zanedbatelná. Nahrazujeme je střednicovou plochou nebo nosníkem, který má šířku $b=1\text{m}$. Zatížení působí na desky kolmo na střednicovou plochu.

| | |
|-----------|-----------------------------|
| 7.1.1.1.a | Deska prostě uložená |
| 7.1.1.1.b | Deska oboustranně vetknutá |
| 7.1.1.1.c | Deska spojitá o dvou polích |

7.1.1.2 *Deska křížem vyztužená*

7.1.2 Trámové konstrukce

| | |
|---------|---------------------|
| 7.1.2.a | Prostě uložený trám |
| 7.1.2.b | Deskový trám |
| 7.1.2.c | Trámový strop |

7.1.3 Deska konzolová

7.1.1.1.a Deska prostě uložená

$$\begin{aligned}\Sigma M_a &= 0 \Rightarrow R_b \\ \Sigma M_b &= 0 \Rightarrow R_a \\ V_{Ed,a} &= \frac{1}{2} f_d \cdot l \\ V_{Ed,b} &= \frac{1}{2} f_d \cdot l \\ M_{Ed,max} &= \frac{1}{8} f_d \cdot l^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Tl.desky: \quad min. \quad h_d &\geq \frac{1}{25} \cdot l \\ \quad \quad \quad opt. \quad h_d &= \frac{1}{20} \cdot l\end{aligned}$$

Nosná výztuž se umísťuje k dolnímu líci desky z níž se část převádí u podpory k hornímu líci. Ohýbá se min. $1/3$ výztuže a max. $1/2$.

Pokud ohneme $1/3$ výztuže, umísťujeme ohyby do vzdálenosti $1/7 l_s$ od líce podpory. Jestliže ohýbáme $1/2$ výztuže, umísťujeme do vzdálenosti $1/10$ od líce podpory (u horního líce desky).

$$\begin{aligned}\text{Ohýbání výztuže:} \quad \frac{1}{2} \text{ počtu} &\Rightarrow \frac{1}{10} l_s \text{ jako vzdálenost ohybu od líce podpory} \\ \frac{1}{3} \text{ počtu} &\Rightarrow \frac{1}{7} l_s\end{aligned}$$

7.1.1.1.b Deska oboustranně vetknutá

Vetknutá deska, tj. deska na obou koncích monoliticky spojena s podpurnou konstrukcí (věnce, průvlaky apod.). Beton a výztuž, která je kotvena alespoň na kotevní délku l_{bd} do konstrukce desky i podpory.

Význam zaujímá právě výška podpory H .

Je-li $H \geq 3 \cdot h_d$, uvažujeme za tzv. *dokonalé vetknutí*. Natočení desky v podpoře potom nehrozí.

Je-li $H < 3 \cdot h_d$, uvažujeme tzv. *částečné vetknutí*.

$$M_a = M_b = -1/12 f_d \cdot l^2$$

$$M_I = 1/16 f_d \cdot l^2$$

$$Tl. desky: \quad h_d = 1/30 \cdot l$$

$$h_{d,min} = 1/35 \cdot l$$

Nosná výztuž se vkládá v podporách k dolnímu líci. Část spodních vložek je rovná, část se ohýbá k dolnímu líci a to 1/2 až 2/3.

Ohyb u podpory doplníme příložkami tak, aby byl vykryt podporový ohybový moment u horního líce.

Výztuž u dolního i horního líce bude mít stejný průměr. Ohyby se umísťují do (1/6 až 1/8) $\cdot l$ od líce podpory. Příložky zatavujeme do pole na délku 1/4 $\cdot l_s$. Výztuž u horního líce v podpoře musí být zatažená za líc podpory nejméně na kotevní délku l_{bd} . Výztuž u spodního líce zatahujeme za líc podpory na vzdál. nejméně 15 Φ (10 Φ).

Výztuž u dolního líce navrhujeme na 1/16 $f_d \cdot l^2$, u horního líce -1/12 $f_d \cdot l^2$.

Návrh začíná výztuží v poli.

Desky se používají na rozpětí cca 4m.

7.1.1.1.c Deska spojitá o dvou polích

Rozpětí obou polí se mohou lišit max. o 10%. Při větším rozdílu rozpětí se velikosti posouvajících sil a ohybových momentů určí ze stavební mechaniky.

$$Tl. desky: \quad h_d = 1/30 \cdot l$$

$$h_{d,min} = 1/35 \cdot l$$

$$l = l_s + a_l + 1/2 \cdot b_w$$

b_w ... šířka průvlaku v prostřední podpoře

$$M_a = M_c = 0$$

$$M_b = -1/10 f_d \cdot l^2$$

$$M_I = M_{II} = 1/11 f_d \cdot l^2$$

Výpočet zatížení na průvlak:

$$f_d = R_2 + 1,35 \cdot g_k^{PRŮV}$$

$$R_2 = f_d \cdot l - 2 \cdot (M_b / l)$$

R_2 ... vychází ze stavební mechaniky z výpočtu posouvajících sil u spojitého nosníku počítaného pomocí třímomentové rovnice

7.1.1.2 Deska křížem vyztužená

Desky s nosnou výztuží v obou směrech. Po celém obvodu je deska prostě podepřena či vetknuta.

Desky se vyskytují jako součást kazetových nebo hříbových stropů, součást zvedaných stropů atd., kdy jsou uloženy na průvlacích nebo hlavicích sloupů. Další využití jako stěny nádrží, vodojemů apod.

Půdorysná rozpětí stran 1:1 až 2:1.

$$\begin{aligned} \text{Deska prostě podepřena po obvodu – tl. desky:} & \quad h_d = 1/75 \cdot (l_x + l_y) \\ & \quad h_{d,\min} = 1/90 \cdot (l_x + l_y) \quad l_x < l_y \\ \text{Deska vetknutá po obvodu – tl. desky:} & \quad h_d = 1/105 \cdot (l_x + l_y) \quad l_x < l_y \end{aligned}$$

Provádí se zjednodušený statický výpočet.

Použití výpočtu je podmíněno:

- 1) deska musí být podepřena po celém obvodu
- 2) poměr rozpětí do 2:1
- 3) musí být zabráněno nadzvedání rohů desky

Výpočet zatížení:

$$\begin{aligned} f_{dx} &= \alpha \cdot f_d \\ f_{dy} &= (1-\alpha) \cdot f_d \end{aligned}$$

f_{dx}, f_{dy} ... velikost zatížení ve směru x, y

Deska prostě podepřena po obvodu – odvození součinitele α :

$$\begin{aligned} w_x &= (5/384) \cdot (f_{dx} \cdot l_x^4 / EI_y) \\ w_y &= (5/384) \cdot (f_{dy} \cdot l_y^4 / EI_y) \\ w_x, w_y &\dots \text{průhyb ve směru x, y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (5/384) \cdot (f_{dx} \cdot l_x^4 / EI_y) &= (5/384) \cdot (f_{dy} \cdot l_y^4 / EI_y) \\ (5/384) \cdot (\alpha \cdot f_d \cdot l_x^4 / EI_y) &= (5/384) \cdot [(1-\alpha) \cdot f_d \cdot l_y^4 / EI_y] \\ \alpha \cdot l_x^4 &= (1-\alpha) \cdot l_y^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = l_y^4 / (l_x^4 + l_y^4)$$

Deska vetknutá po obvodu – odvození součinitele α :

$$\begin{aligned} w_x &= (1/384) \cdot (f_{dx} \cdot l_x^4 / EI_y) \\ w_y &= (1/192) \cdot (f_{dy} \cdot l_y^4 / EI_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1/384) \cdot (f_{dx} \cdot l_x^4 / EI_y) &= (1/192) \cdot (f_{dy} \cdot l_y^4 / EI_y) \\ \alpha \cdot l_x^4 &= 2 \cdot l_y^4 - 2 \cdot \alpha \cdot l_y^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = 2 \cdot l_y^4 / (l_x^4 + 2 \cdot l_y^4)$$

Výpočet momentů:

Uvažujeme ohyby na pružích ve směru x, y jako u desek prostě podepřených pnutých v jednom směru.

$$\begin{aligned} M_{dx} &= 1/8 \cdot f_{dx} \cdot l_x^2 \\ M_{dy} &= 1/8 \cdot f_{dy} \cdot l_y^2 \end{aligned}$$

Návrh výztuže: Výztuž v kratším směru x klademe blíže k dolnímu okraji desky.

7.1.2 Trámové konstrukce

7.1.2.a Prostě uložený trám

Vodorovná nosná konstrukce namáhána zatížením působícím ve svíslé rovině podélné osy. Návrh a posouzení se provádí na ohyb a smyk.

Vyskytují se jako samostatné nosníky, překlady, trámy, průvlaky obdélníkového průřezu, nebo jako deskové trámy u trámového či deskového stropu.

Uložení: *na zdivu* $u \geq 200 \text{ mm}$
 $u = 7,5\% \cdot l_s$
 na betonu $u \geq 100 \text{ mm}$

Výška trámu: $h_T = (1/17 \text{ až } 1/14) \cdot l_s$

Šířka trámu: $b_w = (0,33 \text{ až } 0,4) \cdot h_T$

Porušení posouvající silou – návrh smykové výztuže

Návrhová hodnota únosnosti ve smyku železobetonového prvku bez smykové výztuže nebo-li posouvající síla přenášená betonem a tahovou výztuží:

$$V_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$V_{Rd,c} \dots$ smyková odolnost, únosnost průřezu ve smyku

$c_{Rd,c} \dots$ součinitel daný vztahem dle EN 1992 – 1 – 1

$$c_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$k \dots$ součinitel výšky průřezu

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} < 2,0$$

$\rho_1 \dots$ stupeň vyztužení ze stanovené podmínky

$$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d) \leq 0,02$$

$$b_w = 1/3 \cdot h_T$$

$b_w \dots$ min. šířka průřezu mezi tlačným a taženým pásem

$h_T \dots$ výška trámu

$$d = h_T - d_1$$

$d_1 \dots$ účinná výška průřezu

$$V_{Ed,max} = 1/2 \cdot f_d \cdot l^2$$

$V_{Ed,max} \dots$ max. posouvající síla v uložení, v místě teoretické podpory

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,max}$$

Pozn. Pokud je podmínka splněna, nemusíme navrhovat smykovou výztuž.

Prvky se smykovou výztuží (třmínky):

Posouzení pro $V_{Ed,max}$:

$$V_{Rd,max} = (v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cotg \Theta) / (1 + \cotg^2 \Theta)$$

$V_{Rd,max} \dots$ max.smyková odolnost, únosnost průřezu ve smyku

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$$

$v \dots$ redukční součinitel při porušení smykem

$$z = 0,9 \cdot d$$

$z \dots$ rameno vnitřních sil v průřezu

$$\cotg \Theta = 2,5$$

$\Theta \dots$ úhel sklonu tlakových diagonál s podélnou osou prvku

$$1 \leq \Theta \leq \text{dop. } 2,5$$

$$V_{Ed,max} = 1/2 \cdot f_d \cdot l^2$$

$V_{Ed,max} \dots$ max. posouvající síla v uložení, v místě teoretické podpory

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$$

Posouzení pro $V_{Ed,1}$ ve vzdálenosti $u/2 + d$ od teoretické podpory:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} \cdot f_{ywd} / s_{1,d}) \cdot z \cdot \cotg \Theta$$

A_{sw} ... plocha všech větví 1 třmínku

f_{ywd} ... návrhová mez kluzu smykové výztuže

$$s_{1,d} = A_{sw} / (b_w \cdot \rho_{wd})$$

$s_{1,d}$... nutná osová vzdálenost třmínků v podélném směru

$$s_{1,d} < s_{1,max}$$

$$s_{1,max} \leq 0,75 \cdot d$$

$$\leq 400 \text{ mm}$$

$$b_w < s_{1,d}$$

ρ_{wd} ... stupeň smykového vyztužení

$$\rho_{wd} = A_{sw} / (b_w \cdot s_{1d})$$

$$\rho_{wd} \geq \rho_{w,min}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot f_{ck}^{1/2} / f_{yk}$$

$\rho_{w,min}$... minimální stupeň vyztužení

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$$

7.1.2.b Deskový trám část 1

Za deskový trám lze považovat konstrukci, jestliže deskové příruby a příčná žebra mají dostatečnou tuhost v kroucení.

Použití je podmíněno: 1) max. vzdálenost žeber 1500mm

2) výška žebra pod deskovou přírubou je max. čtyřnásobek jeho šířky

3) min. tl. deskové příruby je 50mm

4) žebra (trámy) jsou spojeny s monolitickou deskou alespoň třmínky

5) v desce nad trámem musí být uložena kolmo na podélnou osu trámu

výztuž délky min. $b_{eff} + 30 \cdot \emptyset$. V případě, že je tam uložena nosná výztuž desky, je tato podmínka splněna.

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0$$

$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0$$

$$b_1 = l_{s1} / 2$$

$$b_2 = l_{s2} / 2$$

$$b_{eff} \leq b$$

7.1.2.c Trámový strop

Konstrukci lze provést jen jako monolitickou, která se provádí nad obdélníkovým půdorysem, kdy je strop proveden jako deska spojitá o více polích. Podpory jsou tvořeny železobetonovými trámy T průřezu prostě podepřenými nebo spojitými, popř. s vetknutím na konci. Provádějí se buď s rovným podhledem nebo s viditelnými trámy.

Části trámového stropu:

1) železobetonová deska spojitá

tl. desky: $h_d \geq (1/35 \text{ až } 1/30) \cdot l$

Deska je zatížena stálým zatížením od podlahy, vlastní tíhou desky, podhledovými prvky a proměnným zatížením. Řeší se vždy jako spojitá deska, která je v krajním poli prostě

podepřená, pokud leží na zdivu. U masivních věnců se pak uvažuje vetknutý konec.

Statically se řeší s využitím redistribuce sil a ohybových momentů, pokud je splněna podmínka, že rozpětí jednotlivých polí desky se neliší víc jak o 10%.

Pokud tato podmínka není splněna, je nutné stanovit posouvající síly a ohybové momenty dle stavební mechaniky.

Doporučené hodnoty tl. desky pro jednostranně vyztužený průřez:

Do světlosti 1,5 m >>>tl.50 mm

Nad světlost 1,5 m >>>tl.60 mm

2) železobetonový trám

výška trámu: $h_T = (1/17 \text{ až } 1/15) \cdot l_T$

šířka trámu: $b_{wT} = (1/3 \text{ až } 1/2) \cdot h_T$

Trám přenáší zatížení od desky ze *zatěžovací šířky* b_f vlastní tíhy a tíhy omítek boků do podpor. Podporou rozumíme věnec, nosnou stěnu, průvlak či sloup.

Trámy se kladou ve směru kratšího rozpětí půdorysu, které by mělo být v rozpětí 3,6 až 7,2 m.

Navrhujeme na:

$$M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2$$

$$l_{0T} = 1,05 \cdot l_{sT}$$

$$b_f = (l_{s2} + l_{s3}) / 2 + b_w$$

$$b_f = b_1 + b_2 + b_w$$

$$f_d^T = f_d^D \cdot b_f + g_d^T + g_d^{OMiT.}$$

$$g_k^T = b_w \cdot (h - h_d) \cdot 1 \cdot \rho_B$$

$$g_d^T = g_k^T \cdot 1,35$$

$$g_k^{OMiT.} = 2 \cdot t_{OMiT.} \cdot (h - h_d) \cdot 1 \cdot \rho_{OMiT.}$$

$$g_d^{OMiT.} = g_k^{OMiT.} \cdot 1,35$$

b_f ... *zatěžovací šířka [m]*

xx^T ... *horní index T ... trám*

$xx^{OM.}$... *horní index OM. ... omítka*

$t_{OMiT.}$... *tloušťka omítky [m]*

Postup při návrhu a posouzení trémového stropu:

① PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

a) návrh rozměrů trámu:

l_T ; b_{wT} , h_T

b) rozdělení trámů:

n ... *počet trámů*

$n+1$... *počet polí*

D ... *delší světlé rozpětí obdélníkového půdorysu*

$$D = n \cdot b_w + (n+1) \cdot l_s$$

$$L = 1,3 \text{ až } 2 \text{ m}$$

$$n+1 = D / L \gg \gg \text{ zaokrouhlíme na celé číslo}$$

$$l_{sv} = (D - n \cdot b_w) / (n+1)$$

$$l_{sk} = (D - [n \cdot b_w + (n+1) \cdot l_{sv}]) / 2$$

$$l_v = l_{sv} + b_w$$

$$l_k = l_{sk} + a_l + 1/2 \cdot b_w$$

c) návrh rozměrů desky: h_d

- ① **VÝPOČET ZATÍŽENÍ**
 - a) deska
 - b) trám
- ② **MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY**
 - a) deska
 - b) trám
- ③ **STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY**
 - a) deska
 - b) trám
- ④ **NÁVRH VÝZTUŽE**
 - a) deska
 - b) trám
- ⑤ **POSOUZENÍ PRŮŘEZU**
 - a) deska
 - b) trám
- ⑥ **NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE**
dle kapitoly 7.1.3.a

7.1.3 Deska konzolová

Jedná se o staticky určitý nosník, který se řeší jako jednostranně vetknutý nosník. Ohybový moment je vždy záporný, tzn. že tahem jsou vždy namáhána horní vlákna, výztuž se klade k hornímu kraji desky.

Římsy, přístřešky – tl. desky: $h_d = 1/14 \cdot l$

Balkony – tl. desky: $h_{d,min} = 1/10 \cdot l$

Pokud je vyložení desky velké, lze část horní výztuže (a to max. 1/3) převést v 1/4 rozpětí k dolnímu líci a tam je ukončit.

Pokud to jde, je vhodnější konzolovou desku nahradit nosníky nebo deskami s převislými konci!

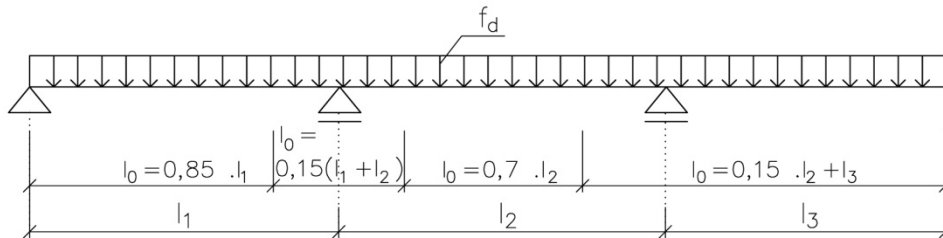
U balkonů, říms a přístřešků je nutné prokázat i bezpečnost proti překlopení.

7.1.2.b Deskový trám část 2

Deskový trám – železobetonový trám monoliticky spojen s ŽB deskou umístěnou u horního líce trámu. Při namáhání ohybovým momentem je tím pádem namáhána tlakem horní část trámu (žebra) a spolupůsobící šířka desky $\gg T$ -průřez s šířkou trámu b_w .

Spolupůsobící šířka

Spolupůsobící šířka b_{eff} – pro návrh se předpokládá rovnoměrné tlakové napětí v oblasti b_{eff} .



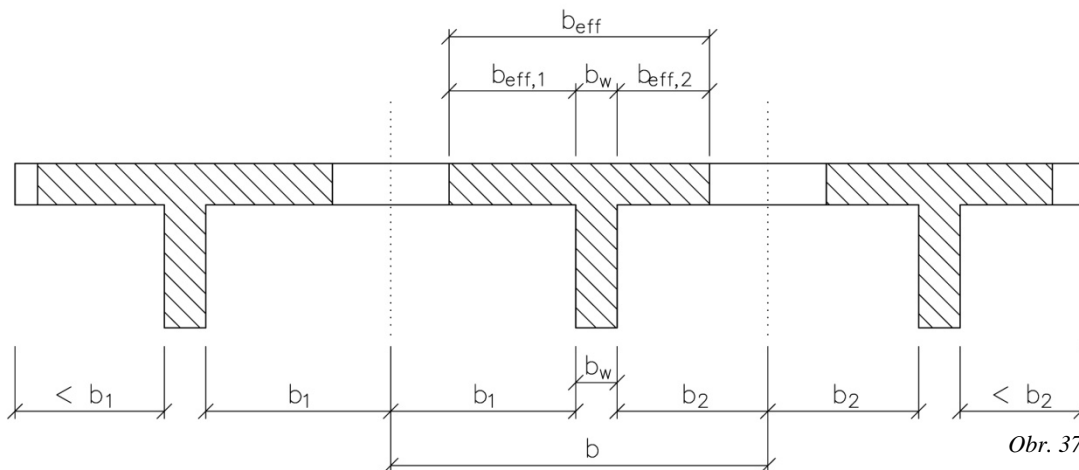
Obr.36

Velikost b_{eff} se určuje také na základě vzdálenosti místa na prutu s minimálním ohybovým momentem l_0 .

b_{eff} ... spolupůsobící šířka

b_w ... šířka trámu

l_0 ... rozpětí míst s nulovým ohybovým momentem dle polohy na spojitě desce



Obr. 37

Podmínky užití l_0 :

1) Délka převislého konce < než $\frac{1}{2}$ rozpětí přilehlého pole.

2) Rozpětí sousedních polí $\frac{2}{3}$ až $\frac{3}{2}$.

Při splnění podmínek potom $b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0$$

$$b_{eff,i} \leq b_i$$

Spolupůsobení desky a trámu je zajištěno nosnou výztuží desky probíhající kolmo na osu trámu a třmínky trámu zakotvenými v desce.

Spolupůsobení zajišťuje přídavná výztuž, ta je kolmá na osu trámu a plochou $\frac{1}{3} A_s$ desky. Tato výztuž musí vyhovět na posouzení smyku mezi deskou a trámem.

Použití otevřených třmínků je omezeno na oblast kladných ohybových momentů.

Návrh výztuže

- 1) *Neutrálná osa (n.o.) leží v desce $x \leq h_f$* (tlačená oblast obdélníková)
 >>> postup při návrhu výztuže je totožný jako při návrhu výztuže normální obdélníkového průřezu

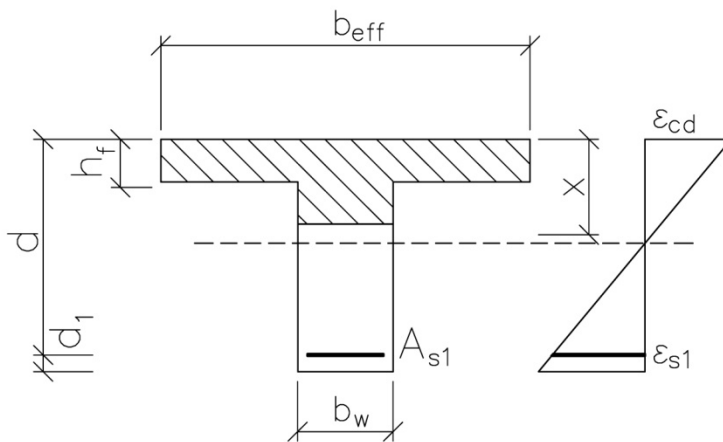
$$M_{Rd,f} = b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,5 \cdot h_f)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,f}$$

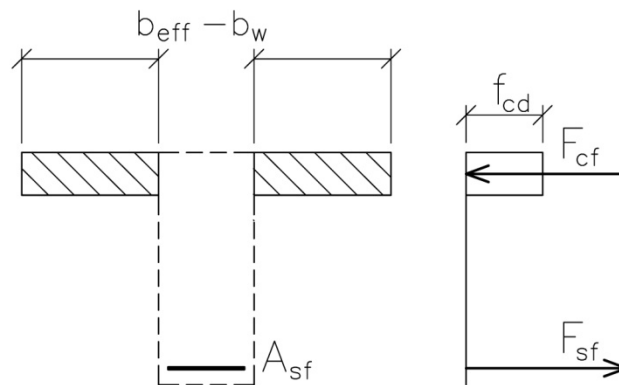
>>> T – průřez potom vyšetřujeme jako obdélníkový šířky $b = b_{eff}$

$M_{Rd,f}$... hraniční moment únosnosti [kNm]

- 2) *Neutrálná osa (n.o.) prochází trámem $x > h_f$* (tlačená oblast tvaru T)
 >>> tlačenou oblast rozdělíme na část 1. a část 2. dle obrázků

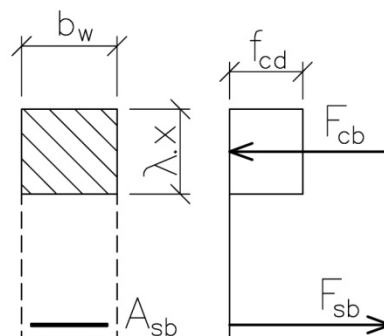


Obr. 38



Obr. 39

1. *Obdélníkový průřez šířky $b_{eff} - b_w$ a výšky h_f*



Obr. 40

2. *Obdélníkový průřez šířky b_w a výšky $\lambda \cdot x$*

$$M_{Ed} > M_{Rd,f}$$

>>> plochu výztuže určíme jako součet:

1. Obdélníkový průřez šířky $b_{eff} - b_w$ a výšky h_f
2. Obdélníkový průřez šířky b_w a výšky $\lambda \cdot x$

1.

$$F_{cf} = (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd}$$

$$A_{sf,req} = F_{cf} / f_{yd}$$

F_{cf} ... vnitřní síla od tlačného betonu z části $b_{eff} - b_w$ [kN]

$A_{sf,req}$... nutná plocha výztuže z části $b_{eff} - b_w$ [m²]

$$M_{cf} = F_{cf} \cdot (d - 0,5 \cdot h_f)$$

2.

$$M_{cb} = M_{Ed} - M_{cf}$$

$A_{sb,req}$... nutná plocha výztuže stanovená přímým výpočtem jako $A_{s,req}$ [m²]

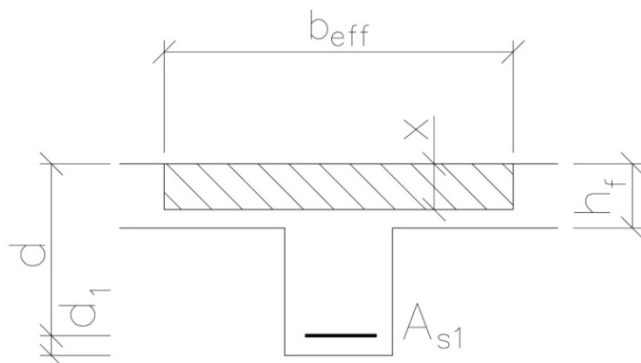
$$A_{s1req} = A_{sfreq} + A_{sbreq}$$

$$A_{s1} \geq A_{s1req}$$

A_{s1req} ... celková nutná plocha výztuže [m²]

Posouzení průřezu

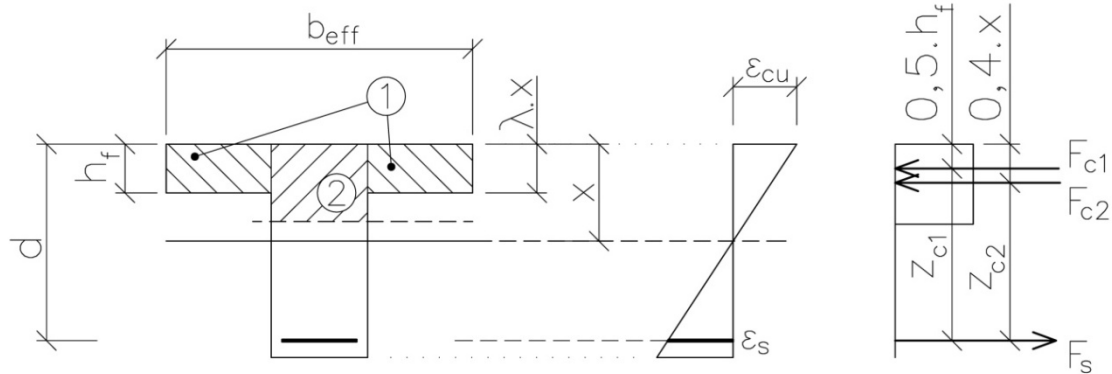
- 1) *Neutrálná osa (n.o.) leží v desce $x \leq h_f$* (tlačená oblast obdélníková)
>>> T- průřez potom vyšetřujeme jako obdélníkový šířky $b = b_{eff}$



Obr. 41

- 2) *Neutrálná osa (n.o.) prochází trámem $x > h_f$* (tlačená oblast tvaru T)
>>> tlačnou oblast rozdělíme na část 1 a část 2 dle obrázku

Obr. 42



$$F_{c1} + F_{c2} = F_s$$

$$F_{c1} = (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd}$$

$$F_{c2} = 0,8 \cdot x \cdot b_w \cdot f_{cd}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd}$$

$$\sigma_s = f_{yd}$$

$$\gg \gg (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot x \cdot b_w \cdot f_{cd}$$

x ... tlačená výška betonu

h_f ... tloušťka desky

z_{c1}, z_{c2} ...ramena vnitřních sil

$$x = [(b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd}] / 0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}$$

$$\xi \leq \xi_{bat,1}$$

$$\sigma_s = f_{yd}$$

$$z_{c1} = d - 0,5 \cdot h_f$$

$$z_{c2} = d - 0,4 \cdot x$$

$$M_{Rd} = (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot z_{c1} + 0,8 \cdot x \cdot b_w \cdot f_{cd} \cdot z_{c2}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

Smyk ve styku mezi stěnou a přilehlými deskami průřezu

Smyk je uvažován jako analogie se soustavou tlakových diagonál kombinovaných s táhly (taženou betonářskou výztuží).

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x)$$

$$\Delta F_d = b_{eff,i} \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd}$$

v_{Ed} ... podélné smykové napětí mezi stěnou a deskou průřezu

h_f ...tloušťka desky v místě připojení

Δx ... max. polovina vzdálenosti mezi průřezy s maximálním a nulovým momentem,

u osamělých břemen max. vzdálenost mezi osamělými břemeny.

Jiná literatura uvádí vzdálenost mezi průřezy s maximálním a nulovým momentem.

$$(A_{sf} / s_f) \geq v_{Ed} \cdot h_f / (f_{yd} \cdot \cot \Theta_f)$$

$$A_{sf} = v_{Ed} \cdot h_f \cdot s_f / (f_{yd} \cdot \cotg \Theta_f)$$

A_{sf} / s_f ... plocha příčné betonářské výztuže na jednotku délky připojení

Splnění podmínky kvůli zabránění rozdrčení tlakových diagonál v desce:

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \Theta_f \cdot \cos \Theta_f$$

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) [f_{ck} \text{ uvézt v MPa}]$$

$$1,0 \leq \cot \Theta_f \leq 2,0$$

$$45^\circ \geq \Theta_f \geq 26,5^\circ$$

Splnění podmínky znamená, že se nepožaduje větší výztuž než je nutná pro příčný ohyb:

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd}$$

7.2 Obecné zásady vyztužování

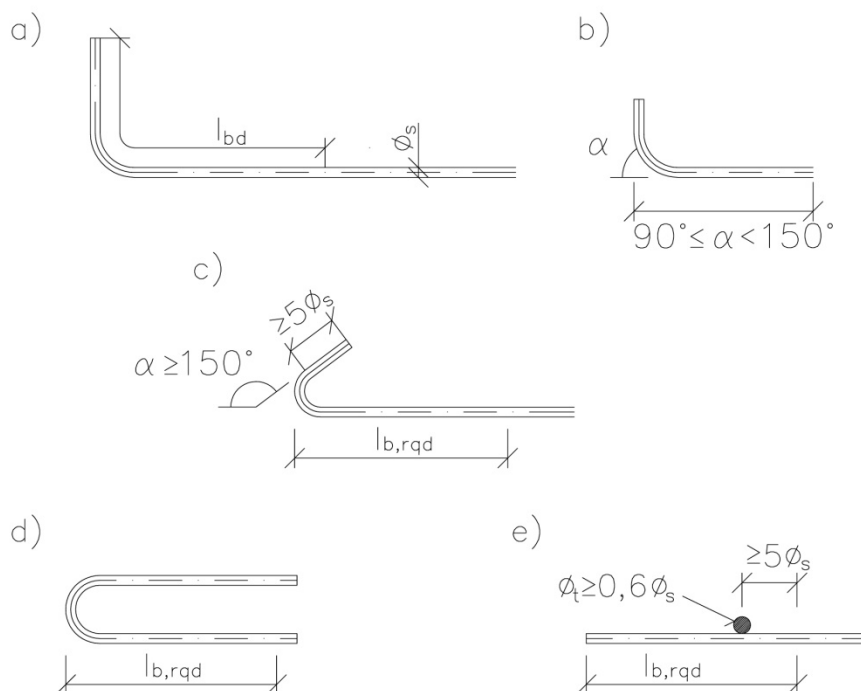
7.2.1 Kotvení výztuže

Používá se zejména betonářská ocel kotvená soudržností. Kotvení musí zajišťovat přenesení sil z výztuže do betonu a zabránit tak vzniku nežádoucích trhlin a odštěpování betonu.

V každém průřezu (příčném řezu) ŽB konstrukce se musí řezem protínat nosná, rozdělovací nebo pomocná výztuž.

Úpravy kotvení výztuže:

- a) základní kotevní délka měřená podél střednice, b) pravouhlý hák PUH, c) polokruhový hák PKH, d) smyčka, e) kotevní délka užitá při příčně převažené výztuži
Obr. 43



Délka kotvení výztuže za lícem podpory (také za teoretickou podporou):

- **min. $15 \cdot \phi_s$** u volného konce konzoly,
- **min. $\frac{1}{2} \cdot l_{bd}$** u podpory prostého nosníku, u krajní prostě uložené podpory spojitěho nosníku,
- **min. $6 \cdot \phi_s$** pro tačenou výztuž vetknutého nosníku, u spojitěho nosníku ve vnitřní podpoře,
- **min. l_{bd}** pro taženou výztuž vetknutého nosníku, u spojitěho nosníku ve vnitřní podpoře,
- kotevní délka výztuže za podporou musí být **přímá**. Pouze u koncové úpravy pravouhlý hák – můžeme ohnout vložku do pravého úhlu,
- svařované sítě musí mít **50 mm za lícem podpory min. 1 příčný prut**.

7.2.2 Zásady pro třmínky

Třmínek má tolik stříhů, kolik má svislých ramen.

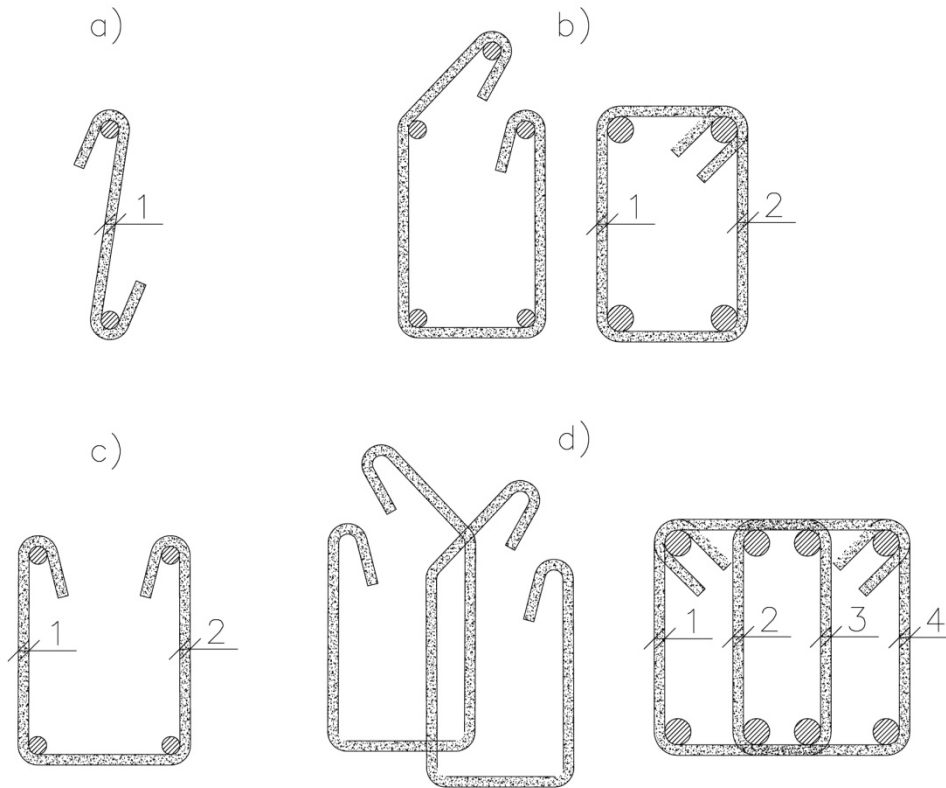
Pokud jsou za lícem podpory 2 třmínky, byla výztuž navržena jako nosná, pokud je za lícem 1 třmínek, jedná se o konstrukční třmínek.

Průměry třmínků: $\phi_{sw} \geq 0,25 \cdot \phi_s$ u třmínků stejné kvality oceli jako nosná výztuž
 $\phi_{sw} \geq 0,33 \cdot \phi_s$ u třmínků s nestejnou kvalitou oceli jako nosná výztuž

min. Ø4mm

Druhy třmínků:

a) jednostřížný, b) dvoustřížný uzavřený, c) dvoustřížný otevřený, d) čtyřstřížný
Obr. 44



Pozn. Konstrukční zásady a vyztužování sloupů jsou uvedeny zvlášť v kapitole ŽB sloupy.

7.1.3 Kotevní délky

Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{bd} \geq l_{b,min}$$

Pro ohnuté pruty se návrhová kotevní délka měří podél střednice výztužného prutu.

$l_{b,rqd}$... základní kotevní délka

$l_{b,min}$... minimální kotevní délka ... v tahu $l_{b,min} > \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100mm)$
v tlaku $l_{b,min} > \max(0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100mm)$

α_1 ... součinitel vlivu tvaru prutu za předpokladu odpovídající betonové krycí vrstvy
... tlačené a přímé tažené pruty $\alpha_1=1,0$
... tažené pruty s koncovou úpravou $\alpha_1=0,7$

α_2 ... součinitel vlivu tloušťky krycí vrstvy betonu a mezer mezi pruty
... tlačené pruty $\alpha_2=1,0$
... tažené pruty $\alpha_2 = 0,7$ až $1,0$

α_3 ... součinitel vlivu příčné výztuže ... tlačené pruty $\alpha_3=1,0$
... tažené pruty $\alpha_3 = 0,7$ až $1,0$

α_4 ... součinitel vlivu příčně přivařené výztuže ... pro všechny možnosti $\alpha_4=0,7$

α_5 ... součinitel vlivu tlaku kolmého na plochu štěpení podél návrhové kotevní délky u tažených prutů ... $\alpha_5 = 0,7$ až $1,0$

Musí být dodrženo: $\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0,7$

Základní kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \varnothing / 4 \cdot (\sigma_{Ed} / f_{bd})$$

Je závislá na druhu výztuže a vlastnostech prutů z hlediska soudržnosti.

$l_{b,rqd}$ je délka zabetonovaného přímého prutu potřebná k zachycení síly $A_s \cdot \sigma_{sd}$ stanovená za předpokladu, že napětí v soudržnosti je podél této kotevní délky konstantní hodnoty a rovná se f_{bd} .

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

f_{bd} ... mezní napětí v soudržnosti

K výpočtu kotevní délky je nutné znát **mezní napětí v soudržnosti**, které závisí na kvalitě betonu, podmínkách soudržnosti a povrchu výztuže (hladká, žebírková výztuž). Evropská norma neuvažuje pro vyztužování železobetonových prvků použití hladké výztuže. Pro žebírkovou výztuž se určuje návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti f_{bd} .

η_1 ... součinitel, zohledňující kvalitu podmínek soudržnosti a polohu prutu během

betonáže (podmínky uložení výztuže) ...

dobré podmínky $\eta_1 = 1,0$

pro ostatní případy (např. vodorovná výztuž více než 250mm nade dnem bednění) $\eta_1 = 0,7$

η_2 ... součinitel průměru výztuže \emptyset ... $\eta_2 = 1,0$... $\emptyset \leq 32$ mm

$\eta_2 = (132 - \emptyset)/100$... $\emptyset > 32$ mm

f_{ctd} ... návrhová pevnost betonu v tahu [MPa]

$$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_s$$

σ_{Ed} ... návrhové namáhání prutu v místě, odkud se měří kotvení

$$\sigma_{Ed} = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_s)$$

Přesahová délka:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

$$l_0 \geq l_{0,min}$$

Provádí se přesahem přímých prutů nebo prutů s háky. Styky nemají být navrhovány v oblastech maximálního namáhání, umístění v průřezu má být symetrické. Pokud jsou stykované pruty v jedné vrstvě a jsou splněna uvedená doporučení, je možno stykovat 100% tažených prutů, pro pruty ve více vrstvách má být podíl stykovaných prutů snížen na 50%.

$l_{0,min} > \max. (0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm})$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5$... se určí jako při stanovení l_{bd} podle výše uvedených vztahů návrhové kotevní délky

$$\alpha_6 = (\rho_1 / 25)^{1/2}$$

s omezením $\alpha_6 \leq 1,5$

ρ_1 ... % výztuže stykované přesahem

Tab. 19 Součinitel α_6

| Procento stykované výztuže | < 25% | 33% | 50% | > 50% |
|----------------------------|-------|------|-----|-------|
| α_6 | 1,0 | 1,15 | 1,4 | 1,5 |

Pozn. Mezi hodnotami se dá interpolovat.

7.3 Konstrukční zásady

7.3.1 Krycí vrstva betonu

Krytí výztuže betonem je vzdálenost mezi povrchem betonu a nejbližším povrchem výztuže (včetně třmínků).

$$c_d \geq c_{nom}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

c_{nom} ... nominální (jmenovitá) tloušťka krycí vrstvy betonu,

c_{min} ... minimální hodnota krytí (stanoveno s ohledem na stupeň vlivu prostředí apod.),

Δc_{dev} ... možná tolerance, doporučená hodnota $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$.

Pozn. Při výrobě prefabrikátů se uvažuje $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$.

Při betonáži na upravený povrch zeminy se doporučuje $\Delta c_{dev} = 45 \text{ mm}$.

Při betonáži na neupravený povrch zeminy se doporučuje $\Delta c_{dev} = 75 \text{ mm}$.

$$c_{min} = \max. (c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$$

$c_{min,b}$... minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti,

$c_{min,dur}$... minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku prostředí.

$$c_{min,b} \geq \emptyset \text{ nebo } \emptyset n$$

$$c_{min,b} \geq (\emptyset + 5 \text{ mm}) \text{ nebo } (\emptyset n + 5 \text{ mm}) \text{ při } d_g > 32 \text{ mm}$$

\emptyset ... průměr výztužného prutu,

$\emptyset n$... náhradní průměr skupinové vložky,

d_g ... největší jmenovitý rozměr zrna kameniva.

Minimální hodnoty krytí $c_{min,dur}$ požadované z hlediska prostředí

| Požadavek prostředí pro $c_{min,dur}$ [mm] | | | | | | | |
|--|------------------|-----|---------|-----|---------|---------|---------|
| Konstrukční třída | Stupeň prostředí | | | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2/XC3 | XC4 | XD1/XS1 | XD2/XS2 | XD3/XS3 |
| S1 | 10 | 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| S2 | 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| S3 | 10 | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| S4 | 10 | 15 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| S5 | 15 | 20 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| S6 | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |

Tab. 20

Pozn. Pro návrhovou životnost 50 let je konstrukční třída S4.

Doporučená úprava konstrukčních tříd

| Třída konstrukce | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Kritérium | Stupeň prostředí | | | | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XD1 | XD2 | XD3 |
| Návrhová životnost 80 let | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 | zvětšit třídu o 1 |
| Návrhová životnost 100 let | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 | zvětšit třídu o 2 |
| Pevnostní třída | C20/25 zmenšit třídu o 1 | C25/30 zmenšit třídu o 1 | C30/37 zmenšit třídu o 1 | C35/45 zmenšit třídu o 1 | C40/50 zmenšit třídu o 1 | C40/50 zmenšit třídu o 1 | C40/50 zmenšit třídu o 1 | C45/55 zmenšit třídu o 1 |
| Deskové konstrukce (poloha výztuže není ovlivněna výrobním postupem) | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 |
| Zajištěna zvláštní kontrola kvality betonu | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 | zmenšit třídu o 1 |

Tab. 21

Pozn. Co je doporučené, není závazné. Mohu tedy či nemusím použít tuto tabulku.

Stupně vlivu prostředí vztahující se k podmínkám prostředí podle EN 206-1

| Označení prostředí | Popis prostředí | Informativní příklady prostředí | Min. hodnoty – třída betonu ¹⁾ ; w/c; množství cementu ²⁾ kg/m ³ |
|--|--|--|---|
| 1. Bez rizika poškození | | | |
| X0 | Beton bez výztuže nebo s výztuží v suchém prostředí | Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu | C12/15 |
| 2. Koroze způsobená karbonatací | | | |
| XC1 | Suché, stále mokré | Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu, beton trvale ponořený ve vodě | C20/25; 0,65; 260 |
| XC2 | Mokré, občas suché | Povrchy betonů vystavené dlouhodobému působení vody; většina základových konstrukcí | C25/30; 0,55; 280 |
| XC3 | Středně vlhké | Beton uvnitř budov se střední nebo velkou vlhkostí vzduchu; venkovní beton chráněný proti dešti | C30/37; 0,50; 300 |
| XC4 | Střídavě mokré a suché | Povrchy betonů ve styku s vodou, ne však ve stupni XC2 | C30/37; 0,50; 300 |
| 3. Koroze způsobená chloridy | | | |
| XD1 | Středně vlhké | Povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu | C30/37; 0,55; 300 |
| XD2 | Mokré, zřídka suché | Plavecké bazény; betonové součásti vystavené působení průmyslových vod obsahujících chloridy | C30/37; 0,55; 300 |
| SD3 | Střídavě mokré a suché | Části mostů vystavené postřiku obsahujícímu chloridy; vozovky; desky parkovišť | C35/45; 0,45; 320 |
| 4. Koroze způsobená chloridy z mořské vody | | | |
| XS1 | Vystavené slanému vzduchu, ale ne ve styku s mořskou vodou | Stavby na mořském pobřeží a v jeho blízkosti | C30/37; 0,50; 300 |
| XS2 | Trvale ponořené | Části staveb na moři | C35/45; 0,45; 320 |
| XS3 | Smáčené a postříkované přílivem | Části staveb na moři | C35/45; 0,45; 320 |
| 5. Poškození betonu – střídavé působení mrazu a rozmrzání | | | |
| XF1 | Mírně nasycen vodou, bez rozmrazovacích prostředků | Svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu | C30/37; 0,55; 300 ⁴⁾ |
| XF2 | Mírně nasycen vodou, s rozmrazovacími prostředky | Svislé betonové povrchy konstrukcí, pozemních komunikací vystavené mrazu, rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu | C25/30; 0,55; 300 ⁴⁾⁵⁾ |
| XF3 | Značně nasycen vodou, bez rozmrazovacích prostředků | Vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu | C30/37; 0,50; 320 ⁴⁾⁵⁾ |
| XF4 | Značně nasycen vodou, s rozmrazovacími prostředky | Vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům; betonové povrchy vystavené dešti a mrazu | C30/37; 0,50; 340 ⁴⁾⁵⁾ |
| 6. Poškození betonu – chemické napadení | | | |
| XA1 | Slabě agresivní prostředí ³⁾ | Přírodní zemina a spodní voda | C30/37; 0,55; 300 |
| XA2 | Středně agresivní prostředí ³⁾ | Přírodní zemina a spodní voda | C30/37; 0,50; 320 ⁶⁾ |
| XA3 | Vysoce agresivní prostředí ³⁾ | Přírodní zemina a spodní voda | C35/45; 0,45; 360 ⁶⁾ |

Tab. 22

Pozn. 1) Doporučená pevnostní třída betonu podle informativní přílohy E normy EN 1992-1-1; 2) Podle EN 206-1 tabulka F.1; 3) Podle EN 206-1 tabulka A; 4) Kamenivo s dostatečnou mrazuvzdorností EN12620; 5) Minimální obsah vzduchu 4,0; 6) Síranovzdorný cement

7.3.2 Tabulky průřezových ploch výztuže

Tab. 23 Průřezová plocha prutů dle vzdálenosti výztuže

| Vzdálenost vložek [mm] | Průměr prutů A_s [$1 \text{ mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$] | | | | | | | | | |
|------------------------|---|-----|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 |
| 70 | 404 | 718 | 1122 | 1616 | 2199 | 2872 | 3635 | 4488 | 55431 | 7013 |
| 75 | 377 | 670 | 1047 | 1508 | 1053 | 2681 | 3393 | 4189 | 5069 | 6545 |
| 80 | 353 | 628 | 982 | 1414 | 1924 | 2513 | 3181 | 3927 | 4752 | 6136 |
| 85 | 333 | 591 | 924 | 1331 | 1811 | 2366 | 2994 | 3696 | 4472 | 5775 |
| 90 | 314 | 559 | 873 | 1257 | 1711 | 2234 | 2828 | 3491 | 4224 | 5454 |
| 95 | 298 | 529 | 827 | 1191 | 1629 | 2117 | 2679 | 3307 | 4002 | 5170 |
| 100 | 283 | 503 | 785 | 1131 | 1539 | 2011 | 2545 | 3124 | 3802 | 4909 |
| 105 | 269 | 479 | 748 | 1077 | 1466 | 1915 | 2424 | 2992 | 3621 | 4675 |
| 110 | 257 | 457 | 714 | 1028 | 1400 | 1828 | 2313 | 2865 | 3456 | 4463 |
| 115 | 246 | 437 | 683 | 984 | 1339 | 1748 | 2213 | 2732 | 3306 | 4269 |
| 120 | 236 | 419 | 655 | 943 | 1283 | 1676 | 2121 | 2618 | 3168 | 4091 |
| 125 | 226 | 402 | 628 | 905 | 1232 | 1609 | 2036 | 2513 | 3041 | 3927 |
| 130 | 217 | 387 | 604 | 870 | 1184 | 1547 | 1958 | 2417 | 2924 | 3776 |
| 135 | 209 | 372 | 582 | 838 | 1140 | 1489 | 1885 | 2327 | 2816 | 3636 |
| 140 | 202 | 359 | 561 | 808 | 1100 | 1436 | 1818 | 2244 | 2715 | 3506 |
| 145 | 195 | 347 | 542 | 780 | 1062 | 1387 | 1755 | 2167 | 2622 | 3386 |
| 150 | 188 | 335 | 524 | 754 | 1026 | 1340 | 1697 | 2095 | 2534 | 3273 |
| 155 | 182 | 324 | 507 | 730 | 993 | 1297 | 1642 | 2027 | 2453 | 3167 |
| 160 | 177 | 314 | 491 | 707 | 962 | 1257 | 1591 | 1964 | 2376 | 3068 |
| 165 | 171 | 305 | 476 | 685 | 933 | 1219 | 1542 | 1904 | 2304 | 2975 |
| 170 | 166 | 296 | 462 | 665 | 906 | 1183 | 1497 | 1848 | 2236 | 2888 |
| 175 | 162 | 287 | 449 | 646 | 880 | 1149 | 1454 | 1795 | 2172 | 2805 |
| 180 | 157 | 279 | 436 | 628 | 855 | 1117 | 1414 | 1745 | 2112 | 2727 |
| 185 | 153 | 272 | 425 | 611 | 832 | 1087 | 1376 | 1698 | 2055 | 1654 |
| 190 | 149 | 265 | 413 | 595 | 810 | 1058 | 1339 | 1654 | 2001 | 2584 |
| 195 | 145 | 258 | 403 | 580 | 789 | 1031 | 1305 | 1611 | 1950 | 2517 |
| 200 | 141 | 251 | 393 | 566 | 770 | 1005 | 1272 | 1571 | 1901 | 2455 |
| 210 | 135 | 239 | 374 | 539 | 733 | 957 | 1212 | 1496 | 1811 | 2338 |
| 220 | 129 | 228 | 357 | 514 | 700 | 914 | 1157 | 1428 | 1728 | 2232 |
| 230 | 123 | 219 | 341 | 492 | 669 | 874 | 1106 | 1366 | 1653 | 2135 |
| 240 | 118 | 209 | 327 | 471 | 641 | 838 | 1060 | 1309 | 1584 | 2046 |
| 250 | 113 | 201 | 314 | 452 | 616 | 804 | 1018 | 1257 | 1521 | 1964 |
| 260 | 109 | 193 | 302 | 435 | 592 | 733 | 979 | 1209 | 1462 | 1888 |
| 280 | 101 | 180 | 280 | 404 | 550 | 718 | 909 | 1122 | 1358 | 1753 |
| 300 | 94 | 168 | 262 | 377 | 513 | 670 | 848 | 1048 | 1267 | 1637 |
| 320 | 88 | 157 | 245 | 353 | 481 | 628 | 795 | 982 | 1188 | 1534 |
| 340 | 83 | 148 | 231 | 333 | 453 | 591 | 748 | 924 | 1118 | 1444 |
| 360 | 79 | 140 | 218 | 314 | 428 | 559 | 707 | 873 | 1056 | 1364 |
| 380 | 74 | 132 | 207 | 298 | 405 | 529 | 670 | 827 | 1001 | 1292 |
| 400 | 71 | 126 | 196 | 283 | 385 | 503 | 636 | 786 | 951 | 1228 |

Tab. 24 Průřezová plocha výztuže podle počtu prutů

| Obvod průřezu $\phi = \pi \cdot d_s$ mm | Hmotnost 1m prutu kg/m | Profil prutů d_s mm | Průřezová plocha $A_s = \pi \cdot d_s^2 / 4 \times$ počet prutů [mm ²] | | | | | | | | |
|---|------------------------------|--------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | | Počet prutů | | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 12,6 | 0,099 | 4 | 0,13 | 0,25 | 0,38 | 0,50 | 0,63 | 0,75 | 0,88 | 1,01 | 1,13 |
| 14,1 | 0,125 | 4,5 | 0,16 | 0,32 | 0,48 | 0,64 | 0,80 | 0,95 | 1,11 | 1,27 | 1,43 |
| 15,7 | 0,154 | 5 | 0,20 | 0,39 | 0,59 | 0,79 | 0,98 | 1,18 | 1,37 | 1,57 | 1,77 |
| 17,3 | 0,187 | 5,5 | 0,24 | 0,48 | 0,71 | 0,95 | 1,19 | 1,43 | 1,66 | 1,90 | 2,14 |
| 18,8 | 0,222 | 6 | 0,28 | 0,57 | 0,85 | 1,13 | 1,41 | 1,70 | 1,98 | 2,26 | 2,54 |
| 20,4 | 0,260 | 6,5 | 0,33 | 0,66 | 1,0 | 1,33 | 1,66 | 1,99 | 2,32 | 2,65 | 2,99 |
| 22,0 | 0,302 | 7 | 0,38 | 0,77 | 1,15 | 1,54 | 1,92 | 2,31 | 2,69 | 3,08 | 3,46 |
| 23,6 | 0,347 | 7,5 | 0,44 | 0,88 | 1,33 | 1,77 | 2,21 | 2,65 | 3,09 | 3,53 | 3,98 |
| 25,1 | 0,395 | 8 | 0,50 | 1,01 | 1,51 | 2,01 | 2,51 | 3,02 | 3,52 | 4,02 | 4,52 |
| 26,7 | 0,445 | 8,5 | 0,57 | 1,13 | 1,70 | 2,27 | 2,84 | 3,54 | 4,25 | 4,96 | 5,67 |
| 28,3 | 0,499 | 9 | 0,64 | 1,27 | 1,91 | 2,54 | 3,18 | 3,82 | 4,45 | 5,09 | 5,73 |
| 29,8 | 0,556 | 9,5 | 0,71 | 1,42 | 2,13 | 2,84 | 3,54 | 4,25 | 4,96 | 5,67 | 6,38 |
| 31,4 | 0,617 | 10 | 0,79 | 1,57 | 2,36 | 3,14 | 3,93 | 4,71 | 5,50 | 6,28 | 7,07 |
| 37,7 | 0,888 | 12 | 1,13 | 2,26 | 3,39 | 4,52 | 5,65 | 6,79 | 7,92 | 9,05 | 10,18 |
| 44,0 | 1,208 | 14 | 1,54 | 3,08 | 4,62 | 6,16 | 7,70 | 9,24 | 10,78 | 12,32 | 13,85 |
| 50,3 | 1,578 | 16 | 2,01 | 4,02 | 6,03 | 8,04 | 10,05 | 12,06 | 14,07 | 16,08 | 18,10 |
| 56,5 | 1,998 | 18 | 2,54 | 5,09 | 7,63 | 10,18 | 12,72 | 15,27 | 17,81 | 20,36 | 22,90 |
| 62,8 | 2,466 | 20 | 3,14 | 6,28 | 9,42 | 12,57 | 15,71 | 18,85 | 21,99 | 25,13 | 28,27 |
| 69,1 | 2,984 | 22 | 3,80 | 7,60 | 11,40 | 15,21 | 19,01 | 22,81 | 26,61 | 30,41 | 34,21 |
| 78,5 | 3,853 | 25 | 4,91 | 9,82 | 14,73 | 19,63 | 24,54 | 29,45 | 34,36 | 39,27 | 44,18 |
| 88,0 | 4,834 | 28 | 6,16 | 12,32 | 18,47 | 24,63 | 30,79 | 36,95 | 43,10 | 49,26 | 55,42 |
| 100,5 | 6,313 | 32 | 8,04 | 16,08 | 24,13 | 32,17 | 40,21 | 48,25 | 56,30 | 64,34 | 72,38 |
| 113,1 | 7,990 | 36 | 10,18 | 20,36 | 30,54 | 40,72 | 50,89 | 61,07 | 71,25 | 81,43 | 91,61 |
| 122,5 | 9,3378 | 39 | 11,95 | 23,89 | 35,84 | 47,78 | 59,73 | 71,68 | 83,62 | 95,57 | 107,51 |
| 157,1 | 15,413 | 50 | 19,63 | 39,27 | 58,90 | 78,54 | 98,17 | 117,81 | 137,44 | 157,08 | 176,71 |

8 Návrh a posouzení železobetonových konstrukcí

8.1 Návrh a posouzení ŽB ohýbaných prvků

8.1.1 Deskové konstrukce

Podle statického působení a uspořádání výztuže dělíme:

1) *desky vyztužené v jednom směru* – jsou uloženy minimálně po dvou delších stranách, přičemž poměr stran je větší než 2:1

2) *desky vyztužené křížem* – jen desky podepřené po celém obvodu, přičemž poměr stran je v rozmezí 1:1 až 2:1

8.1.1.1 Desky vyztužené v jednom směru

8.1.1.1.a Deska prostě uložená

Zadání: Navrhněte prostě uloženou železobetonovou stropní desku v kancelářské budově pod místností kanceláře, která je uložena na zdivu tl. 450 mm, světlé rozpětí $l_s = 2400$ mm, světlá délka desky 5 m (dle půdorysu). Návrhová životnost desky 50 let, stupeň vlivu prostředí X0 (suché). Návrhová hodnota stálého zatížení od skladby podlahy bez vlastní tíhy desky $g_d = 8,2 \text{ kN.m}^{-2}$. Kombinaci zatížení f_d je ale nutno vypočítat na základě hodnoty g_d a q_d v závislosti na kategorii budovy. Beton uvažujte třídy C16/20, betonářskou výztuž 10505 (R).

1 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

$$h_d = \begin{aligned} &\min. (1/25) \cdot l = (1/25) \cdot 2400 = 96 \text{ mm} \\ &\text{opt. } (1/20) \cdot l = (1/20) \cdot 2400 = 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

Navrhuji >>> $h_d = 110 \text{ mm}$

h_d ... tloušťka desky [mm]

$$u \geq 100 \text{ mm} \quad a_1 \geq 40 \text{ mm}$$

$$u \geq h_d = 150 \text{ mm} \quad a_1 = \min. \{ \frac{1}{2} \cdot h_d; \frac{1}{2} \cdot u \} = 55 \text{ mm}$$

u ... uložení desky [mm]

$$l = l_s + 2 \cdot a_1 = 2400 + 2 \cdot 55 = 2510 \text{ mm} = \underline{2,51 \text{ m}}$$

l ... účinné (teoretické) rozpětí desky [m]

2 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

Stálé zatížení (bez vlastní tíhy) $g_d = 8,2 \text{ kN.m}^{-2}$

VI. tíha desky $0,11 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN.m}^{-3} \cdot 1,1 \cdot 1,35 = 3,71 \text{ kN/m}^2$

Proměnné zatížení >>> kat. B $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

$$q_d = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace $f_d = 8,2 + 3,71 + 4,5 = \underline{16,41 \text{ kN/m}^2}$

3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 16/1,5 = \underline{10,66 \text{ MPa}}$$

$$\xi_{bal,1} = 700 / (700 + f_{yd}) = 70 / (700 + 426,087) = 0,622$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 490/1,15 = \underline{426,087 \text{ MPa}}$$

4 STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY

$$M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2 = 1/8 \cdot 16,41 \cdot 2,51^2 = \underline{12,92 \text{ kNm}}$$

5 NÁVRH VÝZTUŽE

Krycí vrstva betonu:

$$c_{min} = \max. \{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\}$$

$$= \max. \{12+5; 10; 10\} = 17 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset + 5 = 17 \text{ mm}; \emptyset = (1/10) \cdot h_d = 11 \text{ mm} \gg \gg 12 \text{ mm}$$

$$\text{životnost 50let} \gg \gg S4 \gg \gg X0 \gg \gg 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 17 + 10 = 27 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 27 \text{ mm} \leq c_d = \underline{30 \text{ mm}}$$

Určení polohy vnitřních sil:

$$d_1 = c_d + (1/2) \cdot \emptyset = 30 + 6 = 36 \text{ mm}$$

$$d = h_d - d_1 = 110 - 36 = 74 \text{ mm} = 0,074 \text{ m}$$

d ... účinná výška průřezu [m]

Nutná plocha výztuže:

$$A_{s,req} = [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{Ed}) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\}$$

$$= [(1,0 \cdot 0,074 \cdot 1 \cdot 10,66 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)]$$

$$\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 12,92) / (1,0 \cdot 0,074^2 \cdot 1 \cdot 10,66 \cdot 10^3)]^{1/2}\} =$$

$$= 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25328 = \underline{4,686 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\text{Navrhuj} \gg \gg R\emptyset 12 / 200 \text{ mm}; (A_s = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$A_{s,req} \dots \text{nutná plocha výztuže [m}^2\text{]}$$

$$A_s \dots \text{skutečná plocha výztuže [m}^2\text{]}$$

Pozn. Do POSOUZENÍ dosazujeme pouze skutečnou plochu výztuže.

Rozdělovací výztuž:

$$A_{R.V.} = 20\% \cdot A_s = 0,2 \cdot 5,65 \cdot 10^{-4} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhují} \gg \gg A_{R.V.} = 6\emptyset R / 250 (A_s = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

Vzdálenost R.V.:

$$s_{\max} = \min. \{3 \cdot h_d; 400\} = \min. (330; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 300 \text{ mm} \geq s = 250 \text{ mm}$$

Min. a max. plocha výztuže:

$$\begin{aligned} A_{s,\min} &= 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk} \\ &= 0,26 \cdot (1,9 \cdot 1,0,074) / 490 \cdot 10^3 = 7,46 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,\min} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0,074 = 9,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\max} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_d = 0,04 \cdot 1,0,11 = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} \leq A_s = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\max}$$

Vzdálenost nosné výztuže:

$$s_{\max} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (220; 300) = 220 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 220 \text{ mm} \geq s = 200 \text{ mm}$$

6 POSOUZENÍ PRŮŘEZU

$$x = (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

$$= 5,65 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 10,66 \cdot 10^3)$$

$$= \underline{0,02823 \text{ m}}$$

$$\xi = x / d = 0,02823 / 0,074 = \underline{0,38149}$$

$$\xi = 0,38149 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,074 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,02823 = \underline{0,0627 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,65 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = \underline{240,74 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 240,74 \cdot 0,0627 = \underline{15,094 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 15,094 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 12,92 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE $R\emptyset 12 / 200 \text{ mm}$

Pozn. Výztuž v podpoře: Deska je na svém okraji částečně vetknutá, neuvažuje se však ve svém výpočtu. Navrhujeme horní výztuž na $0,25 \cdot M_{Ed}$. Délka výztuže od podpory $0,2 \times$ délka přilehlého pole.

8.1.1.1.b Deska oboustranně vetknutá

Zadání: Navrhnete oboustranně vyztuženou stropní desku pod místností bytového domu, jež má světlé rozpětí $l_s = 3,8\text{m}$ a délka $12,6\text{m}$ (dle půdorysu). Požadovaná životnost desky se uvažuje 80 let, stupeň vlivu prostředí XC1. Deska je zatížena rovnoměrným spojitém zatížením f_d , které spočítáme na základě návrhových hodnot stálého a proměnného zatížení. Charakteristická hodnota stálého zatížení $g_k = 5,0\text{kN/m}^2$ je uvažována bez vlastní tíhy desky. Použijte beton C20/25 a betonářskou ocel 10 425 (V).

1 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

$$h_d = \begin{aligned} &(1/30) \cdot l = (1/30) \cdot 3800 = 127 \text{ mm} \\ &(1/35) \cdot l = (1/35) \cdot 3800 = 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

Navrhuji $\gg \gg$ $h_d = 120 \text{ mm}$

$$l = l_s = \underline{3,80 \text{ m}}$$

2 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

Stálé zatížení (bez vl. tíhy) $g_k = 4,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot 5 = 6,75 \text{ kN/m}^2$$

Vl. tíha desky $0,12\text{m} \cdot 25\text{kN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 = 4,05 \text{ kN/m}^2$

Proměnné zatížení $\gg \gg$ kat. $A_{qk} = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$$q_d = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace $f_d = 6,75 + 4,05 + 3,0 = \underline{13,80 \text{ kN/m}^2}$

3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = \underline{13,33 \text{ MPa}}$$

$$\xi_{bal,1} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 356,528) = 0,663$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 410 / 1,15 = \underline{356,528 \text{ MPa}}$$

4 STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY

V podpoře:

$$M_a = -(1/12) \cdot f_d \cdot l^2 = -(1/12) \cdot 13,80 \cdot 3,80^2 = \underline{-16,606 \text{ kNm}}$$

V poli:

$$M_1 = 1/16 \cdot f_d \cdot l^2 = 1/16 \cdot 13,80 \cdot 3,80^2 = \underline{12,45 \text{ kNm}}$$

5 NÁVRH VÝZTUŽE

Krycí vrstva betonu:

$$c_{\min} = \max. \{c_{\min,b}; c_{\min,dur}; 10\}$$

$$= \max. \{19; 20; 10\} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\min,b} = \emptyset + 5 = 19 \text{ mm}$$

Navrhují Ø14 mm

životnost 80let >>> S5 >>> XC1 >>> 20 mm

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 30 \text{ mm} \leq c_d = \underline{30 \text{ mm}}$$

Určení polohy vnitřních sil:

$$d_1 = c_d + (1/2) \cdot \emptyset = 30 + 7 = 37 \text{ mm}$$

$$d = h_d - d_1 = 120 - 37 = 83 \text{ mm} = 0,083 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže:

V podpoře:

$$A_{s,\text{req}} = [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{Ed}) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\}$$

$$= [(1,0,083 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (356,528 \cdot 10^3)]$$

$$\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 16,606) / (1,0,083^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} =$$

$$= 3,104 \cdot 10^{-3} \cdot 0,20099 = \underline{6,238 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Navrhují >>> VØ14/230 mm; ($A_s = 6,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

V poli:

$$A_{s,\text{req}} = [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{Ed}) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\}$$

$$= [(1,0,083 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (356,528 \cdot 10^3)]$$

$$\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 12,45) / (1,0,083^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} =$$

$$= 3,104 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1462 = \underline{4,538 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Navrhují >>> VØ14/240 mm; ($A_s = 6,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Rozdělovací výztuž:

V podpoře:

$$A_{R.V.} = 20\% \cdot A_s = 0,2 \cdot 6,69 \cdot 10^{-4} = 1,339 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhuji } \gg \gg A_{R.V.} = 6\emptyset R / 210 \text{ mm } (A_s = 1,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

V poli:

$$A_{R.V.} = 20\% \cdot A_s = 0,2 \cdot 6,41 \cdot 10^{-4} = 1,282 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhuji } \gg \gg A_{R.V.} = 6\emptyset R / 220 \text{ mm } (A_s = 1,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

Vzdálenost R.V.:

$$s_{\max} = \min. \{3 \cdot h_d; 400\} = \min. (240; 300) = 240 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm} \geq s = 210 \text{ mm}$$

$$\geq s = 220 \text{ mm}$$

Min. a max. plocha výztuže:

V podpoře:

$$\begin{aligned} A_{s,\min} &= 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk} \\ &= 0,26 \cdot (2,2 \cdot 1,0 \cdot 0,083) / 410 \cdot 10^3 = 11,57 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,\min} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,083 = 1,079 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\max} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_d = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 12 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} \leq A_s = 6,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\max}$$

V poli:

$$A_{s,\min} \leq A_s = 6,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\max}$$

Vzdálenost nosné výztuže:

V podpoře:

$$s_{\max} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (240; 300) = 240 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm} \geq s = 230 \text{ mm}$$

V poli:

$$s_{\max} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (240; 300) = 240 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm} \geq s = 240 \text{ mm}$$

6 POSOUZENÍ PRŮŘEZU

V podpoře:

$$\begin{aligned}x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\&= 6,69 \cdot 10^{-4} \cdot 356,528 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) \\&= \underline{0,02236 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$\xi = x / d = 0,02236 / 0,083 = \underline{0,2843}$$

$$\xi = 0,2843 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,663$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,083 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,02236 = \underline{0,0741 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 6,69 \cdot 10^{-4} \cdot 356,528 \cdot 10^3 = \underline{238,517 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 238,517 \cdot 0,0741 = \underline{17,674 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 17,674 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 16,606 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE VØ14/ 230 mm

V poli:

$$\begin{aligned}x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\&= 6,41 \cdot 10^{-4} \cdot 356,528 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) \\&= \underline{0,02143 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$\xi = x / d = 0,02143 / 0,083 = \underline{0,2582}$$

$$\xi = 0,2582 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,663$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,083 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,02143 = \underline{0,0744 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 6,41 \cdot 10^{-4} \cdot 356,528 \cdot 10^3 = \underline{228,534 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 228,534 \cdot 0,0744 = \underline{17,003 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 17,003 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 12,45 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE VØ14/ 240 mm

8.1.1.1.c Deska spojitá o dvou polích

Zadání: Navrhněte železobetonovou spojitou desku o dvou polích nad místností školní třídy. Světla délka obou polí $l_{s1} = l_{s2} = 3,6$ m. Pod vnitřní podporou se nachází průvlak obdélníkového průřezu šířky $b_w = 0,3$ m. Zatížení desky návrhovým spojitým rovnoměrným zatížením o velikosti $f_d = 12$ kN/m². Uvažujte beton C25/30, ocel 10 425(V). Stupeň vlivu prostředí uvažujte XC1, životnost 80 let.

1 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

$$h_d = (1/35) \cdot l_s = (1/35) \cdot 3,6 = 102 \text{ mm}$$
$$(1/30) \cdot l_s = (1/30) \cdot 3,6 = 120 \text{ mm}$$

Navrhuji $\gg \gg h_d = 120 \text{ mm}$

$$u \geq 100 \text{ mm} \quad a_l \geq 40 \text{ mm}$$

$$u \geq h_d = 120 \text{ mm} \quad a_l = \min. \{ \frac{1}{2} \cdot h_d; \frac{1}{2} \cdot u \} = 60 \text{ mm}$$

$$l_1 = l_{s1} + a_l + \frac{1}{2} \cdot b_w = 3600 + 60 + \frac{1}{2} \cdot 300 = \underline{3,81 \text{ m}}$$

$$l_2 = l_{s2} + a_l + \frac{1}{2} \cdot b_w = 3600 + 60 + \frac{1}{2} \cdot 300 = \underline{3,81 \text{ m}}$$

2 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

$$f_d = 12,0 \text{ kN/m}^2$$

3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 25/1,5 = \underline{16,66 \text{ MPa}}$$

$$\xi_{bal,1} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 356,52) = 0,6625$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 410/1,15 = \underline{356,52 \text{ MPa}}$$

4 STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY

$$M_b = -1/10 \cdot f_d \cdot l_1^2 = -1/10 \cdot 12,0 \cdot 3,81^2 = \underline{-17,42 \text{ kNm}}$$

$$M_I = M_{II} = 1/11 \cdot f_d \cdot l_1^2 = 1/11 \cdot 12,0 \cdot 3,81^2 = \underline{15,454 \text{ kNm}}$$

5 NÁVRH VÝZTUŽE

Krycí vrstva betonu:

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \} = \max \{ 15; 20; 10 \} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset + 5 = 15 \text{ mm}$$

Navrhuji $\emptyset 10 \text{ mm}$

životnost 80 let $\gg \gg S5 \gg \gg XC1 \gg \gg 20 \text{ mm}$

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 30 \text{ mm} \leq c_d = 30 \text{ mm}$$

UrčnÍpolohyvnitřníchsíl:

$$d_1 = c_d + (1/2) \cdot \emptyset = 30 + 5 = 35 \text{ mm}$$

$$d = h_d - d_1 = 120 - 35 = 85 \text{ mm} = 0,085 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže:

Pole ($M_l = M_{ll} = 15,454 \text{ kNm}$):

$$\begin{aligned} A_{s,\text{req}} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_l) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,085 \cdot 1,16,66 \cdot 10^3) / (356,52 \cdot 10^3)] \\ &\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 15,454) / (1,0,085^2 \cdot 1,16,66 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 3,973 \cdot 10^{-3} \cdot 0,13785 = \underline{5,477 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Navrhuji >>> VØ10 / 140 mm; ($A_s = 5,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Vnitřní podpora ($M_b = | -17,42 | \text{ kNm}$):

$$\begin{aligned} A_{s,\text{req}} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_b) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,085 \cdot 1,16,66 \cdot 10^3) / (356,52 \cdot 10^3)] \\ &\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 17,42) / (1,0,085^2 \cdot 1,16,66 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 3,973 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1573 = \underline{6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Navrhuji >>> VØ10 / 125 mm; ($A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Min. a max. plocha výztuže :

$$A_{s,\text{min}} = 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk} = 0,26 \cdot (2,6 \cdot 1,0,085) / 410 \cdot 10^3 = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0,085 = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_d = 0,04 \cdot 1,0,12 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s = 5,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\text{max}}$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\text{max}}$$

Vzdálenost nosné výztuže:

$$s_{\max} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (240; 300) = 260 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm} \geq s = 140 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm} \geq s = 125 \text{ mm}$$

Rozdělovací výztuž:

Pole ($M_I = M_{II} = 15,454 \text{ kNm}$):

$$A_{R.V.} = 20\% \cdot A_s = 0,2 \cdot 5,61 \cdot 10^{-4} = 1,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhuji } \gg \gg A_{R.V.} = 6\emptyset V / 250 \text{ mm } (A_s = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

Vnitřní podpora ($M_b = | -17,42 | \text{ kNm}$):

$$A_{R.V.} = 20\% \cdot A_s = 0,2 \cdot 6,28 \cdot 10^{-4} = 1,256 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhuji } \gg \gg A_{R.V.} = 6\emptyset V / 220 \text{ mm } (A_s = 1,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

Vzdálenost R.V.:

$$s \leq 3 \cdot h = 360 \text{ mm}$$

$$\leq 450 \text{ mm} \quad > s = 250 \text{ mm}$$

$$> s = 220 \text{ mm}$$

6 POSOUZENÍ PRŮŘEZU

Pole ($M_I = M_{II} = 15,454 \text{ kNm}$):

$$x = (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

$$= 5,61 \cdot 10^{-4} \cdot 356,52 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 16,66 \cdot 10^3)$$

$$= \underline{0,015 \text{ m}}$$

$$\xi = x / d = 0,015 / 0,085 = \underline{0,1765}$$

$$\xi = 0,1765 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,085 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,015 = \underline{0,079 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,61 \cdot 10^{-4} \cdot 356,52 \cdot 10^3 = \underline{200,007 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 200,007 \cdot 0,079 = \underline{15,8 \text{ kNm}}$$

$$\mathbf{M}_{Rd} = 15,8 \text{ kNm} \geq \mathbf{M}_{Ed} = 15,454 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE $V\emptyset 10 / 140 \text{ mm}$

Vnitřní podpora ($M_b = | -17,42 | \text{ kNm}$):

$$\begin{aligned}x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\ &= 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot 356,52 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 16,66 \cdot 10^3) \\ &= \underline{0,0167 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$\xi = x / d = 0,0167 / 0,085 = \underline{0,1964}$$

$$\xi = 0,1964 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,085 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0167 = \underline{0,0783 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot 356,52 \cdot 10^3 = \underline{222,825 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 222,825 \cdot 0,0783 = \underline{17,448 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 17,448 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 17,42 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE RØ10 / 125 mm

8.1.1.2 Deska křížem vyztužená

Zadání: Navrhněte ŽB stropní desku křížem vyztuženou nad místností 5,0× 6,0 m z betonu C20/25 a oceli 10 505 (R), jestliže celkové návrhové spojitě rovnoměrné zatížení je $f_d = 10 \text{ kN/m}^2$. Jedná se o strop v bytovém domě. Požadovaná životnost 50 let.

① PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

$$\begin{aligned}h_d &= (1/75) \cdot (l_{sx} + l_{sy}) = (1/75) \cdot (5,0 + 6,0) = 147 \text{ mm} \\ &= (1/90) \cdot (l_{sx} + l_{sy}) = (1/90) \cdot (5,0 + 6,0) = 122 \text{ mm}\end{aligned}$$

Navrhuji >>> $h_d = 130 \text{ mm}$

$$u \geq 100 \text{ mm} \quad a_1 \geq 40 \text{ mm}$$

$$u \geq h_d = 150 \text{ mm} \quad a_1 = \min. \{ \frac{1}{2} \cdot h_d; \frac{1}{2} \cdot u \} = 65 \text{ mm}$$

$$l_x = l_{sx} + 2 \cdot a_1 = 5000 + 2 \cdot 65 = 5130 \text{ mm} = \underline{5,13 \text{ m}}$$

$$l_y = l_{sy} + 2 \cdot a_1 = 6000 + 2 \cdot 65 = 6130 \text{ mm} = \underline{6,13 \text{ m}}$$

② VÝPOČET ZATÍŽENÍ

$$f_d = 10 \text{ kN/m}^2$$

Rozdělení zatížení:

$$\alpha = l_y^4 / (l_x^4 + l_y^4) = 6,13^4 / (5,13^4 + 6,13^4) = 0,671$$

$$\text{pro } l_{sx}: \quad f_{dx} = \alpha \cdot f_d = 0,671 \cdot 10 = 6,71 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{pro } l_{sy}: \quad f_{dy} = (1-\alpha) \cdot f_d = (1-0,671) \cdot 10 = 3,29 \text{ kN/m}^2$$

3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = \underline{13,33 \text{ MPa}}$$

$$\xi_{bal,1} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 426,087) = 0,622$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 490 / 1,15 = \underline{426,087 \text{ MPa}}$$

4 STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY

$$M_{Edx} = 1/8 \cdot f_{dx} \cdot l_x^2 = 1/8 \cdot 6,71 \cdot 5,13^2 = \underline{22,074 \text{ kNm}}$$

$$M_{Edy} = 1/8 \cdot f_{dy} \cdot l_y^2 = 1/8 \cdot 3,29 \cdot 6,13^2 = \underline{15,454 \text{ kNm}}$$

5 NÁVRH VÝZTUŽE

Krycí vrstva betonu:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\} = \max\{17; 15; 10\} = 17 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset + 5 = 17 \text{ mm}$$

Navrhuji $\emptyset 12 \text{ mm}$

životnost 50let >>> S4 >>> XC1 >>> 15 mm

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 17 + 10 = 27 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 27 \text{ mm} \leq c_d = \underline{30 \text{ mm}}$$

Určení polohy vnitřních sil:

$$d_{1x} = c_d + (1/2) \cdot \emptyset = 30 + 6 = 36 \text{ mm}$$

$$d_{1y} = c_d + (1/2) \cdot \emptyset + \emptyset = 30 + 6 + 12 = 48 \text{ mm}$$

$$d_x = h_d - d_{1x} = 130 - 36 = 94 \text{ mm} = 0,094 \text{ m}$$

$$d_y = h_d - d_{1y} = 130 - 48 = 82 \text{ mm} = 0,082 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže:

Pro směr x:

$$A_{s,req} = [(b \cdot d_x \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{Edx}) / (b \cdot d_x^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\}$$

$$= [(1,0,094 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)]$$

$$\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 22,074) / (1,0,094^2 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} =$$

$$= 2,94 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2093 = \underline{6,1534 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Navrhují >>> RØ12 / 180 mm; ($A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Pro směr y:

$$\begin{aligned} A_{s, \text{req}} &= [(b \cdot d_y \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{\text{Edy}}) / (b \cdot d_y^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,082 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)] \\ &\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 15,454) / (1,0,082^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 2,56 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1905 = \underline{4,877 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Navrhují >>> RØ12 / 230 mm; ($A_s = 4,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Min. a max. plocha výztuže:

Pro směr x:

$$\begin{aligned} A_{s, \text{min}} &= 0,26 \cdot (f_{\text{ctm}} \cdot b \cdot d_x) / \\ &f_{yk} = 0,26 \cdot (2,2 \cdot 1,0,094) / 490 \cdot 10^3 = 1,097 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s, \text{min}} > 0,0013 \cdot b \cdot d_x = 0,0013 \cdot 1,0,094 = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s, \text{max}} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_d = 0,04 \cdot 1,0,13 = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s, \text{min}} \leq A_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s, \text{max}}$$

Pro směr y:

$$\begin{aligned} A_{s, \text{min}} &= 0,26 \cdot (f_{\text{ctm}} \cdot b \cdot d_y) / f_{yk} = \\ &= 0,26 \cdot (2,2 \cdot 1,0,082) / 490 \cdot 10^3 = 9,57 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s, \text{min}} > 0,0013 \cdot b \cdot d_y = 0,0013 \cdot 1,0,082 = 1,066 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s, \text{max}} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_d = 0,04 \cdot 1,0,13 = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s, \text{min}} \leq A_s = 4,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s, \text{max}}$$

Vzdálenost nosné výztuže:

Pro směr x:

$$s_{\text{max}} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (260; 300) = 260 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max}} = 260 \text{ mm} \geq s = 180 \text{ mm}$$

Pro směr y:

$$s_{\text{max}} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (260; 300) = 260 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max}} = 260 \text{ mm} \geq s = 230 \text{ mm}$$

6 POSOUZENÍ PRŮŘEZU

Pro směr x:

$$\begin{aligned}x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\ &= 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) \\ &= \underline{0,02509 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$\xi = x / d_x = 0,02509 / 0,094 = \underline{0,2669}$$

$$\xi = 0,2669 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d_x - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,094 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,02509 = \underline{0,0839 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = \underline{267,583 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 267,583 \cdot 0,0839 = \underline{22,45 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 22,45 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 22,074 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE RØ12 / 180 mm

Pro směr y:

$$\begin{aligned}x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\ &= 4,92 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) \\ &= \underline{0,01965 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$\xi = x / d = 0,01965 / 0,082 = \underline{0,2396}$$

$$\xi = 0,2396 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d_y - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,082 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,01965 = \underline{0,0741 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,92 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = \underline{209,635 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 209,635 \cdot 0,0741 = \underline{15,53 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 15,53 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 15,454 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE RØ12 / 230 mm

8.1.2 Trámové konstrukce

8.1.2.a Prostě uložený trám

Porušení smykem za ohybu

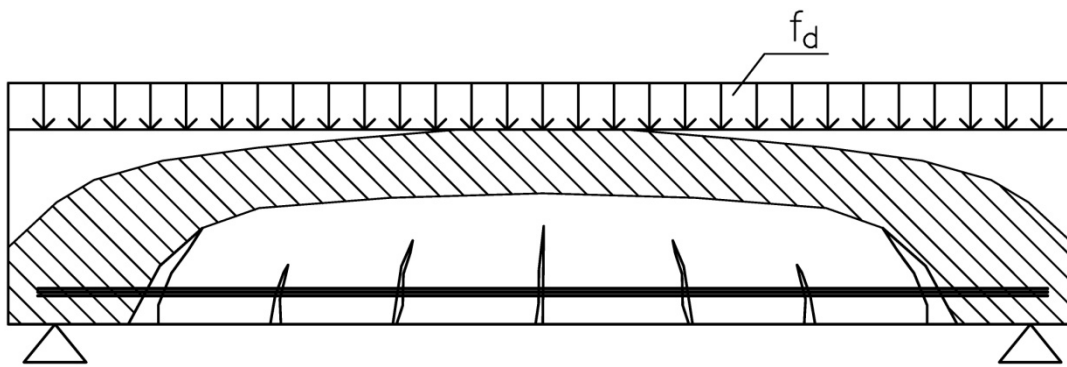
Zatížení se v průřezu projevuje nejen ohybovým momentem M , ale také posouvající silou V . Od posouvajících sil vznikají v průřezu smyková napětí τ [tau]. Od ohybových momentů vznikají v průřezu normálová napětí σ [sigma].

U železobetonových prvků se nejdříve objevují trhliny od ohybu, tzn. svislé trhliny (v krajních tažených vláknech průřezu), ze kterých postupně vznikají trhliny smykové, tzn. trhliny převážně šikmé (za předpokladu zvyšujícího se zatížení – vzrůstající hodnoty posouvající síly V).

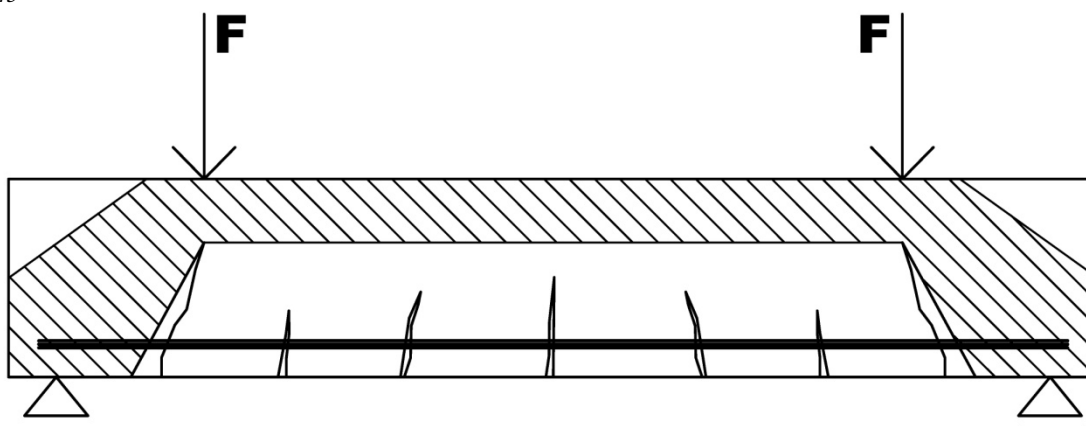
Velikost rozvoje smykových trhlin je ovlivněna stupněm vyztužení průřezu i jeho tvarem. Smyková odolnost ŽB prvků po vzniku trhlin od smyku je ovlivněna smykovým vyztužením, které přebírá podstatnou část posouvající síly.

Prvky bez smykové výztuže

Prvky vyztužené tahovou podélnou nosnou výztuží se po vzniku ohybových trhlin snaží „změnit“ na oblouk s táhlem (v případě spojitého rovnoměrného zatížení) nebo na vzpěradlo (v případě zatížení osamělými břemeny).



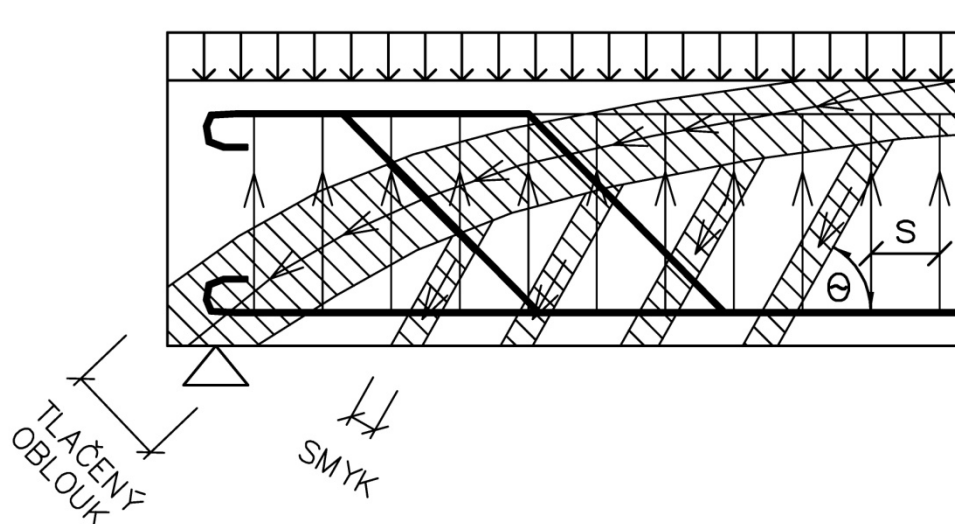
Obr. 45



Obr. 46

Prvky se smykovou výztuží

Železobetonový prvek se svým statickým působením přibližuje staticky neurčité příhradové soustavě se zakřiveným šikmým horním pásem. Zakřivený tlačенý betonový pás a diagonály mezi trhlinami jsou podstatně *tužší* než tažený spodní pás vytvořený podélnou tahovou výztuží a taky než stojiny a diagonály tvořené třmínky a ohyby.



Obr. 47

Při předimenzování smykové výztuže roste sklon smykové trhliny. Při malé únosnosti smykové výztuže se prodlužují smykové trhliny a tím se úhel Θ [théta] zmenšuje.

Zadání: Navrhněte smykovou výztuž ve formě svislých třmínků pro trám obdélníkového průřezu o rozměrech $b_w = 240$ mm, $h_T = 460$ mm. Jedná se o prostý nosník o rozpětí $l_s = 7,2$ m, zatížený spojitým rovnoměrným zatížením $f_d = 28$ kN.m⁻¹. Podélnou tahovou výztuž tvoří $5 \times \text{Ø R20}$ ($A_s = 15,71 \cdot 10^{-4}$ m²), stupeň vlivu prostředí XC0, $d_1 = 40$ mm, beton C16/20.

Porušení posouvající silou – návrh smykové výztuže

1 STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH HODNOT

$$l_0 = l_s + 2 \cdot a_1 = 7,2 + 2 \cdot 0,125 = 7,45 \text{ m}$$

$$V_{Ed,max} = \frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 28 \cdot 7,45 = 104,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = V_{Ed,max} - (u/2 + d) \cdot f_d = 104,3 - (0,25/2 + 0,42) \cdot 28 = 89,04 \text{ kN}$$

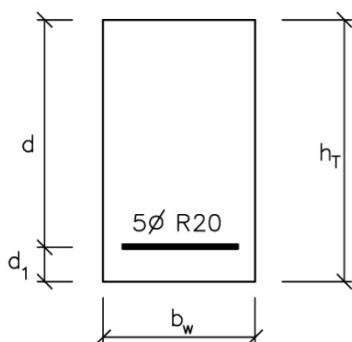
$$C16/20 \quad f_{cd} = 16/1,5 = 10,666 \text{ MPa}$$

$$d_1 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

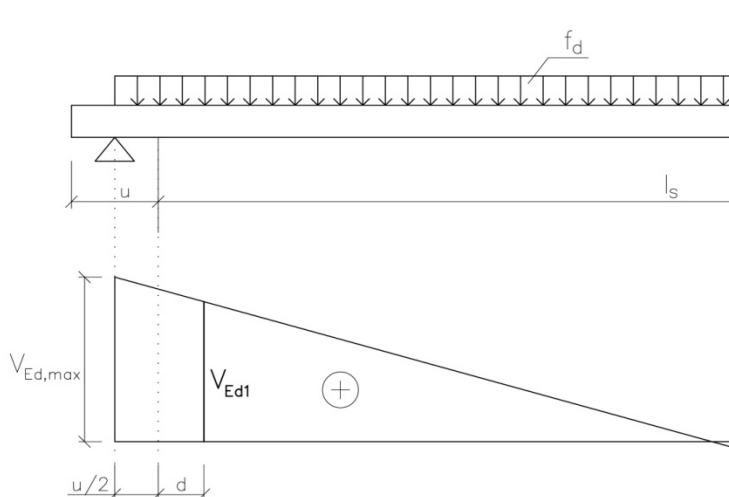
$$d = h_T - d_1 = 0,46 - 0,04 = 0,42 \text{ m}$$

2 ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d = 0,12 \cdot 1,69 \cdot (100 \cdot 0,01558 \cdot 16)^{1/3} \cdot 0,24 \cdot 0,42 = 0,0597 \text{ MN} = 59,7 \text{ kN}$$
$$c_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$



Obr. 48



$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1 + (200 / 420)^{1/2} = 1,69 < 2,0$$

$$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d) = 15,71 \cdot 10^{-4} / (0,24 \cdot 0,42) = 0,01558 \leq 0,02$$

$$b_w = 0,24 \text{ m}$$

$$d = 0,42 \text{ m}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,max} \\ 59,7 \geq 104,3 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE

Obr. 49

Je nutné navrhnout smykovou výztuž.

3 ÚNOSNOST SMYKOVÉ VÝZTUŽE

Posouzení pro $V_{Ed,1}$ ve vzdálenosti $u/2 + d$ od teoretické podpory:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} \cdot f_{ywd} / s_{l,d}) \cdot z \cdot \cotg \Theta$$

Zvolíme úhel sklonu tlačných diagonál $\Theta = 21,8^\circ \gg \gg \cotg \Theta = 2,5$.

Doporučené omezení $1,0 \leq \Theta \leq 2,5$.

Při hodnotě $\cotg \Theta = 2,5$ vychází minimální smyková výztuž, ale musí být splněna podmínka:

$$V_{Ed,max} \leq \min (V_{Rd,max})$$

$$V_{Rd,max} = (v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cotg \Theta) / (1 + \cotg^2 \Theta) = 0,5615 \cdot 10,666 \cdot 0,24 \cdot 0,378 \cdot 2,5 / (1 + 2,5^2) = 0,1873 \text{ MN} = 187,3 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \cdot (1 - 16/250) = 0,5615$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,42 = 0,378 \text{ m}$$

$$\cotg \Theta = 2,5$$

$$V_{Ed,max} = 104,3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$$

$$187,3 \text{ kN} \geq 104,3 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Lze navrhnout smykovou výztuž za předpokladu $\cotg \Theta = 2,5$.

Navrhují dvoustřížný třmínek $V\emptyset 8/250 \text{ mm}$

$$(A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$f_{ywd} = 410/1,15 = 356,52 \text{ MPa}$$

$$s_{l,d} = A_{sw} / (b_w \cdot \rho_{wd}) = 1,01 \cdot 10^{-4} / (0,24 \cdot 0,00168) = 0,25 \text{ m}$$

$$s_{l,d} < s_{l,max}$$

$$s_{l,max} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,42 = 0,315 \text{ m} = 315 \text{ mm}$$

$$\leq 400 \text{ mm}$$

$$b_w < s_{1,d}$$

$$0,24 < 0,25 \text{ m}$$

Maximální vzdálenost větví třmínku:

$$s_{t,max} = \min \{0,75 \cdot d; 600 \text{ mm}\} = 315 \text{ mm}$$

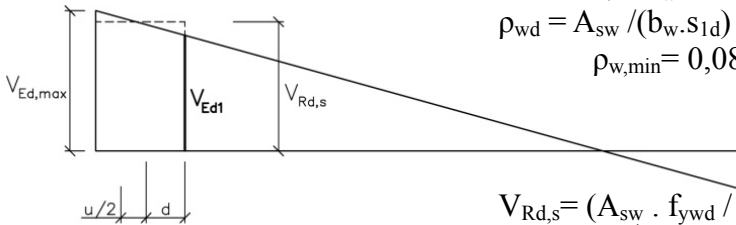
$$s_t = b_w - 2 \cdot c_d - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \varnothing = 240 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8 = 152 \text{ mm}$$

$$\rho_{wd} = A_{sw} / (b_w \cdot s_{1,d}) = 101 / (240 \cdot 250) = 0,00168$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot f_{ck}^{1/2} / f_{yk} = 0,08 \cdot 16^{1/2} / 410 = 0,00078$$

$$\rho_{wd} \geq \rho_{w,min}$$

$$0,00168 \geq 0,00078$$



$$V_{Rd,s} = (A_{sw} \cdot f_{ywd} / s_{1,d}) \cdot z \cdot \cot \theta =$$

$$= (1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 356,52 \cdot 10^3 / 0,25) \cdot 0,378 \cdot 2,5 = 136,11 \text{ kN}$$

Obr. 50

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$$

$$136,11 \geq 104,3 \text{ kN}$$

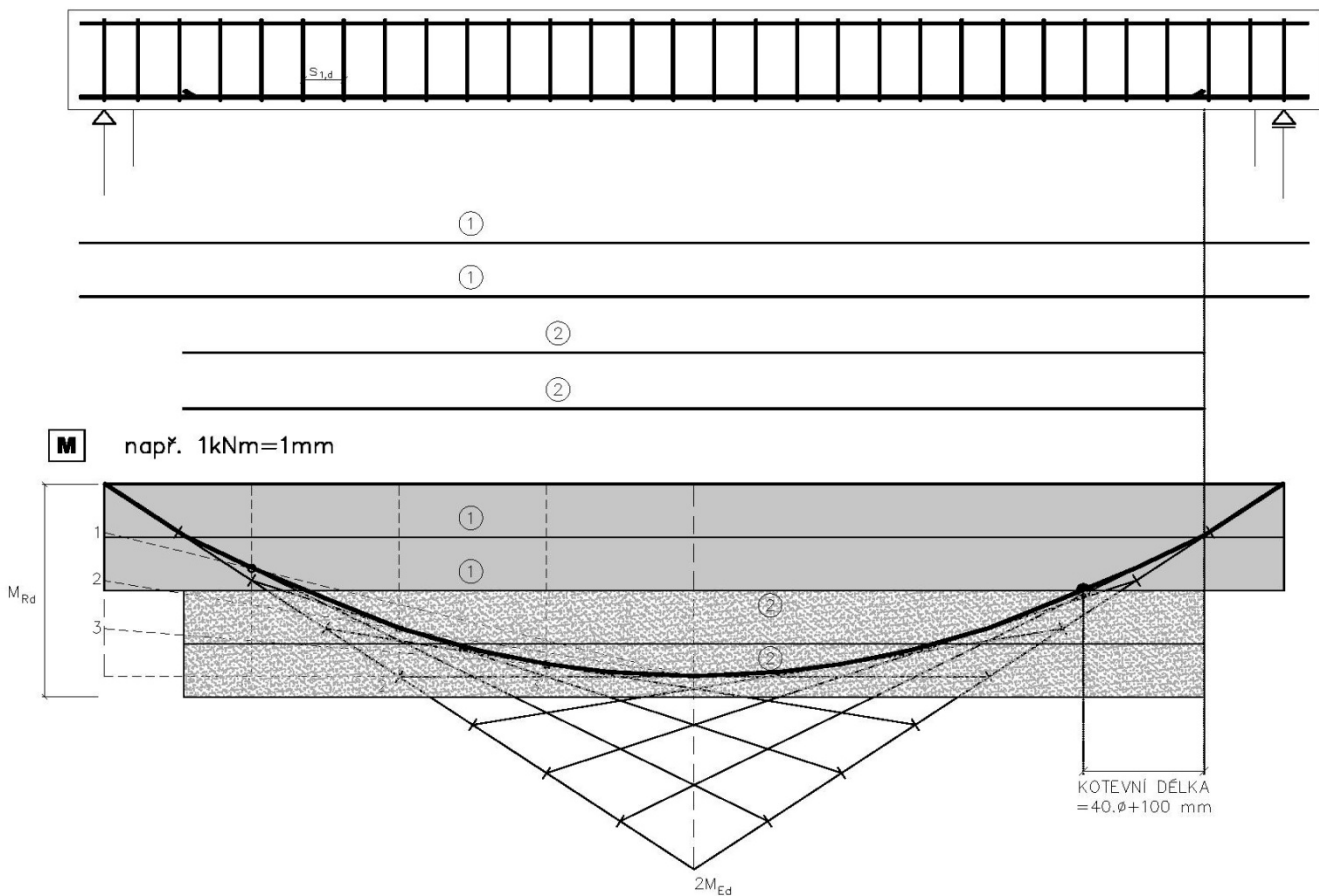
VYHOVUJE

Vykrytí materiálu

Pozn.

V místě nebezpečného průřezu, kde hodnota posouvající síly V je nulová, neumístíme třmínek, není tam zapotřebí. Za líc podpory umístíme 2 třmínky.

Obr. 51



8.1.2.b Deskový trám

Zadání: Navrhněte a posuďte výztuž železobetonového monolitického trámu T-průřezu rozpětí $l_0 = 5,50$ m ve statickém schématu prostého nosníku, $b_w = 200$ mm, $h = 400$ mm. Osová vzdálenost trámů $b = 2,60$ m. Ohybový moment od zatížení $M_{Ed} = 190,5$ kNm. Stupeň vlivu prostředí XC1, životnost 50 let.

1 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = \underline{13,33 \text{ MPa}}$$

$$\xi_{bal,1} = 700 / (700 + f_{yd}) = 70 / (700 + 426,087) = 0,622$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 490 / 1,15 = \underline{426,087 \text{ MPa}}$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 426 / 200 = 2,13 \text{ ‰}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1,0 \cdot 1,5 / 1,5 = 1,0 \text{ MPa}$$

2 STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY

$$M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2 = \underline{190,5 \text{ kNm}} \text{ ze zadání}$$

3 NÁVRH VÝZTUŽE

Krycí vrstva betonu:

Podélná výztuž (navrhuji $\varnothing = 20$ mm)

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\} = \max \{25; 15; 10\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \varnothing + 5 = 25 \text{ mm}$$

životnost 50 let >>> S4 >>> XC1 >>> 15 mm

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 35 \text{ mm} \leq \underline{c_d = 35 \text{ mm}}$$

Třmínky ($\varnothing_{st} = 6$ mm)

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\} = \max \{11; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \varnothing + 5 = 11 \text{ mm}$$

životnost 50 let >>> S4 >>> XC1 >>> 15 mm

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 \text{ mm} \leq \underline{c_{d,st} = 25 \text{ mm}}$$

Navrhuji krycí výztuže $c_d = 35$ mm.

Určení polohy vnitřních sil:

$$d_1 = c_d + (1/2) \cdot \varnothing = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 400 - 45 = 355 \text{ mm}$$

Spolupůsobící šířka desky:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w$$

$$b_i = b_1 = b_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$l_0 = 6,0 \text{ m}$$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,2 + 0,1 \cdot 5,50 = 0,79 \text{ m} < b_i = 1,3 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 0,79 + 0,2 = 1,78 \text{ m} < b = 2,60 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže:

$$M_{Rd,f} = b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,5 \cdot h_f)$$

$$= 1,78 \cdot 0,08 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot (0,355 - 0,5 \cdot 0,08) = 598,065 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 190,5 \leq M_{Rd,f} = 598,065 \text{ kNm}$$

>>> neutrálná osa leží v desce $x \leq h_f$

$$\begin{aligned}
 A_{s,req} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{Ed}) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\
 &= [(1,78 \cdot 0,355 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)] \\
 &\quad \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 190,5) / (1 \cdot 0,355^2 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\
 &= 0,01977 \cdot 0,06586 = \underline{13,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \\
 \text{Navrhuj} &\gg \gg 5 \times R\emptyset 20 (A_s = 15,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)
 \end{aligned}$$

Min. a max. plocha výztuže:

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b_w \cdot d) / f_{yk} \\
 &= 0,26 \cdot (2,2 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,355) / 490 \cdot 10^3 = 8,29 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\
 A_{s,min} &> 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,355 = 9,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\
 A_{s,max} &\leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 A_{s,min} &\leq A_s = 15,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,max}
 \end{aligned}$$

4 POSOUZENÍ T-PRŮŘEZU

$$\begin{aligned}
 x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\
 &= 15,71 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1,78 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) \\
 &= \underline{0,03525 \text{ m}} \\
 \xi &= x / d = 0,03525 / 0,355 = \underline{0,09929} \\
 \xi &= 0,09929 \leq \xi_{bal,1} = 0,622 \\
 z &= d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,355 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,03525 = \underline{0,3409 \text{ m}} \\
 F_s &= A_s \cdot f_{yd} = 15,71 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = \underline{669,383 \text{ kN}} \\
 M_{Rd} &= F_s \cdot z = 669,383 \cdot 0,3409 = \underline{228,193 \text{ kNm}} \\
 M_{Rd} &= 228,193 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 190,5 \text{ kNm} \\
 &\quad \underline{\text{VYHOVUJE } 5 \times R\emptyset 20}
 \end{aligned}$$

5 SMYK VE STYKU MEZI STĚNOU A PŘILEHLÝMI DESKAMI PRŮŘEZU

Návrh příčné výztuže nad trámem (smyk mezi přírubou a trámem):

$$\begin{aligned}
 v_{Ed} &= \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x) = 297,03 / (0,08 \cdot 1,3) = 2856,058 \text{ kPa} \\
 \Delta F_d &= b_{eff,i} \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd} \\
 &= 0,79 \cdot 0,8 \cdot 0,03525 \cdot 13333 = 297,03 \text{ kN} \\
 v \cdot f_{cd} \cdot \sin \Theta_f \cdot \cos \Theta_f &= 0,552 \cdot 13333 \cdot 0,7071 \cdot 0,7071 \\
 &= \underline{3679,83 \text{ kPa}} \\
 \Theta_f &= 45^\circ \\
 v &= 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \cdot (1 - 20 / 250) = 0,552 \\
 \Delta x &= 1,3 \text{ m dle teorie deskového trámu} \\
 v_{Ed} &\leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \Theta_f \cdot \cos \Theta_f \\
 2856,058 &\leq 3679,83 \text{ [kPa]} \quad \text{VYHOVUJE}
 \end{aligned}$$

$$(A_{sf} / s_f) \geq v_{Ed} \cdot h_f / (f_{yd} \cdot \cot \Theta_f)$$

$$\text{Navrhuj } s_f = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sf} &= v_{Ed} \cdot h_f \cdot s_f / (f_{yd} \cdot \cot \Theta_f) \\
 &= 2856,058 \cdot 0,08 \cdot 0,12 / (426087 \cdot 1) = 6,43 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\
 &= 64,3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Navrhuj $\gg \gg R\emptyset 10$ při $s_f = 120 \text{ mm}$

(plocha 1 ks prutu $\gg \gg A_{sf} = 79 \text{ mm}^2$)

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,5 / 1,5 = 1,0 \text{ MPa pro beton C 20/25}$$

$$v_{Ed} = 2856,058 \text{ kPa} > 0,4 \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1000 = 400 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

8.1.2.c Trámový strop

Zadání: Navrhněte železobetonový trámový strop, tzn. spojitou ŽB stropní desku + prostě uložené trámy. Strop se bude nacházet pod posilovnou půdorysných (světlych) rozměrů 11,0 × 5,48 m. Návrhová životnost stropu 50 let. Obvodové zdivo tl. 450 mm. Spojitá deska je myšlena s podporami v podobě trámů, v krajních polích slouží jako podpory zdivo. Trámy jsou prostě uloženy na zdivu. Světlé rozpětí trámů odpovídá kratší straně půdorysu posilovny. *Skladba stropní konstrukce včetně podlahy:* javorové parkety tl. 12 mm, 2× OSB/3 4PD tl. 2×20 mm, minerální vlna tl. 100 mm, parozábrana tl.0,3 mm, ŽB deska tl. dle návrhu, omítka tl. 15 mm.

Užijte beton třídy C20/25, do trámů C25/30, bet. výztuž 10505 (R) a KARI síť (W).

Železobetonová spojitá deska:

1 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

a) návrh rozměrů trámů:

$$\begin{aligned} \text{výška trámu:} \quad h_T &= (1/17 \text{ až } 1/15) \cdot l_T \\ &= 1/17 \cdot 5,0 = 0,294 \text{ m} \\ &= 1/15 \cdot 5,5 = 0,333 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Navrhují } \gg \gg \gg \underline{h_T = 400 \text{ mm}}$$

$$\begin{aligned} \text{šířka trámu:} \quad b_{wT} &= (1/3 \text{ až } 1/2) \cdot h_T = 1/3 \cdot 0,40 \\ &= 0,133 \text{ m} \\ &= 1/2 \cdot 0,40 = 0,200 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Navrhují } \gg \gg \gg \underline{b_{wT} = 0,180 \text{ m}}$$

h_T ... výška trámu [mm]

b_{wT} ... šířka trámu [mm]

b) rozdělení trámů:

Optimální osová vzdálenost trámů do 1,7 m (1,3 až 2,0m) $\gg \gg \gg n+1 = D / L = 11,0 / 1,7 = 6,47$ polí

Navrhují $\gg \gg \gg 7$ polí, tzn. $n+1 = 7 \gg \gg \gg n = 6$

n ... počet trámů

$n+1$... počet polí

D ... delší světlé rozpětí obdélníkového půdorysu

$$l_{sv} = (D - n \cdot b_w) / (n+1) = (11 - 6 \cdot 0,16) / (6+1) = 1,43 \text{ m } \gg \gg \gg 1,50 \text{ m (mohu zaokrouhlit)}$$

$$l_{sk} = (D - [n \cdot b_w + (n-1) \cdot l_{sv}]) / 2 \\ = (11 - (6 \cdot 0,16 + 5 \cdot 1,5)) / 2 = 1,27 \text{ m}$$

$$l_v = l_{sv} + b_w = 1,5 + 0,16 = \underline{1,66 \text{ m}}$$

$$l_k = l_{sk} + a_1 + 1/2 \cdot b_w = 1,27 + 0,08 + 0,16/2 = \underline{1,43 \text{ m}} \\ \text{(nezaokrouhluji)}$$

c) návrh rozměrů desky:

$$\text{tloušťka desky } h_d = 1/35 \cdot l_{sv} = 1500/35 = 42,85 \text{ mm}$$

$$h_d = 1/30 \cdot l_{sv} = 1500/30 = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Navrhují } \gg \gg \gg \underline{h_d = 70 \text{ mm}}$$

(zvažuji s ohledem na c_d , překrytí výztuže apod.)

$$u \geq 100 \text{ mm} \quad a_1 \geq 40 \text{ mm}$$

$$u \geq h_d \quad a_1 = \min. \{1/2 \cdot h_d; 1/2 \cdot u\} = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Navrhují } \gg \gg \gg \underline{u = 160 \text{ mm}}$$

u ... uložení desky [mm]

2 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

2.1 Stálé zatížení

| Skladba stropní konstrukce (bez vlastní tíhy trámu) | Tloušťka konstrukce [mm] | Tloušťka konstrukce [m] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Výpočet m.kN/m ³ .m.m | g _k [kN/m ²] | |
|--|--------------------------|-------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Javorové parkety | 12 | 0,012 | 700 | 0,012 . 7 . 1 . 1 | 0,084 | |
| 2x OSB/3 4 PD | 2x 20 | 0,04 | 750 | 0,04 . 7,5 . 1 . 1 | 0,3 | |
| Minerální vlna | 100 | 0,1 | 150 | 0,1 . 1,5 . 1 . 1 | 0,15 | |
| Parozábrana | - | - | - | - | - | |
| ŽB deska | 70 | 0,07 | 2500 | 0,07 . 25 . 1 . 1 | 1,75 | |
| Omítka | 15 | 0,015 | 2100 | 0,015 . 21 . 1 . 1 | 0,315 | |
| Charakteristická hodnota stálého zatížení celkem: | | | | | Σg_k | 2,599 |

$$g_d = g_k \cdot \gamma_G = 2,599 \cdot 1,35 = 3,508 \text{ kN/m}^2$$

2.2 Proměnné zatížení (nahodilé, užité)

Posilovna >>> užité kategorie budovy C4 >>>

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = q_k \cdot \gamma_Q = 5,0 \cdot 1,5 = 7,50 \text{ kN/m}^2$$

2.3 Celkové zatížení (kombinace)

Návrhová hodnota kombinace zatížení (na 1 m²):

$$f_d = g_d + q_d = 3,508 + 7,5 = 11,008 \text{ kN/m}^2$$

3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$\text{KARI (W)} f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 490 / 1,15 = 426,087 \text{ MPa}$$

$$10\ 505 \text{ (R)} f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

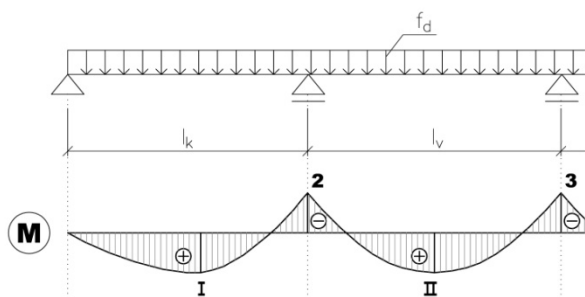
4 STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY

$$M_I = 1/11 \cdot f_d \cdot l_k^2 = 1/11 \cdot 11,008 \cdot 1,43^2 = 2,047 \text{ kNm}$$

$$M_{II} = 1/16 \cdot f_d \cdot l_v^2 = 1/16 \cdot 11,008 \cdot 1,66^2 = 1,896 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -(1/11) \cdot f_d \cdot l_v^2 = -(1/11) \cdot 11,008 \cdot 1,66^2 = -2,758 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -M_{II} = -(1/16) \cdot f_d \cdot l_v^2 = -(1/16) \cdot 11,008 \cdot 1,66^2 = -1,896 \text{ kNm}$$



Obr. 51

Krycí vrstva betonu:

$$c_{\min} = \max\{c_{\min,b}; c_{\min,dur}; 10\} = \max\{9; 10; 10\} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\min,b} = \emptyset + 5 = 11 \text{ mm}$$

Navrhuji $\emptyset 6 \text{ mm}$

životnost 50 let >>> S4 >>> X0 >>> 10 mm

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 20 \text{ mm} \leq c_d = 20 \text{ mm}$$

Určení polohy vnitřních sil:

$$d_1 = c_d + (1/2) \cdot \emptyset = 20 + 6/2 = 23 \text{ mm}$$

$$d = h_d - d_1 = 70 - 23 = 47 \text{ mm} = 0,047 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže:**I) v poli; l_k ; $M_I = 2,047 \text{ kNm}$**

$$\begin{aligned} A_{s,\text{req}} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_I) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,047 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)] \\ &\quad \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 2,047) / (1,0,047^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,072099 = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Navrhuji >>> W \emptyset 6 / 100/100 mm; ($A_s = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

II) v poli; l_v ; $M_{II} = 1,896 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{req}} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{II}) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,047 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)] \\ &\quad \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 1,896) / (1,0,047^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,06673 = 0,981 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Navrhuji >>> W \emptyset 6 / 100/100 mm; ($A_s = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

2) v podpoře; l_v ; $M_2 = - 2,758 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{req}} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_2) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,047 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)] \\ &\quad \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 2,758) / (1,0,047^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0985 = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Navrhuji >>> W \emptyset 6 / 100/100 mm; ($A_s = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

3) v podpoře; l_v ; $M_3 = - 1,896 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{req}} &= [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_3) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\} \\ &= [(1,0,047 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)] \\ &\quad \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 1,896) / (1,0,047^2 \cdot 1,13,33 \cdot 10^3)]^{1/2}\} = \\ &= 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,06673 = 0,981 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Navrhuji >>> W \emptyset 6 / 100/100 mm; ($A_s = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Pozn. Nutno volit typ sítí s ohledem na výrobní rozměry KARI sítí, tzn. nevyhneme se větší skutečné ploše výztuže.

Min. a max. plocha výztuže :

$$\begin{aligned} A_{s,\text{min}} &= 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk} \\ &= 0,26 \cdot (2,2 \cdot 10^3 \cdot 1,0,047) / 490 \cdot 10^3 = 5,4865 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\ A_{s,\text{min}} &> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0,047 = 6,11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\ A_{s,\text{max}} &\leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_d = 0,04 \cdot 1,0,07 = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,\min} \leq A_s = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\max}$$

Vzdálenost nosné výztuže:

$$s_{\max} = \min. \{2 \cdot h_d; 300\} = \min. (140; 300) = 140 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 140 \text{ mm} \geq s = 100 \text{ mm}$$

Rozdělovací výztuž:

Neřeší se.

6 POSOUZENÍ PRŮŘEZU

I) v poli; l_k ; $M_I = 2,047 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} x &= (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\ &= 2,83 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 13,33 \cdot 10^3) \\ &= 0,0113 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\xi = x / d = 0,0113 / 0,047 = 0,2404$$

$$\xi = 0,2404 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,047 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0113 = 0,04248 \text{ m}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2,83 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = 120,583 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 120,583 \cdot 0,04248 = 5,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 5,12 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2,047 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE WØ6 / 100 / 100 mm

II) v poli; l_v ; $M_{II} = 1,896 \text{ kNm}$

$$M_{Rd} = 5,12 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1,896 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE WØ6 / 100 / 100 mm

3) v podpoře; l_v ; $M_3 = / - 1,896 \text{ kNm} /$

$$M_{Rd} = 5,12 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = / - 1,896 \text{ kNm} /$$

VYHOVUJE WØ6 / 100 / 100 mm

Železobetonový trám:

1 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

výška trámu: $h_T = 400 \text{ mm}$

šířka trámu: $b_{wT} = 0,180 \text{ m}$

uložení: $u = 180 \text{ mm}$

$$l_0 = l_s + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot u = 5,48 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,18 = \underline{5,66 \text{ m}}$$

2 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

$$\begin{aligned} f_d^T &= f_d^D \cdot b_f + g_d^T + g_d^{\text{OMÍT.}} \\ &= 11,008 \cdot 1,68 + 2,43 + 0,3402 = 21,264 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$g_k^T = b_w \cdot h_T \cdot 1 \cdot \rho_B = 0,18 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 25 = 1,8 \text{ kN/m}$$

$$g_d^T = g_k^T \cdot 1,35 = 1,8 \cdot 1,35 = 2,43 \text{ kN/m}$$

$$g_k^{\text{OMÍT.}} = 2 \cdot t_{\text{OMÍT.}} \cdot h \cdot 1 \cdot \rho_{\text{OMÍT.}}$$

$$= 2 \cdot 0,015 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 21 = 0,252 \text{ kN/m}$$

$$g_d^{\text{OMÍT.}} = g_k^{\text{OMÍT.}} \cdot 1,35 = 0,252 \cdot 1,35 = 0,3402 \text{ kN/m}$$

$$b_f = (l_{s2} + l_{s3}) / 2 + b_w = (1,5 + 1,5) / 2 + 0,18 = 1,68 \text{ m}$$

3 **MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY**
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 25 / 1,5 = \underline{16,66 \text{ MPa}}$
 $f_{yd} = \underline{426,087 \text{ MPa}}$

4 **STATICKÉ SCHÉMA A VELIČINY**

$$M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2 = 1/8 \cdot 21,264 \cdot 5,66^2 = \underline{85,15 \text{ kNm}}$$

5 **NÁVRH VÝZTUŽE**

Krycí vrstva betonu:

$$c_{\min} = \max\{c_{\min,b}; c_{\min,dur}; 10\} = \max\{30; 10; 10\} = 30 \text{ mm}$$

$$c_{\min,b} = \emptyset + 5 = 30 \text{ mm}$$

Navrhuji $\emptyset 25 \text{ mm}$

životnost 50 let >>> S4 >>> X0 >>> 10 mm

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 40 \text{ mm} \leq c_d = \underline{40 \text{ mm}}$$

Určení polohy vnitřních sil:

$$d_1 = c_d + (1/2) \cdot \emptyset = 40 + 25/2 + 6 = 58,5 \text{ mm}$$

$$d = h_T - d_1 = 400 - 60,5 = 339,5 \text{ mm} = 0,3415 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže:

V poli $M_{Ed} = 85,15 \text{ kNm}$:

$$A_{s,\text{req}} = [(b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_1) / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})]^{1/2}\}$$

$$= [(0,18 \cdot 0,3415 \cdot 1 \cdot 16,66 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)]$$

$$\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 85,15) / (0,18 \cdot 0,3415^2 \cdot 1 \cdot 16,66 \cdot 10^3)]^{1/2}\} =$$

$$= 2,4043 \cdot 10^{-3} \cdot 0,283 = 6,804 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navrhuji >>> **2 \emptyset R25**; ($A_s = 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Min. a max. plocha výztuže :

$$A_{s,\text{min}} = 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk}$$

$$= 0,26 \cdot (2,6 \cdot 10^3 \cdot 0,18 \cdot 0,3415) / 490 \cdot 10^3 = 8,48 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,306 = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h_T = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,4$$

$$= 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s = 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\text{max}}$$

6 **POSOUZENÍ PRŮŘEZU**

V poli $M_{Ed} = 80,181 \text{ kNm}$:

$$x = (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

$$= 9,82 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 16,66 \cdot 10^3)$$

$$= 0,03138 \text{ m}$$

$$\xi = x / d = 0,03138 / 0,3415 = 0,09189$$

$$\xi = 0,09189 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,3415 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,03138 = 0,3289 \text{ m}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 9,82 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = 418,48 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 418,48 \cdot 0,3289 = 137,638 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 137,638 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 85,15 \text{ kNm}}$$

VYHOVUJE 2 \times \emptyset R25

7 SMYKOVÁ VÝZTUŽ

Rozdělovací výztuž (třmínky):

$$V_{Ed,max} = \frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 21,264 \cdot 5,66 = 60,177 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = V_{Ed,max} - (u/2 + d) \cdot f_d =$$

$$= 60,177 - (0,18/2 + 0,3415) \cdot 21,264 = 51,00 \text{ kN}$$

Únosnost bez smykové výztuže:

$$V_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d = 0,12 \cdot 1,765 \cdot (100 \cdot 0,01598 \cdot 20)^{1/3} \cdot 0,18 \cdot 0,3415 = 0,0413 \text{ MN} = 41,3 \text{ kN}$$

$$c_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1 + (200 / 341,5)^{1/2} = 1,765 < 2,0$$

$$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d) = 9,82 \cdot 10^{-4} / (0,18 \cdot 0,3415) = 0,01598 \leq 0,02$$

$$b_w = 0,18 \text{ m}; d = 0,3415 \text{ m}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,max}$$

$$41,3 \text{ kN} \geq 56,66 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE

Únosnost smykové výztuže

$$V_{Rd,max} = (v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cotg \Theta) / (1 + \cotg^2 \Theta) =$$

$$= (0,54 \cdot 16,666 \cdot 0,18 \cdot 0,3289 \cdot 2,5) / (1 + 2,5^2) =$$

$$= 0,18372 \text{ MN} = 183,72 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \cdot (1 - 25 / 250) = 0,54$$

$$z = 0,3289 \text{ m} \text{ nebo } z = 0,9 \cdot d$$

$$\cotg \Theta = 2,5$$

$$V_{Ed,max} = 60,177 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$$

$$183,72 \text{ kN} \geq 60,177 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

>>> Navrhuji dvoustřížný třmínek VØ6/250mm

$$(A_{sw} = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$f_{ywd} = 490 / 1,15 = 426,087 \text{ MPa}$$

$$s_{1,d} < s_{1,max}$$

$$s_{1,max} \leq 0,75 \cdot d$$

$$= 0,75 \cdot 0,3415 = 0,256 \text{ m}$$

$$\leq 400 \text{ mm}$$

$$250 \leq 256 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

$$b_w < s_{1,d}, \text{ tzn. } 0,18 < 0,25 \text{ m}$$

Maximální vzdálenost větví třmínku:

$$s_{t,max} = \min \{0,75 \cdot d; 600 \text{ mm}\} = 256 \text{ mm}$$

$$s_t = b_w - 2 \cdot c_d - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \emptyset = 180 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 = 94 \text{ mm}$$

$$\rho_{wd} = A_{sw} / (b_w \cdot s_{1d}) = 57 / (180 \cdot 250) = 1,266 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot f_{ck}^{1/2} / f_{yk} = 0,08 \cdot 25^{1/2} / 490 = 8,163 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_{wd} \geq \rho_{w,min}$$

$$1,266 \cdot 10^{-3} \geq 8,163 \cdot 10^{-4}$$

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} \cdot f_{ywd} / s_{1,d}) \cdot z \cdot \cotg \Theta =$$

$$= (0,57 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / 0,25) \cdot 0,3289 \cdot 2,5 =$$

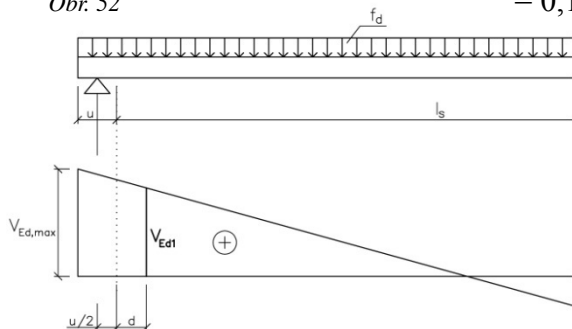
$$79,87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$$

$$79,87 \geq 51,0 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Obr. 52



8.2 Návrh ŽB dostředně tlačných prvků

8.2.1 Železobetonový sloup

Zadání: Navrhněte průřez a výztuž dostředně tlačného sloupu, bez účinku štíhlosti, zatíženého normálovou silou $N_{Ed} = 2300$ kN. Pro navržený průřez spočítejte a vykreslete interakční diagram. Nakreslete schéma vyztužení sloupu výšky 3200mm. Beton C30/37. Ocel třídy B490.

1 NÁVRH ROZMĚRŮ

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s$$

>>> vytknuta neznámá h

$$h \geq N_{Ed} / (0,8 \cdot b \cdot f_{cd} + b \cdot \rho \cdot \sigma_s) = 2300 \cdot 10^3 / (0,8 \cdot 300 \cdot 30 / 1,5 + 300 \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0,002) = 2300 \cdot 10^3 / 8400 = 273,8 \text{ mm} \gg \gg \text{navrhuji } h = 300 \text{ mm}$$

>>> vytknuta neznámá A_s

$$A_{s,req} = (N_{Ed} - 0,8 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}) / \sigma_s = (2300 - 0,8 \cdot 0,3^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5) / (200 \cdot 10^6 \cdot 0,002) = 860 / 400 \cdot 10^3 = 2,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \gg \gg \text{Navrhuji } \underline{6 \times \text{ØR25 mm}} \quad (A_s = 2,945 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2)$$

Min. plocha výztuže:

$$A_{s,min} = 0,1 \cdot N_{Ed} / f_{yd} = 0,1 \cdot 2300 / (490 \cdot 10^3 / 1,15) = 0,539 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Max. plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,3^2 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\gg \gg \text{Navrhuji } \underline{6 \times \text{ØR25 mm}} \quad (A_s = 2,945 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2)$$

Krytí výztuže:

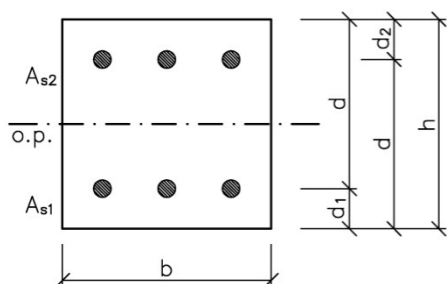
$$\gg \gg \text{Navrhuji } \text{Ø}_{sw} = 10 \text{ mm}$$

Prostředí XC3, C30/37, životnost 80let >>> $c_d = 35 \text{ mm}$

Pozn. Krycí vrstvou c_d musí být překryta výztuž třmínku Ø_{sw} .

$$b = h = 300 \text{ mm}$$

Obr.53



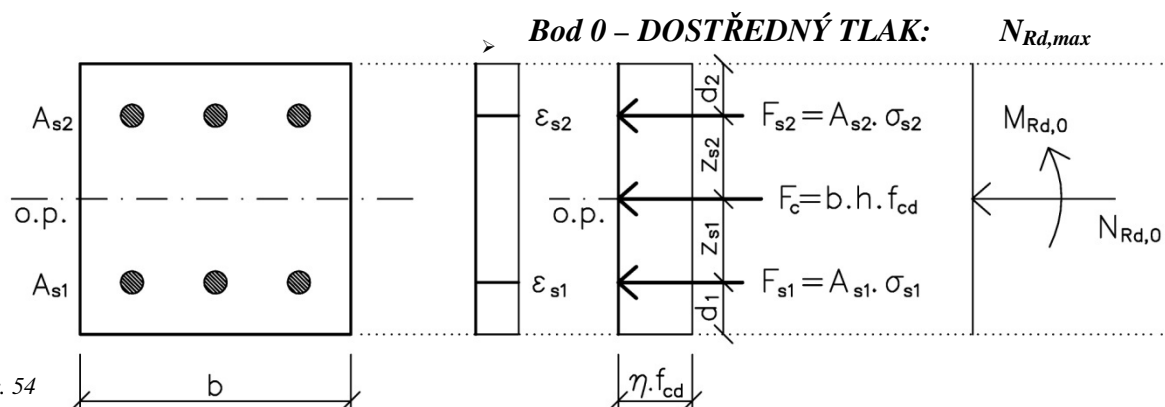
$$d = h - c_d - \frac{1}{2} \cdot \emptyset - \emptyset_{sw} = 300 - 35 - 25/2 - 10 = 242,5 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 = c_d + \emptyset_{sw} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset = 35 + 10 + 25/2 = 57,5 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = z_{s2} = (h - d_1 - d_2) / 2 = (300 - 57,5 - 57,5) / 2 = 92,5 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = A_s / 2 = 2,945 \cdot 10^{-3} / 2 = 1,4725 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

2 POSOUZENÍ (INTERAKČNÍ DIAGRAM)



$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{s2} = \epsilon_{cu} = 0,002 < \epsilon_{yd} = 0,00245, \text{ kde}$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 426,087 / 200 \cdot 10^3 = 0,00213 \gg \sigma_{s1} = E_s \cdot \epsilon_{s1}$$

$$\sigma_{s1} = E_s \cdot \epsilon_{s1} = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,002 = 400 \text{ MPa}$$

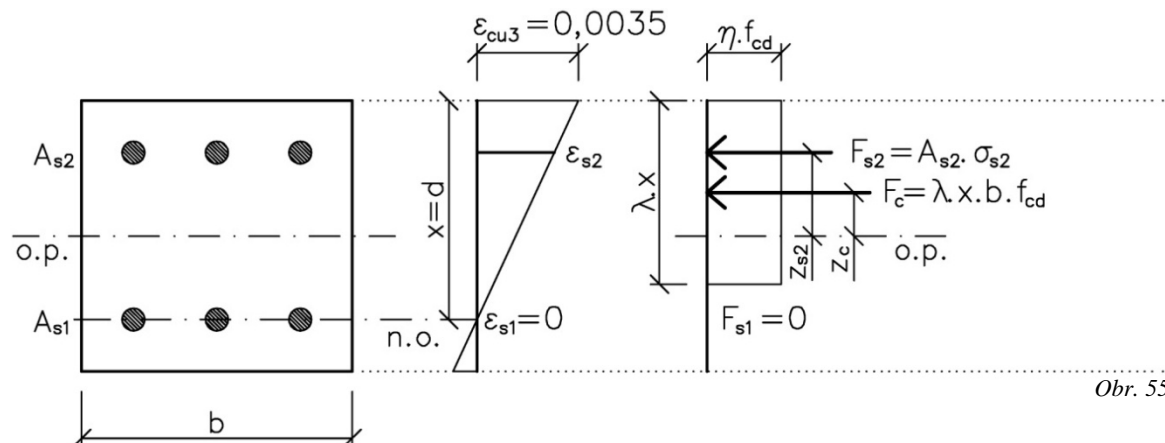
$$\sigma_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{s2} = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,002 = 400 \text{ MPa}$$

Síla a moment únosnosti:

$$N_{Rd,0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^3 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^3 = 1800 + 589 + 589 = 2978 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_{s2} - A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot z_{s1} = 0$$

➤ **Bod 1 – NEUTRÁLNÁ OSA V OSE VÝZT. A_{s1} :**



$$F_{s1} = 0; x = d$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{s1} = 0 \gg \sigma_{s1} = 0$$

Z podobnosti trojúhelníků: $\varepsilon_{cu} / x = \varepsilon_{s2} / (x - d_2)$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \cdot (x - d_2) / x = 0,0027$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0027 > \varepsilon_{yd} = 0,00213, \text{ kde}$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 426,087 / 200 \cdot 10^3 = 0,00213, \text{ kde } \varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$$

$$\gg \sigma_{s2} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

Síla a moment únosnosti:

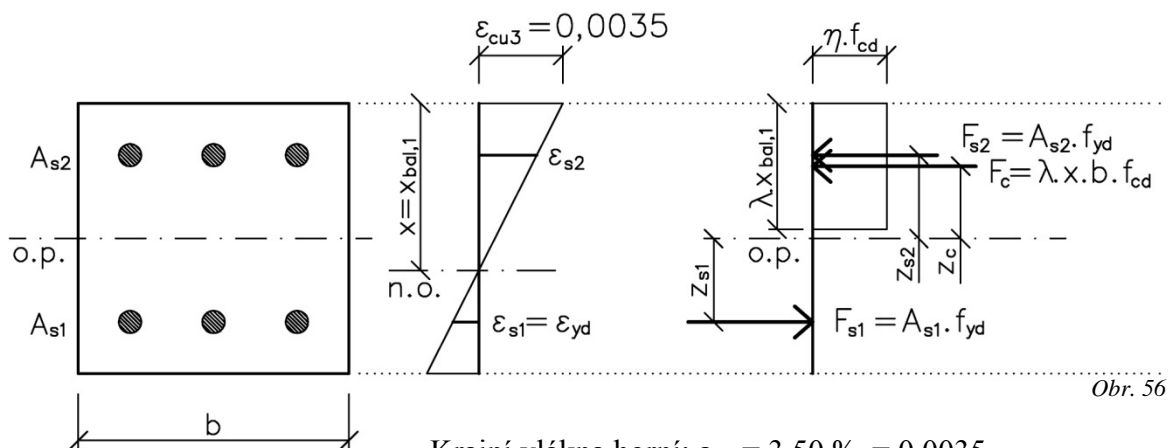
$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= F_c + F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} + 0 + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 0,8 \cdot \\ &0,2425 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 + 0 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 = \\ &1164 + 627,41 = \mathbf{1791,41 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_c + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_{s2} \\ &= 0,8 \cdot 0,2425 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,053 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot \\ &426087 \cdot 0,0925 = 61,692 + 58,04 = \mathbf{119,73 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

$$z_c = h/2 - \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot x = 0,3/2 - \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 0,2425 = 0,15 - 0,097 = 0,053 \text{ m}$$

$$z_{s2} = h/2 - d_2 = 0,15 - 0,0575 = 0,0925 \text{ m}$$

➤ **Bod 2 – MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT – Tažená výztuž na mezi kluzu: $M_{Rd,max}$; $x = x_{bal,1}$**



Obr. 56

Krajní vlákna horní: $\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰} = 0,0035$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 426,087 / 200 \cdot 10^3 = 0,00213$$

$$\gg \sigma_{s1} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

$x_{bal,1}$: Z podobnosti trojúhelníků:

$\epsilon_{cu3} / x_{bal,1} = \epsilon_{yd} / (d - x_{bal,1})$, kde po vyřešení rovnice

$$x_{bal,1} = \epsilon_{cu3} \cdot d / (\epsilon_{yd} + \epsilon_{cu3})$$

$$x_{bal,1} = 0,0035 \cdot 0,2425 \text{ m} / (0,0035 + 0,00213) =$$

$$= 0,00084875 / 0,00563 = 0,1507 \text{ m}$$

ϵ_{s2} : Z podobnosti trojúhelníků:

$$\text{tg } \alpha = \epsilon_{cu3} / x_{bal,1} = 0,0035 / 0,1507 \gg \gg \alpha = 1,33045^\circ$$

$$\text{tg } 1,33045^\circ = \epsilon_{s2} / (x_{bal,1} - d_2)$$

$$\epsilon_{s2} = 0,002165 > \epsilon_{yd} = 426,087 / 200 \cdot 10^3 = 0,00213, \text{ kde}$$

$$\epsilon_{s2} = \text{tg } 1,33045^\circ \cdot (0,1507 - 0,0575) = 0,002165$$

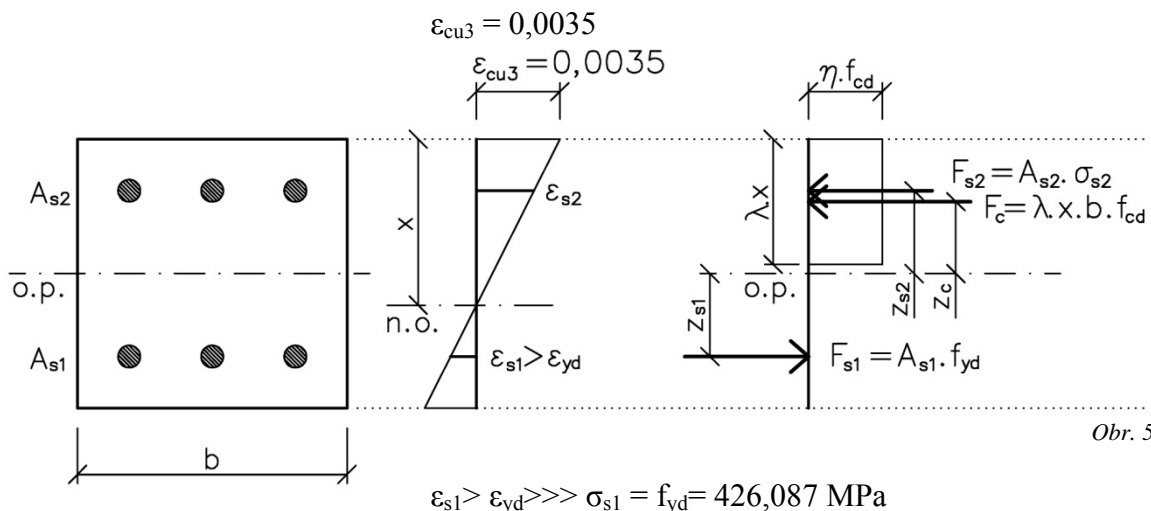
$$\gg \gg \sigma_{s2} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

Síla a moment únosnosti:

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \cdot x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot \\ &0,1507 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 - 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 + \\ &1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 = 723,36 - 627,41 + 627,41 = \mathbf{723,36 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,2} &= F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} = 0,8 \cdot x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (h/2 - \\ &0,4 \cdot x_{bal,1}) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} = 0,8 \cdot 0,1507 \cdot 0,3 \cdot \\ &20 \cdot 10^3 \cdot (0,3/2 - 0,4 \cdot 0,1507) + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot \\ &426087 \cdot (0,15 - 0,0575) + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 \cdot (0,3/2 - \\ &0,0575) = 64,89985 + 58,036 + 152,1477 = \mathbf{275,084 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

➤ **Bod 3 – PROSTÝ OHYB:** $N_{Rd,3} = 0$



x; ϵ_{s2} : Ze soustavy 2 rovnic:

$$1.\text{rov. } F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0$$

$$0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 0$$

$$2.\text{rov. } \epsilon_{cu3} / x = \epsilon_{s2} / (x - d_2)$$

$$x \cdot (\epsilon_{cu3} - \epsilon_{s2}) = \epsilon_{cu3} \cdot d_2$$

$$0,8 \cdot x \cdot 0,3 \cdot 20000 - 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon_{s2} \cdot 200 \cdot 10^6 = 0$$

$$x \cdot (0,0035 - \epsilon_{s2}) = 0,0035 \cdot 0,0575$$

$$4800 \cdot x - 627,413 + 294,5 \cdot 10^3 \cdot \epsilon_{s2} = 0$$

$$x \cdot (0,0035 - \epsilon_{s2}) = 0,00020125$$

$$\epsilon_{s2\ 1,2} = (-1658,163 \pm \sqrt{1140,451}) / [2 \cdot (-294500)] =$$

$$\gg \gg \text{kořeny } \epsilon_{s2\ 1} = \mathbf{0,000878967}$$

$$\text{nebo } \epsilon_{s2\ 2} = 0,00475$$

$$x \cdot (0,0035 - 0,000878967) = 0,00020125$$

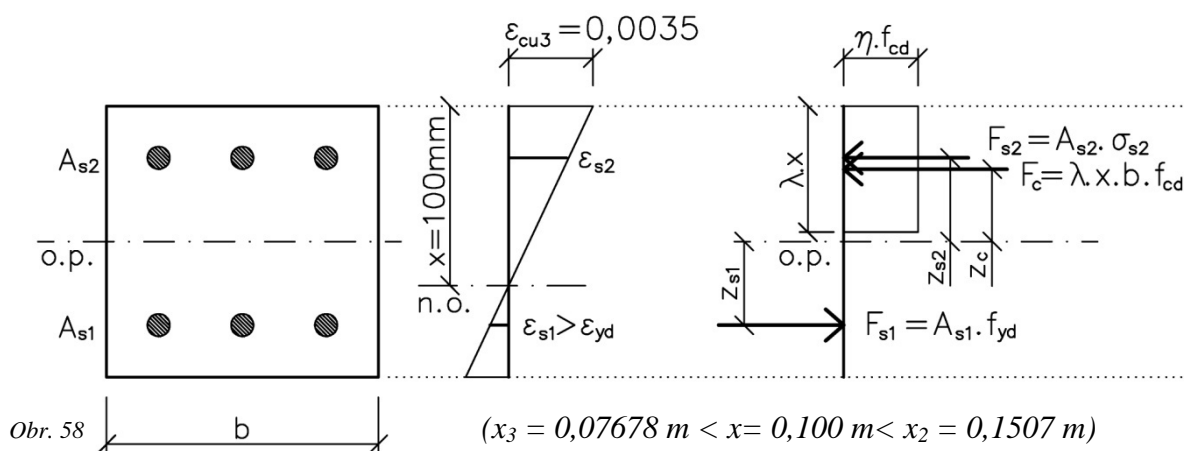
$$\gg \gg \mathbf{x = 0,07678\ m}$$

Síla a moment únosnosti:

$$\begin{aligned} N_{Rd,3} &= F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 0,8 \cdot \\ &0,07678 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 - 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 + \\ &1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 0,000878967 \cdot 200 \cdot 10^6 = 368,544 - 627,41 + \\ &258,856 = \mathbf{0\ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,3} &= F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (h/2 - 0,4 \cdot x) \\ &+ A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_{s2} = 0,8 \cdot 0,07678 \cdot 0,3 \cdot \\ &20 \cdot 10^3 \cdot (0,3/2 - 0,4 \cdot 0,07678) + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot \\ &426087 \cdot (0,15 - 0,0575) + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 0,000878967 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot \\ &(0,15 - 0,0575) = 43,968 + 58,036 + 23,944 = \mathbf{125,948} \\ &\mathbf{kNm} \end{aligned}$$

➤ **Bod mezi 2 a 3: volím $x = 100 \text{ mm}$**



$$(x_3 = 0,07678 \text{ m} < x = 0,100 \text{ m} < x_2 = 0,1507 \text{ m})$$

$$\epsilon_{cu3} = 0,0035$$

$$\epsilon_{s1} > \epsilon_{yd} \gg \sigma_{s1} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

ϵ_{s2} : Z podobnosti trojúhelníků:

$$\text{tg } \alpha = \epsilon_{cu3} / x = 0,0035 / 0,1 \gg \alpha = 2,0045^\circ$$

$$\text{tg } 2,0045^\circ = \epsilon_{s2} / (x_{bal,1} - d_2)$$

$$\epsilon_{s2} = 0,002165 < \epsilon_{yd} = 426,087 / 200 \cdot 10^3 = 0,00213, \text{ kde}$$

$$\epsilon_{s2} = \text{tg } 2,0045^\circ \cdot (0,1 - 0,0575) = 0,0014875$$

$$\gg \sigma_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{s2} = 200 \cdot 10^6 \cdot 0,0014875 = 297500 \text{ kPa}$$

Síla a moment únosnosti:

$$\begin{aligned} N_{Rd,2-3} &= F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 0,8 \cdot \\ &0,1 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 - 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot \\ &297500 = 480 - 627,41 + 438,069 = \mathbf{290,66 \text{ kN}} \end{aligned}$$

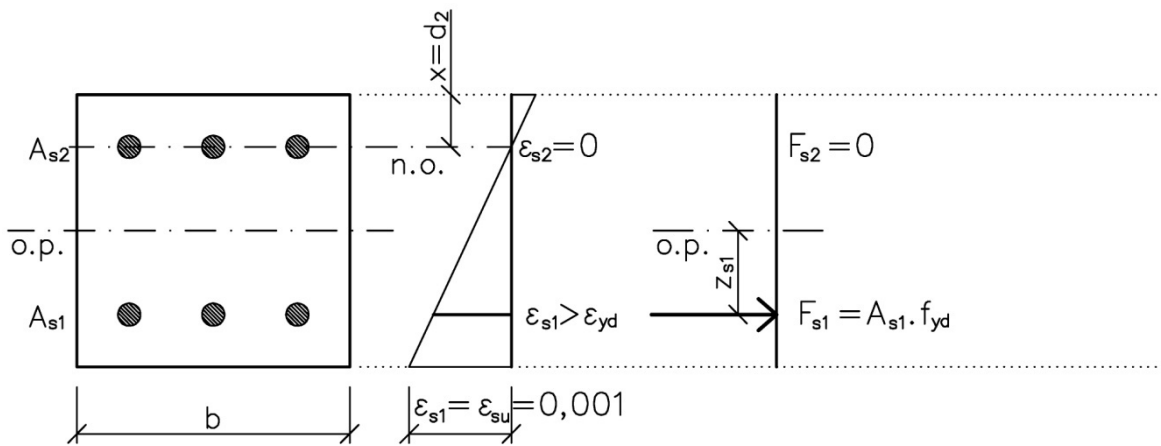
$$\begin{aligned} M_{Rd,2-3} &= F_c \cdot Z_c + F_{s1} \cdot Z_{s1} + F_{s2} \cdot Z_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (h/2 - \\ &0,4 \cdot x) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot Z_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot Z_{s2} = 0,8 \cdot 0,1 \cdot 0,3 \cdot \\ &20 \cdot 10^3 \cdot (0,3/2 - 0,4 \cdot 0,1) + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 \cdot (0,15 - \\ &0,0575) + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 297500 \cdot (0,3/2 - 0,0575) = 52,8 + \\ &58,036 + 106,232 = \mathbf{217,068 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

➤ **Bod 4 – NEUTRÁLNÁ OSA V TĚŽIŠTI**

VÝZTUŽE A_{s2} : $F_{s2} = 0; x = d_2$

$$\epsilon_{s1} = 0,01 > \epsilon_{yd} = 0,00213 \gg \sigma_{s1} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{s2} = 0 \gg \sigma_{s2} = 0$$



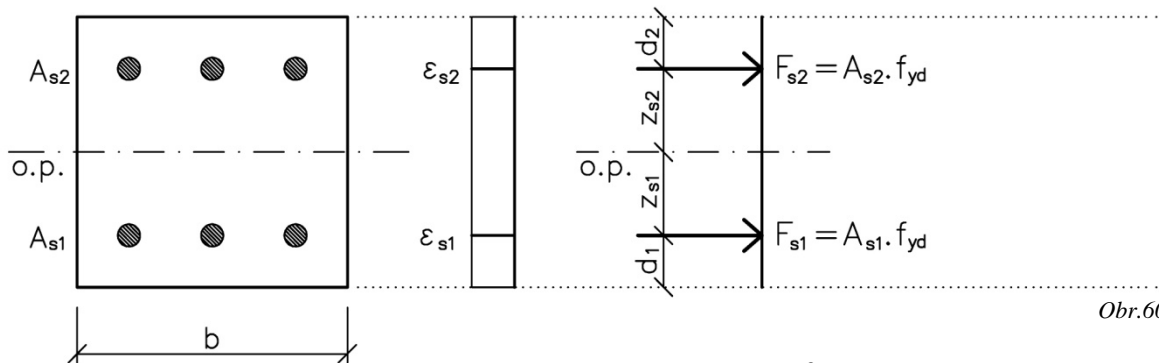
Obr. 59

Síla a moment únosnosti:

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 = \mathbf{627,41 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 \cdot (0,15 - 0,0575) = \mathbf{58,036 \text{ kNm}}$$

➤ **Bod 5 – DOSTŘEDNÝ TAH:** $M_{Rd,5} = 0$



Obr.60

$$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd} = 0,00213 \gg \sigma_{s1} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} = 0,00213 \gg \sigma_{s2} = f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

Pozn. Beton ovšem v tahu nepůsobí.

Síla a moment únosnosti:

$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 + 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 = 627,41 + 627,41 = \mathbf{1254,82 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_{s1} - F_{s2} \cdot z_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_{s2} = 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 \cdot (0,15 - 0,0575) - 1,4725 \cdot 10^{-3} \cdot 426087 \cdot (0,3 - 0,0575) = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

Omezení interakčního diagramu:

$$\text{Výstřednost } e_0 = h / 30 = 10 \text{ mm}$$

$$e_0 \geq 20 \text{ mm} \gg e_0 = 20 \text{ mm}$$

Moment výstřednosti

$$M_{e0} = N_{Rd,0} \cdot e_0 = 2978 \cdot 0,020 = \mathbf{59,56 \text{ kNm}}$$

Přesah výztuže: Z návrhu výztuže >>>

$$6\text{Ø}25 \text{ mm } (A_s = 2,945 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2), \text{ při } A_{s,req} = 2,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$l_{b,req} = \text{Ø}/4 \cdot (\sigma_{Ed} / f_{bd}) = 0,025/4 \cdot (311065,2/2999) \\ = 0,648 \text{ m}$$

$l_{b,req}$... základní kotevní délka

$$\sigma_{Ed} = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_s) = 426087 \cdot (2,15 \cdot 10^{-3} / 2,945 \cdot 10^{-3}) \\ = 311065,2 \text{ kPa} = 311,07 \text{ MPa}$$

σ_{Ed} ... návrhové namáhání prutu v místě kotvení [MPa]

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 2,999 \text{ MPa}$$

f_{bd} ... návrhová hodnota soudržnosti v místě kotvení

$$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_s = 2,0 / 1,5 = 1,333 \text{ MPa}$$

f_{ctd} ... návrhová pevnost betonu v tahu [MPa]

$\eta_1 = 1,0$... dobré podmínky

η_1 ... podmínky uložení výztuže

$\eta_2 = 1,0$... $\text{Ø} \leq 32 \text{ mm}$

η_2 ... součinitel průměru výztuže

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,req} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,648 = \\ 0,972 \text{ m} \geq l_{b,min} = 0,250 \text{ m}$$

$$l_{b,min} > \max.(0,3 l_{b,req}; 10\text{Ø}; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 0,648; \\ 10 \cdot 0,025; 100 \text{ mm}) = \max(0,1944; 0,250; 0,100) = 0,25 \text{ m}$$

α_1 ... tvar prutu $\alpha_1 = 1,0$... přímý tažený prut

α_2 ... tloušťka krycí vrstvy betonu a mezer mezi pruty
 $\alpha_2 = 1,0$

α_3 ... vliv příčné výztuže $\alpha_3 = 1,0$

α_5 ... vliv tlaku kolmého na plochu štěpení podél
návrhové kotevní délky $\alpha_5 = 1,0$

α_6 ... procento stykované výztuže $\alpha_6 = 1,5$

Třmínky:

>>> navrhuji $\varnothing_{sw} = 10 \text{ mm}$

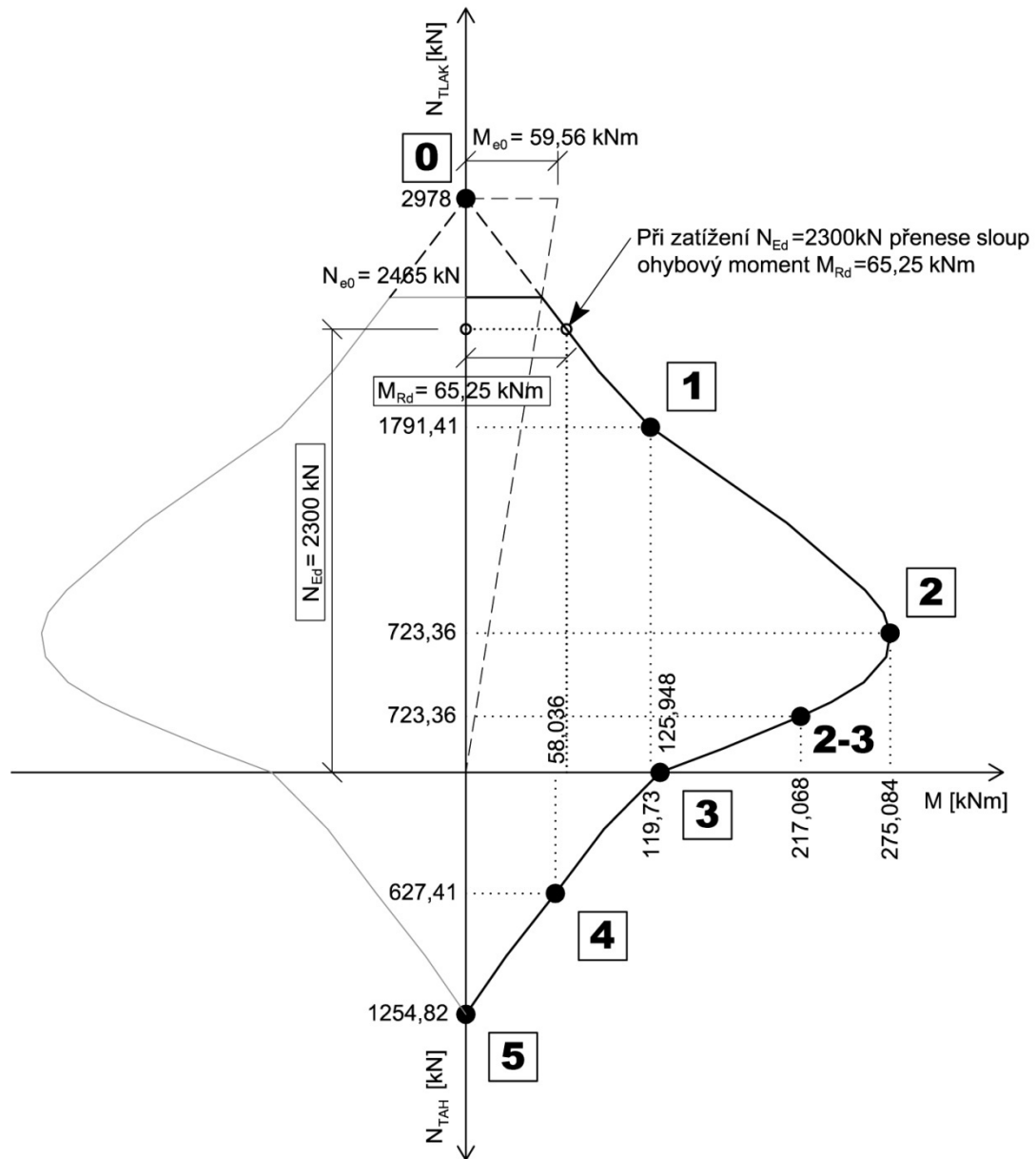
$$s_1 = \min(15\varnothing; h; b; 300) = (375; 300; 300; 300) \\ = 300 \text{ mm}$$

s_1 ... základní vzdálenost třmínků

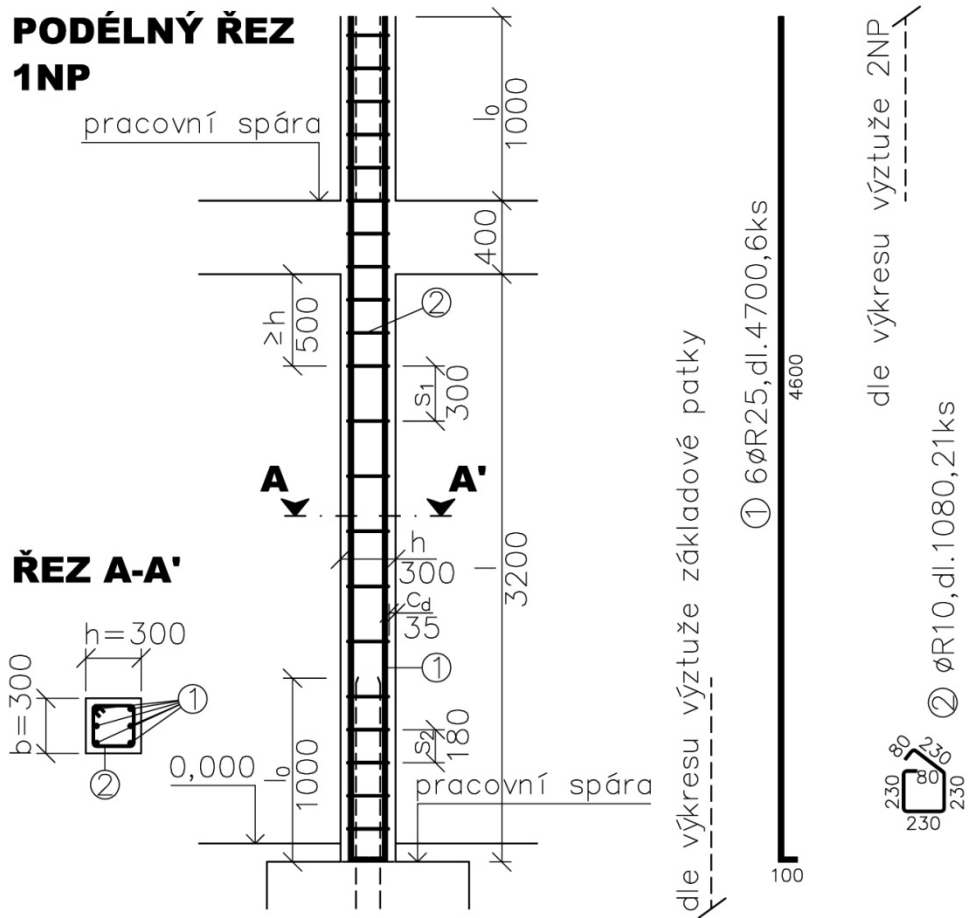
$$s_2 \leq 0,6 \cdot s_1 = 180 \text{ mm}$$

s_2 ... zhuštěná vzdálenost třmínků

INTERAKČNÍ DIAGRAM



Obr. 61



| K-ČNÍ PRVEK | Č. VLOŽKY | PRŮMĚR VLOŽKY | DÉLKA VLOŽKY | POČET VLOŽEK | DÉLKA CELKEM | HMOTNOST VLOŽKY | HMOTNOST CELKEM |
|--------------------------|-----------|---------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | | [mm] | [m] | [ks] | [m] | [kg/m'] | [kg/Ø] |
| SLOUP 1NP | 1 | Ø25 | 4700 | 6 | 28,2 | 3,85 | 108,57 |
| | 2 | Ø10 | 1080 | 21 | 22,68 | 0,61 | 13,83 |
| HMOTNOST CELKEM [kg] | | | | | | | 122,40 |
| HMOTNOST CELKEM [kg] +5% | | | | | | | 128,50 |

NAVRŽENO DLE: ČSN EN 1992-1-1
 OCEL: B490 (10 505; ØR)
 BETON: C 30/37

Obr. 62

8.2.1.1 Vyztužování sloupů

Je nutno podotknout, že při dlouhodobém namáhání sloupu tlakem se beton *dotvaruje*. Tím se zvyšuje také namáhání tlačných vložek (výztuže). Při nevhodně navržené (např. nedostatečně) příčné výztuži (třmínky), může dojít k vybočení tlačných vložek až po delší době při působícím zatížení.

Dotvarování betonu= u betonových konstrukcí, které jsou trvale zatíženy, lze zjistit, že se **plasticky přetvořují**, velikost odpovídá síle zatížení. Působí-li síla dále, stlačení (dotvarování) dále narůstá, z počátku rychleji, po uplynutí několika let se zastaví.

Činitelé ovlivňující dotvarování:

- 1) kvalita betonu
- 2) teplota a vlhkost prostředí
- 3) stáří betonu v okamžiku, kdy je kce zatížena

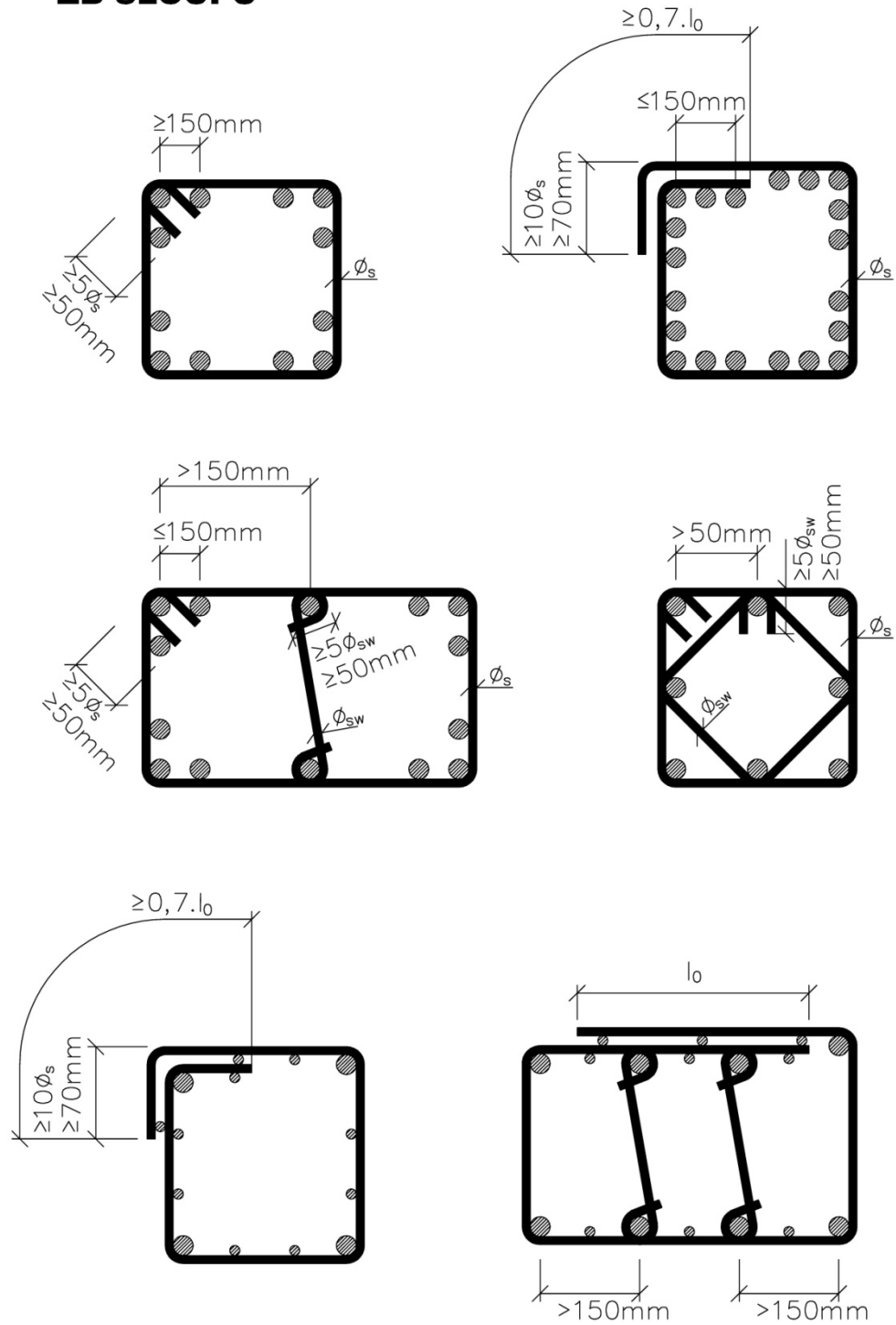
Podélná výztuž: dle normy *požadované* **min. 4 ks výztuže**
min. Ø8 mm
 $s_{min} = \max. \{\emptyset; d_{zrna}+5; 20\}$
 s_{min} ... min.osová vzdálenost výztuže
 $s_{max} \leq 400 \text{ mm}$
 s_{max} ... max. osová vzdálenost výztuže

doporučené **min.6 výztužných vložek** u sloupu **kruhového průřezu**

Příčná výztuž: dle normy *požadované* **min. Ø6mm** nebo $\frac{1}{2}$ Ø podélné výztuže (svařované sítě Ø5mm)
 $s_{sw1} = \min. \{15 \cdot \emptyset; h; b; 300\}$
 s_{sw1} ... max. osová vzdálenost třmínků
 s_{sw2} ... zhuštěná vzdálenost třmínků
 $s_{sw2} \leq 0,6 \cdot s_{sw1}$, když:

- 1) Nad a pod napojením na vodorovný prvek nosné konstrukce $\geq h$.
- 2) Ve styku podélných prutů přesahem; pokud $\emptyset > 14 \text{ mm}$ >>> ve styku je třeba umístit **min. 3 třmínky**.

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VYZTUŽOVÁNÍ ŽB SLOUPŮ



Obr. 63

9 Základové konstrukce

V současnosti platí norma EN 1997. Dle EN ČSN se podmínky spolehlivosti únosnosti základové půdy určují podle mezních stavů.

I.MS (mezní stav únosnosti):

- ztráta stability základové půdy

II.MS (mezní stav použitelnosti):

- stav přetvoření základové půdy a tím znesnadňující používání konstrukcí

| | |
|--|--------------|
| Naše norma rozlišuje <i>základové poměry</i> | - jednoduché |
| | - složité |
| <i>a náročnost stavebních konstrukcí</i> | - nenáročné |
| | - náročné |

Geotechnické kategorie:

I. nenáročné stavby – jednoduché základové poměry

$\sigma_d \leq f_{gd}$ **podmínka spolehlivosti**

σ_d ... napětí v základové spáře

f_{gd} ... únosnost zeminy

Únosnost základové půdy se stanoví s příslušné tabulky ČSN EN pro základové půdy, jejíž druh (dle polohy staveniště) by byl určen v dokumentu inženýrsko-geologického průzkumu.

II. nenáročné stavby – složité základové poměry

III. náročné stavby – složité základové poměry

Únosnost zeminy se určí z obecných vzorců použitím charakteristiky základové půdy, které se získají laboratorním zkoušením na neporušených vzorcích.

Plošné základy přenáší zatížení kontaktem své půdorysné plochy na základovou spáru a následně do základové půdy.

Platí, že základ musí být tím větší (plošně), čím je únosnost zeminy menší.

Rozdělení dle tvaru a konstrukčního uspořádání:

- patky
- pásy

Rozdělení dle vyztužení:

- z prostého betonu
- železobetonové

Pojmy:

Patní spára – plocha ve styku mezi spodním povrchem svislé nosné konstrukce a horním povrchem základové konstrukce.

Základová spára – plocha ve styku mezi základovou konstrukcí a základovou půdou (nejčastěji vodorovná, dále svislá, lomená).

Hloubka je ovlivněna:

- nezámraznou hloubkou (min. 0,8 m)
- hloubkou vysychání jílu (min. 1,6 m)
- výškou hladiny podzemní vody
- úrovní základové spáry objektů v těsné blízkosti (rozhoduje úhel tření zeminy φ)
- konstrukčním systémem

9.1 Základové patky

Navrhují se pod sloupy skeletových systémů.

Rozdělení dle tvaru: - jednoduché
 - stupňovité
 - jehlanové

| | <u>PROSTÝ BETON</u> | <u>ŽELEZOBETON</u> |
|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| <i>Jednoduchá</i> | ekonomické do výšky 1m | výška se vyztužením snižuje. |
| <i>Roznášecí úhel</i> | 60° | 30 až 45° |

Odstupky patky jsou zespod namáhány tlakem zeminy na ohyb! Prostý beton na ohyb posuzujeme v případě, že navrhujeme pás z prostého betonu.

Odstupek tím předpokládáme jako konzolu o daném vyložení

$l_k = 0,15 \cdot b_0 + a$ nebo $\beta \cdot a = 0,176 \cdot a + a$.

Pozn.

Vyložení konzoly se liší dle užití literatury. Pro samotný výpočet je však rozdíl hodnot zanedbatelný.

9.2 Základové pásy

Navrhují se pod průběžné stěny.

Rozdělení dle tvaru: - jednoduché
 - stupňovité

Návrh plochy se provádí stejným způsobem jako u základové patky s jediným rozdílem, a to s délkou pásu $L=1\text{ m}$ (zatížení na 1 m stěny).

Odstupky pásu jsou zespod namáhány tlakem zeminy na ohyb! Prostý beton na ohyb posuzujeme v případě, že navrhujeme pás z prostého betonu.

Odstupek tím předpokládáme jako konzolu o daném vyložení a šířkou $L=1\text{ m}$.

9.3 Návrh a posouzení základové konstrukce

Obecně **1** **NÁVRH**

$H \geq 0,8\text{ m}$ (dodržení nezámrné hloubky)

Dle druhu zeminy, hloubky založení a odhadu šířky základu odhadneme f_{gd} . Použijeme tabulku.

f_{gd} ... únosnost zeminy [MPa]

Odhadneme vlastní tíhu základu $G_d = 0,1 \cdot N_{Ed}$

G_d ... vlastní tíha základu [kN]

Odhadneme nutnou plochu základu

$$A = (N_{Ed} + G_d) / f_{gd}$$

$L \cdot B = A$, kdy $L = 1 \text{ m}$ u základového pásu $\gggg A_s$

A_s ... skutečná plocha základu (u pásu na 1 m délky)

$$H = \operatorname{tg} \alpha \cdot a$$

H, h_f ... výška základu

nebo

$$h_f = 2 \cdot a \quad h_f/a = 2 \quad \gggg \alpha = 63^\circ \geq 60^\circ$$

(u prostého betonu)

\gggg Výška základu neovlivní pevnost betonu v tahu, nedojde k porušení základu smykem či ohybem. Nemusíme posuzovat základ na ohyb.

$$H \geq 0,8 \text{ m}$$

a ... odstupek [m]

α ... roznášecí úhel (u ŽB $30 - 45^\circ$, u prostého $\geq 60^\circ$)

nebo lze určit velikost výšky základu z hlavních tahových napětí ve spodní části:

$$h_f = 1,176 \cdot a \cdot (3 \cdot \sigma_{gd} / f_{ctd})^{1/2}$$

$$\sigma_{gd} = N_{Ed} / A$$

σ_{gd} ... návrhová hodnota normálového tlakového napětí působícího ve spáře základu

A ... návrhová plocha patky v základové spáře

f_{ctd} ... návrhová pevnost betonu v tahu

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

$f_{ctk,0,05}$... charakteristická pevnost betonu v tahu (resp. dolní kvantil charakteristické pevnosti betonu v tahu)

α_{ct} ... součinitel, kterým se zohledňují dlouhodobé účinky na pevnost v tahu a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Pozn.

Třídu betonu volíme v návaznosti na stupeň vlivu prostředí základové konstrukce.

2 POSOUZENÍ

$$\sigma_d = (N_{Ed} + G_d) / A_s$$

N_{Ed} ... dostředná normálová síla od zatížení [kN]

G_d ... vlastní tíha základu [kN]

$$\sigma_d \leq f_{gd}$$

f_{gd} ... únosnost zeminy určen přesně v závislosti na šířce základu u pásu pomocí interpolace [MPa]

3 POSOUZENÍ základu na ohyb

Není-li dodržen roznášecí úhel ($\alpha \geq 60^\circ$ u prostého betonu), je nutné posouzení základu na ohyb.

Můžeme si představit, že odstupek základové patky (pásu) působí jako vetknutá konzola v myšleném teoretickém řezu, který leží za lícem sloupu ve vzdálenosti $0,176 \cdot a$, zatížena ze spodu návrhovou hodnotou normálového napětí v základové spáře σ_{gd} .

Normálové napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky:

$$\sigma_{gd} = N_{Ed} / A_s$$

Ohybový moment (maximální ohybový moment na konzole):

$$M_{Ed} = 1/2 \cdot \sigma_{gd} \cdot (\beta \cdot a)^2$$

$\beta \cdot a = a + 0,176 \cdot a = l_k \gg \gg$ teoretický řez leží $0,176 \cdot a$ za lícem stěny (sloupu)

$$\text{nebo } l_k = 0,15 \cdot b_0 + a$$

Ohybový moment únosnosti (momentová únosnost)

$$M_{Rd} = 1/6 \cdot f_{ctd} \cdot l \cdot b \cdot h^2$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

VYHOVUJE

9.3.1 Základová patka z prostého betonu – dostředně tlačená

Zadání: Navrhňte a posuďte základovou patku z prostého betonu pod sloupem čtvercového průřezu 350×350 mm. Beton C 25/30. Zatížení v patní spáře sloupu o velikosti $N_{Ed} = 600$ kN. Návrhová pevnost základové půdy $f_{gd} = 0,275$ MPa (S-F) pro š. základu 1 m.

1 NÁVRH

$$G_d = 0,1 \cdot N_{Ed} = 0,1 \cdot 600 = 60 \text{ kN}$$

$$A = (N_{Ed} + G_d) / f_{gd} = (600 + 60) / (0,275 \cdot 10^3) = 2,4 \text{ m}^2$$

$$L \cdot B = A \gg \gg L = B = A^{1/2} = 2,4^{1/2} = 1,55 \text{ m}$$

>>> Navrhují plochu patky $1,6 \times 1,6$ m

$$a = (B - b_0) / 2 = (1,6 - 0,35) / 2 = 0,625 \text{ m}$$

$$H = \operatorname{tg} \alpha \cdot a = \operatorname{tg} 60^\circ \cdot 0,625 = 0,86 \text{ m}$$

nebo

$$h_f = 1,176 \cdot a \cdot (3 \cdot \sigma_{gd} / f_{ctd})^{1/2}$$

$$= 1,176 \cdot 0,625 \cdot (3 \cdot 234,375 / (1,2 \cdot 10^3))^{1/2} = 0,5625 \text{ m}$$

$$\sigma_{gd} = N_{Ed} / A_s = 600 / (1,6 \cdot 1,6) = 234,375 \text{ kPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1,0 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,2 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

>>> Navrhují (nezámrazná hloubka) $H = 0,9$ m

Zatížení na zeminu:

$$\text{Zatížení v patní spáře sloupu} \quad N_{Ed} = 600 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Vlastní tíha základu } G_d &= L \cdot B \cdot H \cdot \rho_{PB} \cdot \gamma_g \\ &= 1,6 \cdot 1,6 \cdot 0,9 \cdot 23 \cdot 1,35 \\ &= 71,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

2 POSOUZENÍ

Napětí v základové spáře:

$$\sigma_d = (N_{Ed} + G_d) / A_s = 671,54 / 1,6^2 = 262,31 \text{ kPa}$$

$$= 0,262 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d \leq f_{gd} = 0,3125 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

(interpolací mezi hodnotami pro š. 1,6 m, zemina S-F)

$$\begin{array}{ccc} \text{š. 1m} & \text{š. 1,6m} & \text{š. 3m} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 0,275 & f_{gd} & 0,40 \end{array}$$

3 POSOUZENÍ základu na ohyb

Normálové napětí v základové spáře:

$$\sigma_{gd} = N_{Ed} / A_s = 600 / (1,6 \cdot 1,6) = 234,375 \text{ kPa}$$

Ohybový moment:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot (\beta \cdot a)^2 = \frac{1}{2} \cdot 234,375 \cdot (1,176 \cdot 0,625)^2 \\ &= 117,19 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Ohybový moment únosnosti (momentová únosnost):

$$M_{Rd} = 1/6 \cdot f_{ctd} \cdot l \cdot b \cdot h^2 = 1/6 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 1,6 \cdot 0,9^2 =$$

$$= 414,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 117,19 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 414,72 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

9.3.2 Základová patka z železobetonu – dostředně tlačená

Zadání: Navrhněte železobetonovou základovou patku, jestliže $N_{Ed} = 1280 \text{ kN}$, sloup $400 \times 400 \text{ mm}$, beton C 25/30, ocel 10 505 (dle EN B500 B), stupeň vlivu prostředí XC2, životnost 80 let, základová půda písek dobře zrněný (symbol SW).

1 NÁVRH

$$G_d = 0,1 \cdot N_{Ed} = 0,1 \cdot 1280 = 128 \text{ kN}$$

$$A = (N_{Ed} + G_d) / f_{gd} = (1280 + 128) / (0,50 \cdot 10^3) = 2,816 \text{ m}^2$$

$$L \cdot B = A \gg \gg L = B = A^{1/2} = 2,816^{1/2} = 1,68 \text{ m}$$

$\gg \gg$ Navrhují plochu patky $1,7 \times 1,7 \text{ m}$

$$a = (B - b_0) / 2 = (1,7 - 0,40) / 2 = 0,65 \text{ m}$$

$$H = \text{tg } \alpha \cdot a = \text{tg } 45^\circ \cdot 0,65 = 0,65 \text{ m}$$

$\gg \gg$ Navrhují (nezámrzná hloubka) $H = 0,9 \text{ m}$

Zatížení na zeminu:

$$\text{Zatížení v patní spáře sloupu} \quad N_{Ed} = 1280 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Vlastní tíha základu } G_d &= L \cdot B \cdot H \cdot \rho_{PB} \cdot \gamma_g \\ &= 1,7 \cdot 1,7 \cdot 0,9 \cdot 23 \cdot 1,35 \\ &= 80,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

2 POSOUZENÍ únosnosti základové půdy

Napětí v základové spáře:

$$\sigma_d = (N_{Ed} + G_d) / A_s = (1280 + 80,76) / 1,7^2 = 470,85 \text{ kPa}$$

$$\underline{\underline{= 0,471 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_d \leq f_{gd} = 0,605 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

(interpolací mezi hodnotami pro š. 1,7 m, zemina SW)

| | | |
|--------|----------|--------|
| š. 1 m | š. 1,7 m | š. 3 m |
| 0,50 | f_{gd} | 0,80 |

Normálové napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky:

$$\sigma_{gd} = N_{Ed} / A_s = 1280 / (1,7 \cdot 1,7) = \underline{442,90 \text{ kPa}}$$

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot (\beta \cdot a)^2 = \frac{1}{2} \cdot 442,90 \cdot (1,176 \cdot 0,65)^2 = \underline{129,39 \text{ kNm}}$$

$$\beta \cdot a = l_k = 0,176 \cdot a + a = 1,176 \cdot a$$

Jelikož je patka navrhovaná jako železobetonová, není nutné posuzovat únosnost prostého betonu v ohybu.

3 NÁVRH výztuže základové patky

S ohledem na stupeň vlivu prostředí XC2 volíme krytí $c_d = 50 \text{ mm}$. Postup výpočtu krytí je nám již znám z předchozích kapitol a je stejný.

Požadavek na pevnost betonu dle XC2 je C25/30, což nám souhlasí se zadáním.

Materiálové charakteristiky:

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 25 / 1,5 = \underline{16,66 \text{ MPa}}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 490 / 1,15 = \underline{426,087 \text{ MPa}}$$

Vnitřní síly:

>>> Předpokládám $\varnothing 16 \text{ mm}$

$$d = h - c_d - \frac{1}{2} \cdot \varnothing = 0,9 - 0,05 - 0,08 = \underline{0,842 \text{ m}}$$

$$M_{Ed} = 129,39 \text{ kNm} / \text{m}^2$$

Nutná plocha výztuže:

$$A_{s,req} = [(b \cdot d \cdot \xi \cdot f_{cd}) / f_{yd}] \cdot \{1 - [1 - (2 \cdot M_{Ed}) / (b \cdot d^2 \cdot \xi \cdot f_{cd})]^{1/2}\}$$

$$= [(1,0,842 \cdot 1,16,66 \cdot 10^3) / (426,087 \cdot 10^3)]$$

$$\cdot \{1 - [1 - (2 \cdot 129,39) / (1,0,842^2 \cdot 1,16,66 \cdot 10^3)]^{1/2}\} =$$

$$= 3,293 \cdot 10^{-2} \cdot 0,011 = \underline{3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Navrhuji >>> $R\varnothing 16 / 250 \text{ mm}$; ($A_s = 8,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)

Min. a max. plocha výztuže:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk} \\ = 0,26 \cdot (2,6 \cdot 10^3 \cdot 1,0,842) / 490 \cdot 10^3 = 11,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 10,842 = 10,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} \leq A_s = 8,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_{s,\max} \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

! Zvyšuji plochu výztuže !

$$\ggg R\emptyset 16 / 180 \text{ mm}; (A_s = 11,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

Rozdělovací výztuž:

$$A_{R.V.} = 20\% \cdot A_s = 0,2 \cdot 11,17 \cdot 10^{-4} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navrhuj} \ggg A_{R.V.} = R\emptyset 8 / 200 \text{ mm} (A_s = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)$$

④ POSOUZENÍ PRŮŘEZU patky

$$x = (A_s \cdot f_{yd}) / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

$$= 11,17 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 / (1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 16,66 \cdot 10^3)$$

$$= \underline{0,0357 \text{ m}}$$

$$\xi = x / d = 0,0357 / 0,842 = \underline{0,0424}$$

$$\xi_{\text{bal},1} = 700 / (700 + f_{yd}) = 70 / (700 + 426,087) = 0,622$$

$$\xi = 0,0424 \leq \xi_{\text{bal},1} = 0,622$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,842 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0357 = \underline{0,82772 \text{ m}}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 11,17 \cdot 10^{-4} \cdot 426,087 \cdot 10^3 = \underline{475,94 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 475,94 \cdot 0,82772 = \underline{393,945 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = 393,945 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 129,39 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE R\emptyset 16 / 180 mm

Tab. 20 Tabulková výpočtová únosnost zeminy a hornin f_{gd}

| Tabulková výpočtová únosnost zemin a hornin (f_{gd}) | | | | | | |
|--|--|------------|--|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Štěrkovité a písčité zeminy [MPa] ($G = gravel, S = sand$) | | | | | | |
| Třída | Název | Symbol | Šířka základu b [m] | | | |
| | | | 0,5 | 1,0 | 3,0 | 6,0 |
| G1 | Štěrk dobře zrněný | GW | 0,50 | 0,80 | 1,00 | 0,8 |
| G2 | Štěrk špatně zrněný | GP | 0,40 | 0,65 | 0,85 | 0,65 |
| G3 | Štěrk s příměsí jemnozrné zeminy | G-F | 0,30 | 0,45 | 0,70 | 0,50 |
| G4 | Štěrk hlinitý | GM | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,30 |
| G5 | Štěrk jílovitý | GC | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,20 |
| S1 | Písek dobře zrněný | SW | 0,30 | 0,50 | 0,80 | 0,60 |
| S2 | Písek špatně zrněný | SP | 0,25 | 0,35 | 0,60 | 0,50 |
| S3 | Písek s příměsí jemnozrné zeminy | S-F | 0,225 | 0,275 | 0,40 | 0,325 |
| S4 | Písek hlinitý | SM | 0,175 | 0,225 | 0,30 | 0,25 |
| S5 | Písek jílovitý | SC | 0,125 | 0,175 | 0,225 | 0,175 |
| Jemnozrné zeminy [MPa] ($F = fine-grained$) | | | | | | |
| Třída | Název | Symbol | Konzistence | | | |
| | | | Měkká | Tuhá | Pevná | tvrdá |
| F1 | Hlína štěrkovitá | MG | 0,11 | 0,20 | 0,30 | 0,50 |
| F2 | Jíl štěrkovitý | CG | 0,10 | 0,175 | 0,275 | 0,45 |
| F3 | Hlína písčitá | MS | 0,10 | 0,175 | 0,275 | 0,45 |
| F4 | Jíl písčitý | CS | 0,08 | 0,15 | 0,25 | 0,40 |
| F5 | Hlína s nízkou nebo střední plasticitou | ML, MI | 0,07 | 0,15 | 0,25 | 0,40 |
| F6 | Jíl s nízkou nebo střední plasticitou | CL, CI | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,35 |
| F7 | Hlína s vysokou, velmi vysokou nebo extrémně vysokou plasticitou | MH, MV, ME | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,35 |
| F8 | Jíl s vysokou, velmi vysokou nebo extrémně vysokou plasticitou | CH, CV, CE | 0,04 | 0,08 | 0,16 | 0,30 |
| Skalní masiv [MPa] ($R = rock$) | | | | | | |
| Třída | Název | Pevnost | Hustota diskontinuit – vzdálenost [mm] | | | |
| | | | α_c | Velmi malá až malá > 600 | Střední až velká > 600-60 | Velmi velká až extrémní < 60 |
| R1 | Skála s velmi vysokou pevností | > 150 | 8 | 4 | 2,5 | |
| R2 | Skála s vysokou pevností | 50-150 | 4 | 2 | 1,2 | |
| R3 | Skála se střední pevností | 15- 50 | 1,6 | 0,8 | 0,5 | |
| R4 | Skála s nízkou pevností | 5 - 15 | 0,8 | 0,4 | 0,25 | |
| R5 | Skála s velmi nízkou pevností | 1,5 - 5 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | |
| R6 | Skála s extrémně nízkou pevností | 0,5-1,5 | 0,4 | 0,25 | 0,15 | |
| Pozn. | | | | | | |
| Tabulkové hodnoty jsou pouze orientační, přesnější hodnoty získáme na základě geologického průzkumu. | | | | | | |
| Jemnozrné zeminy – hodnoty platí pro hl. založení 0,8 až 1,5m a pro š. základu do 3 m. | | | | | | |
| Mezi hodnotami z tabulky se dá <i>interpolovat</i> . | | | | | | |

10 Ocelové a dřevěné prvky namáhané na tlak

10.1 Teorie prutů namáhaných na tlak

U prutů namáhaných na tlak je možné téměř vždy očekávat, že při jejich ztrátě únosnosti (překročení I.MS mezního stavu únosnosti) dojde k vybočení, proto je posuzujeme na VZPĚR a ne „jen“ na PROSTÝ TLAK. Výjimkou jsou vlastně pouze krátké a velice masivní sloupy.

Odolnost proti ztrátě únosnosti (porušení) pak nazýváme VZPĚRNÁ PEVNOST.

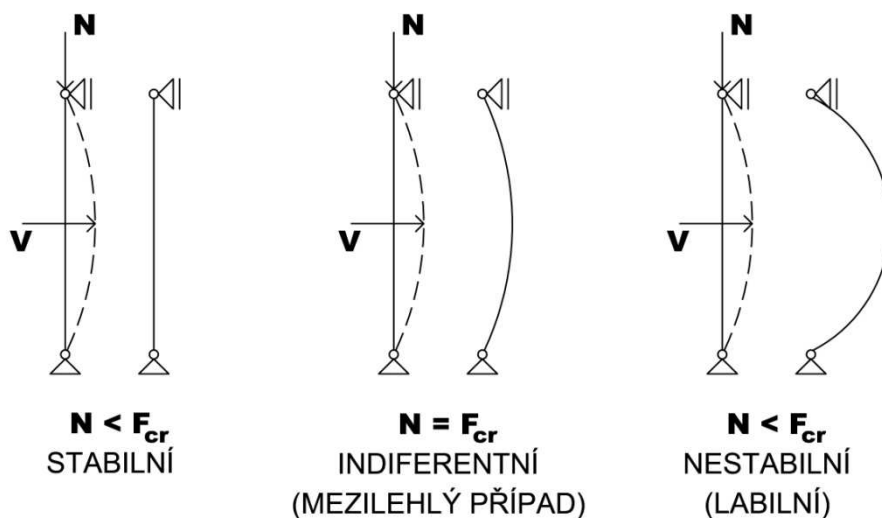
Co znamená, když je prvek STABILNÍ (NESTABILNÍ)?

Stabilita je schopnost soustavy vychýlené z původního tvaru vracet se do původního stavu hned, jakmile pomine příčina, která vychýlení způsobila. Soustavu nazýváme NESTABILNÍ, tj. LABILNÍ, pokračuje-li pohyb i po odstranění příčiny vychýlení.

K prutu namáhanému normálovou silou N přiložíme kolmou sílu V , kterou prut vychýlíme. Poté tuto sílu odstraníme. Pokud se prut po odtížení silou F vrátí do původní polohy (napřímení), jeho stav se označuje za STABILNÍ. Opakem je pak prvek NESTABILNÍ.

Třetím případem je případ mezilehlý (teoretický předpoklad). Tehdy zůstane prut ohnut, ale jeho průhyby se dále nezvětšují. Jedná se o rozhraní a tomu odpovídající síla je tzv. KRITICKÁ SÍLA F_{cr} .

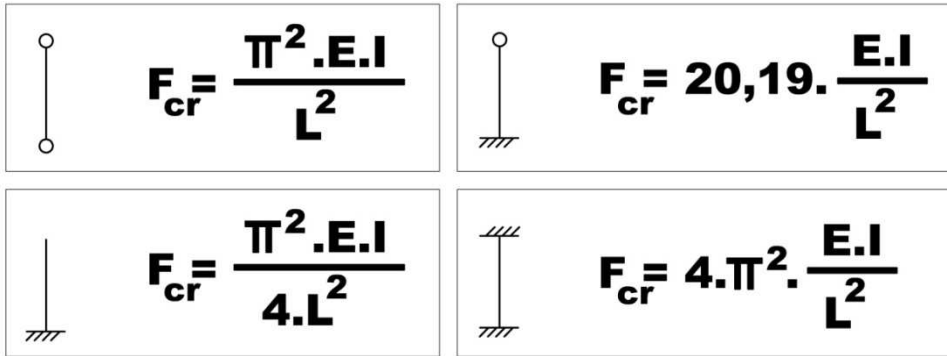
Obr. 64



Jak s tím tedy souvisí VZPĚRNÁ DÉLKA?

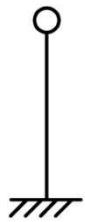
Pomocí vzpěrné délky převádíme pruty různého uložení na základní případ, kterým je prut oboustranně kloubově uložený.

Pozn. Vzpěrná délka = volná, efektivní, kritická délka.



Obr. 65

Př.



$$\begin{aligned} \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} &= 20,19 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2} \\ L_{cr}^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I &= 20,19 \cdot E \cdot I / L^2 \quad / \cdot L^2 \\ L^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I &= 20,19 \cdot E \cdot I \cdot L_{cr}^2 \\ L \cdot \pi &= (20,19)^{1/2} \cdot L_{cr} \\ L_{cr} &= \pi \cdot L / (20,19)^{1/2} \\ L_{cr} &= 0,699 \cdot L \\ L_{cr} &= 0,7 \cdot L \gg \beta = 0,7 \end{aligned}$$

Obr. 66

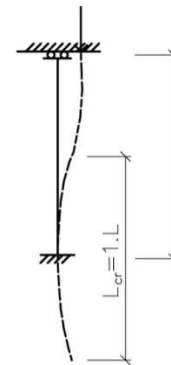
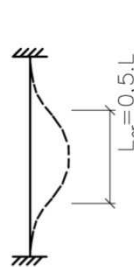
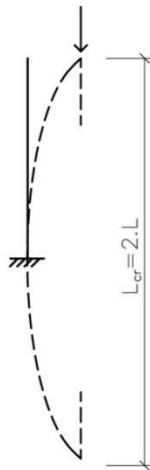
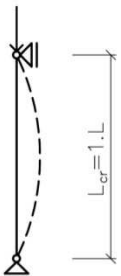
$\beta = 1$

$\beta = 2$

$\beta = 0,7$

$\beta = 0,5$

$\beta = 1$



10.2 Vzpěrný tlak rovinný u ocelových konstrukcí

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1,0$$

N_{Ed} ... návrhová normálová síla (od zatížení)

$N_{b,Rd}$... návrhová vzpěrná únosnost centricky tlačeného prutu

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 a 3}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad \text{pro průřezy třídy 4}$$

χ ... součinitel vzpěrnosti [-]

A ... plocha průřezu [m^2]

f_y ... charakteristická mez kluzu konstrukční oceli [kPa]

γ_{M1} ... dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\bar{\lambda}$... poměrná štíhlost prutu pro průřezy třídy 1, 2 a 3

| Součinitel imperfekce α_1 | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|
| Vzpěrná křivka | a | b | c | d |
| α_1 | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tab. 21

α_1 ... součinitel imperfekce

Vyjadřuje odchylky (imperfekce) skutečného prutu v porovnání s prutem teoretickým (idealizovaným). Existují:

- 1) imperfekce geometrie – nedodržení teoretického tvaru prvku, počáteční zakřivení podélné osy prvku apod.,
- 2) imperfekce strukturální – pnutí vzniklé při svařování, rovnání, chladnutí apod.,
- 3) imperfekce konstrukční – rozdíl uložení (funkčnost kloubů) oproti ideálnímu (teoretickému) stavu.

Ve skutečnosti mohou objevit všechny imperfekce současně. Pro různé typy průřezu jsou definovány různé součinitele imperfekce α z tabulky v rozmezí 0,21 až 0,76. **Z diagramu vzpěrných křivek lze také odvodit hodnoty χ v závislosti na $\bar{\lambda}$.**

Vzpěrný tlak se uvažuje, když $\bar{\lambda} > 0,2$.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

λ ... štíhlost prutu pro příslušný směr vybočení

$$\lambda = L_{cr} / i$$

L_{cr} ... vzpěrná délka (dle statického schématu)

i ... poloměr setrvačnosti pro příslušný směr vybočení

$$\lambda \leq \lambda_{max}$$

λ_{max} ... maximální štíhlost prutu

Doporučeno: sloupy budov $\lambda_{max} = 180$

pruty příhradových nosníků $\lambda_{max} = 200$

λ_1 ... srovnávací štíhlost odpovídající dosažení kritického napětí rovného mezi kluzu

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot (E / f_y)^{0,5} = 93,9 \cdot \varepsilon$$

U konstrukční oceli S235: $\varepsilon = 1,0 \gg \lambda_1 = 93,9$

| $\bar{\lambda}$ | Křivka vzpěrné pevnosti | | | | $\bar{\lambda}$ | Křivka vzpěrné pevnosti | | | | $\bar{\lambda}$ | Křivka vzpěrné pevnosti | | | |
|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | a | b | c | d | | a | b | c | d | | a | b | c | d |
| | χ | | | | | χ | | | | | χ | | | |
| 0,20 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,56 | 0,905 | 0,857 | 0,809 | 0,738 | 0,91 | 0,727 | 0,655 | 0,594 | 0,515 |
| 0,21 | 0,998 | 0,996 | 0,995 | 0,992 | 0,57 | 0,901 | 0,852 | 0,803 | 0,731 | 0,92 | 0,721 | 0,648 | 0,588 | 0,510 |
| 0,22 | 0,996 | 0,993 | 0,990 | 0,984 | 0,58 | 0,897 | 0,847 | 0,797 | 0,724 | 0,93 | 0,714 | 0,642 | 0,582 | 0,504 |
| 0,23 | 0,993 | 0,989 | 0,985 | 0,977 | 0,59 | 0,894 | 0,842 | 0,791 | 0,717 | 0,94 | 0,707 | 0,635 | 0,576 | 0,499 |
| 0,24 | 0,991 | 0,986 | 0,980 | 0,969 | 0,60 | 0,890 | 0,837 | 0,785 | 0,710 | 0,95 | 0,700 | 0,629 | 0,569 | 0,493 |
| 0,25 | 0,989 | 0,982 | 0,975 | 0,961 | | | | | | | | | | |
| 0,26 | 0,987 | 0,979 | 0,969 | 0,954 | 0,61 | 0,886 | 0,832 | 0,779 | 0,703 | 0,96 | 0,693 | 0,623 | 0,563 | 0,488 |
| 0,27 | 0,984 | 0,975 | 0,964 | 0,946 | 0,62 | 0,882 | 0,827 | 0,773 | 0,696 | 0,97 | 0,686 | 0,616 | 0,558 | 0,483 |
| 0,28 | 0,982 | 0,971 | 0,959 | 0,938 | 0,63 | 0,878 | 0,822 | 0,767 | 0,690 | 0,98 | 0,680 | 0,610 | 0,552 | 0,477 |
| 0,29 | 0,980 | 0,968 | 0,954 | 0,931 | 0,64 | 0,874 | 0,816 | 0,761 | 0,683 | 0,99 | 0,673 | 0,603 | 0,546 | 0,472 |
| 0,30 | 0,977 | 0,964 | 0,949 | 0,923 | 0,65 | 0,870 | 0,811 | 0,755 | 0,676 | 1,00 | 0,666 | 0,597 | 0,540 | 0,467 |
| 0,31 | 0,975 | 0,960 | 0,944 | 0,916 | 0,66 | 0,866 | 0,806 | 0,749 | 0,670 | 1,01 | 0,659 | 0,591 | 0,534 | 0,462 |
| 0,32 | 0,973 | 0,957 | 0,939 | 0,909 | 0,67 | 0,861 | 0,800 | 0,743 | 0,663 | 1,02 | 0,652 | 0,584 | 0,528 | 0,457 |
| 0,33 | 0,970 | 0,953 | 0,934 | 0,901 | 0,68 | 0,857 | 0,795 | 0,737 | 0,656 | 1,03 | 0,645 | 0,578 | 0,523 | 0,452 |
| 0,34 | 0,968 | 0,949 | 0,929 | 0,894 | 0,69 | 0,852 | 0,789 | 0,731 | 0,650 | 1,04 | 0,638 | 0,572 | 0,517 | 0,447 |
| 0,35 | 0,966 | 0,945 | 0,922 | 0,887 | 0,70 | 0,848 | 0,784 | 0,725 | 0,643 | 1,05 | 0,631 | 0,566 | 0,511 | 0,442 |
| 0,36 | 0,963 | 0,942 | 0,918 | 0,879 | 0,71 | 0,843 | 0,778 | 0,718 | 0,637 | 1,06 | 0,624 | 0,559 | 0,506 | 0,438 |
| 0,37 | 0,961 | 0,938 | 0,913 | 0,872 | 0,72 | 0,838 | 0,772 | 0,712 | 0,630 | 1,07 | 0,617 | 0,553 | 0,500 | 0,433 |
| 0,38 | 0,958 | 0,934 | 0,908 | 0,865 | 0,73 | 0,833 | 0,766 | 0,706 | 0,624 | 1,08 | 0,610 | 0,547 | 0,495 | 0,428 |
| 0,39 | 0,955 | 0,930 | 0,903 | 0,858 | 0,74 | 0,828 | 0,761 | 0,700 | 0,617 | 1,09 | 0,603 | 0,541 | 0,490 | 0,423 |
| 0,40 | 0,953 | 0,926 | 0,897 | 0,850 | 0,75 | 0,823 | 0,755 | 0,694 | 0,611 | 1,10 | 0,596 | 0,535 | 0,484 | 0,419 |
| 0,41 | 0,950 | 0,922 | 0,892 | 0,843 | 0,76 | 0,818 | 0,749 | 0,687 | 0,605 | 1,11 | 0,589 | 0,529 | 0,479 | 0,414 |
| 0,42 | 0,947 | 0,918 | 0,887 | 0,836 | 0,77 | 0,812 | 0,743 | 0,681 | 0,598 | 1,12 | 0,582 | 0,523 | 0,474 | 0,410 |
| 0,43 | 0,945 | 0,914 | 0,881 | 0,829 | 0,78 | 0,807 | 0,737 | 0,675 | 0,592 | 1,13 | 0,576 | 0,518 | 0,469 | 0,406 |
| 0,44 | 0,942 | 0,910 | 0,876 | 0,822 | 0,79 | 0,801 | 0,731 | 0,668 | 0,586 | 1,14 | 0,569 | 0,512 | 0,463 | 0,401 |
| 0,45 | 0,939 | 0,906 | 0,871 | 0,815 | 0,80 | 0,796 | 0,724 | 0,662 | 0,580 | 1,15 | 0,562 | 0,506 | 0,458 | 0,397 |
| 0,46 | 0,936 | 0,902 | 0,865 | 0,808 | 0,81 | 0,790 | 0,718 | 0,656 | 0,574 | 1,16 | 0,556 | 0,500 | 0,453 | 0,393 |
| 0,47 | 0,933 | 0,897 | 0,860 | 0,800 | 0,82 | 0,784 | 0,712 | 0,650 | 0,568 | 1,17 | 0,549 | 0,495 | 0,448 | 0,389 |
| 0,48 | 0,930 | 0,893 | 0,854 | 0,793 | 0,83 | 0,778 | 0,706 | 0,643 | 0,562 | 1,18 | 0,543 | 0,489 | 0,443 | 0,384 |
| 0,49 | 0,927 | 0,889 | 0,849 | 0,786 | 0,84 | 0,772 | 0,699 | 0,637 | 0,556 | 1,19 | 0,536 | 0,484 | 0,439 | 0,380 |
| 0,50 | 0,924 | 0,884 | 0,843 | 0,779 | 0,85 | 0,766 | 0,693 | 0,631 | 0,550 | 1,20 | 0,530 | 0,478 | 0,434 | 0,376 |
| 0,51 | 0,921 | 0,880 | 0,837 | 0,772 | 0,86 | 0,760 | 0,687 | 0,625 | 0,544 | 1,21 | 0,524 | 0,473 | 0,429 | 0,372 |
| 0,52 | 0,918 | 0,875 | 0,832 | 0,765 | 0,87 | 0,753 | 0,680 | 0,618 | 0,538 | 1,22 | 0,518 | 0,468 | 0,424 | 0,368 |
| 0,53 | 0,915 | 0,871 | 0,826 | 0,758 | 0,88 | 0,747 | 0,674 | 0,612 | 0,532 | 1,23 | 0,511 | 0,462 | 0,420 | 0,364 |
| 0,54 | 0,911 | 0,866 | 0,820 | 0,751 | 0,89 | 0,740 | 0,668 | 0,606 | 0,526 | 1,24 | 0,505 | 0,457 | 0,415 | 0,361 |
| 0,55 | 0,908 | 0,861 | 0,815 | 0,744 | 0,90 | 0,734 | 0,661 | 0,600 | 0,521 | 1,25 | 0,499 | 0,452 | 0,411 | 0,357 |

| $\bar{\lambda}$ | Křivka vzpěrné pevnosti | | | | $\bar{\lambda}$ | Křivka vzpěrné pevnosti | | | | $\bar{\lambda}$ | Křivka vzpěrné pevnosti | | | |
|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | a | b | c | d | | a | b | c | d | | a | b | c | d |
| | χ | | | | | χ | | | | | χ | | | |
| 1,26 | 0,493 | 0,447 | 0,406 | 0,353 | 1,56 | 0,348 | 0,321 | 0,296 | 0,261 | 1,86 | 0,255 | 0,238 | 0,222 | 0,199 |
| 1,27 | 0,487 | 0,442 | 0,402 | 0,349 | 1,57 | 0,344 | 0,318 | 0,293 | 0,258 | 1,87 | 0,252 | 0,236 | 0,220 | 0,197 |
| 1,28 | 0,482 | 0,437 | 0,397 | 0,346 | 1,58 | 0,341 | 0,314 | 0,290 | 0,256 | 1,88 | 0,250 | 0,234 | 0,218 | 0,195 |
| 1,29 | 0,476 | 0,432 | 0,393 | 0,342 | 1,59 | 0,337 | 0,311 | 0,287 | 0,254 | 1,89 | 0,247 | 0,231 | 0,216 | 0,194 |
| 1,30 | 0,470 | 0,427 | 0,389 | 0,339 | 1,60 | 0,333 | 0,308 | 0,284 | 0,251 | 1,90 | 0,245 | 0,229 | 0,214 | 0,192 |
| 1,31 | 0,465 | 0,422 | 0,385 | 0,335 | 1,61 | 0,330 | 0,305 | 0,281 | 0,249 | 1,91 | 0,243 | 0,227 | 0,212 | 0,190 |
| 1,32 | 0,459 | 0,417 | 0,380 | 0,332 | 1,62 | 0,326 | 0,302 | 0,279 | 0,247 | 1,92 | 0,240 | 0,225 | 0,210 | 0,189 |
| 1,33 | 0,454 | 0,413 | 0,376 | 0,328 | 1,63 | 0,323 | 0,299 | 0,276 | 0,244 | 1,93 | 0,238 | 0,223 | 0,209 | 0,187 |
| 1,34 | 0,448 | 0,408 | 0,372 | 0,325 | 1,64 | 0,319 | 0,295 | 0,273 | 0,242 | 1,94 | 0,236 | 0,221 | 0,207 | 0,186 |
| 1,35 | 0,443 | 0,404 | 0,368 | 0,321 | 1,65 | 0,316 | 0,292 | 0,271 | 0,240 | 1,95 | 0,234 | 0,219 | 0,205 | 0,184 |
| 1,36 | 0,438 | 0,399 | 0,364 | 0,318 | 1,66 | 0,312 | 0,289 | 0,268 | 0,237 | 1,96 | 0,231 | 0,217 | 0,203 | 0,183 |
| 1,37 | 0,433 | 0,395 | 0,361 | 0,315 | 1,67 | 0,309 | 0,287 | 0,265 | 0,235 | 1,97 | 0,229 | 0,215 | 0,201 | 0,181 |
| 1,38 | 0,428 | 0,390 | 0,357 | 0,312 | 1,68 | 0,306 | 0,284 | 0,263 | 0,233 | 1,98 | 0,227 | 0,213 | 0,200 | 0,180 |
| 1,39 | 0,423 | 0,386 | 0,353 | 0,309 | 1,69 | 0,303 | 0,281 | 0,260 | 0,231 | 1,99 | 0,225 | 0,211 | 0,198 | 0,178 |
| 1,40 | 0,418 | 0,382 | 0,349 | 0,306 | 1,70 | 0,299 | 0,278 | 0,258 | 0,229 | 2,00 | 0,223 | 0,209 | 0,196 | 0,177 |
| 1,41 | 0,413 | 0,378 | 0,346 | 0,378 | 1,71 | 0,296 | 0,275 | 0,255 | 0,227 | 2,10 | 0,204 | 0,192 | 0,180 | 0,163 |
| 1,42 | 0,408 | 0,373 | 0,342 | 0,373 | 1,72 | 0,293 | 0,273 | 0,253 | 0,225 | 2,20 | 0,187 | 0,176 | 0,166 | 0,151 |
| 1,43 | 0,404 | 0,369 | 0,338 | 0,369 | 1,73 | 0,290 | 0,270 | 0,250 | 0,223 | 2,30 | 0,172 | 0,163 | 0,154 | 0,140 |
| 1,44 | 0,399 | 0,365 | 0,335 | 0,365 | 1,74 | 0,287 | 0,269 | 0,248 | 0,221 | 2,40 | 0,159 | 0,151 | 0,143 | 0,130 |
| 1,45 | 0,394 | 0,361 | 0,331 | 0,361 | 1,75 | 0,284 | 0,265 | 0,246 | 0,219 | 2,50 | 0,147 | 0,140 | 0,132 | 0,121 |
| 1,46 | 0,390 | 0,357 | 0,328 | 0,288 | 1,76 | 0,281 | 0,262 | 0,243 | 0,217 | 2,60 | 0,136 | 0,130 | 0,123 | 0,113 |
| 1,47 | 0,385 | 0,354 | 0,324 | 0,285 | 1,77 | 0,279 | 0,259 | 0,241 | 0,215 | 2,70 | 0,127 | 0,121 | 0,115 | 0,106 |
| 1,48 | 0,381 | 0,350 | 0,321 | 0,282 | 1,78 | 0,276 | 0,257 | 0,239 | 0,213 | 2,80 | 0,118 | 0,112 | 0,108 | 0,100 |
| 1,49 | 0,377 | 0,346 | 0,318 | 0,279 | 1,79 | 0,273 | 0,255 | 0,237 | 0,211 | 2,90 | 0,111 | 0,106 | 0,101 | 0,094 |
| 1,50 | 0,372 | 0,342 | 0,315 | 0,277 | 1,80 | 0,270 | 0,252 | 0,235 | 0,209 | 3,00 | 0,104 | 0,099 | 0,095 | 0,088 |
| 1,51 | 0,368 | 0,339 | 0,311 | 0,274 | 1,81 | 0,268 | 0,250 | 0,232 | 0,207 | 3,10 | 0,097 | 0,093 | 0,090 | 0,083 |
| 1,52 | 0,364 | 0,335 | 0,308 | 0,271 | 1,82 | 0,265 | 0,247 | 0,230 | 0,206 | 3,20 | 0,091 | 0,088 | 0,084 | 0,079 |
| 1,53 | 0,360 | 0,331 | 0,305 | 0,269 | 1,83 | 0,262 | 0,245 | 0,228 | 0,204 | 3,30 | 0,086 | 0,083 | 0,080 | 0,074 |
| 1,54 | 0,356 | 0,328 | 0,302 | 0,266 | 1,84 | 0,260 | 0,243 | 0,226 | 0,202 | 3,40 | 0,081 | 0,078 | 0,075 | 0,071 |
| 1,55 | 0,352 | 0,324 | 0,299 | 0,263 | 1,85 | 0,257 | 0,240 | 0,224 | 0,200 | 3,50 | 0,077 | 0,074 | 0,071 | 0,067 |

Tab. 22

| Průřez | Meze | | Vybočení kolmo k ose | Křivka vzpěrné pevnosti |
|------------------------------|---|---|------------------------|-------------------------|
| Válcované I profily | $h / b > 1,2$ | $t_f \leq 40\text{mm}$ | y-y z-z | a b |
| | | $t_f > 40\text{mm}$ $< 100\text{mm}$ | y-y z-z | b c |
| | $h / b \leq 1,2$ | $t_f \leq 100\text{mm}$ | y-y z-z | b c |
| | | $t_f > 100\text{mm}$ | y-y z-z | d d |
| Svařované I průřezy | $t_f \leq 40\text{mm}$ | | y-y z-z | b c |
| | $t_f > 40\text{mm}$ | | y-y z-z | c d |
| Svařované truhlíkové průřezy | Všechny, kromě výjimek | | libovolné | b |
| | Jsou-li svary velké ($a \geq t$) a platí-li: $b / t_f < 30$ | | y-y | c |
| | Jsou-li svary velké ($a \geq t$) a platí-li: $h / t_w < 30$ | | z-z | c |
| Duté průřezy | Válcované za tepla: | | libovolné | a |
| | Tvarované za studena: - s použitím f_{yb} - s použitím f_{ya} | | libovolné libovolné | b c |
| U, T a plné průřezy | | | libovolné | c |
| L úhelníky | | | libovolné | b |

Tab. 23 Tabulka přiřazení vzpěrných křivek

10.3 Vzpěrný tlak rovinný u dřevěných konstrukcí

Vychází z pevnostní teorie počátečně zakřiveného prutu (vliv imperfekce skutečného prutu v konstrukci).

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L_y$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L_z$$

$L_{cr,y}$, $L_{cr,z}$... vzpěrná délka (závisí na typu uložení prvku na obou koncích) [m]

Pozn. Dolní index „y“ znamená: kolmo k ose y; dolní index „z“ znamená: kolmo k ose z.

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z$$

λ_y ; λ_z ... štíhlost [-]

i_y ; i_z ... poloměr setrvačnosti [m]

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

$\sigma_{c,crit,y}$; $\sigma_{c,crit,z}$... kritické napětí [MPa]

$E_{0,05}$... 5% kvantil modulu pružnosti (uvedeno v Tab. pevnostní třídy dřeva)
[kN/mm² = 10³ MPa]

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}}$$

$\lambda_{rel,y}$; $\lambda_{rel,z}$... relativní štíhlostní poměr [-]

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$k_{c,y}$; $k_{c,z}$... součinitel vzpěrnosti [-]

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] \quad k_z = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right]$$

β_c ... součinitel pro prvky, které splňují mez zakřivení uvedenou v normě

$\beta_c = 0,2$ pro rostlé dřevo

$\beta_c = 0,1$ pro lepené lamelové dřevo a LVL

Podmínka spolehlivosti:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

k_c ... menší z hodnot součinitelů vzpěrnosti $k_{c,y}$; $k_{c,z}$

Tab. 24 Dílčí součinitel vlastností materiálu γ_M

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Základní kombinace: | |
| Rostlé dřevo | 1,3 |
| Lepené lamelové dřevo | 1,25 |
| LVL, překližka, OSB | 1,2 |
| Třískové desky | 1,3 |
| Vláknité desky, tvrdé | 1,3 |
| Vláknité desky, středně tvrdé | 1,3 |
| Vláknité desky, MDF | 1,3 |
| Vláknité desky, měkké | 1,3 |
| Spoje | 1,3 |
| Kovové desky s prolisovanými trny | 1,25 |
| Mimořádná kombinace: | 1,0 |

Pozn. Vychází z ČSN EN 1995-1-1 a NP.

Tab. 25 Třídy provozu, alt. třídy použití

| Třída provozu | Charakteristika |
|----------------------|--|
| 1 | Vlhkost dřeva odpovídající teplotě 20°C s relativní vlhkostí okolního vzduchu přesahující 65% pouze po několik týdnů v roce. Většina měkkého dřeva nepřesahuje průměrnou vlhkost 12%. |
| 2 | Vlhkost dřeva odpovídající teplotě 20°C s relativní vlhkostí okolního vzduchu přesahující 85% pouze po několik týdnů v roce. Většina měkkého dřeva nepřesahuje průměrnou vlhkost 20%. |
| 3 | Klimatické podmínky vedoucí k vlhkosti vyšší než ve třídě 2. Kryté konstrukce by měly být zařazeny do třídy 3 pouze ve výjimečných případech. |

Tab. 26 Třídy pevnosti dřeva – charakteristické hodnoty

| | Topol a jehlčnaté dřeviny | | | | | | | | | | | | | | Listnaté dřeviny | | | | | | |
|---|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|--|--|--|
| | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 | | | |
| Pevnost [N/mm² = MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ohyb | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | | | |
| Tah rovnoběžně s vlákny | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 | | | |
| Tah kolmo k vláknům | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | | | |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 | | | |
| Tlak kolmo k vláknům | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 8,0 | 8,4 | 8,8 | 9,7 | 10,5 | 13,5 | | | |
| Smyk | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 6,0 | | | |
| Tuhost [kN/mm² = 10³MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | 7 | 8 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 11,5 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 | | | |
| 5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,4 | 6,7 | 7,4 | 7,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 10,0 | 10,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 11,8 | 14,3 | 16,8 | | | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 | | | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku | 0,44 | 0,5 | 0,56 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 | | | |
| Hustota [kg/m³] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hustota | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 530 | 560 | 590 | 650 | 700 | 900 | | | |
| Průměrná hustota hustoty | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 | | | |

Pozn. Hodnoty v tabulce odpovídají dřevu s vlhkostí při teplotě 20°C a relativní vlhkosti 65%. Dřevo vyhovující třídám C45 a C50 nemusí být snadno dostupné.

Tab. 27 Třídy trvanlivosti

| Třída trvanlivosti | Řád souhrnného trvanlivostního charakteristického zatížení | Příklady zatížení |
|--------------------|--|---------------------------|
| stálé | déle než 10 let | vlastní tíha |
| dlohodobé | 6 měsíců až 10 let | skladové zatížení |
| střednědobé | 1 týden až 6 měsíců | užitné zatížení |
| krátkodobé | méně než 1 týden | sněh a vítr |
| okamžikové | - | velmi krátkodobé zatížení |

Pozn. Třída provozu – účinek konstantního zatížení působící po určitou dobu během životnosti konstrukce.

Tab. 28 Modifikační součinitel k_{mod}

| Materiál | Z normy | Třída provozu | Třída trvání zatížení | | | | |
|------------------------------|--|---------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | | Stálé zatížení | Dlouhodobé zatížení | Střednědobé zatížení | Krátkodobé zatížení | Okamžikové zatížení |
| Rostlé dřevo | EN 14081-1 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| Lepené lamelové dřevo | EN 14080 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| LVL | EN 14374, EN 14279 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| Překližka | EN 636 Část 1, 2, 3 Část 2,3 Část 3 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| OSB | EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | | 1 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,30 | 0,30 | 0,55 | 0,70 | 0,90 |
| Třísková deska | EN 312 Část 4,5 Část 5 Část 6,7 Část 7 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | | 2 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| | | 1 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,90 |
| Vláknitá deska, tvrdá | EN 622-2 HB.LA, HB.LA 1 nebo 2 HHB.HLA 1 nebo 2 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | | 2 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| Vláknitá deska středně tvrdá | EN 622-3 MBH.LA 1 nebo 2 MBH.HLS 1 nebo 2 MBH.HLS 1 nebo 2 | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | | 2 | - | - | - | 0,45 | 0,80 |
| | | 2 | - | - | - | 0,45 | 0,80 |
| Vláknitá deska, MDF | EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,1 |
| | | 2 | - | - | - | 0,45 | 0,80 |

11 Ohýbané dřevěné a ocelové prvky

11.1 Prostý ohyb u dřevěných prvků

Pozn. Při nastavování prvků příložkami, které jsou namáhány ohybem, musí být průřezový modul příložek (W_y) stejný nebo větší než průřezový modul nastavovaného prvku v místě stykování. Je rovněž potřeba zabezpečit přenesení posouvajících sil. U dřevěných příložek se doporučuje volit jejich průřezový modul o 20 % větší než průřezový modul nastavovaného prvku.

U ohýbaných prvků je rovněž nutné ověřit podmínku stability (vliv klopení nosníku). Pro naše potřeby je nosníku bráněno v klopení (zajištění stability v příčném směru proti příčné, torzní nestabilitě), např. prkny podlahy.

Př.

Zadání: Posuďte na I.MS únosnosti, zda nosník obdélníkového průřezu $60 \times 200\text{mm}$ vyhovuje na ohyb. Efektivní rozpětí nosníku 3,3 m, návrhové spojité rovnoměrné střednědobé zatížení včetně vlastní tíhy $f_d = 2,7 \text{ kN/m}$. Dřevo smrkové rostlé C20, třída provozu 1.

$$f_{m,k} = 20 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 6400 \text{ MPa z tabulky pevnostních tříd jehličnatého a listnatého řeziva}$$

$f_{m,k}$... charakteristická pevnost dřeva v ohybu v $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$

$E_{0,05}$... 5% kvantil modulu pružnosti dřeva rovnoběžně s vlákny v $\text{kN/mm}^2 = \text{GPa}$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,8 \cdot 20 / 1,30 = 12,30 \text{ MPa}$$

k_{mod} ... modifikační součinitel, který je závislý na druhu dřeva (rostlé) a třídě provozu

$f_{m,d}$... návrhová pevnost dřeva v ohybu v MPa

γ_M ... součinitel spolehlivosti materiálu, pro rostlé dřevo $\gamma_M = 1,3$

Pozn. V tomto případě je možné uvažovat vzájemné spolupůsobení nosníků stropu, tzn. jednotlivá prkna podlahy probíhají alespoň přes 2 pole stropní konstrukce a jejich nastavení nad nosníky je střídavé, norma povoluje zvýšení návrhové pevnosti v ohybu – součinitel **1,1**.

$$f_{m,d} = 1,1 \cdot 12,30 = 13,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2 / W_y = 1/8 \cdot 2,7 \cdot 3,3^2 / (1/6 \cdot 0,06 \cdot 0,2^2) = 9,188,44 \text{ kPa} = 9,19 \text{ MPa}$$

M_{Ed} ... návrhový ohybový moment od zatížení, u prostě uloženého trámu $M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2$

W_y ... průřezový modul v m^3 , u obdélníkového průřezu $W_y = 1/6 \cdot b \cdot h^2$

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \dots \text{podmínka spolehlivosti pro ohýbaný dřevěný prvek}$$

$$9,19 \leq 13,53 \text{ MPa}$$

GYHOVUJE

11.2 Prostý ohyb u ocelových prvků

Únosnost při ohybu (I.MS únosnosti)

Při stanovení ohybové únosnosti průřezu se bude výpočet lišit podle třídy průřezu. Průřez namáhaný prostým ohybem se posuzuje dle podmínky:

$$\boxed{M_{Ed} \leq M_{c,Rd}} \dots \text{podmínka spolehlivosti pro ocelový ohýbaný prvek}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1,0$$

M_{Ed} ... návrhový ohybový moment od zatížení

$M_{c,Rd}$... návrhová únosnost průřezu v ohybu pro neoslabený průřez

Průřezy **tř. 1 a 2** $M_{c,Rd} = \boxed{M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}}$

tř. 3 $M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0}$

tř. 4 $M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}$

W_{pl} ; W_{el} ; W_{eff} ... průřezový modul plastický, elastický a elastický pro účinný průřez

γ_{M0} ... Dílčí součinitelé spolehlivosti materiálu

Dle ČSN EN 1993-1-1 a kap. 2.4.3:

-únosnost kterékoliv třídy γ_{M0}

-únosnost průřezu při posuzování stability prutu γ_{M1}

-únosnost průřezu při porušení oslabeného průřezu v tahu γ_{M2}

-únosnost spojů dle EN 1993-1-8

Národní příloha 14 (NP 14) ČSN EN 1993-1-1

doporučuje: $\gamma_{M0} = 1,0$

$\gamma_{M1} = 1,0$

$\gamma_{M2} = 1,25$

Tab. 29

Pozn. Co je doporučené, není závazné! Je tedy možnost se přiklonit k součinitelům na stranu bezpečnou:

| Kritérium únosnosti | Pevnost | γ_{Mi} | |
|---------------------|---------|---------------|-------------|
| | | | |
| Mezní plastifikace | f_y | γ_{M0} | 1,15 |
| Ztráta stability | f_y | γ_{M1} | 1,15 |
| Houževnatý lom | f_u | γ_{M2} | 1,30 |

Tab. 30

Ohýbaný prut nemusí být posuzován na klopení (příčnou a torzní ztrátu stability při ohybu) když:

- průřez prutu je tuhý v kroucení (např. uzavřený průřez),
 - při ohybu v hlavní rovině menší tuhosti průřezu prutu,
 - pokud je nosník souvisle příčně podepřen proti vybočení,
 - pokud je tlačená pásnice opatřena proti vybočení z roviny ohybu nebo proti pootočení
- příčnými podporami za vyhovění jisté podmínky.

Pozn. Přesný výpočet ohýbaných prvků s uvažováním klopení je značně složitý, pro naše potřeby budeme uvažovat zjednodušující podmínky bez nutnosti posuzovat klopení.

Př.

Zadání: Navrhněte stropnici válcovaného průřezu IPE, ocel S 235, zatíženou $g_k = 4$ kN/m bez vlastní tíhy prvku, $q_k = 4,8$ kN/m. Teoretické rozpětí nosníku $l_0 = 4,2$ m. Nosník je příčně zajištěn proti ztrátě torzní stability.

$$M_{Ed,1} = 1/8 \cdot (g_k \cdot \gamma_G + q_k \cdot \gamma_Q) \cdot l_0^2 = 1/8 \cdot (4 \cdot 1,35 + 4,8 \cdot 1,5) \cdot 4,2^2 = 27,783 \text{ kNm}$$

$M_{Ed,1}$... návrhový moment od zatížení bez vlastní tíhy prvku

Klasifikace průřezu >>> předběžně lze hodnotit jako tř.1

$$W_{pl,y,min} = M_{Ed,1} \cdot \gamma_{M0} / f_{yk} = 27,783 \cdot 1,00 / (235 \cdot 10^3) = 1,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 116 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

>>> Navrhuji IPE 180 ($W_{pl,y} = 166 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$; $I_y = 13,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$; 18,8 kg/m) dle tab.

$W_{pl,y}$... plastický průřezový modul dle statických tabulek; možnost počítat přes statický moment plochy poloviny průřezu k těžišti průřezu $W_{ply} = 2 \cdot |S_y^{A/2}|$

Zatřídění průřezu >>> splňuje požadavky tř.1

$$M_{Ed} = M_{Ed1} + M_{Ed2}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed1} + 1/8 \cdot (g_{k,vl.tiha} \cdot \gamma_G) \cdot l_0^2 = 27,783 + 1/8 \cdot (0,188 \cdot 1,35) \cdot 4,2^2 = 28,343 \text{ kNm}$$

M_{Ed2} ... návrhový ohybový moment od vlastní tíhy nosníku IPE 180 v kNm

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 166 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,00 = 39,01 \text{ kNm}$$

$M_{pl,Rd}$... návrhový moment únosnosti v kNm

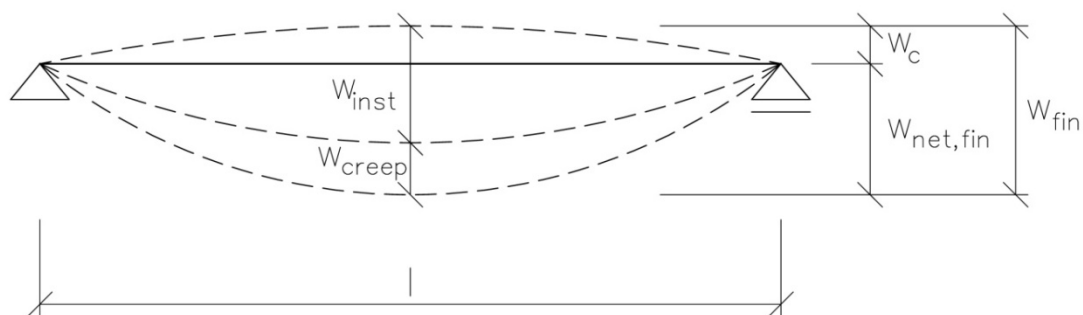
$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd}$$

$$28,343 \leq 39,01 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

12 Mezní stav použitelnosti u dřevěných a ocelových prvků

12.1 Mezní průhyby na dřevěných nosnících



Obr. 67

w_{inst} ... okamžitý průhyb

w_{creep} ... průhyb od dotvarování

w_c ... nadvýšení (pokud se použije v daném případě)

w_{fin} ... konečný průhyb

$w_{net,fin}$...čistý konečný průhyb

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

Tab. 31 Doporučený rozsah mezních hodnot průhybů

| Plnostěnný prvek | w_{inst} | $w_{net,fin}$ | w_{fin} |
|-----------------------|----------------|----------------|---------------|
| Prostý nosník | 1/300 až 1/500 | 1/250 až 1/300 | 1/150 až |
| Vykonzolované nosníky | 1/150 až 1/250 | 1/125 až 1/175 | 1/75 až ů/150 |

Pozn. Stejně mezní hodnoty průhybů platí rovněž pro příhradové nosníky.

Zadání: Posuďte nosník na II.MS. Rozpětí nosníku je 6,2 m, osová vzdálenost mezi nosníky činí 0,9 m. Jedná se o nosník plnostěnný rozměrů 160×240 mm, pevnostní třída dřeva C24, třída provozu 2. Charakteristická hodnota stálého zatížení $g_k = 1 \text{ kN/m}^2$, charakteristická hodnota proměnného zatížení činí $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$.

$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$ a $G_{mean} = 0,69 \text{ kN/mm}^2$ získáno z Tab. Třídy pevnosti dřeva – charakteristické hodnoty

Stálé zatížení:

Okamžitý průhyb

$$w_{inst,G} = 5 \cdot g_k \cdot l^4 / (384 \cdot E \cdot I) = 5 \cdot 1.6200^4 / (384 \cdot 11000 \cdot 1/12 \cdot 160 \cdot 240^3) = \\ = 7,388168 \cdot 10^{15} / 7,7856768 \cdot 10^{14} = 9,49 \text{ mm}$$

rostlé dřevo >>> třída provozu 2 >>> $k_{def} = 0,8$

Konečný průhyb

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 9,49 \cdot (1 + 0,8) = 17,082 \text{ mm}$$

Pozn. Při výpočtu průhybů se vždy uvažuje charakteristické zatížení!

Proměnné zatížení:

Okamžitý průhyb

$$w_{inst,Q} = 5 \cdot q_k \cdot l^4 / (384 \cdot E \cdot I) = 5 \cdot 2.6200^4 / (384 \cdot 11000 \cdot 1/12 \cdot 160 \cdot 240^3) = \\ = 1,4776336 \cdot 10^{16} / 7,7856768 \cdot 10^{14} = 18,98 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0,8$; $\psi_2 = 0,8$

Konečný průhyb

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 18,98 \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,8) = 31,13 \text{ mm}$$

Nadvýšení

Nebylo provedeno >>> $w_c = 0 \text{ mm}$

Čistý konečný průhyb

$$w_{net,fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} - w_c = 17,082 + 31,13 - 0 = \underline{48,21 \text{ mm}}$$

Přípustná hodnota průhybu

$$l / 250 = 6200 / 250 = 24,8 \text{ mm} < 48,21 \text{ mm}$$

NEVYHOVUJE

Tab. 32 Součinitel dotvarování dřeva k_{def}

| <i>Materiál</i> | <i>Norma</i> | <i>Třída provozu</i> | | |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|----------|----------|
| | | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
| Rostlé dřevo | EN 14081-1 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Lepené lamelové dřevo | EN 14080 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| LVL | EN 14374, EN 14279 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Překližka | EN 636 | 0,80 | - | - |
| | Část 1 | 0,80 | 1,00 | - |
| | Část 2 | 0,80 | 1,00 | 2,50 |
| | Část 3 | 0,80 | 1,00 | 2,50 |
| OSB | EN 300 | 2,25 | - | - |
| | OSB/2 | 1,50 | 2,25 | - |
| | OSB/3, OSB/4 | 1,50 | 2,25 | - |
| Třísková deska | EN 312 | 2,25 | - | - |
| | Část 4 | 2,25 | 3,00 | - |
| | Část 5 | 1,50 | - | - |
| | Část 6 | 1,50 | 2,25 | - |
| | Část 7 | 1,50 | 2,25 | - |
| Vláknitá deska, tvrdá | EN 622-2 | 2,25 | - | - |
| | HB.LA | 2,25 | 3,00 | - |
| | HB.HLA 1 nebo 2 | 2,25 | 3,00 | - |
| Vláknitá deska, středně tvrdá | EN 622-3 | 3,00 | - | - |
| | MBH.LA 1 nebo 2 | 3,00 | 4,00 | - |
| | MBH.HLS 1 nebo 2 | 3,00 | 4,00 | - |
| Vláknitá deska, MDF | EN 622-5 | 2,25 | - | - |
| | MDF.LA | 2,25 | 3,0 | - |
| | MDF.HLS | 2,25 | 3,0 | - |

12.2 Mezní průhyby na ocelových nosnících

Doporučené největší hodnoty svislých průhybů:

| Konstrukce, dílce | Mezní hodnoty | |
|---|-----------------|------------|
| | δ_{\max} | δ_2 |
| <i>Střešní konstrukce</i> | | |
| -vaznice | - | L/200 |
| -vazníky | - | L/250 |
| -s častým výskytem osob | L/250 | L/250 |
| <i>Stropní konstrukce</i> | | |
| -stropnice | - | L/250 |
| -průvlaky | - | L/400 |
| -nesoucí sloupy, pokud nebyl průhyb zahrnut v posouzení mezního stavu únosnosti | L/400 | L/500 |
| <i>Stropní a střešní konstrukce</i> | | |
| -nesoucí žlaby, omítky nebo jiné křehké obklady a poddajné příčky | L/250 | L/350 |
| <i>Stěny</i> | | |
| -překlady | - | L/600 |
| <i>Případy, kdy průhyb δ_{\max} může narušit vzhled objektu</i> | L/250 | |

Tab.33

L ... rozpětí nosníku (konzola = $2 \times$ délka konzoly = $2 \cdot l$)

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

δ_{\max} ... největší průhyb vztažený k přímce spojující podpory

δ ... průhyb od zatížení

δ_0 ... nadvýšení nosníku v nezatíženém stavu (stav 0)

δ_1 ... průhyb nosníku od stálých zatížení (stav 1)

δ_2 ... průhyb nosníku od proměnných zatížení (stav 2)

Pozn.

$$\delta_{\max} = \delta_{\text{dov.}}$$

Zatížení, které se dosazuje do průhybu od zatížení, je vždy charakteristické hodnoty!

Průhyb od zatížení (ohýbaný ocelový prvek):

$$\delta = 5 \cdot q \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I_y)$$

I_y ... moment setrvačnosti stropnice

q ... charakteristické zatížení od stálého a proměnného zatížení + vlastní tíha stropnice

E ... modul pružnosti oceli ($E_s = 200$ GPa nebo 200 GPa)

L ... délka nosníku (l_0)

Př.

Zadání: Stropnice IPE 180, délky $l_0 = 4,25$ m, zatížena: $g_k = 5$ kN/m²; $g_{k,vl.tiha} = 18,8$ kg/m = 0,188 kN/m²; $q_k = 4$ kN/m².

Tab. >>> největší dovolený průhyb >>> $\delta_{max} = L/250$ [mm]

$$\delta_{max} = L/250 = 4250/250 = \mathbf{17\text{mm}}$$

$$q = 5 + 0,188 + 4 = 9,188 \text{ kN/m}$$

Průhyb od zatížení

$$\delta = 5 \cdot q \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I_y) = 5 \cdot 9,188 \cdot 4,25^4 / (384 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 13,2 \cdot 10^{-6}) = 14988,10445 / 1013760 = 0,0148 \text{ m} = 14,8 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \delta_{max}$$

$$14,8 \leq 17 \text{ [mm]}$$

VYHOVUJE

13 Použité zdroje

ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb pravidla. Český normalizační institut, 2006.

Tab.2 Tabulka 6.1 – Užitné kategorie

Tab. 3 Tabulka 6.2 – Užitná zatížení stropních konstrukcí, balkónů a schodišť pozemních staveb

ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2006.

Tab. 4 Tab 3.1 – Pevnostní a deformační charakteristiky betonu

Obr. 29 Obrázek 3.2 – Schéma pracovního diagramu betonu pro analýzu konstrukce (použití 0,4 f_{cm} pro definici E_{cm} je přibližné)

Obr. 30 Obrázek 3.3 – Parabolicko-rektangulární pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem

Obr. 31 Obrázek 3.4 – Bilineární pracovní diagram

Tab. 22 Tabulka 4.1 – Stupně vlivu prostředí podle EN 206-1

Kap. 7.3.1 4.4.1 Krycí vrstva betonu

Obr. 21 Tabulka 4.3N – Doporučená úprava klasifikace konstrukcí

Tab. 20 Tabulka 4.4N – Minimální hodnoty krycí vrstvy $c_{min,dur}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro betonářskou výztuž podle EN 10080

Obr. 36 Obrázek 5.2 – Definice l_0 pro výpočet spolupůsobící šířky

Obr. 37 Obrázek 5.3 – Parametry pro spolupůsobící šířku desky

Obr. 43 Obrázek 8.1 – Způsoby kotvení jiné než přímou koncovou úpravou

Kap. 7.1.3 8.4.2 Mezní napětí v soudržnosti

8.4.3 Základní kotevní délka

8.4.4 Návrhová kotevní délka

Kap. 6.1 11.3.5 Návrhová pevnost v tlaku a v tahu

ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2006.

Tab. 18 Tabulka 3.1 – Jmenovité hodnoty meze kluzu f_y a pevnosti v tahu f_u konstrukčních ocelí válcovaných za tepla

Kap. 6.4 3.2.6 Návrhové hodnoty fyzikálních veličin oceli

Kap. 11.2 6.1 Všeobecně

6.2.5 Ohybový moment

Kap. 10.2 6.3.1 Tlačené pruty stálého průřezu

Tabulka 6.1 – Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti

6.3.1.3 Štíhlosti pro rovinný vzpěr

Tab. 23 Tabulka 6.2 – Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

Tab. 33 Tabulka NA.1 – Doporučené největší hodnoty svislých průhybů

ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2006.

Kap. 12.1 2.2.3 Mezní stavy použitelnosti

Tab. 24 Tabulka 2.3 – Doporučené dílčí součinitele γ_M pro vlastnosti materiálu a únosnosti

Tab.28 Tabulka 3.1 – Hodnoty k_{mod}

Tab. 32 Tabulka 3.2 – Hodnoty k_{def} pro dřevo a materiály na bázi dřeva

ČSN EN 338. Konstrukční řezivo – Třídy pevnosti. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

ČSN EN 10027-1. Systémy označování ocelí Část 1: Stavba značek ocelí. Český normalizační institut, 2006.

Použité webové stránky:

TERZIJSKI, Ivailo. *Http://www.fce.vutbr.cz/BZK/terzijski.i/* [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: *http://http://www.fce.vutbr.cz/BZK/terzijski.i/*



Tato příručka vznikla na základě finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost „Stavebnictví 21“, reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.

Ing. Klára Hazuchová
Cvičebnice stavební mechaniky II

Vydala Střední průmyslová škola stavební, Opava, příspěvková organizace
1. vydání
Opava 2014

Tato příručka vznikla za finanční podpory
Evropského sociálního fondu
a rozpočtu České republiky
v rámci projektu OP VK „Stavebnictví 21“,
reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



STŘEDNÍ
PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA
STAVEBNÍ
OPAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ