

Program: Prutové železobetonové prvky namáhané momentem a normálovou silou

Jedná se o příklad ukazující postup dimenzování různých sloupů, pilířů apod., kde se kromě normálové síly vyskytuje i ohybový moment. Ty dvě veličiny nejde od sebe oddělit a posuzovat je každou zvlášť. Posouzení ověříme na příkladu, viz dále.

Postup výpočtu prvků namáhaných kombinací normálové síly a ohybového momentu se skládá ze dvou dílčích částí:

- 1) Výpočet zatížení včetně zohlednění počáteční geometrické imperfekce konstrukčního prvku (účinek 1. řádu) a ověření nutnosti zohlednění přídatných účinků zatížení vyvolaných deformací konstrukce (účinek 2. řádu).
- 2) Konstrukce interakčního diagramu.

1) Výpočet dimenzačních účinků**Vnitřní síly od zatížení**

Dvojice vnitřních sil $[N_{Ed}; M_d]$ z různých kombinací (tyto vnitřní síly budou pro účely cvičení zadány - 1.řád) je dále nutné upravit s ohledem na geometrické imperfekce a účinky 2. řádu.

Geometrické imperfekce

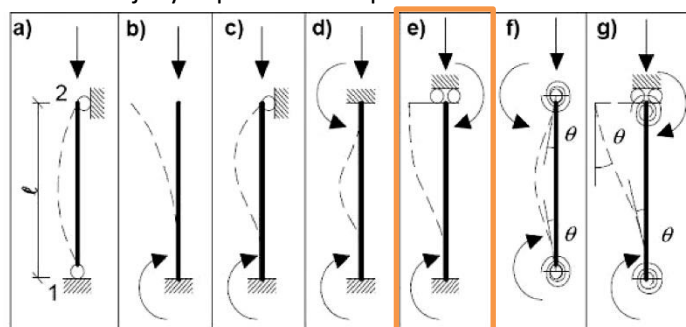
Imperfekce musí být uvažovány v mezních stavech únosnosti při trvalých a mimořádných návrhových situacích. Imperfekce nemusí být uvažovány v mezních stavech použitelnosti. Jako zjednodušenou alternativu pro stěny a osamělé sloupy ve ztužených systémech lze použít výstřednost $e_i = l_0/400$ [mm] pokrývající imperfekce odpovídající normálním odchylkám při provádění (pro prvky namáhané osovým tlakem a konstrukce se svislým zatížením, převážně v pozemních stavbách).

Vliv geometrických imperfekcí lze tedy zohlednit zvýšením excentricity o hodnotu e_i .

Úprava vnitřních sil na $[N_{Ed}; M_{0Ed}]$.

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \left(\frac{M_d}{N_{Ed}} + \frac{e_i}{1000} \right)$$

Účinná délka l_0 je závislá na okrajových podmínkách prvku



Ve cvičení uvažovat případ **e)** $l_0 = l$.

Moment 2. řádu

Moment 2. řádu lze zanedbat, pokud je štíhlost prvku λ menší než limitní štíhlost λ_{lim} .

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

i je poloměr setrvačnosti

$$\lambda_{lim} = 25 \text{ pro } |n| \geq 0,41$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \text{ pro } |n| < 0,41$$

$$\lambda_{lim} = 75$$

$$\lambda < \lambda_{lim} \rightarrow e_2 = 0$$

A vyjadřuje vliv dotvarování (ve cvičení lze uvažovat 0,7)

B vyjadřuje vliv mechanického stupně vyztužení (ve cvičení lze uvažovat 1,1)

C vyjadřuje vliv poměru koncových ohybových momentů prvního řádu (ve cvičení lze zjednodušeně uvažovat 2,2)

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \quad \text{Poměrná normálová síla}$$

Je-li $\lambda > \lambda_{min}$ - úprava vnitřních sil, návrhový moment $[M_{Ed}; N_{Ed}]$ - metoda založená na jmenovité křivosti

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 \quad e_2 = \left(\frac{1}{r}\right)_0^2 \cdot \frac{1}{c}$$

Pro konstantní průřez se používá $c = 10$, křivost

$$\left(\frac{1}{r}\right) = K_r \cdot K_\varphi \cdot \left(\frac{1}{r_0}\right)$$

K_r je opravný součinitel závislý na normálové síle

K_φ je součinitel zohledňující dotvarování

$1/r_0$ je počáteční křivost sloupu

A_c je plocha betonového průřezu

A_s celková plocha výztuže

$n_{bal} = 0,4$ - hodnota n při maximální momentové únosnosti

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} \leq 1, \quad n_u = 1 + \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$\left(\frac{1}{r_0}\right) = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d}$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1$$

φ_{ef} je účinný součinitel dotvarování

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150$$

Uvedenou úpravu vnitřních sil je nutno provést pro každou kombinaci zatěžovacích stavů.

2) Výpočet bodů interakčního diagramu

Vzhledem k současnému namáhání průřezu normálovou silou a ohybovým sestrojujeme interakční diagram v celém rozsahu $N+M$, který vznikne postupným posouváním polohy neutrálné osy. Pro každou polohu neutrálné osy lze stanovit normálovou a momentovou únosnost, nicméně existuje několik významných průběhů přetvoření. Stačí tak vyšetřit pouze tyto významné body a interakční diagram vytvořit jejich spojením pomocí úseček.

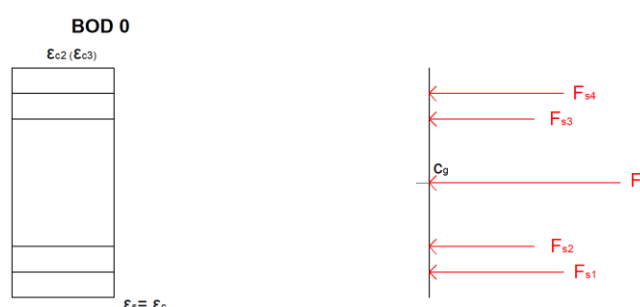
Níže uvedené diagramy jsou platné pouze pro zadaný příklad ve cvičení (pro zadaný průřez, 4 vrstvy výztuže a příslušné materiály). Obecně princip výpočtu naleznete v doporučené literatuře, viz níže (především podklad [6]).

Vždy je třeba sestavit silovou a momentovou podmínku (souřadnice ID). Pozor podmínky stanovujete k těžišti průřezu.

Bod 0 – dostředný tlak

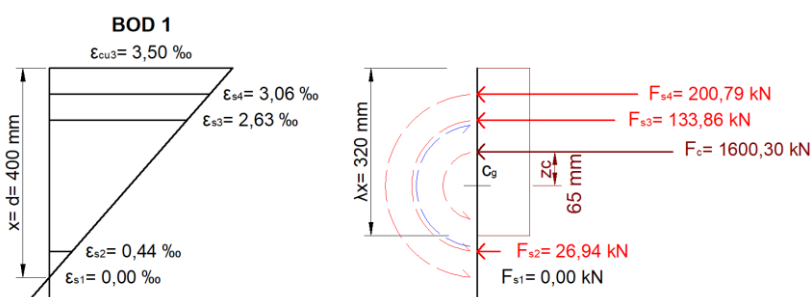
Neutrální osa leží teoreticky v nekonečné vzdálenosti od průřezu.

U dostředně tlačенých železobetonových prvků je nutné uvažovat maximální poměrné přetvoření betonu ϵ_{c2} (při použití parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu v tlaku) nebo ϵ_{c3} (pro bilineární pracovní diagram). S využitím předpokladu o dokonalé soudržnosti mezi výztuží a betonem ($\epsilon_{si} = \epsilon_{c2}$ (resp. ϵ_{c3})) lze určit také přetvoření všech vrstev výztuže. Použijte přetvoření ϵ_{c3} . Pozor není to ϵ_{cu3} . !!



Bod 1

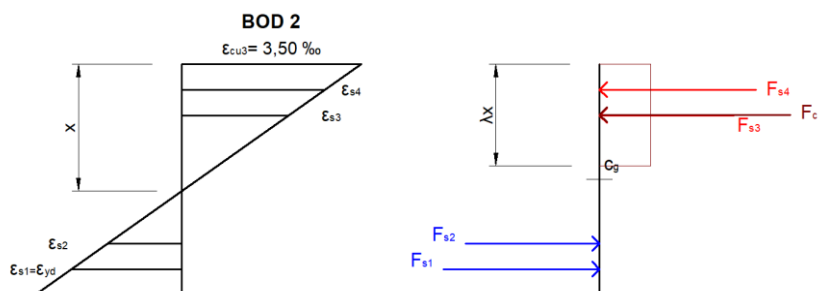
Neutrální osa prochází těžištěm výztuže, která leží nejbližší k taženému okraji průřezu.



Vždy je nutné ověřit, zda se přetvoření jednotlivých vrstev výztuže nachází v pružné ($\epsilon_{si} < \epsilon_{yd}$) nebo plastické oblasti. To má vliv na určení napětí ve výztuži. Platí i pro další body ID!

Bod 2 – rozhraní mezi tahovým a tlakovým porušením

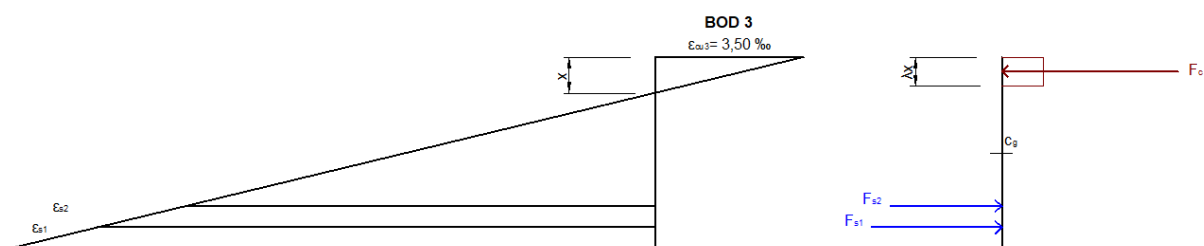
Přetvoření nejvíce tažené výztuže dosahuje přesně meze kluzu.



Bod 3 – prostý ohyb

Prostý ohyb – platí rovnováha sil na průřezu!

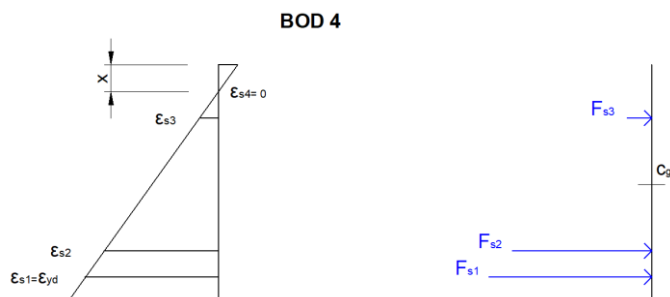
Zjednodušeně lze na úkor drobné redukce momentu únosnosti zanedbat tlačnou výztuž a výztuž, která není protažena na mez kluzu (F_{s3} a $F_{s4} = 0 \text{ kN}$). Postup výpočtu je totožný s příkladem na obecný průřez ze sedmého týdne semestru.



Bod 4

Neutrální osa prochází těžištěm výztuže nejbližší k tlačnému okraji průřezu.

Lze zanedbat malou část tlačné části průřezu ($F_c = 0 \text{ kN}$).



Bod 5 – dostředný tah

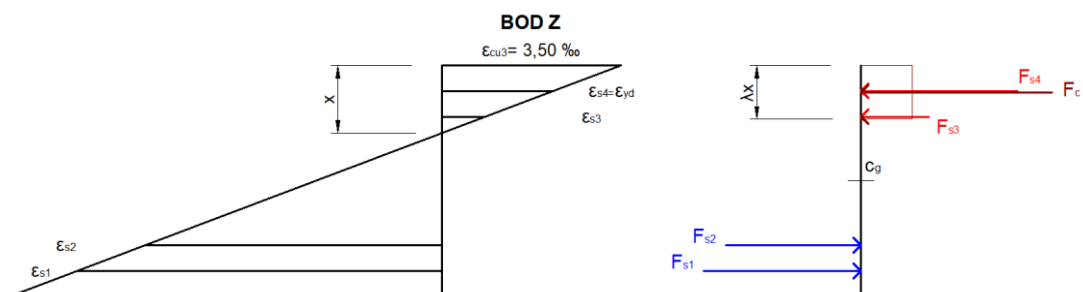
Beton v tahu nepůsobí; veškerá výztuž protažena až na mez kluzu.

BOD 5



Bod Z

Vrstva výztuže nejbližší tlacenému okraji průřezu je protažena přesně na mez kluzu (v tlaku).

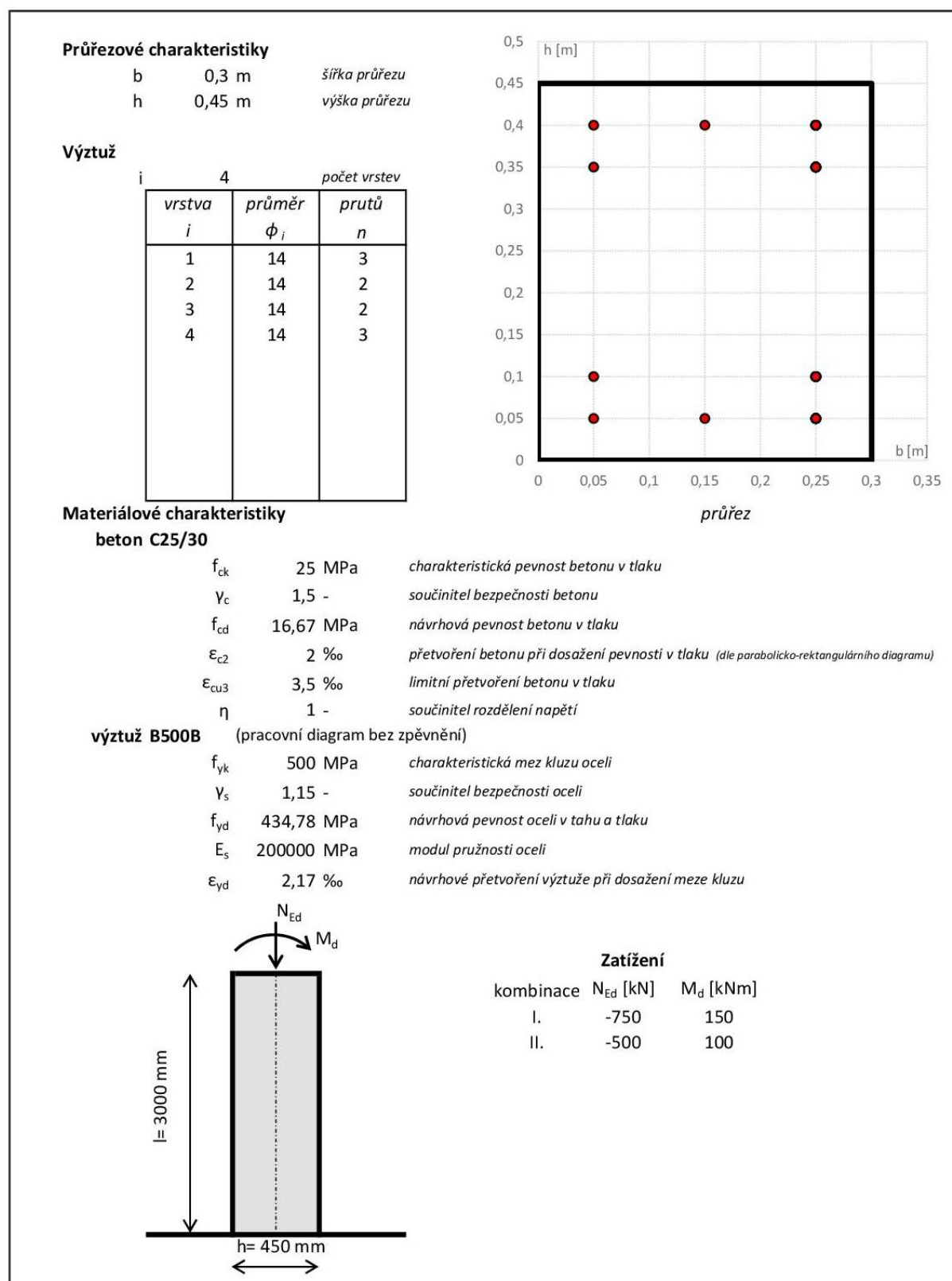


Při plném využití betonového průřezu se může projevit vliv nehomogenity průřezu, požaduje se uvažovat minimální výstřednost tlakové normálové síly

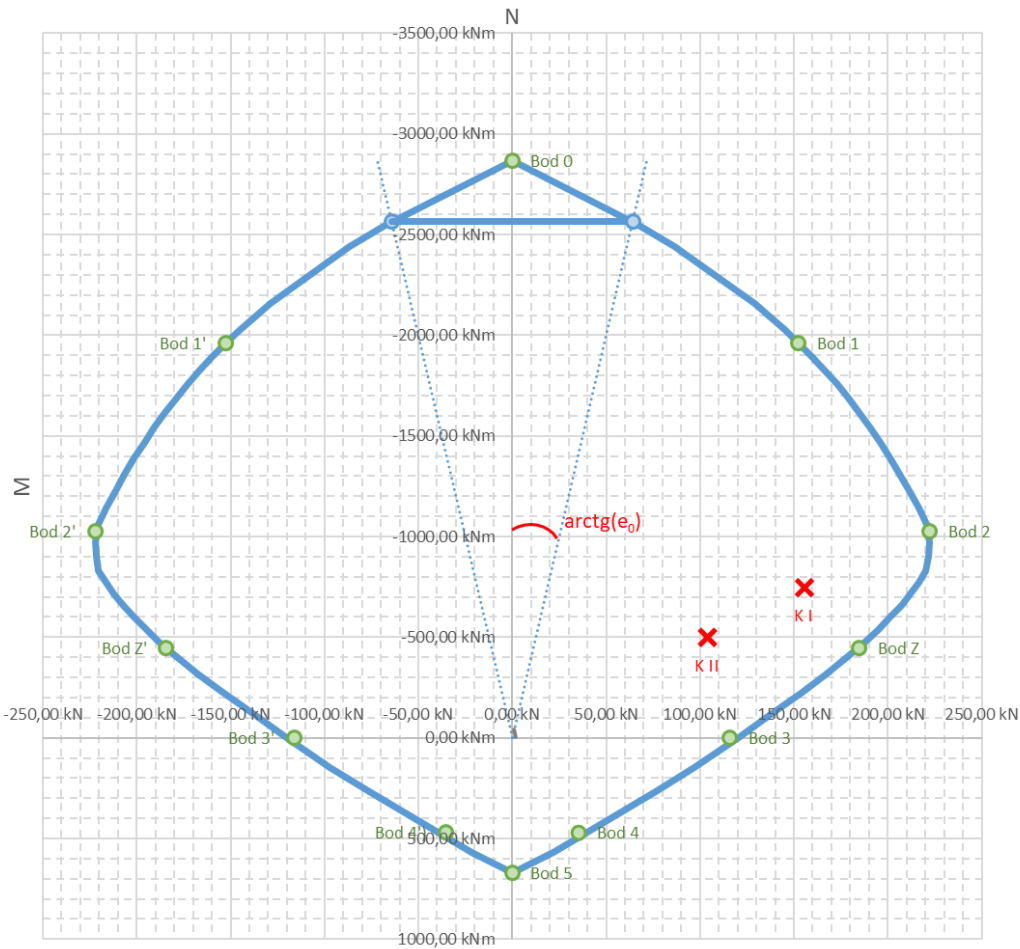
$$e_0 = h/30, \text{ nejméně } 20 \text{ mm}$$

Zadání příkladu

Ověřte únosnost sloupu dle zadání pomocí interakčního diagramu včetně vlivu počátečních imperfekcí. Interakční diagram sestojte graficky.



INTERAKČNÍ DIAGRAM



Pozn.: Z důvodu použití rozdílných měřítek normálové a momentové osy není možné do „deformovaného“ diagramu přímo vynášet úhel pro sestrojení minimální výstřednosti. Vhodnější postup je zvolit libovolnou hodnotu normálové síly a k ní dopočítat příslušný moment ($N = M \cdot e_0$). Tento bod poté spojit s počátkem souřadné soustavy a nalézt průnik s ID.

Hlavní kontrolované veličiny

Zadané kombinace	komb. I	komb. II
N_{Ed} [kN]	-750	-500
M_{Ed} [kNm]	150	100
e_1 [m]		
e_2 [m]		
M_{Ed} [kNm]		

[illegible]

ID – je křivka únosnosti, aby průřez vyhověl, musí zatížení z kap. 1) být uvnitř křivky. U každé kombinace uveďte, zda vyhoví nebo nevyhoví.

Literatura

- [1] Terzijski, I., Štěpánek, P., Čírtek, L., Zmek, B., Panáček, J.: Prvky betonových konstrukcí. Modul CM1 až CM5, studijní opora, VUT, Brno, 2005.
- [2] Štěpánek, P., Terzijski, I., Laníková, L., Panáček, J., Šimůnek, P.: BL001 Prvky betonových konstrukcí. Výukové texty, příklady a pomůcky, elektronická pomůcka, VUT, Brno, 2013, aktualizace 2019
<https://www.bzk.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/6/2019/02/OPVK-BL01-Final-190220.pdf>
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha, 2006.
- [4] Zich, M. a kol.: Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů, Verlag Dashöfer, Praha, 2010.
- [5] Procházka J., Štěpánek J., kol. Navrhování betonových konstrukcí 1, prvky z prostého a železového betonu., Praha, 2005.
- [6] https://teams.microsoft.com/l/file/AF02EBA1-AFFA-472F-91C9-FBE68C697BF8?tenantId=c63ce729-ca17-4e52-aa2d-96b79489a542&fileType=pdf&objectUrl=https%3A%2F%2Fvutbr.sharepoint.com%2Fsites%2FBL001%2FVukov%20materily%2F10_intera%C4%8Dn%C3%AD%20diagram.pdf&baseUrl=https%3A%2F%2Fvutbr.sharepoint.com%2Fsites%2FBL001&serviceName=teams&threadId=19:b70ee541383c4d459ffaec9e880dce44@thread.tacv2&groupId=464b2f46-8aa2-4e09-8872-e15041e063dd
- [7] https://teams.microsoft.com/l/file/EB4F8BC7-8ED5-4D58-A529-CDD8140DB870?tenantId=c63ce729-ca17-4e52-aa2d-96b79489a542&fileType=pdf&objectUrl=https%3A%2F%2Fvutbr.sharepoint.com%2Fsites%2FBL001%2FVukov%20materily%2F10_Vypocet_ucinku_zatizeni_na_sloup.pdf&baseUrl=https%3A%2F%2Fvutbr.sharepoint.com%2Fsites%2FBL001&serviceName=teams&threadId=19:b70ee541383c4d459ffaec9e880dce44@thread.tacv2&groupId=464b2f46-8aa2-4e09-8872-e15041e063dd

V Brně dne 6.4.2020

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

Ing. Ondřej Januš

Ing. Juraj Lagiň

BL001 - PRVKY BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

program cvičení pro 2. ročník bakalářského studia

Týden - program cvičení

1. Program. Literatura. Pomůcky. Forma požadovaných elaborátů. Podmínky pro udělení zápočtu.
Téma č. 1 - Návrh monolitické železobetonové konstrukce. Zadání. **Předběžný návrh** rozměrů. Idealizace základních konstrukčních prvků. Rozbor konstrukčního řešení a statického systému. Schéma tvaru konstrukce. Zatížení, jeho druhy, výpočet, kombinace - obecně.
 2. Prostě podepřená stropní deska D1 – statický model, zatížení, silové účinky. Základní materiály železobetonu. Spolupůsobení betonu a výztuže, trvanlivost betonových prvků, výpočet krytí výztuže.
Ohybané prvky – základní principy návrhu. Návrh výztuže na ohyb u desky D1.
 3. Posouzení prostě podepřené stropní desky D1 – dimenzování na ohyb, smyk (alternativa), příčná výztuž, konstrukční zásady, kotvení výztuže, úpravy výztuže v místech částečného vetknutí, schéma výztuže.
 4. Spojitá stropní deska D2 – statický model, zatížení, silové účinky (redistribuce sil) – dimenzování na ohyb, příčná výztuž, kotvení výztuže (zjednodušeně), schéma výztuže.
Povinná korekce předběžného návrhu a desky D1.
 5. Deskový stropní trám T1 - zatížení, silové účinky, dimenzování na ohyb (T-průřez, srovnání s obdélníkovým průřezem).
 6. Deskový stropní trám T1 - dimenzování na smyk, rozdělení materiálu. Dimenzování desek na smyk (alternativa) - D1 (výpočet) a D2 (jen výklad).
 7. Prutový železobetonový prvek obecného průřezu namáhaný ohybem – obecná metoda, aplikace na konzolový nosník (zadání příkladu).
Povinná korekce desky D2 a trámu T1.
 8. Překlad P2 - zatížení, silové účinky, dimenzování na ohyb, smyk, nepřímé uložení trámu, schéma výztuže. Překlady P1 a P3 – jen výklad pro zatížení a silové účinky.
 9. Podrobné výkresy tvaru a výztuže prvků D1, D2, T1 a P2. Vyztužení věnců – schéma vyztužení.
 10. **Téma č. 2 – Prutové železobetonové prvky namáhané momentem a normálovou silou** – vliv počátečních imperfekcí, ověření únosnosti Interakčním diagramem (zadání příkladu).
 11. **Povinná korekce překladu P2, výkresů a tématu č. 2.**
 12. Odevzdání projektu. Zápočet.
-

Doporučená literatura a normy:

Štěpánek, P., Terzijski, I., Laníková, L., Panáček, J., Šimůnek, P.: BL001 Prvky betonových konstrukcí. Výukové texty, příklady a pomůcky, elektronická pomůcka, VUT, Brno, 2013, aktualizace 2019
Zich, M. a kol.: Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů, Verlag Dashöfer, Praha, 2010
Kohoutková, A., Procházka, J., Vašková, J.: Navrhování železobetonových konstrukcí. Příklady a postupy, ČVUT, Praha, 2016
Terzijski, I., Štěpánek, P., Čírtek, L., Zmek, B., Panáček, J.: Prvky betonových konstrukcí. Modul CM1 až CM5, studijní opora, VUT, Brno, 2005
ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, Praha, 2004
ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha , ČNI, Praha, 2004
ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha, 2006
ČSN 013481 Výkresy betonových konstrukcí, ÚNM, Praha, 1988
ČSN EN ISO 3766 Výkresy stavebních konstrukcí – Kreslení výztuže do betonu, ČNI, Praha, 2004

Brno, únor 2020