

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Navrhování štíhlých železobetonových sloupů

Design of slender reinforced concrete columns



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lichtenberg Jméno: Petr Osobní číslo: 424356
Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Navrhování štíhlých železobetonových sloupů

Název bakalářské práce anglicky: Design of Slender Reinforced Concrete Columns

Pokyny pro vypracování:

- rešerše literatury, popis možných návrhových přístupů
- aplikace různých návrhových přístupů na konkrétním řešeném příkladu
- porovnání výsledků dosažených ručním výpočtem s výsledky stanovenými pomocí softwaru (SCIA, RCC)

Seznam doporučené literatury:

Normy: ČSN EN 1990, ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1992-1-1

Procházka, J., a kol. Navrhování železobetonových konstrukcí. Příklady a postupy.

Procházka, J., a kol. Navrhování betonových konstrukcí 1. Prvky z prostého a železového betonu.

Janda, L., a kol. Štíhlé betonové tlačené prvky.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27. 5. 2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.


Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne: 27. 05. 2018

.....

Petr LICHTENBERG

Poděkování:

Děkuji Ing. Radku Štefanovi, Ph.D., za odborné vedení, poskytnutí studijních podkladů, konzultací, cenných rad a připomínek, které napomohly ke vzniku této bakalářské práce.

Petr LICHTENBERG

Název práce:

Navrhování betonových štíhlých sloupů

Autor: Petr Lichtenberg

Obor: Konstrukce pozemních staveb

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D,
Katedra betonových a zděných konstrukcí
Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Anotace: Bakalářská práce porovnává výpočetní postupy při navrhování betonových štíhlých sloupů. V teoretické části je popsána problematika štíhlých sloupů, metody a postupy výpočtů. V praktické části jsou popsány algoritmy výpočtu a porovnány výsledky stanovené pomocí vybraných metod.

Klíčová slova: betonové sloupy, štíhlost, vzpěr, účinná délka, účinky druhého řádu, jmenovitá křivost, nelinearita, osamělý prvek, jmenovitá tuhost

Title:

Design of concrete slender columns

Annotation: Bachelor thesis compares computational procedures in design of concrete slender columns. The theoretical part describes the issue of slender columns, methods and of calculation approaches. In the practical part the algorithms of calculation are described, and the results obtained by selected methods are compared.

Key words: concrete columns, slenderness, buckling, effective length, second order effects, nominal curvature, non-linearity, isolated element, nominal stiffness

Obsah

Obsah.....	1
Teoretická část	2
1.1 Úvod do problematiky	2
1.2 Základní pojmy	2
1.3 Metody vyšetřování účinků druhého řádu	3
Praktická část.....	12
1 Numerická analýza ručním výpočtem	12
2 Numerická analýza v programu Excel 2016	13
3 Příklady	15
3.1 Sloup 1.....	16
3.2 Sloup 2.....	21
3.3 Sloup 3.....	26
3.4 Sloup 4.....	31
3.5 Sloup 5.....	36
4 Vyhodnocení výsledků.....	41
5 Závěr	47
Zdroje	48
Přílohy.....	49
1 Příloha A	49
2 Příloha B	50

Teoretická část

1.1 Úvod do problematiky

„U štíhlých tlacených prvků a konstrukcí je nutno respektovat rovnováhu na přetvořeném prvku (např. sloup, stěna, pilota, oblouk, skořepina), popř. přetvořené konstrukci (např. rámová konstrukce). Tam, kde je to významné, je nutno při vyšetřování zahrnout i účinek ohebnosti připojených prvků a základů (interakce základová půda – konstrukce). Přetvoření by mělo být vyšetřováno při uvažování příslušných účinků trhlin, nelineárních vlastností materiálů a dotvarování. Při vyšetřování štíhlých prvků a konstrukcí je důležité jejich definování a vymezení. Dále se budeme věnovat pouze samostatně stojícím prutům (resp. sloupům) ne rámovým konstrukcím.“ [2]

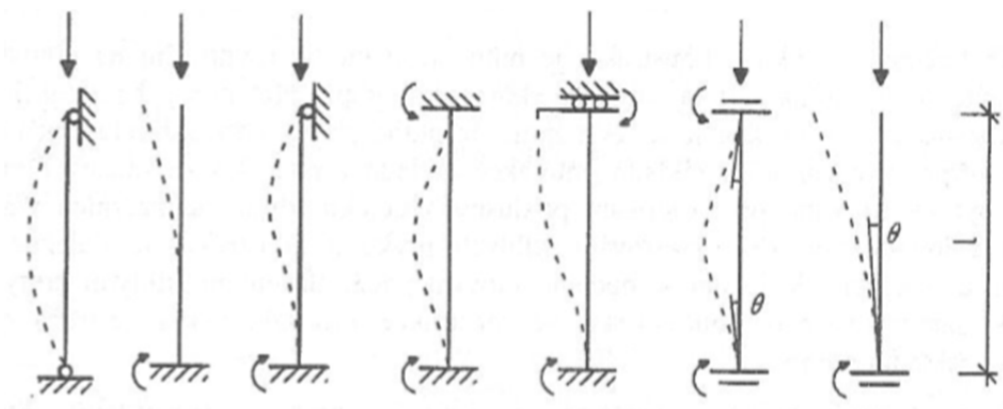
1.2 Základní pojmy

„**Osamělé prvky** jsou samostatné izolované prvky (např. samostatný sloup kloubově uložený nebo vetknut-viz **Obr. 1.1**) nebo části konstrukce (např. sloup vyjmutý z rámové konstrukce, zatížený na koncích příslušnými silami a ohybovými momenty – viz **Obr. 1.2**), které pro účely návrhu lze považovat jako osamělé izolované prvky.“ [2]

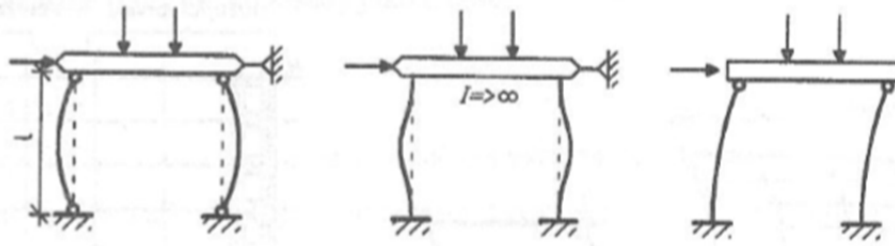
„**Účinky prvního řádu** vyšetřujeme na nedeformované konstrukci, avšak při uvažování geometrických imperfekcí. Tyto imperfekce jsou interpretovány jako odchylky ve tvaru sklonění střednice nebo výstředností.“ [2]

„**Účinky druhého řádu** jsou přídavné účinky zatížení vyvolané deformací konstrukce.“ [2]

„**Vzpěr** je termín používaný při porušení vyvolaném nestabilitou prvku nebo konstrukce při jejich perfektně dostředném tlakovém zatížení, bez jakéhokoliv příčného zatížení. Toto je čistě hypotetický případ porušení, protože takto definovaný vzpěr nevystihuje mezní stav reálné konstrukce, a to vzhledem k imperfekcím, případnému příčnému zatížení apod. Pojem je zaveden pouze z toho důvodu, že jmenovité (nominální) vzpěrné břemeno může být použito jako parametr v některých zjednodušených metodách vyšetřování účinky druhého řádu. Vzhledem k tomu, že vzpěr představuje hypotetický případ porušení, není tento vzpěr v textu normy používán, vyjma případu jmenovitého vzpěrného břemene.“ [2]



Obr. 1.1 Osamělé izolované prvky (převzato z [2], obr. 7.2)



Obr. 1.2 Osamělé prvky jako součást rámové konstrukce (převzato z [2], obr. 7.3)

„**Vzpěrné břemeno** je tlakové zatížení, při kterém vzniká porušení v důsledku vybočení; pro osamělé lineárně pružné prvky je synonymem Eulerova břemene.“ [2]

1.3 Metody vyšetřování účinků druhého řádu

„U štíhlých tlačných prvků a konstrukcí je nutno respektovat rovnováhu na přetvořeném prvku, resp. konstrukci. Přetvoření by mělo být vyšetřováno při uvažování příslušných účinků trhlin, nelineárních vlastností materiálů a dotvarování. Problémem však je, že se chování materiálů v průběhu zatěžování mění (vznikají trhliny, materiály se postupně dostávají do plastického stavu) v závislosti na velikosti namáhání konstrukce v příslušném místě. Přetvoření je tedy závislé na proměnných tuhostech, přičemž k porušení dojde v nejvíce namáhaném průřezu. Výpočet s respektováním geometrické a fyzikální nelinearity je tedy značně složitý a pro běžné případy navrhování nepoužitelný. Proto normy připouštějí zjednodušené metody.“ [2]

Dle normy EN 1992-1-1 a dalších podkladů (např. CEB/FIB manuál [7]) lze použít 4 základní metody výpočtu:

- 1) obecná metoda založená na nelineárních výpočtech druhého řádu,
- 2) metoda náhradního štíhlého sloupu,
- 3) zjednodušená metoda založená na jmenovité křivosti,
- 4) zjednodušená metoda výpočtu druhého řádu založená na jmenovitých tuhostech.

Metody, uvedené pod body 3) a 4) počítají s tzv. jmenovitým (nominálním) momentem druhého řádu, který lze definovat jako rozdíl mezi mezním momentem únosnosti a odpovídajícím momentem prvního řádu. Pokud je mezní břemeno vyvoláno nestabilitou před dosažením mezní únosnosti příčného průřezu, pak nominální moment druhého řádu je větší než moment druhého řádu odpovídajícím ztrátě stability.

Metoda uvedená pod bodem 3) může být použita pro osamělé prvky i celé konstrukce, pokud jsou náležitě určeny hodnoty tuhostí.

Metoda uvedená pod bodem 4) je vhodná pro izolované prvky. Nicméně, s realistickými předpoklady týkajícími se rozdělení křivosti, může být použita také pro konstrukce. [2]

1.3.1 Obecná metoda

„Obecná metoda je založena na nelineárním vyšetřování zahrnujícím fyzikální i geometrickou nelinearitu (účinky druhého řádu). Může být použita pro obecný tvar průřezu měnící se po délce prutu, zatížení normálovou silou a ohybovým momentem prvního řádu, obecné okrajové

podmínky, obecný pracovní diagram apod. Limitujícím faktorem je pouze kapacita počítače. Metody vycházející z následujících jednoduchých předpokladů:

- zachování rovinnosti přetvoření,
- stejné přetvoření betonu a výztuže ve stejném místě,
- daných pracovních diagramů betonu a výztuže.

Při nelineárních výpočtech musí být použit pracovní diagram betonu a výztuže pro výpočet účinků zatížení, musí být uvažován účinek dotvarování betonu. Při použití pracovních diagramů vycházejících z návrhových hodnot obdržíme z výpočtu přímo mezní zatížení. Při použití pracovního diagramu betonu definovaného v oblasti $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c1}$ vztahem

$$\frac{\sigma_c}{f_{cd}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta},$$

kde $\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}, k = 1,1 E_{cd} \frac{\varepsilon_{c1}}{f_{cd}},$

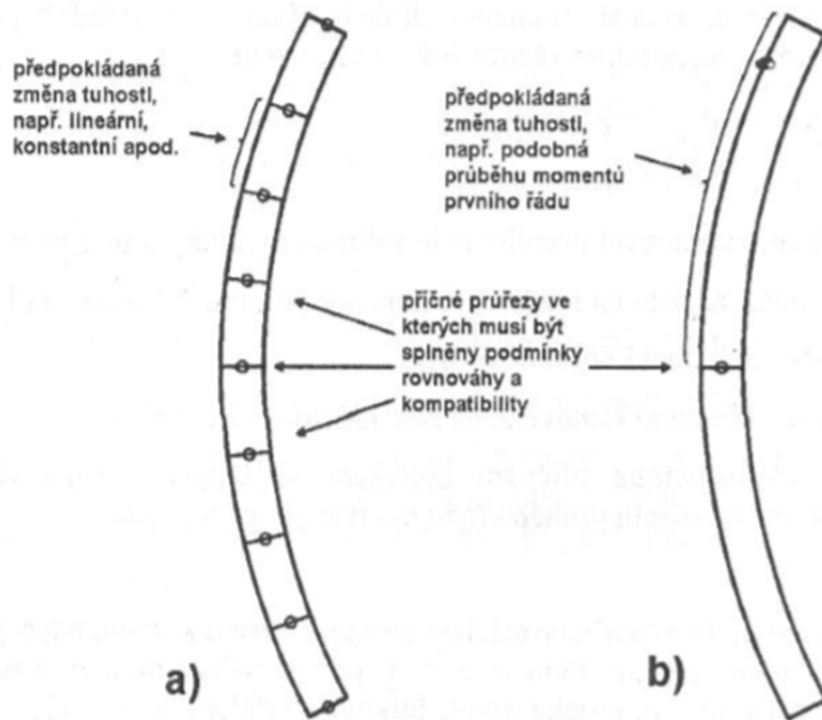
dosazením za $f_{cd} = f_{cm} / \gamma_c, E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE}$. Hodnota γ_{cE} bude uvedena v národní příloze, doporučená hodnota 1,2.

Pokud nejsou k dispozici přesnější modely, dotvarování může být uvažováno vynásobením všech hodnot přetvoření v pracovním diagramu betonu součinitelem $(1+\varphi_{ef})$, kde φ_{ef} je účinný součinitel dotvarování podle vztahu (1.17). [2]

Příznivý účinek tahového zpevnění betonu může být uvažován; pro zjednodušení výpočtu lze ho zanedbat.“ [2]

„Obvykle se předpokládá splnění podmínek rovnováhy a kompatibility přetvoření v jistém počtu příčných průřezů. Přetvoření se počítá dvojnásobnou integrací křivosti, u které se předpokládá jistá změna (např. lineární) mezi těmito průřezy, jak je patrné z **Obr. 1.3a**. Zjednodušeně lze předpokládat jeden průřez uprostřed a předpokládat změnu křivosti (např. podobnou průběhu momentu prvního řádu), jak je patrné z **Obr. 1.3b**. U konstrukcí zatížených převážně staticky lze účinek předchozího zatěžování obecně zanedbat a lze předpokládat monotónní nárůst intenzity zatížení.“ [2]

„U obecné metody je třeba si uvědomit, že absolutní hodnota přetvoření má přímý vliv na mezní zatížení. Proto ze spolehlivostního hlediska se mají používat při výpočtech stejné materiálové parametry ve všech prvcích, abychom se vyhnuli diskontinuitám a výpočetním problémům. Spolehlivostní formát má být kompatibilní s obecným návrhovým formátem založeným na součinitelích spolehlivosti zatížení a materiálů. Je tedy nesprávné používat průměrné hodnoty pro materiály při vyšetřování a návrhové hodnoty materiálu při posuzování spolehlivosti, ale je třeba používat v celém výpočtu návrhové hodnoty. U pracovních diagramů materiálu se používá u modulu pružnosti výše uvedený součinitel, u oceli lze použít $\gamma_{cE} = 1,0$.“ [2]



Obr. 1.3 Ilustrace přesnější a zjednodušené obecné metody (převzato z [2], obr. 7.14)

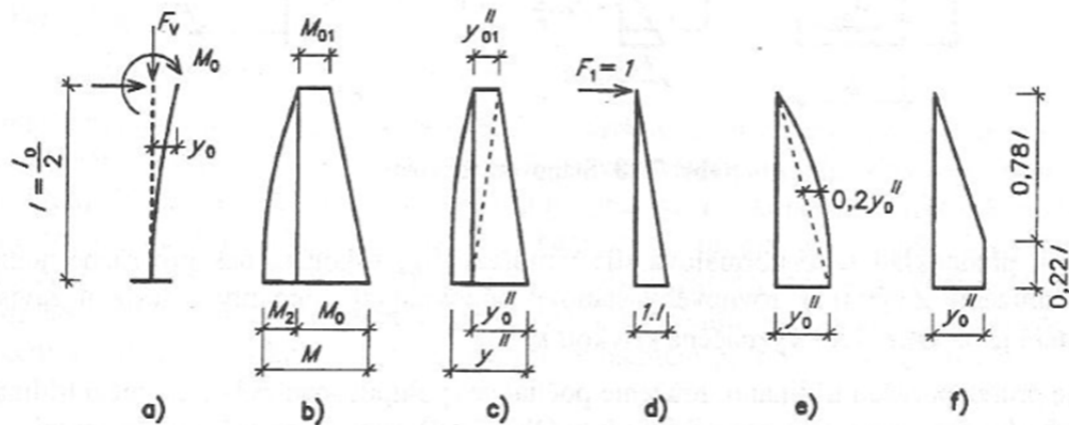
1.3.2 Metoda náhradního štíhlého sloupu

Za náhradní štíhlý prut bývá považován nehmotný přímý svislý prut vetknutý v patě a v horním konci volný, zatížený na volném konci. Předpokládejme zatížení na volném konci svislou silou F_V , vodorovnou silou F_H a ohybovým momentem M_0 – viz **Obr. 1.4a**. rovina ohybu se ztotožňuje s hlavní rovinou setrvačnosti průřezu prutu. Označíme-li délku prutu l , je účinná délka l_0 . průběh ohybových momentů je naznačen na **Obr. 1.4b** i s předpokládaným průběhem momentů druhého řádu parabolického tvaru. Metoda vychází z přibližného předpokladu, že přetvoření ve vrcholu y_0 je lineární funkcí křivosti ve vetknutí $y''(l)$, kterou v dalším označíme y'' . [2]

Průběh křivosti je naznačen na **Obr. 1.4c**. Přetvoření ve vrcholu můžeme pak stanovit známým způsobem ze vztahu (viz **Obr. 1.4c,d**)

$$y_0 = \int_0^l y''(x) M_1(x) l dx = \int_0^l \left[\frac{5}{12} (y'' - y_1'') + \frac{1}{3} y_1'' + \frac{1}{6} y_{01}'' \right] l dx = l^2 (0,416 y'' - 0,083 y_1'' + 0,166 y_{01}'')$$

$$y_0 \cong \frac{l^2}{10} (0,4 y'' - y_1'' + 2 y_{01}'').$$



Obr. 1.4 Náhradní štíhlý prut (převzato z [2], obr. 7.17)

„Pokud bude $y_{01}'' = 0,5y_1''$, tj. hodnota křivosti ve vrcholu bude rovna polovině hodnot křivosti vyvolané momentem prvního řádu v patě sloupu, pak při uvažování $l = l_0/2$, můžeme vztah (1.44) psát ve tvaru

$$y_0 = y'' \frac{l_0^2}{10},$$

kde $y'' = \frac{1}{r}$ je křivost v patě sloupu,

l_0 účinná délka sloupu,

Vztah (1.44) vyhovuje i pro jiné tvary rozdělení křivosti po celé délce prutu, např. viz **Obr. 1.4e,f**.

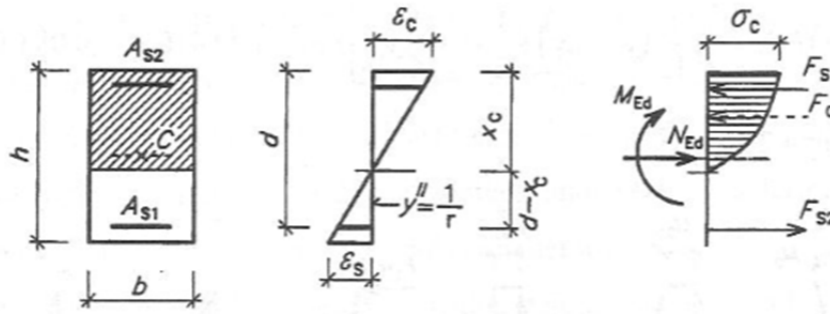
Křivost v patě sloupu lze jednoduše stanovit, známe-li údaje o průřezu v patě sloupu. Předpokládáme, že se jedná o obdélníkový průřez výšky h , šířky b , s výztuží A_{s1} a A_{s2} , namáhaný normálovou silou N_{Ed} a ohybovým momentem M_{Ed} působícím v hlavní rovině setrvačnosti betonového průřezu. Křivost je dána úhlem, který svírá rovina přetvoření s rovinou nepřetvořeného průřezu (viz **Obr. 1.5**), tedy

$$y'' = \frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_c}{x_c} = \frac{\varepsilon_s}{d - x_c} \quad (1.46)$$

kde ε_c (ε_s) je poměrné přetvoření horních (dolních) betonových vláken (tažené výztuže) při působení N_{Ed} a M_{Ed} ,

x_c poloha neutrální osy při působení N_{Ed} a M_{Ed} ,

d účinná výška průřezu.



Obr. 1.5 Stanovení křivosti (převzato z [2], obr. 7.18)

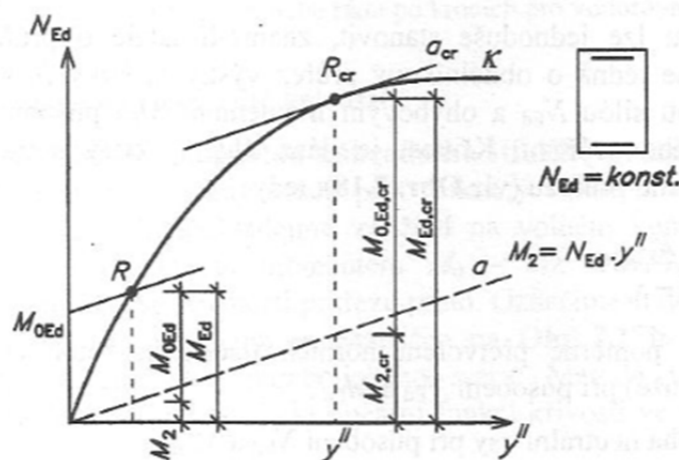
Budeme-li předpokládat, že normálová síla v průřezu $N_{Ed} = konst.$, pak pro různé hodnoty křivosti můžeme z výminek rovnováhy stanovit odpovídající momenty a sestavit závislost M, y'' , která je na **Obr. 1.5** vyznačenou křivkou κ .“ [2]

„Pokud je průřez porušen trhlinami, můžeme počítat se spolupůsobením betonu mezi trhlinami, pokud působení betonu v tahu zanedbáme (viz **Obr. 1.5**), jsme na straně konzervativní.“ [2]

„Moment druhého řádu $M_2 = N_{Ed} y''$ bude v **Obr. 1.6** vyznačen přímkou a . Známe-li tedy moment prvního řádu, můžeme z **Obr. 1.6** stanovit návrhový moment $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$. Vedeme-li rovnoběžku s přímkou a ve vzdálenosti M_{0Ed} , pak průsečík této rovnoběžky s křivkou κ udává velikost momentu M_{Ed} , jak je znázorněno na **Obr. 1.6**.“ [2]

„Obdobným způsobem můžeme určit kritický moment prvního řádu $M_{0,Ed,cr}$, při jehož překročení nastává ztráta stability, tj. při působení tohoto momentu a dané normálové síly $N_{Ed} = konst.$ Je rovnováha vnitřních a vnějších sil v průřezu ve vetknutí labilní. Při grafickém znázornění vedeme ke křivce κ tečnu rovnoběžnou s přímkou a , dotykový bod R_{cr} udává velikost momentu $M_{ed,cr}$, přímka a vytkne pořadnici momentu hodnotu $M_{2,cr}$ a rozdíl $M_{Ed,cr} - M_{2,cr} = M_{0,Ed,cr}$ je maximální hodnota momentu prvního řádu, při kterém je labilní rovnováha vnitřních a vnějších sil v průřezu ve vetknutí. Prut vyhovuje, je-li při dané normálové síle $N_{Ed} = konst.$ a při daném momentu M_{0Ed} vnějších sil ve vetknutí sloupu splněna nerovnost

$$M_{0Ed} \leq M_{0,Ed,cr} \text{ .“ [2] } \tag{1.47}$$



Obr. 1.6 Závislost křivosti na ohybovém momentu (převzato z [2], obr. 7.19)

1.3.3 Metoda založená na jmenovité křivosti

„V normě EN 1992-1-1 [1] je tato metoda upravena, aby ji bylo možno použít i v případě, že křivost předem neznáme. Uvedená metoda je vhodná zejména pro osamělé prvky s konstantní normálovou silou a se známou účinnou délkou l_0 . V normě je označen průhyb y_0 jako výstřednost druhého řádu e_2 .“ [2]

$$y'' = \frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_c}{x_c} = \frac{\varepsilon_s}{d - x_c}$$

„Podle normy je výsledný návrhový moment, který se použije pro návrh průřezu, dán vztahem

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2, \quad (1.48)$$

kde M_{0Ed} je ohybový moment prvního řádu zahrnující účinky imperfekcí,

M_2 jmenovitý ohybový moment druhého řádu.

„Maximální hodnota M_{Ed} je závislá na rozdělení ohybových momentů M_{0Ed} a M_2 na účinné délce tlačенého prutu l_0 , který pro M_2 může být uvažováno parabolického nebo sinusového tvaru. Předpokládá se, že náhradní nehmotný prut je na koncích zatížen konstantním ohybovým momentem M_{0Ed} . U staticky neurčitých prvků je průběh M_{0Ed} stanoven pro skutečné okrajové podmínky, kdežto průběh M_2 je závislý na okrajových podmínkách náhradního prutu. Pokud se hodnoty koncových momentů M_{01} a M_{02} liší, mohou být nahrazeny ekvivalentním koncovým ohybovým momentem prvního řádu určeného ze vztahu (1.37).“ [2]

Jmenovitý moment druhého řádu se stanoví ze vztahu

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0}, \quad (1.50)$$

kde K_r je opravný součinitel závislý na normálové síle,

K_φ součinitel zohledňující dotvarování,

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} - \text{viz Obr. 1.7a,}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s},$$

d účinná výška.

Pokud výztuž není soustředěna u protilehlých okrajů, ale částečně je rozdělena i v rovině rovnoběžné s ohybem, pak d je dáno vztahem

$$d = 0,5h + i_s, \quad (1.51)$$

kde i_s je poloměr setrvačnosti plochy veškeré výztuž.

Součinitel K_r (viz Obr. 1.7b) může být určen ze vztahu

$$N_{Ed} = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}, \quad (1.52)$$

Kde $N_{Ed} = N_{Ed}/(A_c f_{cd})$ je poměrná normálová síla,

N_{Ed} návrhová hodnota normálové síly,

$$n_u = 1 + \omega,$$

N_{bal} hodnota n při maximální momentové únosnosti; lze uvažovat 0,4,

$$N_{Ed} = A_s f_{yd} / (A_c f_{yd}),$$

A_s plocha veškeré výztuže,

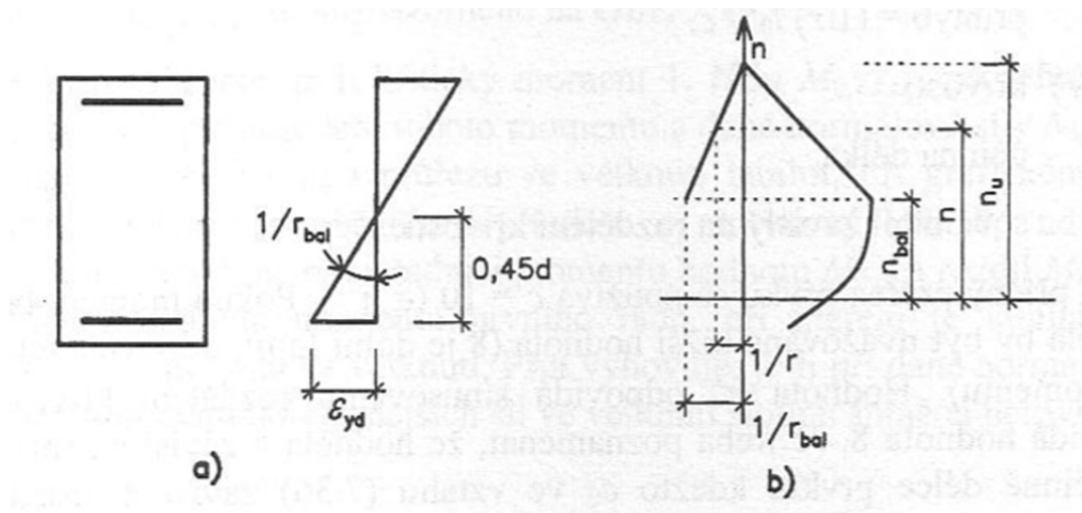
A_c plocha betonového průřezu.

Účinek dotvarování je vyjádřen prostřednictvím součinitele

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1, \quad (1.53)$$

kde φ_{ef} je účinný součinitel dotvarování,

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



Obr. 1.7 Křivost a její redukce podle EN 1992-1-1 (převzato z [2], obr. 7.20)

1.3.4 Výpočet druhého řádu založený na jmenovitých tuhostech

„Výpočet druhého řádu založený na tuhostech musí vycházet z jmenovitých hodnot ohybových tuhostí zohledňujících účinky trhlin, materiálovou nelinearitu a dotvarování na celkové chování. Toto se též vztahuje na připojené prvky zahrnuté do výpočtu, tj. trámy, desky nebo základy. Kde je to závažné má být uvažována interakce s podložím.“ [2]

„Jmenovitá tuhost má být definována takovým způsobem, že celkové ohybové momenty vyplývající. Předchozí uvedený výpočet tuhosti podle vztahu (1.14), nelze v těchto případech použít. Zjednodušeně lze počítat s vyloučeným působením betonu v tahu (tedy uvažovat plně potrhaný průřez).“ [2]

„Při výpočtu tuhosti je třeba uvažovat efektivní modul pružnosti betonu

$$E_{cd,ef} = E_{cd} (1 + \varphi_{ef}),$$

kde E_{cd} je návrhová hodnota pružnosti betonu $E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE}$,

γ_{cE} součinitel spolehlivosti, jehož doporučená hodnota je 1,2
(bude upřesněn v národní příloze),

φ_{ef} účinný součinitel dotvarování daný vztahem (1.14).“

1.3.4.1 Praktické metody výpočtu

„Celkový návrhový moment, včetně momentu druhého řádu, lze vyjádřit jako zvětšený ohybový moment získaný z lineárního vyšetřování, a to ze vztahu

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_{Ed} - 1} \right], \quad (1.35)$$

kde M_{0Ed} je ohybový moment prvního řádu zahrnující účinky imperfekcí,

β součinitel závislý na rozdělení momentů prvního řádu a druhého řádu,

N_{Ed} návrhová hodnota normálové síly

N_B vzpěrné břemeno stanovené na základě jmenovité tuhosti.

U osamělých prvků s konstantním příčným průřezem zatíženým normálovou silou lze předpokládat, že rozdělení momentů druhého řádu má tvar sinusoidy, pak

$$\beta = \frac{\pi^2}{c_0},$$

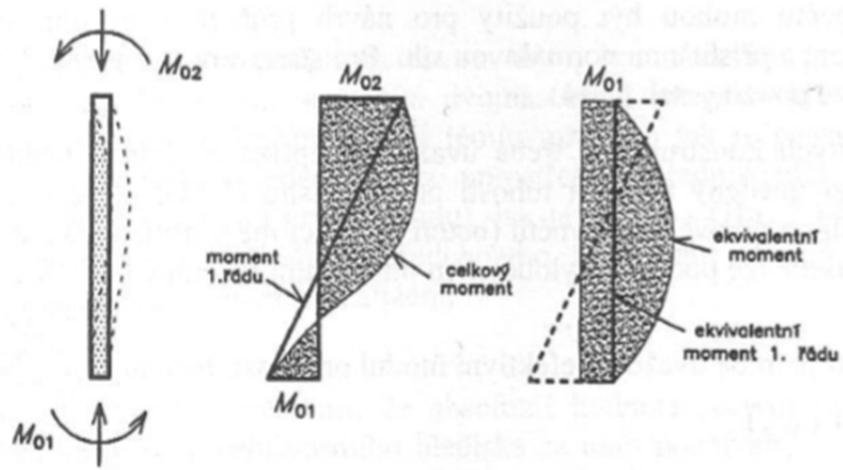
kde c_0 je součinitel na rozdělení momentů prvního řádu, např. pro konstantní moment prvního řádu je $c_0 = 8$, pro rozdělení momentů parabolické je $c_0 = 9,6$ a pro symetrické trojúhelníkové rozdělení je $c_0 = 12$.

u prvků bez příčného zatížení mohou být rozdílné koncové ohybové momenty M_{01} a M_{02} nahrazeny ekvivalentním konstantním momentem prvního řádu M_{0e} , jak je patrné z **Obr. 1.8**. Ekvivalentní ohybový moment prvního řádu M_{0e} stanovíme ze vztahu

$$M_{0e} = 0,6 M_{01} + 0,4 M_{02} \geq 0,4 M_{02},$$

Kde M_{01} a M_{02} by měly mít stejné znaménko, pokud vyvolávají tah na jedné straně prvku, jinak mají znaménko záporné; dále musí platit $|M_{02}| \geq |M_{01}|$.

Souhlasně s předpokladem konstantního ohybového momentu prvního řádu pak použijeme $c_0 = 8$.“ [2]



Obr. 1.8 Ekvivalentní momenty v případě rozdílných ohybových koncových momentů (převzato z [2], obr. 7.15)

Praktická část

1 Numerická analýza ručním výpočtem

Ruční výpočet provedeme zjednodušenou metodou založenou na jmenovité křivosti (metoda, která vychází z postupu použitého v kapitole numerická analýza v programu Excel 2016, avšak zde se nestanovuje celá křivka moment-křivost, ale moment druhého řádu se určí pouze pro jednu odhadnutou hodnotu křivosti). Popis použité zjednodušené metody lze nalézt ve zdrojích [2], [3], viz kap. 1.3.3. Metoda slouží ke stanovení momentu druhého řádu M_2 . Vlastní posouzení sloupu zatíženého kombinací normálové síly N_{Ed} a celkového ohybového momentu $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed}(e_0 + e_2)$ by se provedlo pomocí interakčního diagramu.

Ruční výpočet, pomocí jmenovité křivosti, byl verifikován softwarem SCIA Engineer 17.01. Toto porovnání je znázorněno v příloze B.

Dále pro ruční výpočet použijeme metodu jmenovité tuhosti (viz kap. 1.3.4 této práce). Jelikož tato metoda moment druhého řádu nepočítá přímo. Úpravou vztahu

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right]$$

dostaneme,

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_{0Ed} \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1}$$

a tedy

$$M_2 = M_{0Ed} \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1}.$$

Vlastní posouzení sloupu zatíženého kombinací normálové síly N_{Ed} a celkového ohybového momentu M_{Ed} se provede pomocí interakčního diagramu.

2 Numerická analýza v programu Excel 2016

Numerická analýza problému bude provedena v programu Excel 2016. Excelová tabulka využívá metodu náhradního štíhlého sloupu (viz kap. 1.3.2 této práce).

Pro ověření výstupů z programu Excel 2016, byl použit software RCC [6]. K porovnání se použil graf ze sloupu 1, viz příloha A.

Tato metoda vede na složitý iterační výpočet, který v prakticky nelze provést bez využití výpočetní techniky. Proto byla metoda implementována do výpočetní excelové tabulky, podle které bude analyzován výše uvedený problém.

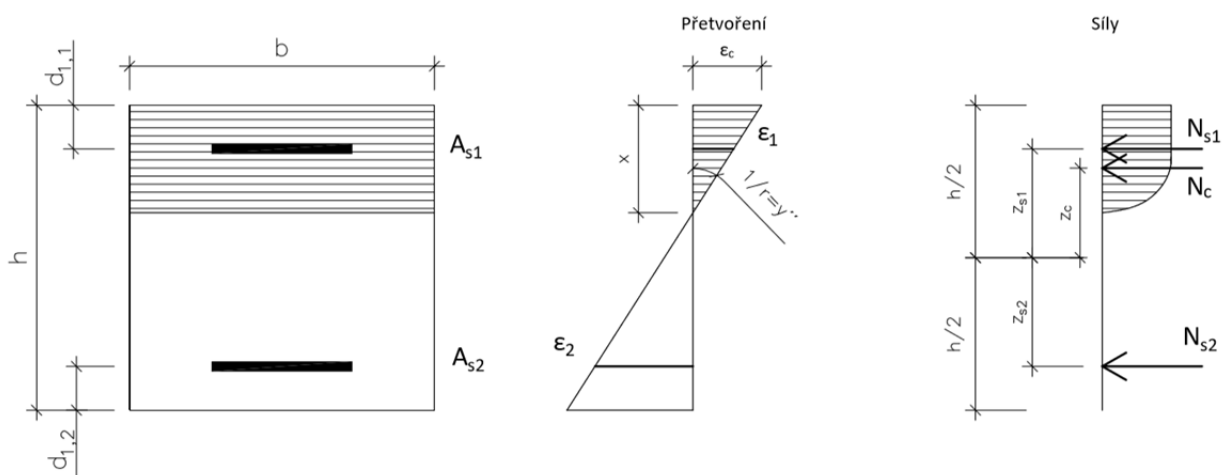
V listu pro zadání vstupů zadáme parametry řešeného sloupu. Po zadání vstupních hodnot se tabulka přepočítá. Tato tabulka ještě není zautomatizovaná tak, že by nám po zadání vstupů vykreslila jednotlivé křivky (M_2 , $M_2 + M_{0Ed}$, κ , M_{Rd}). Musíme tedy sami zadávat křivost, kterou chceme a pak hodnotu momentu vynášet do tabulky ze které vzniká graf. Dále musíme také kontrolovat přesnost (velikost proužků po výšce), protože při velké přesnosti nebo při velkém průřezu nám nemusí tabulka stačit na to, aby spočítala rovnováhu na průřezu, a tím pádem určí moment únosnosti pro tuto křivost špatně.

V excelu se sestavují 4 křivky:

Křivka M_2 (momentu druhého řádu) je lineární funkcí, která je závislá na křivosti y'' a stanovuje se podle vztahu $M_2 = N_{Ed} K_\varphi \frac{l_0^2}{c} y''$ (veličiny popsány viz kapitola 1.3.4). Jelikož se ve všech příkladech neuvažuje vliv dotvarování, vychází $K_\varphi = 1$, a tím pádem se vztah zjednoduší na $M_2 = N_{Ed} \frac{l_0^2}{c} y''$.

Křivka $M_2 + M_{0Ed}$ (M_{Ed}) je rovnoběžná s křivkou M_2 , a jelikož M_{0Ed} je konstantní funkce, stanovuje se podle vztahu $M_2 + M_{0Ed} = N_{Ed} \frac{l_0^2}{c} y'' + N_{Ed} \cdot e_1$.

Křivka κ je momentová únosnost pro určitou křivost. Stanovuje se iteračním postupem, kde pro zvolenou křivost hledáme polohu neutrální osy a dále spočteme moment únosnosti.



Obr. 2.1 Schéma průřezu

Postup:

- 1) Zvolíme y''
- 2) Zvolíme dělení průřezu po výšce Δx
- 3) Zavedení pořadnice x
 $x_{i+1} = x_i + \Delta x$
- 4) Dopočteme přetvoření v místě těžiště výztuže u horního povrchu
 $\varepsilon_c = y''(x - d_1)$
- 5) Dopočteme přetvoření v místě těžiště výztuže u dolního povrchu
 $\varepsilon_c = y''(x - h + d_2)$

Pozn. Vyjde-li přetvoření záporné, odečte se z pracovního diagramu záporná hodnota napětí (viz bod 6) a tím vyjde i záporná síla ve výztuži

- 6) Odečteme napětí σ_1 a σ_2 z pracovního diagramu
- 7) Vypočteme sílu ve výztužích
 $N_{s_i} = \sigma_i \cdot A_{s_i}$
- 8) Dopočteme přetvoření na kraji průřezu
 $\varepsilon_c = y''x$
- 9) Odečteme napětí σ_c z pracovního diagramu betonu
- 10) Výpočet síly v betonu

$$N_{c,i} = \frac{\sigma_{c,i} + \sigma_{c,i+1}}{2} b \cdot \Delta x$$

- 11) Celková síla v betonu

$$N_c = \sum N_{c,i}$$

Pozn.: pokud je $x > h$, musíme ošetřit, aby se síly co vyjdou mimo průřez, nezapočítávali do celkové sumy. Toto je ošetřeno přičítáním stejné síly mimo průřez ale s opačnou orientací.

- 12) Kontrola podmínky rovnováhy

$$N_c + N_{s1} + N_{s2} - N_{Ed} = 0$$

- 13) Pokud není podmínky splněna, návrat do bodu 3

- 14) Stanovení z_c betonu v proužcích

$$z_{c,i} = x - \frac{\Delta x_i}{2}$$

- 15) Stanovení momentu únosnosti pro danou křivost

$$M = N_{s1} \cdot z_{s1} - N_{s2} \cdot z_{s2} + \sum_{i=1}^n N_{c,i} \cdot z_{c,i}$$

Křivka M_{Rd} je tečnou ke křivce κ . Uvažujeme že, směrnicí v intervalu $(y''_i; y''_{i+1})$, má lineární závislost. Dále se zjišťuje podmínka, kde směrnicí tečny ke křivce κ je stejná jako směrnicí křivky M_2 ($směrnice_{\kappa} - směrnice_{M_2} = 0$).

Postup:

1) $směrnice_{\kappa} = \frac{M_{i+1} - M_i}{y''_{i+1} - y''_i}$

2) Směrnicí křivky M_2

$$směrnice_{M_2} = \frac{l_0^2}{c}$$

3) Kontrola podmínky

$$směrnice_{\kappa} - směrnice_{M_2} = 0$$

4) Pro tuto $směrnici_{\kappa}$ se určí rozdíl momentů

$$\Delta M = M_{Rd,i} - M_{Ed,i}$$

5) Sestavení křivky M_{Rd} v závislosti na křivce M_{Ed}

$$M_{Rd,i} = M_{Ed,i} + \Delta M$$

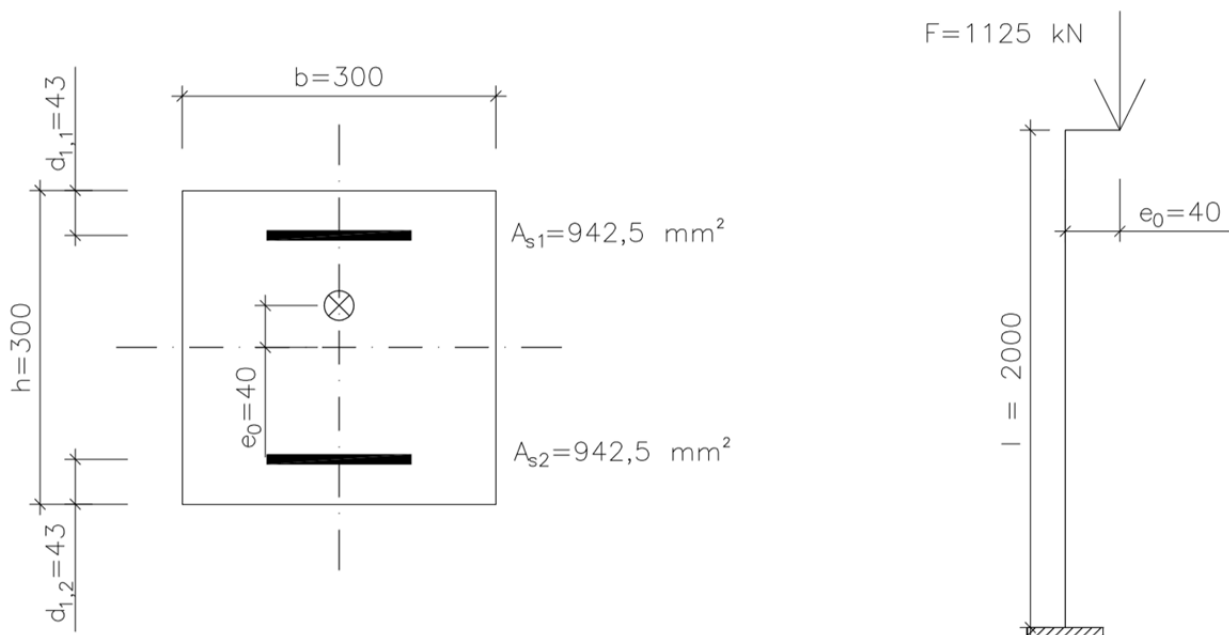
3 Příklady

Tabulka 1 - Popis sloupů	
Sloup	Změna
1	referenční sloup
2	délka l zvětšena na 3200 (o 60%)
3	délka l zvětšena na 2800 (o 40%), součinitel $c = 9$
4	beton C45/55
5	beton C20/25, rozměr 500 x 500 mm, ocel B 400B, $A_s = 1000 \text{ mm}^2$, vzdálenost výztuže $d_{1,1} = 50 \text{ mm}$

3.1 Sloup 1

Tento sloup se bere jako referenční.

Sloup je vetknutý, s účinnou délkou $l_0=4000$ mm a průřezem $a \times b = 300 \times 300$ mm. Je použit beton C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa, $f_{cd} = 20$ MPa, $\epsilon_{c2} = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,0035$) a ocelová výztuž B 500B ($f_{yk} = 500$ MPa, $f_{yd} = 434,78$ MPa, $E_s = 200$ GPa). Hlavní výztuž je jen při dvou površích, symetricky rozdělena ($A_s = 1885$ mm², $A_{s,1} = A_{s,2} = 942,5$ mm²), příčnou výztuž tvoří třmínky $\varnothing = 8$ mm. Betonová krycí vrstva má tloušťku $c = 25$ mm. Sloup je zatížen tlakovou silou $F = 1125$ kN s excentricitou (včetně vlivu imperfekcí) $e_0 = 40$ mm ($M_{0Ed} = F \cdot e_0 = 1125 \cdot 0,040 = 45$ kNm). Poměr účinků zatížení (ohybových momentů) od kvazistálé kombinace zatížení a návrhové kombinace zatížení uvažujte $k \approx 0.6$. Z důvodu zanedbání účinků dotvarování se uvažuje hodnota konečného součinitele dotvarování $\varphi_{(\infty,t_0)} = 0$.



Obr. 2.2 Schéma sloupu

3.1.1 Stanovení momentu druhého řádu a celkového ohybového momentu metodou jmenovité křivosti

Štíhlost sloupu:

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{4000 \cdot \sqrt{12}}{300} = 46,2,$$

součinitel K_r (vliv velikosti normálové síly)

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1885 \cdot 434,78}{300 \cdot 300 \cdot 20} = 0,455,$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,455 = 1,455,$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300 \cdot 300 \cdot 20} = 0,625,$$

$$n_{bal} \approx 0,4,$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,455 - 0,625}{1,455 - 0,4} = 0,787 \leq 1,$$

součinitel K_φ (vliv dotvarování):

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot k = 0 \cdot 0,6 = 0,$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{46,2}{150} = 0,192;$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,192 \cdot 0 = 1,$$

Odhad křivosti:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{434,78}{200} \cdot 000}{0,45 \cdot (300 - 43)} = 1,88 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-1} = 1,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1},$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} = 0,787 \cdot 1 \cdot 1,88 \cdot 10^{-2} = 0,0148 \text{ m}^{-1},$$

výstřednost druhého řádu, moment druhého řádu:

$$e_2 = \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{c} = 0,0148 \frac{4^2}{8} = 0,030 \text{ m},$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1125 \cdot 0,03 = 33,75 \text{ kNm},$$

Celkový ohybový moment působící na sloup:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 45 + 33,75 = 78,75 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 78,75 \text{ kNm}$.

3.1.2 Stanovení momentu druhého řádu a celkového momentu metodou jmenovité tuhosti

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_c}{A_s} = \frac{300 \cdot 300}{1885} = 0,021,$$

Momentů setrvačnosti:

$$z_1 = \frac{h}{2} - d_{1,1} = \frac{300}{2} - 43 = 107 \text{ mm},$$

$$I_s = A_s \cdot z_1^2 = 1885 \cdot 107^2 = 21\,581\,365 \text{ mm}^4,$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 300^3}{12} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4,$$

Tuhosti:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{33\,000}{1,2} = 27\,500 \text{ MPa},$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa};$$

Stanovení jmenovité tuhosti:

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{30}{20}} = 1,225,$$

$$k_2 = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \cdot \frac{\lambda}{170} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300^2 \cdot 20} \cdot \frac{46,2}{170} = 0,170 < 0,2,$$

$$K_s = 1,$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,225 \cdot 0,17}{1 + 0} = 0,208$$

$$EI = K_c \cdot I_c \cdot E_{cd} + K_s \cdot I_s \cdot E_s = 0,208 \cdot 675 \cdot 10^6 \cdot 27500 + 1200\,000 \cdot 21581365$$

$$EI = 8,18 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Vzpěrné břemeno stanovené na základě jmenovité tuhosti:

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8,18 \cdot 10^{12}}{4000^2} = 5\,043\,840 \text{ N} = 5\,043,84 \text{ kN},$$

Celkový návrhový moment působící na sloup:

$$\beta = \frac{\pi^2}{c} = \frac{\pi^2}{8} = 1,234$$

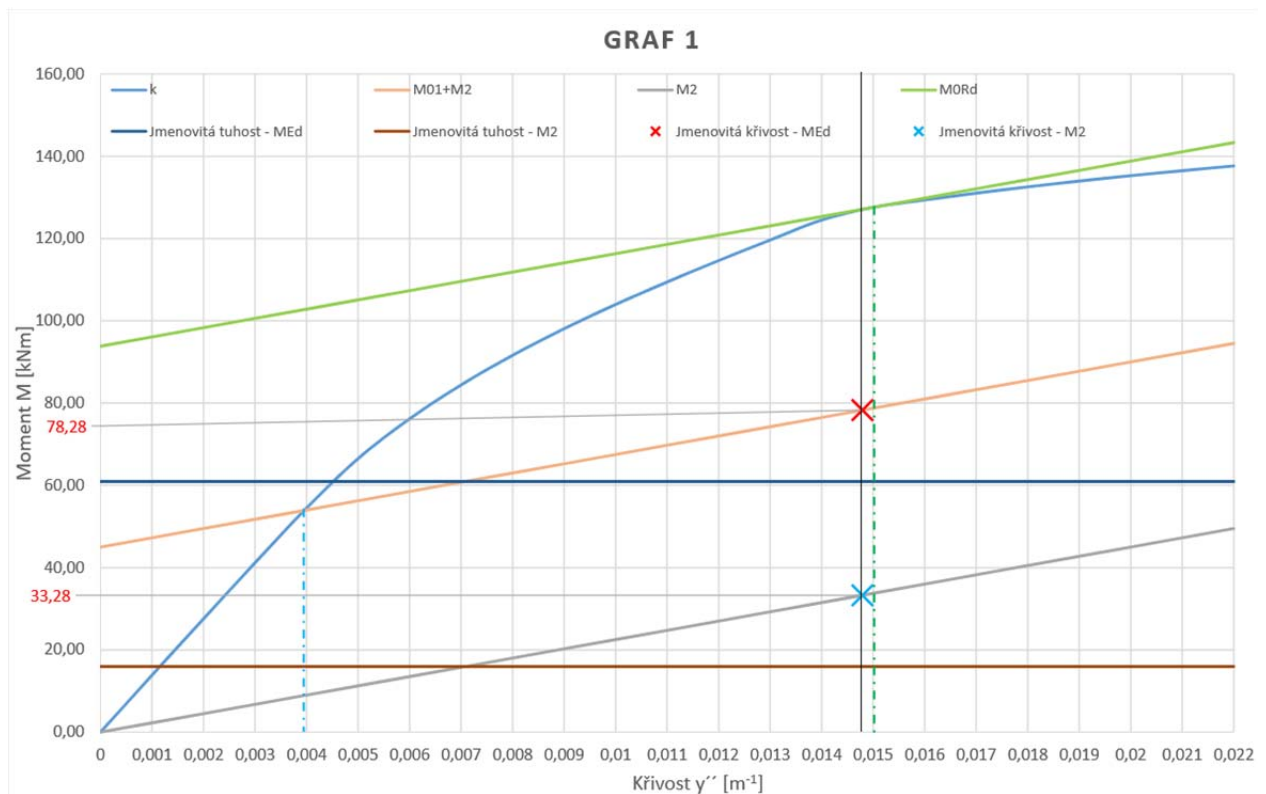
$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right] = 45 \left[1 + \frac{1,234}{\frac{5043,84}{1125} - 1} \right] = 60,94 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 60,94 \text{ kNm}$.

3.1.3 Stanovení momentu druhého řádu pomocí programu vytvořeném v Excelu 2016

	B	C	D	E
2	Zatížení			
3	N_{ed}	1125	návrhová síla	kN
4	e_D	40	výstřednost	mm
5				
6	Beton		(parabolicko-rektangulární pracovní diagram)	
7	f_{ck}	30	charakteristická pevnost betonu	Mpa
8	γ	1,5	materiálový součinitel pro beton	-
9	f_{cd}	20,00	návrhová pevnost betonu	Mpa
10	k	0,6	poměr momentů M_{0D2}/M_{0D1}	
11	$\varphi_{(0,90)}$	0	konečný součinitel dotvarování	
12	φ_{ef}	0	efektivní součinitel dotvarování	
13	n	2		
14	ε_{cu2}	0,002	poměrné přetvoření při zplasttizování	-
15	ε_{cu1}	0,0035	poměrné přetvoření při porušení	-
16	E_{cm}	33000	modul pružnosti betonu	Mpa
17				-
18	Ocel		(bilinéární pracovní diagram bez nakloněné větve)	
19	f_{yk}	500	charakteristická mez kluzu	Mpa
20	γ	1,15	materiálový součinitel pro ocel	-
21	f_{yd}	434,78	návrhová mez kluzu	Mpa
22	E_s	200 000	modul pružnosti	Mpa
23	ε_{su}	0,01	mezni protažení oceli (10 promíle)	-
24	A_s	1885	plocha výztuže celého průřezu	mm ²
25	A_{s2}	942,5	plocha výztuže při 1. povrchu	mm ²
26	A_{s1}	942,5	plocha výztuže při 2. povrchu	mm ²
27	$d_{1,1}$	43	vzdálenost výztuže A_{s1} od okraje průřezu	mm
28	$d_{1,2}$	43	vzdálenost výztuže A_{s2} od okraje průřezu	mm
29				
30	Průřez			
31	h	300	výška průřezu	mm
32	b	300	šířka průřezu	mm
33	l	2000	výška sloupu	mm
34	β	2	součinitel vzpěru	-
35	l_0	4000	účinná výška	mm
36	λ	46,2	štíhlost	-
37	c	8	součinitel vyjadřující průběh momentu	-
38				

Obr. 2.3 Tabulka vstupních hodnot



Obr. 2.4 Vykreslení grafu moment-křivost a jmenovité křivosti

V grafu jsou znázorněny křivky:

M_2 – křivku vykreslující moment druhého řádu závislou na křivosti γ'' ,

$M_{0Ed} + M_2$ – křivka kde k momentu M_2 je přičten moment prvního řádu M_{0Ed} ,

κ – křivka momentu únosnosti,

M_{ORd} – křivka momentu únosnosti, která je tečnou ke křivce κ a zároveň rovnoběžkou s křivkou M_2 . V bodě kde se dotýká křivky κ je spuštěna svislice, která nám znázorňuje maximální moment únosnosti.

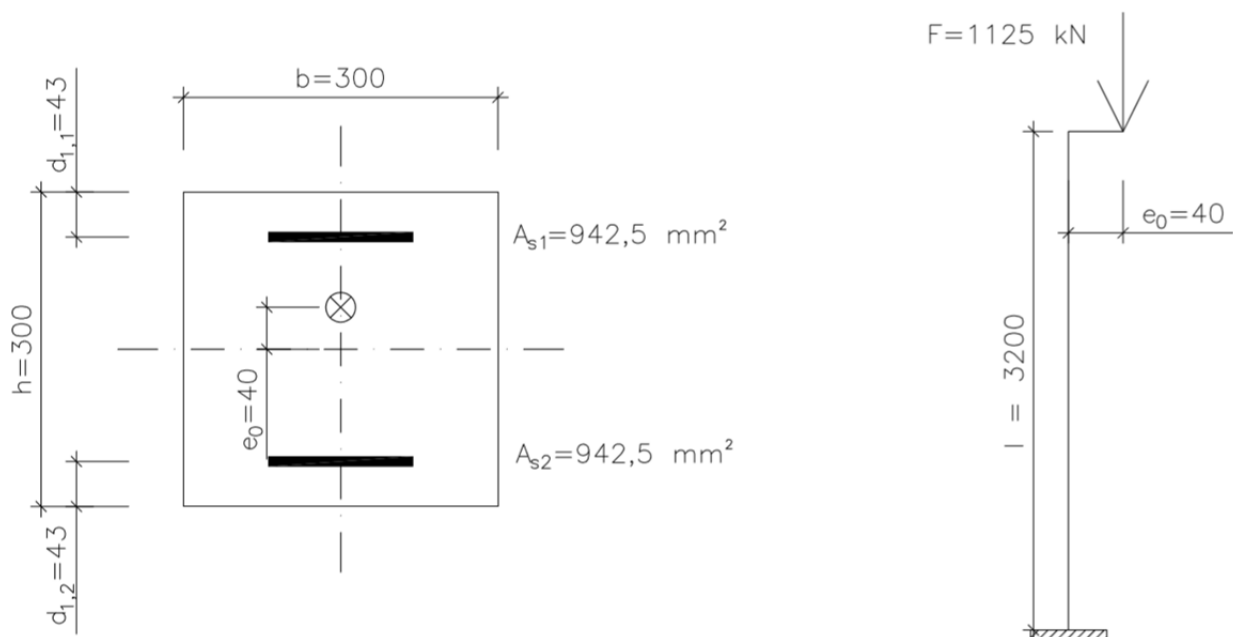
Křížem je znázorněn celkový moment spočtený podle zjednodušené jmenovité křivosti podle normy.

Je vidět že v tomto případě norma počítá s křivostí, která podle metody náhradního štíhlého sloupu vystihuje křivost při maximální únosnosti.

3.2 Sloup 2

U tohoto sloupu se změnila jen délka na 3200 mm. Tato veličina ovlivňuje v našem případě jen moment M_2 . Křivka k je stejná jako u sloupu 1.

Sloup je vetknutý, s účinnou délkou $l_0 = 6400$ mm a průřezem $a \times b = 300 \times 300$ mm. Je použit beton C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa, $f_{cd} = 20$ MPa, $\epsilon_{c2} = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,0035$) a ocelová výztuž B 500B ($f_{yk} = 500$ MPa, $f_{yd} = 434,78$ MPa, $E_s = 200$ GPa). Hlavní výztuž je jen při dvou površích, symetricky rozdělena ($A_s = 1885$ mm², $A_{s,1} = A_{s,2} = 942,5$ mm²), příčnou výztuž tvoří třmínky $\varnothing = 8$ mm. Betonová krycí vrstva má tloušťku $c = 25$ mm. Sloup je zatížen tlakovou silou $F = 1125$ kN s excentricitou (včetně vlivu imperfekcí) $e_0 = 40$ mm ($M_{0Ed} = F \cdot e_0 = 1125 \cdot 0,040 = 45$ kNm). Poměr účinků zatížení (ohybových momentů) od kvazistálé kombinace zatížení a návrhové kombinace zatížení uvažujte $k \approx 0.6$. Z důvodu zanedbání účinků dotvarování se uvažuje hodnota konečného součinitele dotvarování $\varphi_{(\infty,t_0)} = 0$.



Obr. 2.5 Schéma sloupu

3.2.1 Stanovení momentu druhého řádu a celkového ohybového momentu metodou jmenovité křivosti

Štíhlost sloupu:

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{6400 \cdot \sqrt{12}}{300} = 73,9,$$

součinitel K_r (vliv velikosti normálové síly)

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1885 \cdot 434,78}{300 \cdot 300 \cdot 20} = 0,455,$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,455 = 1,455,$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300 \cdot 300 \cdot 20} = 0,625,$$

$$n_{bal} \approx 0,4,$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,455 - 0,625}{1,455 - 0,4} = 0,787 \leq 1,$$

součinitel K_φ (vliv dotvarování):

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot k = 0 \cdot 0,6 = 0,$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{73,9}{150} = 0,007;$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,007 \cdot 0 = 1,$$

Odhad křivosti:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{434,78}{200\,000}}{0,45 \cdot (300 - 43)} = 1,88 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-1} = 1,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1},$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} = 0,787 \cdot 1 \cdot 1,88 \cdot 10^{-2} = 0,0148 \text{ m}^{-1},$$

výstřednost druhého řádu, moment druhého řádu:

$$e_2 = \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{c} = 0,0148 \cdot \frac{6,4^2}{8} = 0,076 \text{ m},$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1125 \cdot 0,076 = 85,5 \text{ kNm},$$

Celkový ohybový moment působící na sloup:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 45 + 85,5 = 130,5 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 130,5 \text{ kNm}$.

3.2.2 Stanovení momentu druhého řádu a celkového momentu metodou jmenovité tuhosti

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_c}{A_s} = \frac{300 \cdot 300}{1885} = 0,021,$$

Momentů setrvačnosti:

$$z_1 = \frac{h}{2} - d_{1,1} = \frac{300}{2} - 43 = 107 \text{ mm},$$

$$I_s = A_s \cdot z_1^2 = 1885 \cdot 107^2 = 21\,581\,365 \text{ mm}^4,$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 300^3}{12} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4,$$

Tuhosti:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{33\,000}{1,2} = 27\,500 \text{ MPa},$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa};$$

Stanovení jmenovité tuhosti:

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{30}{20}} = 1,225,$$

$$k_2 = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \cdot \frac{\lambda}{170} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300^2 \cdot 20} \cdot \frac{73,9}{170} = 0,272 < \mathbf{0,2},$$

$$K_s = 1,$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,225 \cdot 0,2}{1 + 0} = 0,245$$

$$EI = K_c \cdot I_c \cdot E_{cd} + K_s \cdot I_s \cdot E_s = 0,245 \cdot 675 \cdot 10^6 \cdot 27500 + 1.200\,000 \cdot 21581365$$

$$EI = 8,86 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Vzpěrné břemeno stanovené na základě jmenovité tuhosti:

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8,86 \cdot 10^{12}}{6400^2} = 2\,135\,640 \text{ N} = 2\,135,64 \text{ kN},$$

Celkový návrhový moment působící na sloup:

$$\beta = \frac{\pi^2}{c} = \frac{\pi^2}{8} = 1,234$$

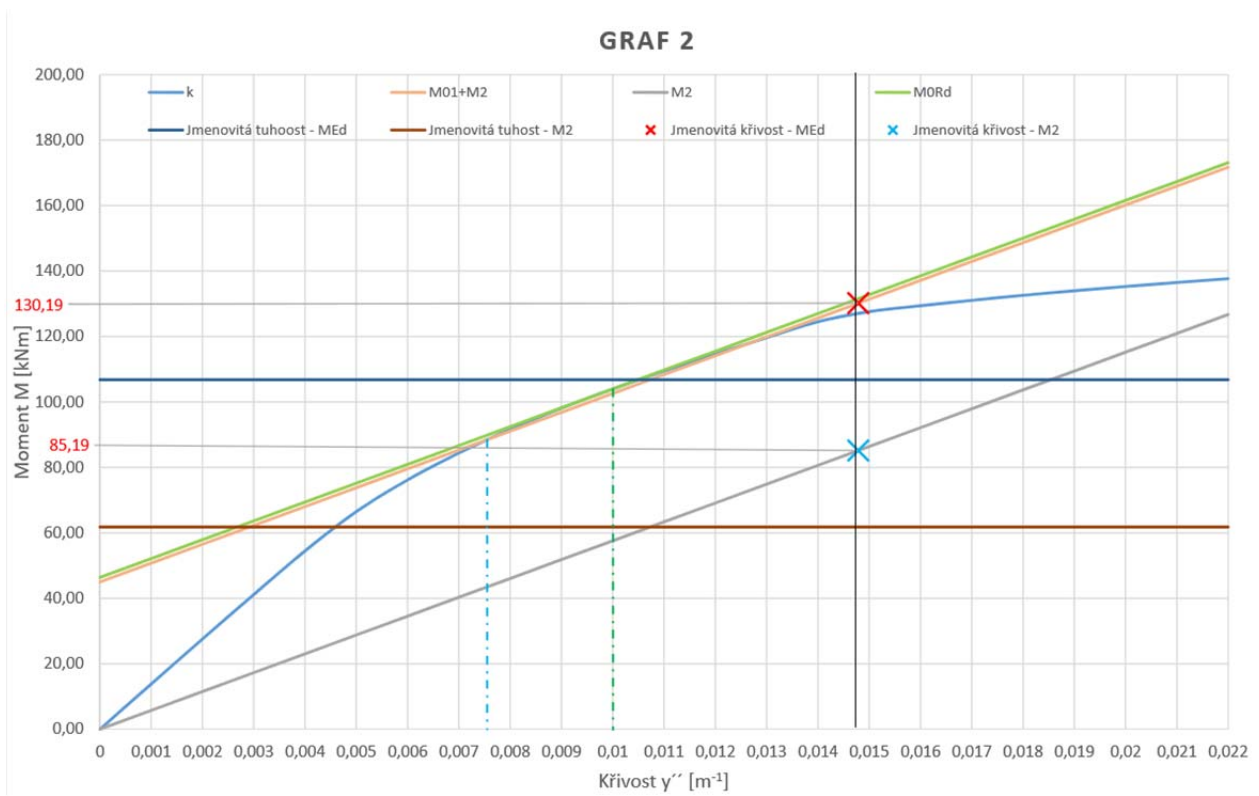
$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right] = 45 \left[1 + \frac{1,234}{\frac{2135,64}{1125} - 1} \right] = 106,8 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 106,80 \text{ kNm}$.

3.2.3 Stanovení momentu druhého řádu pomocí programu vytvořeném v Excelu 2016

	B	C	D	E
2	Zatížení			
3	N_{ed}	1125	návrhová síla	kN
4	e_D	40	výstřednost	mm
5				
6	Beton		(parabolicko-rektangulární pracovní diagram)	
7	f_{ck}	30	charakteristická pevnost betonu	Mpa
8	γ	1,5	materiálový součinitel pro beton	-
9	f_{cd}	20,00	návrhová pevnost betonu	Mpa
10	k	0,6	poměr momentů $M_{DEd}/M_{OE,d}$	
11	$\varphi_{(0,10)}$	0	konečný součinitel dotvarování	
12	φ_{ef}	0	efektivní součinitel dotvarování	
13	n	2		
14	ε_{c2}	0,002	poměrné přetvoření při zplsttizování	-
15	ε_{cu2}	0,0035	poměrné přetvoření při porušení	-
16	E_{cm}	33000	modul pružnosti betonu	Mpa
17				-
18	Ocel		(bilineární pracovní diagram bez nakloněné větve)	
19	f_{yk}	500	charakteristická mez kluzu	Mpa
20	γ	1,15	materiálový součinitel pro ocel	-
21	f_{yd}	434,78	návrhová mez kluzu	Mpa
22	E_s	200 000	modul pružnosti	Mpa
23	ε_{su}	0,01	mezí protažení oceli (10 promile)	-
24	A_s	1885	plocha výztuže celého průřezu	mm ²
25	A_{s2}	942,5	plocha výztuže při 1. povrchu	mm ²
26	A_{s1}	942,5	plocha výztuže při 2. povrchu	mm ²
27	$d_{1,1}$	43	vzdálenost výztuže A_{s1} od okraje průřezu	mm
28	$d_{1,2}$	43	vzdálenost výztuže A_{s2} od okraje průřezu	mm
29				
30	Průřez			
31	h	300	výška průřezu	mm
32	b	300	šířka průřezu	mm
33	l	3200	výška sloupu	mm
34	β	2	součinitel vzpěru	-
35	l_o	6400	účinná výška	mm
36	λ	73,9	štíhlost	-
37	c	8	součinitel vyjadřující průběh momentu	-
38				

Obr. 2.6 Tabulka vstupních hodnot



Obr. 2.7 Vykreslení grafu moment-křivost a jmenovité křivosti

V grafu jsou znázorněny křivky:

M_2 – křivku vykreslující moment druhého řádu závislou na křivosti γ'' ,

$M_{0Ed} + M_2$ – křivka kde k momentu M_2 je přičten moment prvního řádu M_{0Ed} ,

κ – křivka momentu únosnosti,

M_{0Rd} – křivka momentu únosnosti, která je tečnou ke křivce κ a zároveň rovnoběžkou s křivkou M_2 . V bodě kde se dotýká křivky κ je spuštěna svislice, která nám znázorňuje maximální moment únosnosti.

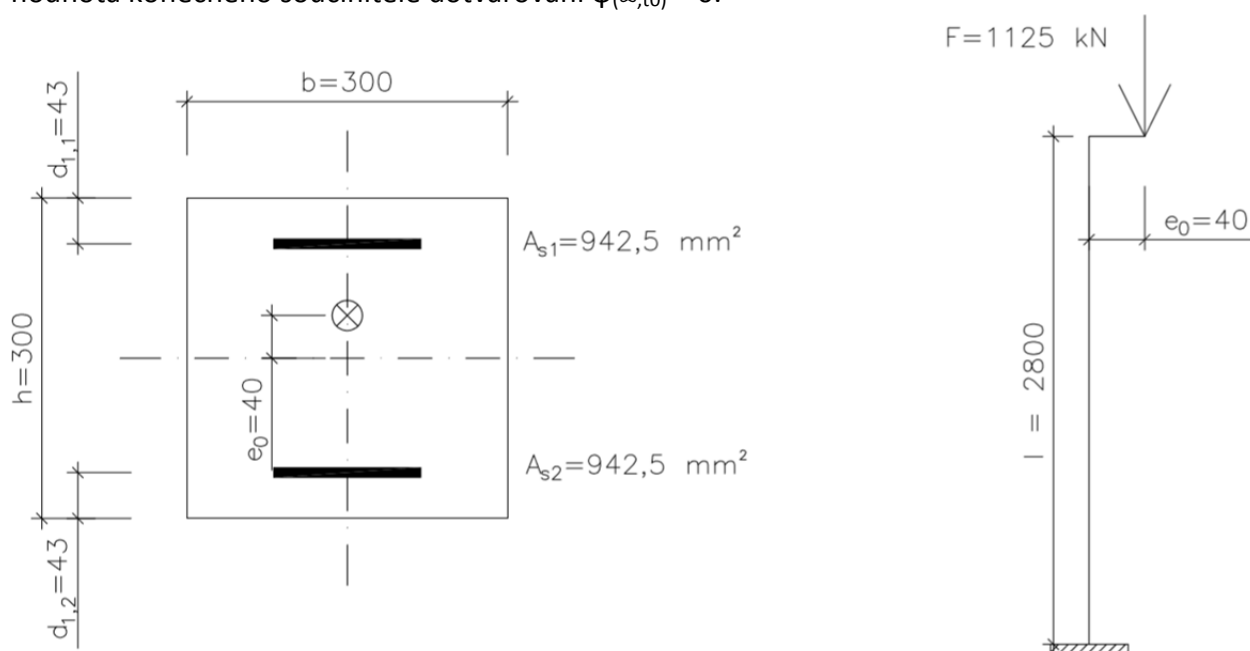
Křížem je znázorněn celkový moment spočtený podle zjednodušené jmenovité křivosti podle normy.

Je vidět že když se křivka $M_{0Ed} + M_2$ blíží k M_{0Rd} tak se hodnota křivosti z normy hodně vzdaluje od křivosti, pro níž je momentu únosnosti, podle metody náhradního štíhlého sloupu. Z toho vyplývá že v těchto případech je norma hodně na straně bezpečné, ale neekonomické.

3.3 Sloup 3

U tohoto sloupu se změnila jen délka na 2800 mm. Tato veličina ovlivňuje v našem případě jen moment M_2 . Křivka k je stejná jako u sloup 1.

Sloup je vetknutý, s účinnou délkou $l_0 = 5600$ mm a průřezem $a \times b = 300 \times 300$ mm. Je použit beton C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa, $f_{cd} = 20$ MPa, $\epsilon_{c2} = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,0035$) a ocelová výztuž B 500B ($f_{yk} = 500$ MPa, $f_{yd} = 434,78$ MPa, $E_s = 200$ GPa). Hlavní výztuž je jen při dvou površích, symetricky rozdělena ($A_s = 1885$ mm², $A_{s,1} = A_{s,2} = 942,5$ mm²), příčnou výztuž tvoří třmínky $\varnothing = 8$ mm. Betonová krycí vrstva má tloušťku $c = 25$ mm. Sloup je zatížen tlakovou silou $F = 1125$ kN s excentricitou (včetně vlivu imperfekcí) $e_0 = 40$ mm ($M_{0Ed} = F \cdot e_0 = 1125 \cdot 0,040 = 45$ kNm). Poměr účinků zatížení (ohybových momentů) od kvazistálé kombinace zatížení a návrhové kombinace zatížení uvažujte $k \approx 0.6$. Z důvodu zanedbání účinků dotvarování se uvažuje hodnota konečného součinitele dotvarování $\varphi_{(\infty,t0)} = 0$.



Obr. 2.8 Schéma sloupu

3.3.1 Stanovení momentu druhého řádu a celkového ohybového momentu metodou jmenovité křivosti

Štíhlost sloupu:

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{5600 \cdot \sqrt{12}}{300} = 64,7,$$

součinitel K_r (vliv velikosti normálové síly)

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1885 \cdot 434,78}{300 \cdot 300 \cdot 20} = 0,455,$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,455 = 1,455,$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300 \cdot 300 \cdot 20} = 0,625,$$

$$n_{bal} \approx 0,4,$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,455 - 0,625}{1,455 - 0,4} = 0,787 \leq 1,$$

součinitel K_φ (vliv dotvarování):

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot k = 0 \cdot 0,6 = 0,$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{64,7}{150} = 0,069;$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,069 \cdot 0 = 1,$$

Odhad křivosti:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{434,78}{200\,000}}{0,45 \cdot (300 - 43)} = 1,88 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-1} = 1,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1},$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} = 0,787 \cdot 1 \cdot 1,88 \cdot 10^{-2} = 0,0148 \text{ m}^{-1},$$

výstřednost druhého řádu, moment druhého řádu:

$$e_2 = \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{c} = 0,0148 \cdot \frac{5,6^2}{9} = 0,052 \text{ m},$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1125 \cdot 0,052 = 58,5 \text{ kNm},$$

Celkový ohybový moment působící na sloup:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 45 + 58,5 = 103,5 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 103,5 \text{ kNm}$.

3.3.2 Stanovení momentu druhého řádu a celkového momentu metodou jmenovité tuhosti

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_c}{A_s} = \frac{300 \cdot 300}{1885} = 0,021,$$

Momentů setrvačnosti:

$$z_1 = \frac{h}{2} - d_{1,1} = \frac{300}{2} - 43 = 107 \text{ mm},$$

$$I_s = A_s \cdot z_1^2 = 1885 \cdot 107^2 = 21\,581\,365 \text{ mm}^4,$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 300^3}{12} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4,$$

Tuhosti:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{33\,000}{1,2} = 27\,500 \text{ MPa},$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa};$$

Stanovení jmenovité tuhosti:

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{30}{20}} = 1,225,$$

$$k_2 = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \cdot \frac{\lambda}{170} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300^2 \cdot 20} \cdot \frac{64,7}{170} = 0,238 < 0,2,$$

$$K_s = 1,$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,225 \cdot 0,2}{1 + 0} = 0,245$$

$$EI = K_c \cdot I_c \cdot E_{cd} + K_s \cdot I_s \cdot E_s = 0,245 \cdot 675 \cdot 10^6 \cdot 27500 + 1 \cdot 200 \cdot 000 \cdot 21 \cdot 581 \cdot 365$$

$$EI = 8,86 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Vzpěrné břemeno stanovené na základě jmenovité tuhosti:

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8,86 \cdot 10^{12}}{5600^2} = 2 \, 789 \, 400 \text{ N} = 2 \, 789,40 \text{ kN},$$

Celkový návrhový moment působící na sloup:

$$\beta = \frac{\pi^2}{c} = \frac{\pi^2}{8} = 1,234$$

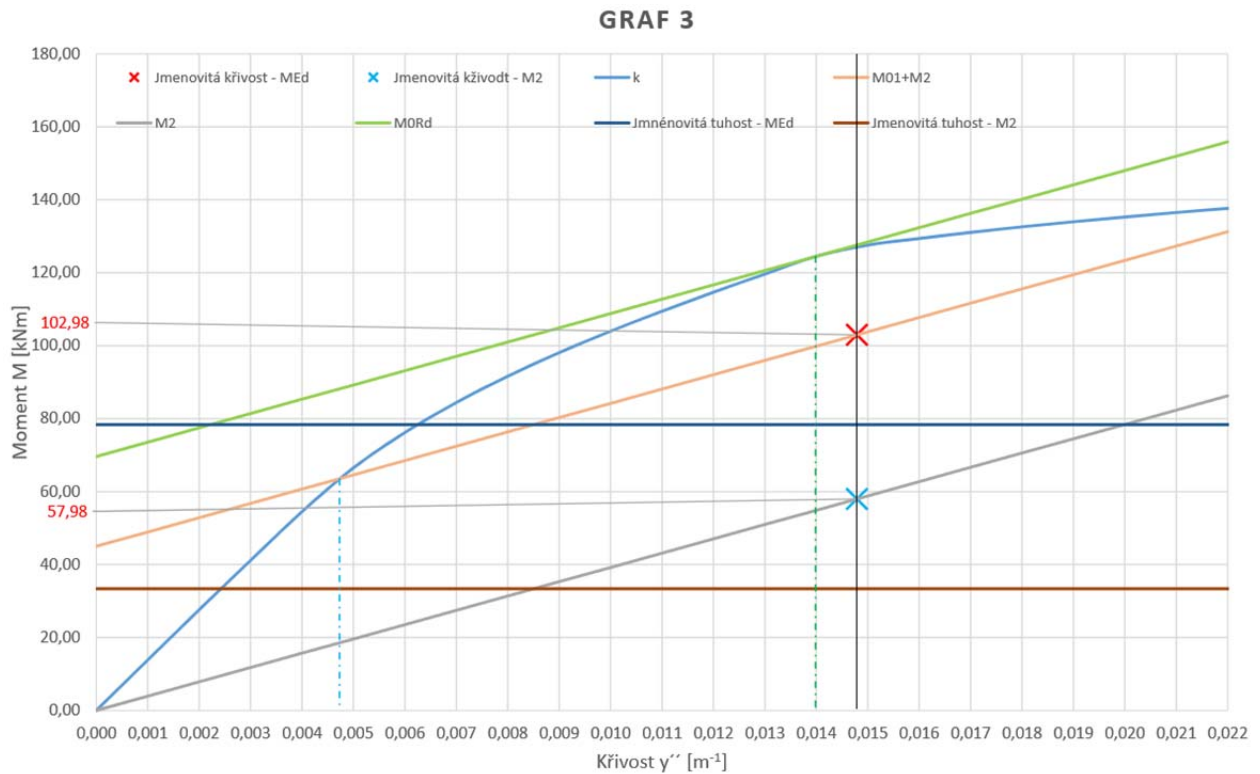
$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right] = 45 \left[1 + \frac{1,234}{\frac{2789,40}{1125} - 1} \right] = 82,52 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 82,52 \text{ kNm}$.

3.3.3 Stanovení momentu druhého řádu pomocí programu vytvořeném v Excelu 2016

	B	C	D	E
2	Zatížení			
3	N_{ed}	1125	návrhová síla	kN
4	e_0	40	výstřednost	mm
5				
6	Beton		(parabolicko-rektangulární pracovní diagram)	
7	f_{ck}	30	charakteristická pevnost betonu	Mpa
8	γ	1,5	materiálový součinitel pro beton	-
9	f_{cd}	20,00	návrhová pevnost betonu	Mpa
10	k	0,6	poměr momentů M_{0EGP}/M_{0Ed}	
11	$\varphi_{(0,10)}$	0	konečný součinitel dotvarování	
12	φ_{ef}	0	efektivní součinitel dotvarování	
13	n	2		
14	ε_{c2}	0,002	poměrné přetvoření při zplasttizování	-
15	ε_{cu2}	0,0035	poměrné přetvoření při porušení	-
16	E_{cm}	33000	modul pružnosti betonu	Mpa
17				-
18	Ocel		(bilineární pracovní diagram bez nakloněné větve)	
19	f_{yk}	500	charakteristická mez kluzu	Mpa
20	γ	1,15	materiálový součinitel pro ocel	-
21	f_{yd}	434,78	návrhová mez kluzu	Mpa
22	E_s	200 000	modul pružnosti	Mpa
23	ε_{su}	0,01	mezní protažení oceli (10 promile)	-
24	A_s	1885	plocha výztuže celého průřezu	mm ²
25	A_{s2}	942,5	plocha výztuže při 1. povrchu	mm ²
26	A_{s1}	942,5	plocha výztuže při 2. povrchu	mm ²
27	$d_{1,1}$	43	vzdálenost výztuže A_{s1} od okraje průřezu	mm
28	$d_{1,2}$	43	vzdálenost výztuže A_{s2} od okraje průřezu	mm
29				
30	Průřez			
31	h	300	výška průřezu	mm
32	b	300	šířka průřezu	mm
33	l	2800	výška sloupu	mm
34	β	2	součinitel vzpěru	-
35	l_0	5600	účinná výška	mm
36	λ	64,7	štíhlost	-
37	c	9	součinitel vyjadřující průběh momentu	-
38				

Obr. 2.9 Tabulka vstupních hodnot



Obr. 2.10 Vykreslení grafu moment-křivost a jmenovité křivosti

V grafu jsou znázorněny křivky:

M_2 – křivku vykreslující moment druhého řádu závislou na křivosti y'' ,

$M_{0Ed} + M_2$ (M_{Ed}) – křivka kde k momentu M_2 je přičten moment prvního řádu M_{0Ed} ,

κ – křivka momentu únosnosti,

M_{0Rd} – křivka momentu únosnosti, která je tečnou ke křivce κ a zároveň rovnoběžkou s křivkou M_2 . V bodě kde se dotýká křivky κ je spuštěna svislice, která nám znázorňuje maximální moment únosnosti.

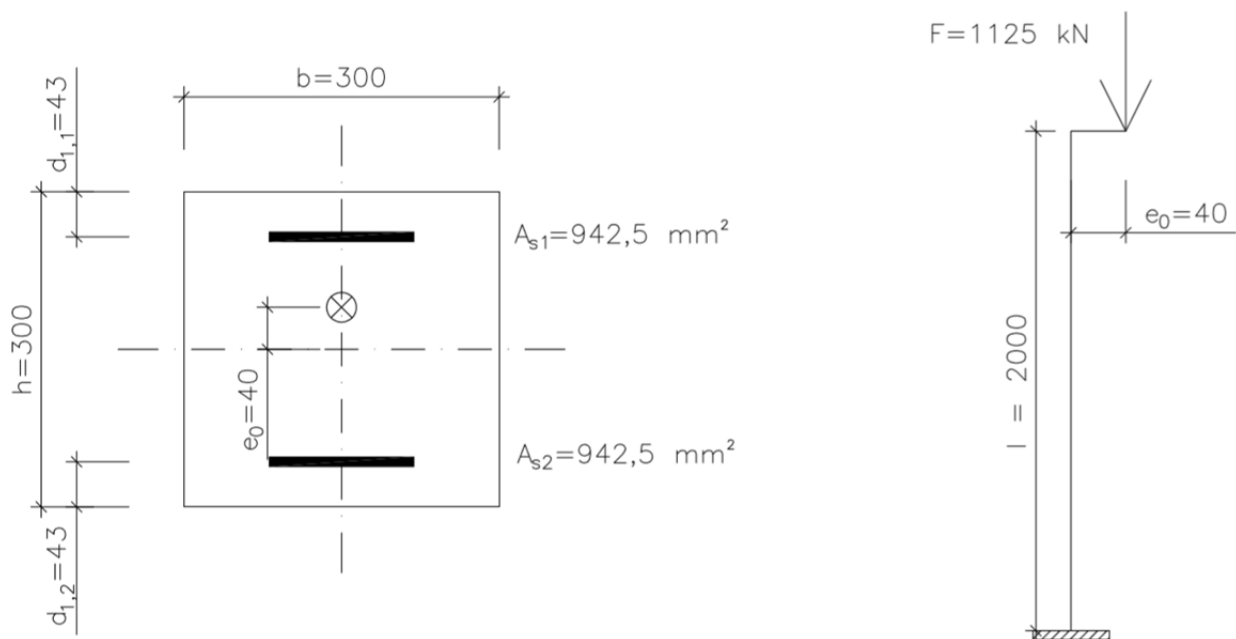
Křížem je znázorněn celkový moment spočtený podle zjednodušené jmenovité křivosti podle normy.

Je vidět že když se křivka $M_{0Ed} + M_2$ blíží k M_{0Rd} tak se hodnota křivosti z normy vzdaluje od křivosti, pro níž je momentu únosnosti, podle metody náhradního štíhlého sloupu. A proto můžeme říct, že norma je na straně bezpečné.

3.4 Sloup 4

U tohoto sloupu se změnila jen pevnost betonu na C45/55. Tato veličina ovlivňuje křivku k. Křivka M_2 je stejná jako u sloupu 1.

Sloup je vetknutý, s účinnou délkou $l_0 = 4000$ mm a průřezem $a \times b = 300 \times 300$ mm. Je použit beton C45/55 ($f_{ck} = 45$ MPa, $f_{cd} = 30$ MPa, $\epsilon_{c2} = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,0035$) a ocelová výztuž B 500B ($f_{yk} = 500$ MPa, $f_{yd} = 434,78$ MPa, $E_s = 200$ GPa). Hlavní výztuž je jen při dvou površích, symetricky rozdělena ($A_s = 1885$ mm², $A_{s,1} = A_{s,2} = 942,5$ mm²), příčnou výztuž tvoří třmínky $\varnothing = 8$ mm. Betonová krycí vrstva má tloušťku $c = 25$ mm. Sloup je zatížen tlakovou silou $F = 1125$ kN s excentricitou (včetně vlivu imperfekcí) $e_0 = 40$ mm ($M_{0Ed} = F \cdot e_0 = 1125 \cdot 0,040 = 45$ kNm). Poměr účinků zatížení (ohybových momentů) od kvazistálé kombinace zatížení a návrhové kombinace zatížení uvažujte $k \approx 0.6$. Z důvodu zanedbání účinků dotvarování se uvažuje hodnota konečného součinitele dotvarování $\varphi_{(\infty,t_0)} = 0$.



Obr. 2.11 Schéma sloupu

3.4.1 Stanovení momentu druhého řádu a celkového ohybového momentu metodou jmenovité křivosti

Štíhlost sloupu:

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{4000 \cdot \sqrt{12}}{300} = 46,2,$$

součinitel K_r (vliv velikosti normálové síly)

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1885 \cdot 434,78}{300 \cdot 300 \cdot 30} = 0,304,$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,304 = 1,304,$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300 \cdot 300 \cdot 30} = 0,417,$$

$$n_{bal} \approx 0,4,$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,304 - 0,417}{1,304 - 0,4} = 0,982 \leq 1,$$

součinitel K_φ (vliv dotvarování):

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot k = 0 \cdot 0,6 = 0,$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{45}{200} - \frac{46,2}{150} = 0,267;$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,267 \cdot 0 = 1,$$

Odhad křivosti:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{434,78}{200\,000}}{0,45 \cdot (300 - 43)} = 1,88 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-1} = 1,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1},$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} = 0,982 \cdot 1 \cdot 1,88 \cdot 10^{-2} = 0,0185 \text{ m}^{-1},$$

výstřednost druhého řádu, moment druhého řádu:

$$e_2 = \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{c} = 0,0185 \frac{4^2}{8} = 0,037 \text{ m},$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1125 \cdot 0,037 = 41,6 \text{ kNm},$$

Celkový ohybový moment působící na sloup:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 45 + 41,6 = 86,6 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 86,6 \text{ kNm}$.

3.4.2 Stanovení momentu druhého řádu a celkového momentu metodou jmenovité tuhosti

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_c}{A_s} = \frac{300 \cdot 300}{1885} = 0,021,$$

Momentů setrvačnosti:

$$z_1 = \frac{h}{2} - d_{1,1} = \frac{300}{2} - 43 = 107 \text{ mm},$$

$$I_s = A_s \cdot z_1^2 = 1885 \cdot 107^2 = 21\,581\,365 \text{ mm}^4,$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 300^3}{12} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4,$$

Tuhosti:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{36\,000}{1,2} = 30\,000 \text{ MPa},$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa};$$

Stanovení jmenovité tuhosti:

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{45}{20}} = 1,5,$$
$$k_2 = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \cdot \frac{\lambda}{170} = \frac{1125 \cdot 10^3}{300^2 \cdot 30} \cdot \frac{46,2}{170} = \mathbf{0,113} < 0,2,$$

$$K_s = 1,$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,5 \cdot 0,113}{1 + 0} = 0,170$$

$$EI = K_c \cdot I_c \cdot E_{cd} + K_s \cdot I_s \cdot E_s = 0,17 \cdot 675 \cdot 10^6 \cdot 30000 + 1200000 \cdot 21581365$$

$$EI = 7,55 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Vzpěrné břemeno stanovené na základě jmenovité tuhosti:

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7,55 \cdot 10^{12}}{4000^2} = 4\,783\,610 \text{ N} = 4\,783,61 \text{ kN},$$

Celkový návrhový moment působící na sloup:

$$\beta = \frac{\pi^2}{c} = \frac{\pi^2}{8} = 1,234$$

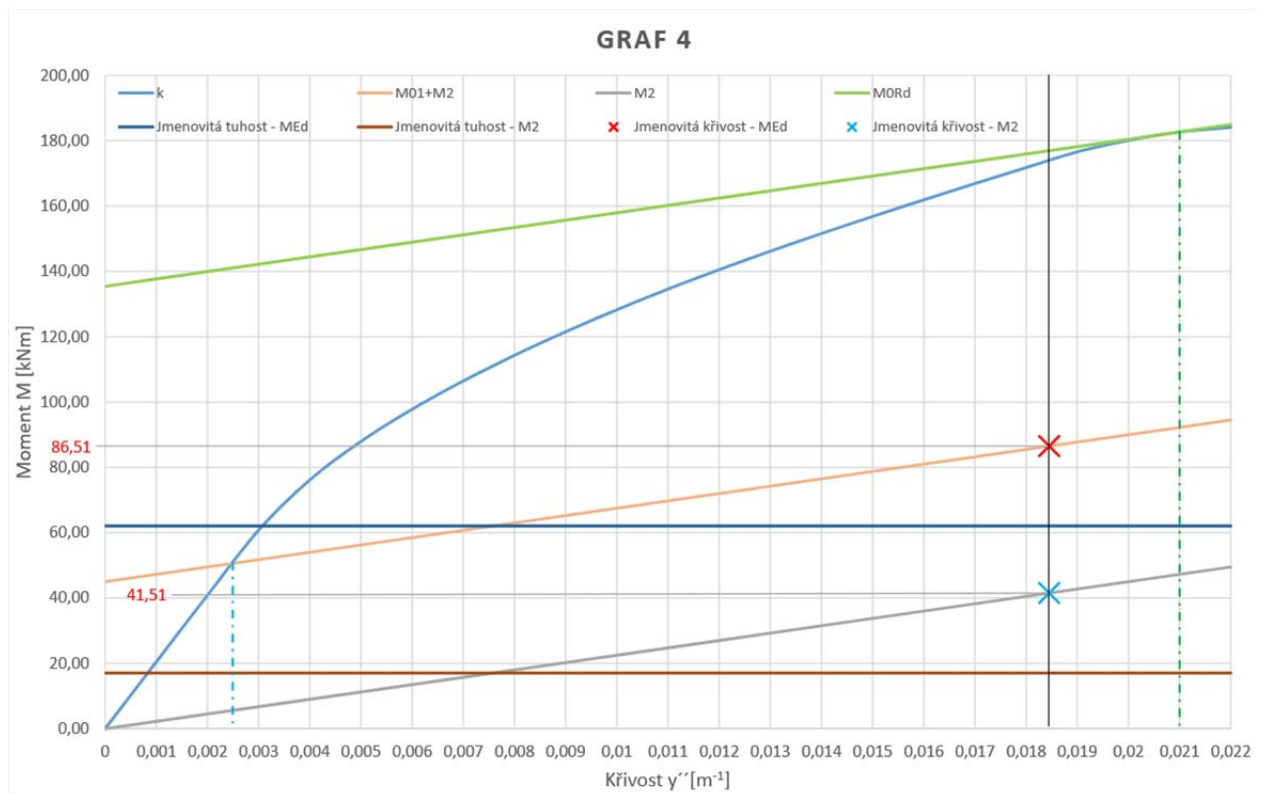
$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right] = 45 \left[1 + \frac{1,234}{\frac{4783,61}{1125} - 1} \right] = 62,07 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 62,07 \text{ kNm}$.

3.4.3 Stanovení momentu druhého řádu pomocí programu vytvořeném v Excelu 2016

	B	C	D	E
2	Zatížení			
3	N_{ed}	1125	návrhová síla	kN
4	e_0	40	výstřednost	mm
5				
6	Beton		(parabolicko-rektangulární pracovní diagram)	
7	f_{ck}	45	charakteristická pevnost betonu	Mpa
8	γ	1,5	materiálový součinitel pro beton	-
9	f_{cd}	30,00	návrhová pevnost betonu	Mpa
10	k	0,6	poměr momentů M_{DEqp}/M_{DEd}	
11	$\varphi_{(0,t0)}$	0	konečný součinitel dotvarování	
12	φ_{ef}	0	efektivní součinitel dotvarování	
13	n	2		
14	ε_{c2}	0,002	poměrné přetvoření při zplsttizování	-
15	ε_{cu2}	0,0035	poměrné přetvoření při porušení	-
16	E_{cm}	36000	modul pružnosti betonu	Mpa
17				-
18	Ocel		(bilineární pracovní diagram bez nakloněné větve)	
19	f_{yk}	500	charakteristická mez kluzu	Mpa
20	γ	1,15	materiálový součinitel pro ocel	-
21	f_{yd}	434,78	návrhová mez kluzu	Mpa
22	E_s	200 000	modul pružnosti	Mpa
23	ε_{su}	0,01	mezní protažení oceli (10 promile)	-
24	A_s	1885	plocha výztuže celého průřezu	mm ²
25	A_{s2}	942,5	plocha výztuže při 1. povrchu	mm ²
26	A_{s1}	942,5	plocha výztuže při 2. povrchu	mm ²
27	$d_{1,1}$	43	vzdálenost výztuže A_{s1} od okraje průřezu	mm
28	$d_{1,2}$	43	vzdálenost výztuže A_{s2} od okraje průřezu	mm
29				
30	Průřez			
31	h	300	výška průřezu	mm
32	b	300	šířka průřezu	mm
33	l	2000	výška sloupu	mm
34	β	2	součinitel vzpěru	-
35	l_0	4000	účinná výška	mm
36	λ	46,2	štíhlost	-
37	c	8	součinitel vyjadřující průběh momentu	-
38				

Obr. 2.12 Tabulka vstupních hodnot



Obr. 2.13 Vykreslení grafu moment-křivost a jmenovité křivosti

V grafu jsou znázorněny křivky:

M_2 – křivku vykreslující moment druhého řádu závislou na křivosti y'' ,

$M_{0Ed} + M_2$ – křivka kde k momentu M_2 je přičten moment prvního řádu M_{0Ed} ,

κ – křivka momentu únosnosti,

M_{0Rd} – křivka momentu únosnosti, která je tečnou ke křivce κ a zároveň rovnoběžkou s křivkou M_2 . V bodě kde se dotýká křivky κ je spuštěna svislice, která nám znázorňuje maximální moment únosnosti.

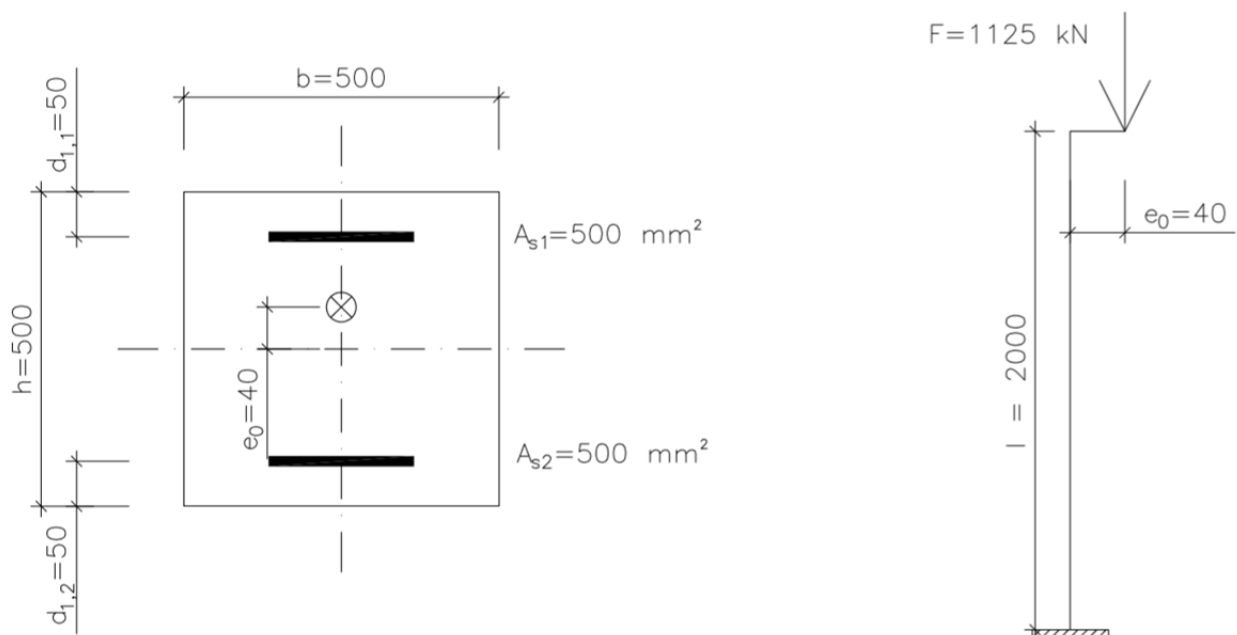
Křížem je znázorněn celkový moment spočtený podle zjednodušené jmenovité křivosti podle normy.

V tomto případě je hodnota křivosti podle normy před křivostí pro maximální moment únosnosti, ale i tak je pořád o hodně větší než kritická křivost (křivost při které se protínají křivky κ a $M_{0Ed} + M_2$)

3.5 Sloup 5

U tohoto sloupu se změnilo rozměry průřezu na 500 x 500 mm, plocha výztuže $A_s = 1000 \text{ mm}^2$, vzdálenost výztuže $d_{1,1} = d_{1,2} = 50 \text{ mm}$, pevnost betonu na C20/25 a mez kluzu výztuže $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$. Tyto veličiny ovlivňují v našem případě křivku **k**. Křivka M_2 je stejná jako u sloupu 1.

Sloup je vetknutý, s účinnou délkou $l_0 = 4000 \text{ mm}$ a průřezem $a \times b = 300 \times 300 \text{ mm}$. Je použit beton C20/25 ($f_{ck} = 20 \text{ MPa}$, $f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$, $\epsilon_{c2} = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,0035$) a ocelová výztuž B 400B ($f_{yk} = 400 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 347,83 \text{ MPa}$, $E_s = 200 \text{ GPa}$). Hlavní výztuž je jen při dvou površích, symetricky rozdělena ($A_s = 1000 \text{ mm}^2$, $A_{s,1} = A_{s,2} = 500 \text{ mm}^2$), příčnou výztuž tvoří třmínky $\varnothing = 8 \text{ mm}$. Betonová krycí vrstva má tloušťku $c = 25 \text{ mm}$. Sloup je zatížen tlakovou silou $F = 1125 \text{ kN}$ s excentricitou (včetně vlivu imperfekcí) $e_0 = 40 \text{ mm}$ ($M_{0Ed} = F \cdot e_0 = 1125 \cdot 0,040 = 45 \text{ kNm}$). Poměr účinků zatížení (ohybových momentů) od kvazistálé kombinace zatížení a návrhové kombinace zatížení uvažujte $k \approx 0,6$. Z důvodu zanedbání účinků dotvarování se uvažuje hodnota konečného součinitele dotvarování $\varphi_{(\infty, t_0)} = 0$.



Obr. 2.14 Schéma sloupu

3.5.1 Stanovení momentu druhého řádu a celkového ohybového momentu metodou jmenovité křivosti

Štíhlost sloupu:

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{4000 \cdot \sqrt{12}}{500} = 27,7,$$

součinitel K_r (vliv velikosti normálové síly)

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1000 \cdot 347,82}{500 \cdot 500 \cdot 13,33} = 0,104,$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,104 = 1,104,$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1125 \cdot 10^3}{500 \cdot 500 \cdot 13,33} = 0,338,$$

$$n_{bal} \approx 0,4,$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,104 - 0,338}{1,104 - 0,4} = 1,088 \leq 1,$$

součinitel K_φ (vliv dotvarování):

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot k = 0 \cdot 0,6 = 0,$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{20}{200} - \frac{27,7}{150} = 0,265;$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,265 \cdot 0 = 1 \geq 1,$$

Odhad křivosti:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 \cdot d} = \frac{\frac{347,82}{200\,000}}{0,45 \cdot (500 - 50)} = 8,59 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-1} = 8,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1},$$

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} = 1 \cdot 1 \cdot 8,59 \cdot 10^{-3} = 0,0086 \text{ m}^{-1},$$

výstřednost druhého řádu, moment druhého řádu:

$$e_2 = \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{c} = 0,0086 \frac{4^2}{8} = 0,017 \text{ m},$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1125 \cdot 0,017 = 19,1 \text{ kNm},$$

Celkový ohybový moment působící na sloup:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 45 + 19,1 = 64,1 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 64,1 \text{ kNm}$.

3.5.2 Stanovení momentu druhého řádu a celkového momentu metodou jmenovité tuhosti

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_c}{A_s} = \frac{500 \cdot 500}{1000} = 0,004,$$

Momentů setrvačnosti:

$$z_1 = \frac{h}{2} - d_{1,1} = \frac{500}{2} - 50 = 200 \text{ mm},$$

$$I_s = A_s \cdot z_1^2 = 1000 \cdot 200^2 = 40\,000\,000 \text{ mm}^4,$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{500 \cdot 500^3}{12} = 5\,208,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4,$$

Tuhosti:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{30\,000}{1,2} = 25\,000 \text{ MPa},$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa};$$

Stanovení jmenovité tuhosti:

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{20}{20}} = 1,0,$$

$$k_2 = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \cdot \frac{\lambda}{170} = \frac{1125 \cdot 10^3}{500^2 \cdot 13,33} \cdot \frac{27,7}{170} = 0,055 < 0,2,$$

$$K_s = 1,$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,0 \cdot 0,055}{1 + 0} = 0,055$$

$$EI = K_c \cdot I_c \cdot E_{cd} + K_s \cdot I_s \cdot E_s = 0,055 \cdot 5\,208,33 \cdot 10^6 \cdot 25\,000 + 1\,200\,000 \cdot 40 \cdot 10^6$$

$$EI = 1,52 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Vzpěrné břemeno stanovené na základě jmenovité tuhosti:

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7,55 \cdot 10^{12}}{4000^2} = 9\,353\,800 \text{ N} = 9\,353,80 \text{ kN},$$

Celkový návrhový moment působící na sloup:

$$\beta = \frac{\pi^2}{c} = \frac{\pi^2}{8} = 1,234$$

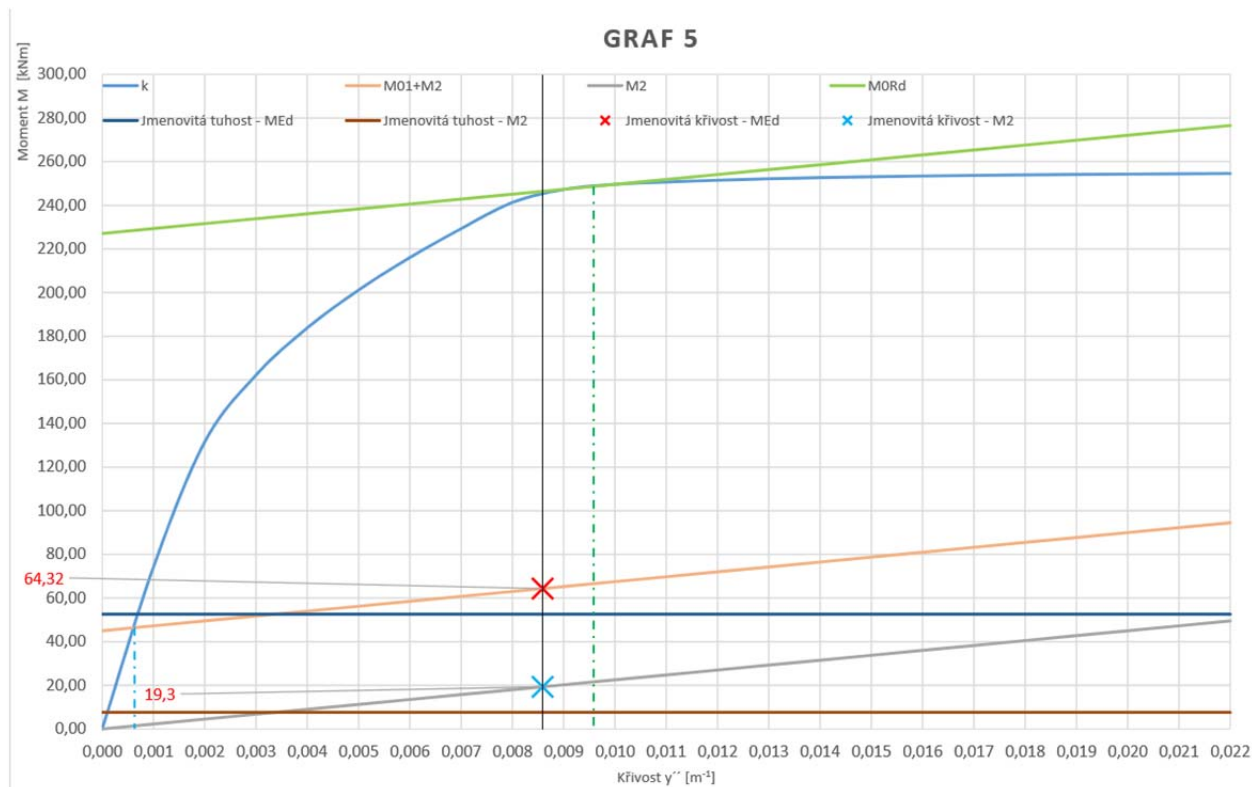
$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right] = 45 \left[1 + \frac{1,234}{\frac{9353,8}{1125} - 1} \right] = 52,59 \text{ kNm}.$$

Posouzení únosnosti se provede klasicky jako u masivních sloupů. Sestaví se interakční diagram na tlakovou sílu $N_{Ed} = 1125 \text{ kN}$ a ohybového momentu $M_{Ed} = 52,59 \text{ kNm}$.

3.5.3 Stanovení momentu druhého řádu pomocí programu vytvořeném v Excelu 2016

	B	C	D	E
2	Zatížení			
3	N_{ed}	1125	návrhová síla	kN
4	e_0	40	výstřednost	mm
5				
6	Beton		(parabolicko-rectangulární pracovní diagram)	
7	f_{ck}	20	charakteristická pevnost betonu	Mpa
8	γ	1,5	materiálový součinitel pro beton	-
9	f_{cd}	13,33	návrhová pevnost betonu	Mpa
10	k	0,6	poměr momentů M_{0eq}/M_{0ed}	
11	$\varphi_{(0,10)}$	0	konečný součinitel dotvarování	
12	φ_{ef}	0	efektivní součinitel dotvarování	
13	n	2		
14	ε_{c2}	0,002	poměrné přetvoření při zplasttizování	-
15	ε_{cu2}	0,0035	poměrné přetvoření při porušení	-
16	E_{cm}	30000	modul pružnosti betonu	Mpa
17				-
18	Ocel		(bilineární pracovní diagram bez nakloněné větve)	
19	f_{yk}	400	charakteristická mez kluzu	Mpa
20	γ	1,15	materiálový součinitel pro ocel	-
21	f_{yd}	347,83	návrhová mez kluzu	Mpa
22	E_s	200 000	modul pružnosti	Mpa
23	ε_{su}	0,01	mezní protažení oceli (10 promile)	-
24	A_s	1000	plocha výztuže celého průřezu	mm ²
25	A_{s2}	500	plocha výztuže při 1. povrchu	mm ²
26	A_{s1}	500	plocha výztuže při 2. povrchu	mm ²
27	$d_{1,1}$	50	vzdálenost výztuže A_{s1} od okraje průřezu	mm
28	$d_{1,2}$	50	vzdálenost výztuže A_{s2} od okraje průřezu	mm
29				
30	Průřez			
31	h	500	výška průřezu	mm
32	b	500	šířka průřezu	mm
33	l	2000	výška sloupu	mm
34	β	2	součinitel vzpěru	-
35	l_0	4000	účinná výška	mm
36	λ	27,7	štíhlost	-
37	c	8	součinitel vyjadřující průběh momentu	-
38				

Obr. 2.15 Tabulka vstupních hodnot



Obr. 2.16 Vykreslení grafu moment-křivost a jmenovité křivosti

V grafu jsou znázorněny křivky:

M_2 – křivku vykreslující moment druhého řádu závislou na křivosti γ'' ,

$M_{0Ed} + M_2$ – křivka kde k momentu M_2 je přičten moment prvního řádu M_{0Ed} ,

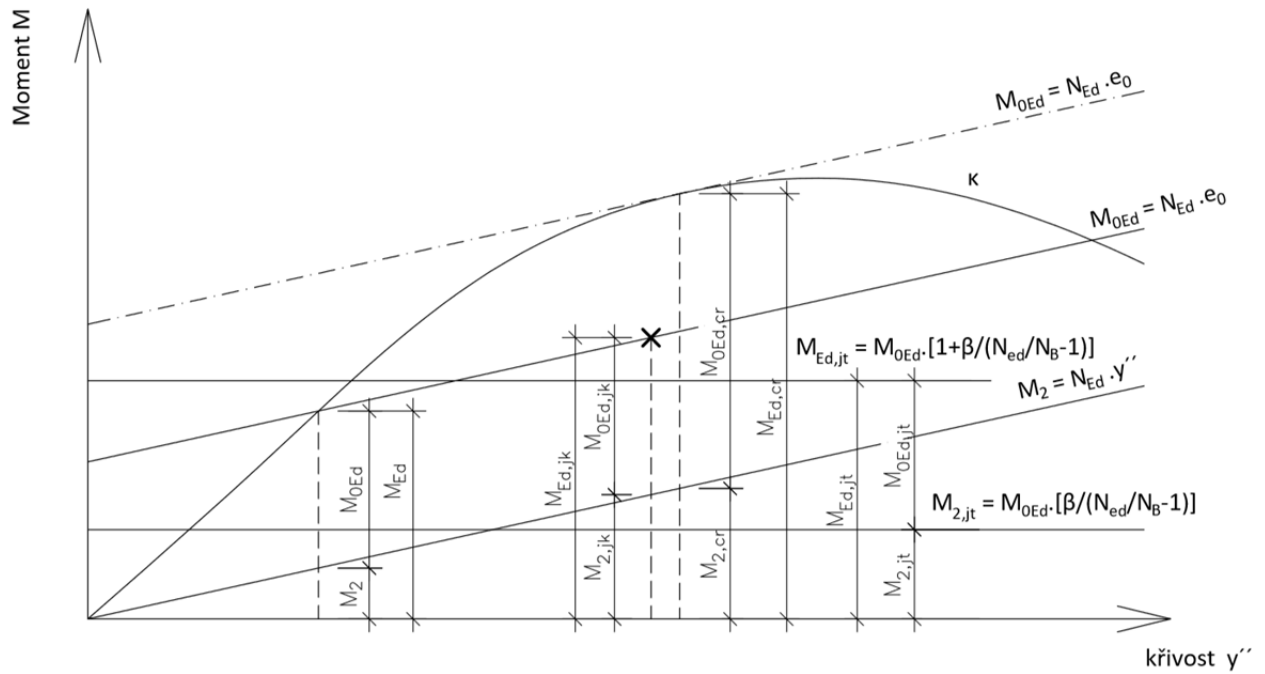
κ – křivka momentu únosnosti,

M_{0Rd} – křivka momentu únosnosti, která je tečnou ke křivce k a zároveň rovnoběžkou s křivkou M_2 . V bodě kde se dotýká křivky k je spuštěna svislice, která nám znázorňuje maximální moment únosnosti.

Křížem je znázorněn celkový moment spočtený podle jmenovité křivosti podle.

4 Vyhodnocení výsledků

Porovnávaly se ohybové momenty spočtené podle jednotlivých metod, a to jak celkového ohybové momentu (Tabulka 2), momenty druhého řádu (Tabulka 3), tak i kritické momenty (Tabulka 4). Na **Obr. 2.17** je znázorněno, které hodnoty momentů se braly pro jednotlivé metody. S indexem *0* se označují momenty prvního řádu a *2* značí moment druhého řádu. Dále index *jk* značí momenty spočtené podle jmenovité křivosti, *jt* momenty spočtené podle jmenovité tuhosti a *cr* je označení pro kritické momenty.



Obr. 2.17 Schéma znázornění momentu pro vyhodnocení

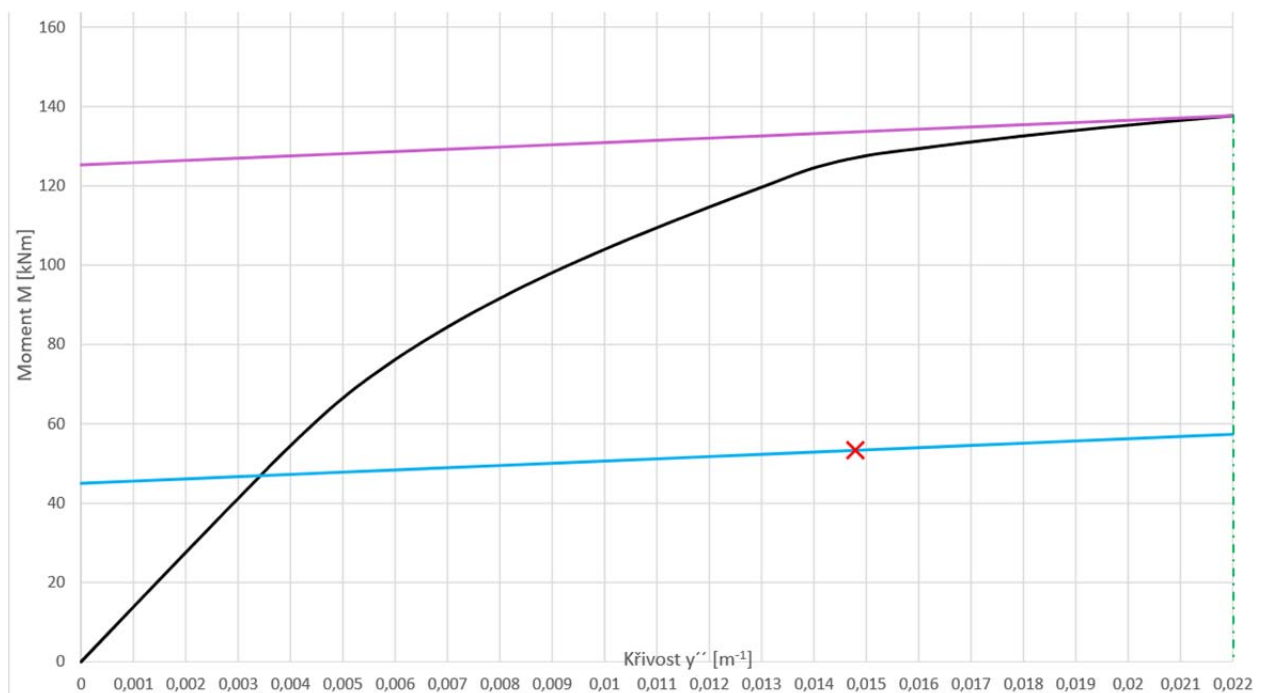
Sloup	Změna	Momenty pro jednotlivé metody			Poměr momentů		
		Náhradní štíhlý sloup [kNm]	Jmenovitá křivost [kNm]	Jmenovitá tuhost [kNm]	Jmenovitá křivost/ Náhradní štíhlý sloup	Jmenovitá tuhost/ Náhradní štíhlý sloup	Jmenovitá křivost/ Jmenovitá tuhost
1	referenční sloup	53,9	78,28	60,94	1,45	1,13	1,28
2	délka l zvětšena na 3200 (o 60%)	88,49	130,19	106,80	1,47	1,21	1,22
3	délka l zvětšena na 2800 (o 40%), součinitel c=9	63,55	102,98	78,36	1,62	1,23	1,31
4	beton C45/55	50,58	86,51	62,07	1,71	1,23	1,39
5	beton C20/25, rozměr 500 x 500 mm, ocel B 400B, As = 1000 mm ² , vzdálenost výztuže d _{1,1} = 50 mm	46,61	64,32	52,59	1,38	1,13	1,22

Sloup	Změna	Momenty pro jednotlivé metody			Poměr momentů		
		Náhradní štíhlý sloup [kNm]	Jmenovitá křivost [kNm]	Jmenovitá tuhost [kNm]	Jmenovitá křivost/ Náhradní štíhlý sloup	Jmenovitá tuhost/ Náhradní štíhlý sloup	Jmenovitá křivost/ Jmenovitá tuhost
1	referenční sloup	8,9	33,28	15,94	3,74	1,79	2,09
2	délka l zvětšena na 3200 (o 60%)	43,49	85,19	61,8	1,96	1,42	1,38
3	délka l zvětšena na 2800 (o 40%), součinitel c = 9	18,55	57,98	33,36	3,13	1,80	1,74
4	beton C45/55	5,58	41,51	17,07	7,44	3,06	2,43
5	beton C20/25, rozměr 500 x 500 mm, ocel B 400B, As = 1000 mm ² , vzdálenost výztuže d _{1,1} = 50 mm	1,61	19,32	7,59	12,00	4,71	2,55

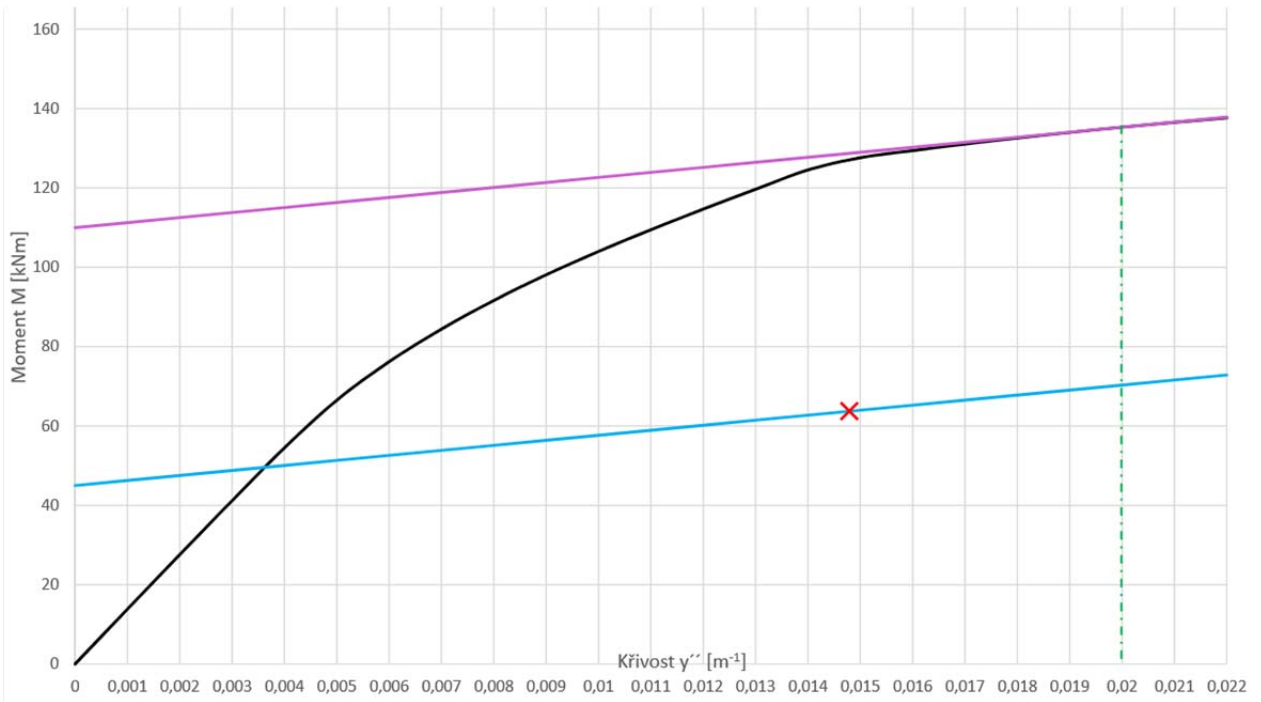
Tabulka 4 - Porovnání kritického momentu druhého řádu s jmenovitou křivostí a tuhostí						
Sloup	Změna	Momenty pro jednotlivé metody			Poměr momentů	
		Náhradní štíhlý sloup [kNm]	Jmenovitá křivost [kNm]	Jmenovitá tuhost [kNm]	Jmenovitá křivost/Náhradní štíhlý sloup	Jmenovitá tuhost/Náhradní štíhlý sloup
1	referenční sloup	33,75	33,28	15,94	0,99	0,47
2	délka l zvětšena na 3200 (o 60%)	57,60	85,19	61,8	1,48	1,07
3	délka l zvětšena na 2800 (o 40%), součinitel c=9	54,88	57,98	33,36	1,06	0,61
4	beton C45/55	47,25	41,51	17,07	0,88	0,36
5	beton C20/25, rozměr 500 x 500 mm, ocel B 400B, $A_s = 1000 \text{ mm}^2$, vzdálenost výztuže $d_{1,1} = 50 \text{ mm}$	22,50	19,32	7,59	0,86	0,34

Z grafů 1-5 a tabulek 4 vidíme, že momenty spočtené podle jmenovité křivosti se blíží spíše hodnotě kritického momentu získané z metody náhradního štíhlého sloupu. Grafy na obr. 2.18-14 znázorňují jak se při různých štíhlostech (mění se jen účinná délka sloupu), křivost pro kritický moment snižuje. Tím se hodnoty momentu druhého řádu od sebe vzdalují či přibližují. Pro štíhlost přibližně 65 jsou téměř stejné.

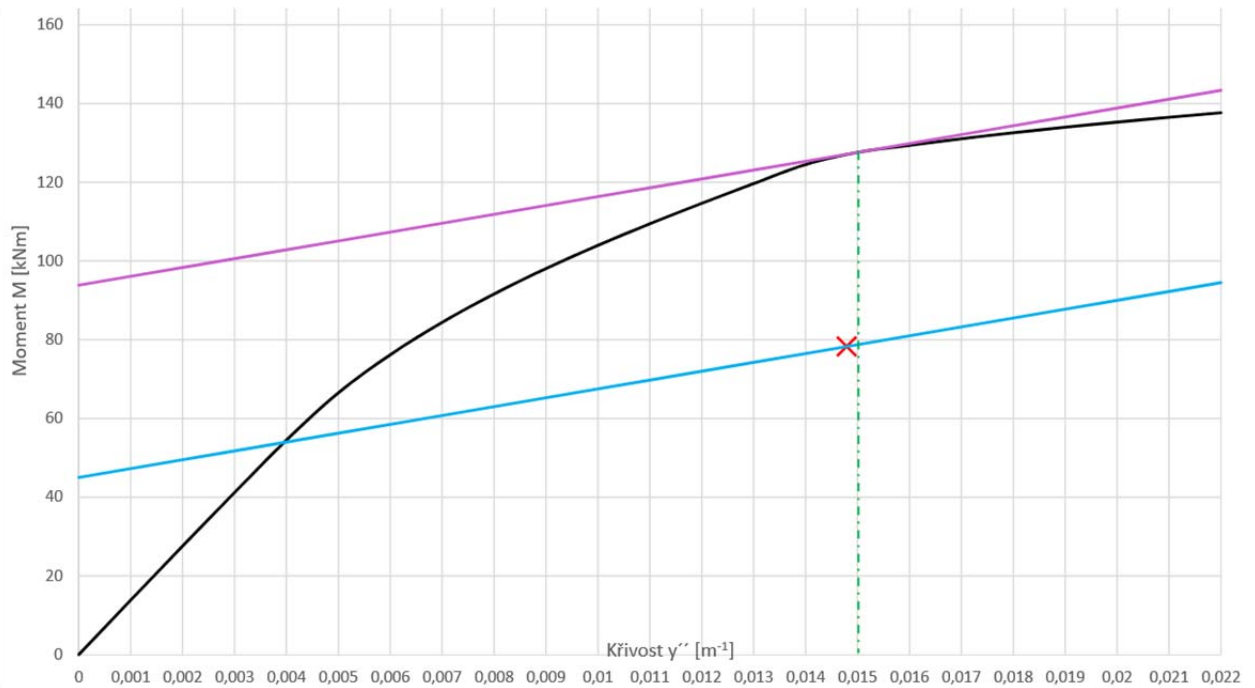
Fialová přímka značí M_{ORd} , modrá M_{Ed} , červený křížek M_{Ed} od jmenovité křivosti a zelená, čerchovaná svislice značí křivost pro maximální moment $M_{Ed,cr}$.



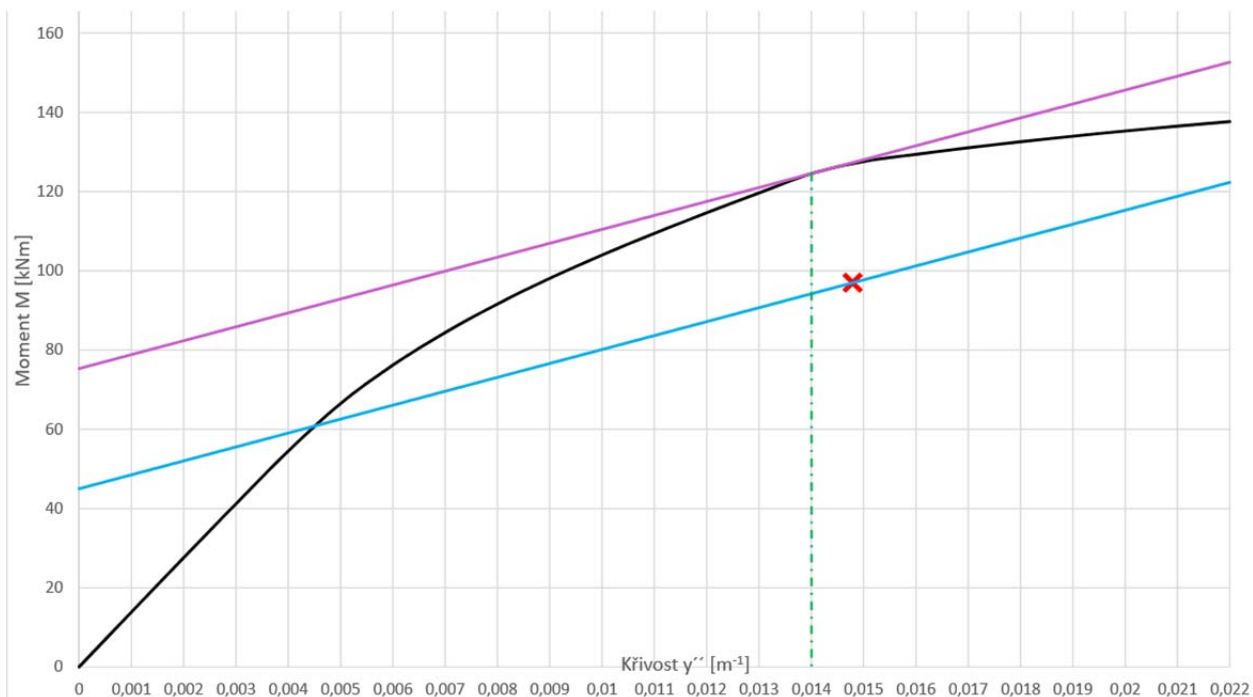
Obr. 2.18 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu



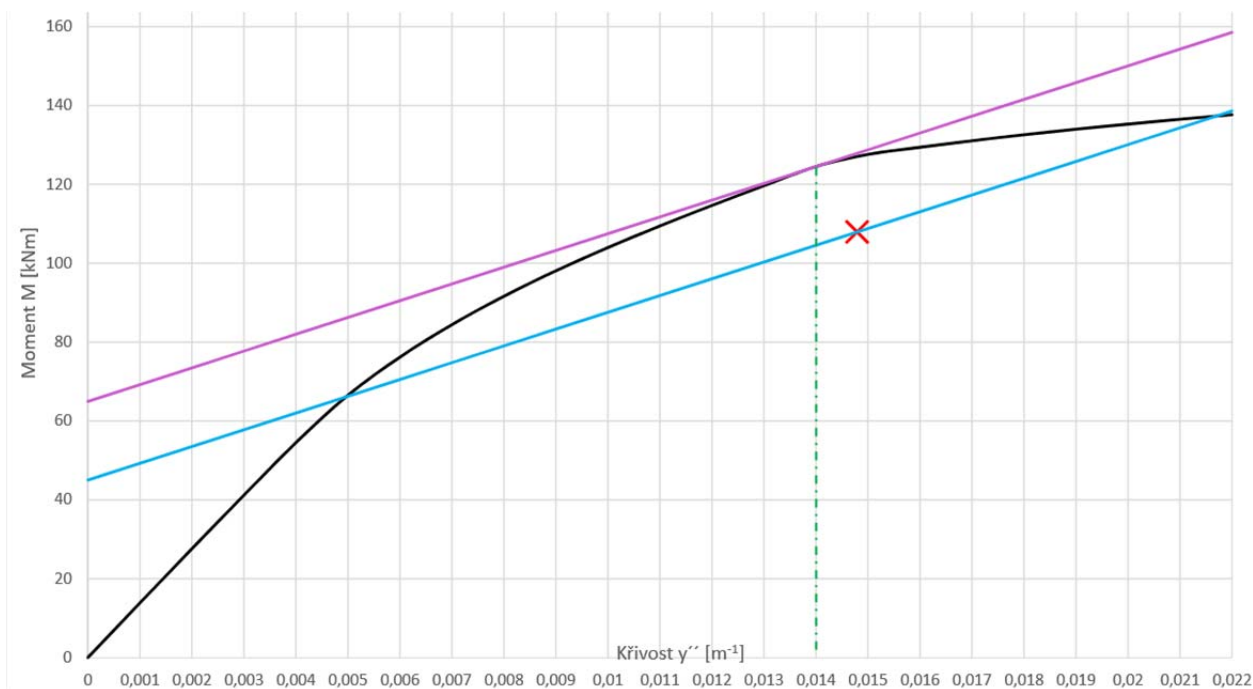
Obr. 2.19 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu



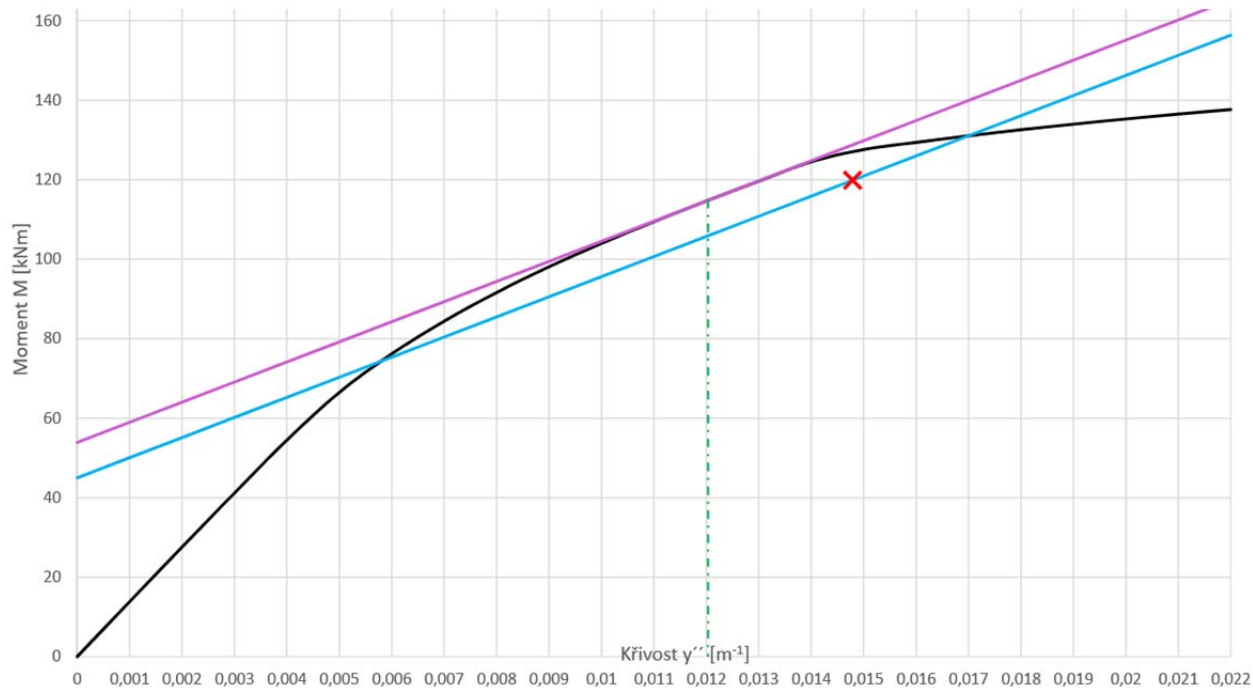
Obr. 2.20 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu



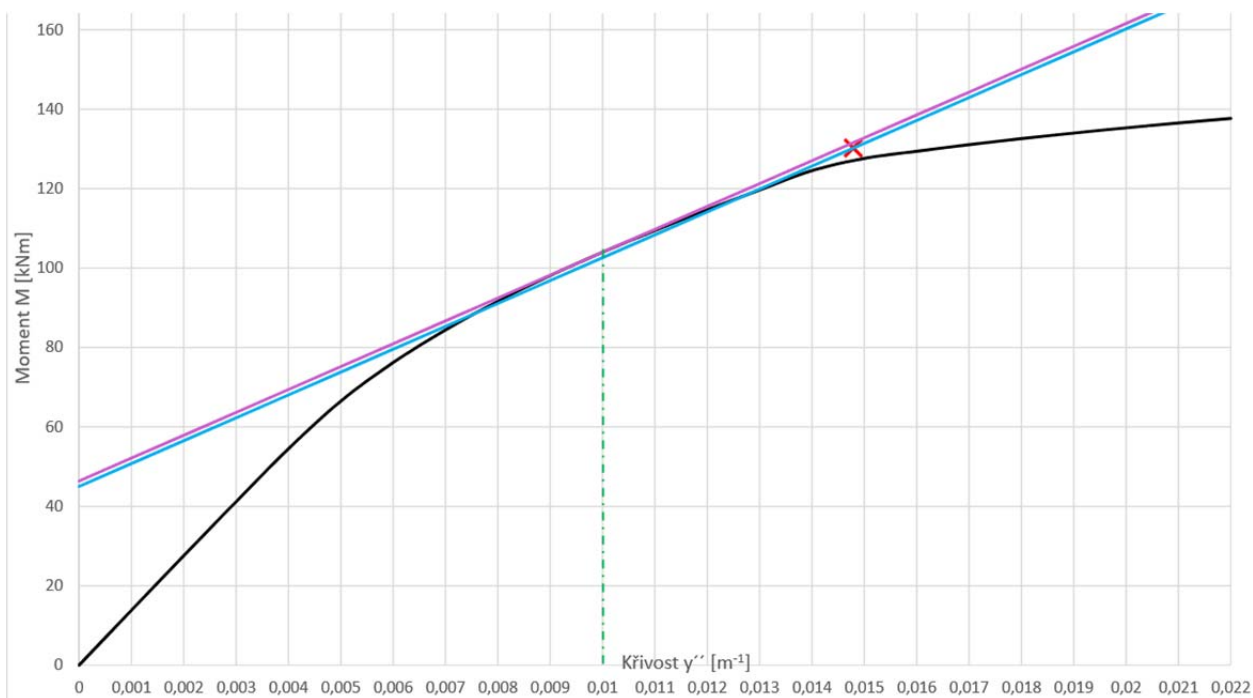
Obr. 2.21 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu



Obr. 2.22 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu



Obr. 2.23 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu



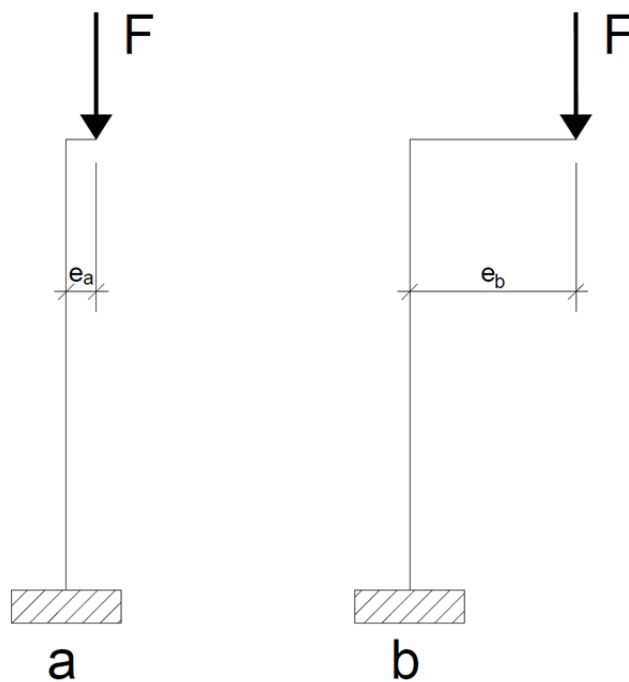
Obr. 2.24 Graf znázorňující rozdíl momentů jmenovité křivosti a náhradního štíhlého sloupu

5 Závěr

Tato práce se zabývala porovnáváním různých metod vyšetřování účinků druhého řádu u štíhlých sloupů.

Z grafů 1-5 a z tabulek 2,3,4 je zřejmé že momenty podle jmenovité křivosti se spíše blíží kritickým momentům spočteným podle metody náhradního štíhlého sloup, a to znamená, že jmenovitá křivost je na straně bezpečné. Metoda náhradního štíhlého sloupu vyhodnocuje štíhlé tlačené prvky s mnohem menším ohybovým momentem, než vychází podle jmenovité křivosti i tuhosti. Proto se metoda náhradního štíhlého sloupu hodí pro optimalizaci návrhu. I když je tato metoda dosti složitá na počítání, tak po sestavení výpočetního programu lze tuto metodu aplikovat velice efektivně na osamělé tlačené prvky a ušetřit tím výztuž nebo zmenšit rozměry sloupů.

Dále vyplývá z poznatků výše, že jmenovitá křivost podle normy nepočítá moment druhého řádu v závislosti na momentu prvního řádu.



$$?? M_{2,a} = M_{2,b} ??$$

Zdroje

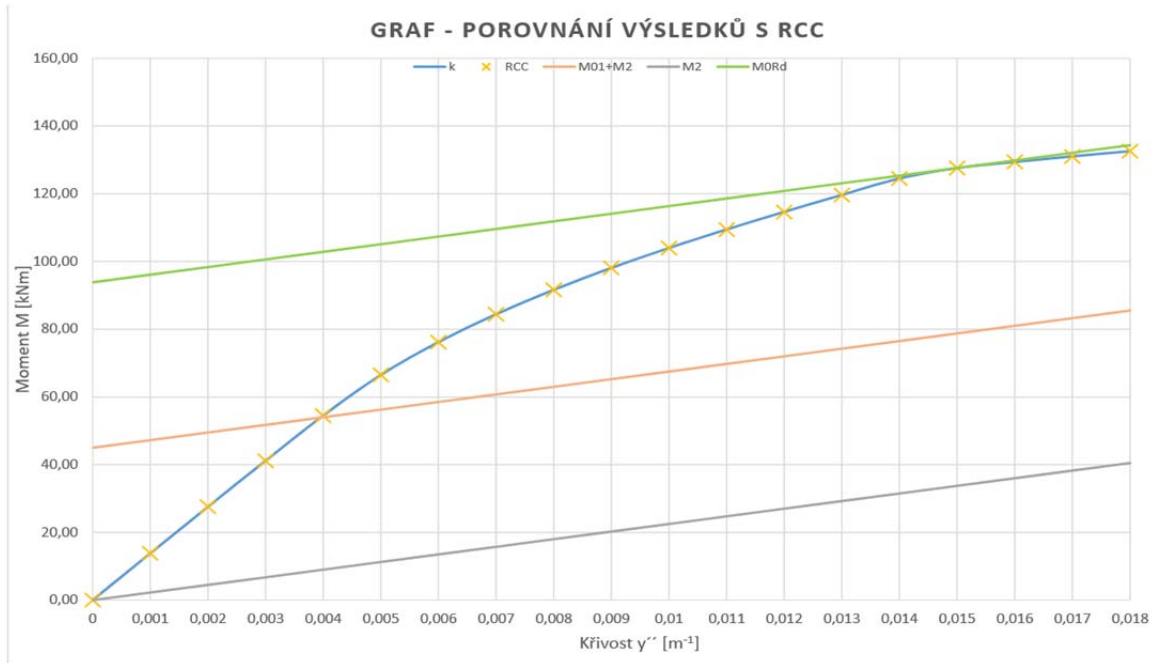
- [1.] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.
- [2.] Procházka, J.; Štěpánek, P.; Krátký, J.; aj.: Navrhování betonových konstrukcí 1 – Prvky z prostého a železobetonového betonu. ČBS Servis, s.r.o., druhé vydání, 2006, ISBN 80-903807-1-9.
- [3.] Procházka, J.; Kohoutková, A.; Vašková, J.: Navrhování železobetonových konstrukcí. Příklady a postupy. Praha: ČVUT v Praze, první vydání, 2014, ISBN 978-80-01-05587-8.
- [4.] Sura, J.: Navrhování betonových sloupů na účinky požáru. Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2010.
- [5.] Sura, J.; Štefan, R.; Procházka, J.: RCC – Výpočetní program pro posouzení železobetonových sloupů [Software]. ČVUT v Praze. <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/rcc/rcc.cz.html>, 2012
- [6.] Sura, J.; Štefan, R.; Procházka, J.: RCC – Výpočetní program pro posouzení železobetonových sloupů [Software]. ČVUT v Praze. <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/rcc/rcc.cz.html>, 2012
- [7.] CEB/FIP manual of buckling and instability. New York: Construction Press, 1978. ISBN 0904406865.

Přílohy

1 Příloha A

Verifikace (porovnání) výpočetního programu v Excelu 2016 se softwarem RCC

Pro ověření výsledků z excelové tabulky byl použit software RCC (viz zdroj [5.]), který se ověřoval laboratorními zkouškami.



Tabulka - Porovnání momentů únosnosti s RCC softwarem		
γ'' [1/m]	M [kNm]	M z RCC [kNm]
0	0,00	0,00
0,001	13,84	13,83
0,002	27,58	27,58
0,003	41,16	41,16
0,004	54,49	54,49
0,005	66,49	66,50
0,006	76,18	76,18
0,007	84,41	84,41
0,008	91,63	91,62
0,009	98,09	98,09
0,010	103,97	104,00
0,011	109,45	109,40
0,012	114,65	114,60
0,013	119,65	119,60
0,014	124,51	124,50
0,015	127,59	127,60
0,016	129,39	129,40
0,017	131,05	131,00
0,018	132,58	132,60

2 Příloha B

Ověření ručního výpočtu jmenovité křivosti softwarem SCIA Engineer 17.01

1. Vnitřní síly (posudek)

Lineární výpočet

Kombinace: CO1-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Sloup S1	Obdélník (300; 300)
ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07	Řez 0 [dx = 0 m]

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-675,0	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$
Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$
Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12.8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.3 - 0.27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.3 - 0.9 \cdot 0.3 = 30 \text{ mm}$$

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = -\text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (20 \cdot 10^6 \cdot 0.09) = -180 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -675 \text{ kN} < -180 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1.88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.455 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-675000}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.375 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka:

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m} \quad (\S 5.8.3.2(2))$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{oy} = \sqrt{\frac{I_{oy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{oz} = \sqrt{\frac{I_{oz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_{oy}} = \frac{4}{0.0866} = 46.2 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{oz}}{i_{oz}} = \frac{0.2}{0.0866} = 2.31 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (§5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.455}; 1.1) = 1.38$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.375}}; 75\right) = 31.6 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.375}}; 75\right) = 31.6 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 46.2 > \lambda_{limy} = 31.6$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než λ_{limy} . Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 2.31 \leq \lambda_{limz} = 31.6$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpřeny	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$l_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y \perp	Ne	2	2	4	46.2	31.6	2. řád
z-z \perp	Ano	2	0.1	0.2	2.31	31.6	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-27}{-675} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$

$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-675} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y}))$$

$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -27 + 0.4 \cdot -27); \text{abs}(0.4 \cdot -27)) = 27 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z}))$$

$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0); \text{abs}(0.4 \cdot 0)) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{27}{-675}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-675}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_y = 0 \text{ m}$$

$$e_z = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{\min,z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{\min,y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0Edz} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz}) \text{abs}(e_{0\min,z})) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0) \text{abs}(0)) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0Eedy} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy}) \text{abs}(e_{0\min,y})) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0) \text{abs}(0)) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $y-y^\perp$.

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $z-z^\perp$.

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.455 = 1.46 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_r):

(§5.8.8.3(3))

$$K_r = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}; 1\right) = \min\left(\frac{1.46 - 0.375}{1.46 - 0.4}; 1\right) = 1$$

(5.36)

Součinitel zohledňující dotvarování (K_{ϕ}):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{46.24}{150} = 0.192$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{2.31}{150} = 0.485$$

$$K_{\phi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}; 1) = \max(1 + 0.192 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

$$K_{\phi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}; 1) = \max(1 + 0.485 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

Základní křivost ($\chi_0 = 1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi = 1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0188$$

(5.34)

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0208$$

(5.34)

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y} = M_y = M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z} = M_z = M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 46.24 > 31.6 \dots \text{účinek 2. řádu}$$

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y}\right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0188 \cdot 4^2}{8}\right) = 0.0377 \text{ m}$$

(5.33)

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 2.31 \leq 31.6$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvouosého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvouosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edz} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0.04 \cdot 46.24}{0.3} \right) = 4162$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edy} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0 \cdot 2.31}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Edy/z}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min.z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{zz/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-675	-27	-25.4	-52.4	40	0	0	40	37.7	77.7
$z-z^\perp$	-675	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-675,0	-52,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Sloup S1

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 (dx = 0 m)

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-1125,0	-45,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1+1.50*ZS2

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$

Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$

Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12.8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.3 - 0.27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.3 - 0.9 \cdot 0.3 = 30 \text{ mm}$$

Studentská verze

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{\text{com}} = -\text{Coeff}_{\text{com}} \cdot (f_{\text{cd}} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (20 \cdot 10^6 \cdot 0.09) = -180 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{\text{Ed}} < N_{\text{com}} = -1125 \text{ kN} < -180 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1.88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.455 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{\text{Ed}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{-1.13 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.625 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{\text{ef}} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka: (\S 5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{cy} = \sqrt{\frac{I_{cy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{cz} = \sqrt{\frac{I_{cz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_{cy}} = \frac{4}{0.0866} = 46.2 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_{cz}} = \frac{0.2}{0.0866} = 2.31 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (\S 5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{\text{ef}}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.455}; 1.1) = 1.38$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{\text{lim}y} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.625}}; 75\right) = 24.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{\text{lim}z} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.625}}; 75\right) = 24.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 46.2 > \lambda_{\text{lim}y} = 24.5$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než $\lambda_{\text{lim}y}$. Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 2.31 \leq \lambda_{\text{lim}z} = 24.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než $\lambda_{\text{lim}z}$, a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpířený	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/\beta_{yy}}$ [-]	$i_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{\text{lim}z/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{\text{lim}z/y}$
y-y	Ne	2	2	4	46.2	24.5	2. řád
z-z	Ano	2	0.1	0.2	2.31	24.5	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-45}{-1125} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$
$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-1125} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y})$$
$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -45 + 0.4 \cdot -45)) \text{abs}(0.4 \cdot -45) = 45 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z})$$
$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0)) \text{abs}(0.4 \cdot 0) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{45}{-1125}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-1125}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_{iy} = 0 \text{ m}$$

$$e_{iz} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{0\text{min},z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{0\text{min},y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0\text{Ed},z} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz})) \text{abs}(e_{0\text{min},z}) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0)) \text{abs}(0) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0\text{Ed},y} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy})) \text{abs}(e_{0\text{min},y}) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0)) \text{abs}(0) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu y - y^\perp .

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu z - z^\perp .

Vyvážená osová síla:

$$n_{\text{bal}} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.455 = 1.46 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_γ):

(§5.8.8.3(3))

$$K_\gamma = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{\text{bal}}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.46 - 0.625}{1.46 - 0.4}, 1\right) = 0.787 \quad (5.36)$$

Součinitel zohledňující dotvarování (K_φ):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{46.24}{150} = 0.192$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{2.31}{150} = 0.485$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.192 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.485 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

Základní křivost ($\chi_0=1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi=1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 0.787 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0148 \quad (5.34)$$

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 0.787 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0164 \quad (5.34)$$

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y}=M_y=M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z}=M_z=M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 46.24 > 24.5 \dots \text{účiněk 2. řádu} \quad (5.8.3.1(1))$$

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y} \right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0148 \cdot 4^2}{8} \right) = 0.0296 \text{ m} \quad (5.33)$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 2.31 \leq 24.5$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvousého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvousý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0.04 \cdot 46.24}{0.3} \right) = 6936$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0 \cdot 2.31}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Ez/y}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Ez/y}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min,z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{2z/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-1125	-45	-33.4	-78.4	40	0	0	40	29.6	69.6
$z-z^\perp$	-1125	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-1125,0	-78,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Studentská verze

2. Vnitřní síly (posudek); MEd

Hodnoty: MEd

Lineární výpočet

Kombinace: CO1-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

-78,36 kNm



1. Vnitřní síly (posudek)

Lineární výpočet

Kombinace: CO1-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Sloup S2

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 [dx = 0 m]

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-675,0	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$
Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$
Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0,3 - 0,27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0,3 - 0,9 \cdot 0,3 = 30 \text{ mm}$$

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = - \text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = - 0,1 \cdot (20 \cdot 10^6 \cdot 0,09) = -180 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -675 \text{ kN} < -180 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1,88 \cdot 10^3 \cdot 435 \cdot 10^6}{0,09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,455 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-675000}{0,09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,375 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka: (\\$5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 3,2 = 6,41 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0,1 \cdot 3,2 = 0,32 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{oy} = \sqrt{\frac{I_{oy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{oz} = \sqrt{\frac{I_{oz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_{oy}} = \frac{6.41}{0.0866} = 74 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{oz}}{i_{oz}} = \frac{0.32}{0.0866} = 3.7 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (§5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.455}; 1.1) = 1.38$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.375}}; 75\right) = 31.6 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.375}}; 75\right) = 31.6 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 74 > \lambda_{limy} = 31.6$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než λ_{limy} . Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 3.7 \leq \lambda_{limz} = 31.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpřeny	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$l_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y \perp	Ne	3.2	2	6.41	74	31.6	2. řád
z-z \perp	Ano	3.2	0.1	0.32	3.7	31.6	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-27}{-675} = 0.04 \text{ m (sign}_z = 1)$$

$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-675} = 0 \text{ m (sign}_y = -1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y}))$$

$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -27 + 0.4 \cdot -27); \text{abs}(0.4 \cdot -27)) = 27 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z}))$$

$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0); \text{abs}(0.4 \cdot 0)) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{27}{-675}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-675}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_y = 0 \text{ m}$$

$$e_z = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{\min,z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{\min,y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0Ez} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz}) \text{abs}(e_{0\min,z})) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0) \text{abs}(0)) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0Ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy}) \text{abs}(e_{0\min,y})) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0) \text{abs}(0)) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $y-y^\perp$.

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $z-z^\perp$.

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.455 = 1.46 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_r):

(§5.8.8.3(3))

$$K_r = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.46 - 0.375}{1.46 - 0.4}, 1\right) = 1$$

(5.36)

Součinitel zohledňující dotvarování (K_{φ}):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{73.99}{150} = 6.74 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{3.70}{150} = 0.475$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 6.74 \cdot 10^{-3} \cdot 0, 1) = 1$$

(5.37)

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.475 \cdot 0, 1) = 1$$

(5.37)

Základní křivost ($\chi_0 = 1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi = 1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\varphi y} \cdot \chi_{0y} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0188$$

(5.34)

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\varphi z} \cdot \chi_{0z} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0208$$

(5.34)

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y} = M_y = M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z} = M_z = M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 73.99 > 31.6 \dots \text{účinek 2. řádu}$$

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y}\right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0188 \cdot 6.41^2}{8}\right) = 0.0965 \text{ m}$$

(5.33)

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 3.70 \leq 31.6$$

...účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvouosého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvouosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edz} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0.04 \cdot 73.99}{0.3} \right) = 6659$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edy} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0 \cdot 3.70}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Edy/z}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min.z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{zz/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-675	-27	-65.1	-92.1	40	0	0	40	96.5	136
$z-z^\perp$	-675	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-675,0	-92,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Sloup S2

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 (dx = 0 m)

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-1125,0	-45,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1+1.50*ZS2

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$

Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$

Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12.8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.3 - 0.27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.3 - 0.9 \cdot 0.3 = 30 \text{ mm}$$

Studentská verze

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{\text{com}} = -\text{Coeff}_{\text{com}} \cdot (f_{\text{cd}} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (20 \cdot 10^6 \cdot 0.09) = -180 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{\text{Ed}} < N_{\text{com}} = -1125 \text{ kN} < -180 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1.88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.455 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{\text{Ed}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{-(-1.13 \cdot 10^6)}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.625 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{\text{ef}} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

(§ 5.8.3.2(2))

Efektivní délka:

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 3.2 = 6.41 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 3.2 = 0.32 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{cy} = \sqrt{\frac{I_{cy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{cz} = \sqrt{\frac{I_{cz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_{cy}} = \frac{6.41}{0.0866} = 74 \quad (\text{5.14})$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_{cz}} = \frac{0.32}{0.0866} = 3.7 \quad (\text{5.14})$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti:

(§ 5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{\text{ef}}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max\left(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1\right) = \max\left(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.455}; 1.1\right) = 1.38$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{\text{lim}y} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.625}}; 75\right) = 24.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{\text{lim}z} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.625}}; 75\right) = 24.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 74 > \lambda_{\text{lim}y} = 24.5$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než $\lambda_{\text{lim}y}$. Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 3.7 \leq \lambda_{\text{lim}z} = 24.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než $\lambda_{\text{lim}z}$, a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpířený	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$i_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{\text{lim}z/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{\text{lim}z/y}$
y-y	Ne	3.2	2	6.41	74	24.5	2. řád
z-z	Ano	3.2	0.1	0.32	3.7	24.5	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-45}{-1125} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$
$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-1125} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y})$$
$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -45 + 0.4 \cdot -45)) \text{abs}(0.4 \cdot -45) = 45 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z})$$
$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0)) \text{abs}(0.4 \cdot 0) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{45}{-1125}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-1125}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_{iy} = 0 \text{ m}$$

$$e_{iz} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{0\text{min},z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{0\text{min},y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0\text{Ed}z} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz})) \text{abs}(e_{0\text{min},z}) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0)) \text{abs}(0) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0\text{Ed}y} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy})) \text{abs}(e_{0\text{min},y}) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0)) \text{abs}(0) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu y - y^\perp .

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu z - z^\perp .

Vyvážená osová síla:

$$n_{\text{bal}} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.455 = 1.46 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_γ):

(§5.8.8.3(3))

$$K_\gamma = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{\text{bal}}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.46 - 0.625}{1.46 - 0.4}, 1\right) = 0.787 \quad (5.36)$$

Součinitel zohledňující dotvarování (K_φ):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{73.99}{150} = 6.74 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{3.70}{150} = 0.475$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 6.74 \cdot 10^{-3} \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.475 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

Základní křivost ($\chi_0=1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi=1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 0.787 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0148 \quad (5.34)$$

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 0.787 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0164 \quad (5.34)$$

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y}=M_y=M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z}=M_z=M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 73.99 > 24.5 \dots \text{účinek 2. řádu} \quad (5.8.3.1(1))$$

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y} \right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0148 \cdot 6.41^2}{8} \right) = 0.0759 \text{ m} \quad (5.33)$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 3.70 \leq 24.5$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvousého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvousý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0.04 \cdot 73.99}{0.3} \right) = 11098$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0 \cdot 3.70}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Ez/y}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Ez/y}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min,z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{2z/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-1125	-45	-85.4	-130	40	0	0	40	75.9	116
$z-z^\perp$	-1125	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-1125,0	-130,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Studentská verze

2. Vnitřní síly (posudek); MEd

Hodnoty: MEd

Lineární výpočet

Kombinace: C01-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

-130,39 kNm



1. Vnitřní síly (posudek)

Lineární výpočet

Kombinace: CO1-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Sloup S3

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 [dx = 0 m]

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-675,0	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$
Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$
Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0,3 - 0,27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0,3 - 0,9 \cdot 0,3 = 30 \text{ mm}$$

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = - \text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = - 0,1 \cdot (20 \cdot 10^6 \cdot 0,09) = -180 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -675 \text{ kN} < -180 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1,88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,455 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-675000}{0,09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,375 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka:

(\\$5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2,8 = 5,61 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0,1 \cdot 2,8 = 0,28 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{oy} = \sqrt{\frac{I_{oy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{oz} = \sqrt{\frac{I_{oz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_{oy}} = \frac{5.61}{0.0866} = 64.7 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{oz}}{i_{oz}} = \frac{0.28}{0.0866} = 3.23 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (§5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.455}; 1.1) = 1.38$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.375}}; 75\right) = 31.6 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.375}}; 75\right) = 31.6 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 64.7 > \lambda_{limy} = 31.6$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než λ_{limy} . Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 3.23 \leq \lambda_{limz} = 31.6$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpřeny	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$l_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y \perp	Ne	2.8	2	5.61	64.7	31.6	2. řád
z-z \perp	Ano	2.8	0.1	0.28	3.23	31.6	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-27}{-675} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$

$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-675} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y}))$$

$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -27 + 0.4 \cdot -27); \text{abs}(0.4 \cdot -27)) = 27 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z}))$$

$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0); \text{abs}(0.4 \cdot 0)) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{27}{-675}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-675}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_y = 0 \text{ m}$$

$$e_z = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{\min,z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{\min,y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0Edz} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz}) \text{abs}(e_{0\min,z})) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0) \text{abs}(0)) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0Eedy} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy}) \text{abs}(e_{0\min,y})) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0) \text{abs}(0)) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $y-y^\perp$.

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $z-z^\perp$.

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.455 = 1.46 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_r):

(§5.8.8.3(3))

$$K_r = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}; 1\right) = \min\left(\frac{1.46 - 0.375}{1.46 - 0.4}; 1\right) = 1$$

(5.36)

Součinitel zohledňující dotvarování (K_{ϕ}):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{64.74}{150} = 0.0684$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{3.23}{150} = 0.478$$

$$K_{\phi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \phi_{ef}; 1) = \max(1 + 0.0684 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

$$K_{\phi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \phi_{ef}; 1) = \max(1 + 0.478 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

Základní křivost ($\chi_0 = 1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi = 1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0188$$

(5.34)

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0208$$

(5.34)

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y} = M_y = M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z} = M_z = M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 64.74 > 31.6 \dots \text{účinek 2. řádu}$$

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y}\right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0188 \cdot 5.61^2}{8}\right) = 0.0739 \text{ m}$$

(5.33)

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 3.23 \leq 31.6$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvouosého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvouosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edz} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0.04 \cdot 64.74}{0.3} \right) = 5827$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edy} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0 \cdot 3.23}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Edy/z}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min.z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{zz/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-675	-27	-49.9	-76.9	40	0	0	40	73.9	114
$z-z^\perp$	-675	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-675,0	-76,9	0,0	0,0	0,0	0,0

Sloup S3

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 (dx = 0 m)

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-1125,0	-45,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1+1.50*ZS2

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$

Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$

Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12.8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.3 - 0.27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.3 - 0.9 \cdot 0.3 = 30 \text{ mm}$$

Studentská verze

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = -\text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (20 \cdot 10^6 \cdot 0.09) = -180 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -1125 \text{ kN} < -180 \text{ kN} \dots \text{tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1.88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.455 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-1.13 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0.625 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

(§ 5.8.3.2(2))

Efektivní délka:

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2.8 = 5.61 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 2.8 = 0.28 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{cy} = \sqrt{\frac{I_{cy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{cz} = \sqrt{\frac{I_{cz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_{cy}} = \frac{5.61}{0.0866} = 64.7 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_{cz}} = \frac{0.28}{0.0866} = 3.23 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti:

(§ 5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max\left(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1\right) = \max\left(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.455}; 1.1\right) = 1.38$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.625}}; 75\right) = 24.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.38 \cdot 0.7}{\sqrt{0.625}}; 75\right) = 24.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 64.7 > \lambda_{limy} = 24.5$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než λ_{limy} . Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 3.23 \leq \lambda_{limz} = 24.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} , a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpířený	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$i_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y	Ne	2.8	2	5.61	64.7	24.5	2. řád
z-z	Ano	2.8	0.1	0.28	3.23	24.5	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-45}{-1125} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$
$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-1125} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y})$$
$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -45 + 0.4 \cdot -45)) \text{abs}(0.4 \cdot -45) = 45 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z})$$
$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0)) \text{abs}(0.4 \cdot 0) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{45}{-1125}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-1125}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_{iy} = 0 \text{ m}$$

$$e_{iz} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{0\text{min},z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{0\text{min},y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0\text{Ed},z} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz})) \text{abs}(e_{0\text{min},z}) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0)) \text{abs}(0) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0\text{Ed},y} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy})) \text{abs}(e_{0\text{min},y}) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0)) \text{abs}(0) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu y - y^\perp .

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu z - z^\perp .

Vyvážená osová síla:

$$n_{\text{bal}} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.455 = 1.46 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_ω):

(§5.8.8.3(3))

$$K_\omega = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{\text{bal}}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.46 - 0.625}{1.46 - 0.4}, 1\right) = 0.787 \quad (5.36)$$

Součinitel zohledňující dotvarování (K_φ):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{64.74}{150} = 0.0684$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{3.23}{150} = 0.478$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.0684 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.478 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

Základní křivost ($\chi_0=1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi=1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 0.787 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0148 \quad (5.34)$$

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 0.787 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0164 \quad (5.34)$$

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y}=M_y=M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z}=M_z=M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 64.74 > 24.5 \dots \text{účiněk 2. řádu} \quad (\$5.8.3.1(1))$$

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y} \right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0148 \cdot 5.61^2}{8} \right) = 0.0581 \text{ m} \quad (5.33)$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 3.23 \leq 24.5$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvousosého/jednososého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvousosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_y}{h_{ec}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0.04 \cdot 64.74}{0.3} \right) = 9711$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0 \cdot 3.23}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Ez/y}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min,z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{2z/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-1125	-45	-65.4	-110	40	0	0	40	58.1	98.1
$z-z^\perp$	-1125	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-1125,0	-110,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Studentská verze

2. Vnitřní síly (posudek); MEd

Hodnoty: MEd

Lineární výpočet

Kombinace: C01-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

-110,38 kNm



1. Vnitřní síly (posudek)

Lineární výpočet

Kombinace: CO1-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Sloup S4

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 [dx = 0 m]

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-675,0	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$
Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$
Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y :

$$I_{sy} = 21,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z :

$$I_{sz} = 12,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0,3 - 0,27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0,3 - 0,9 \cdot 0,3 = 30 \text{ mm}$$

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = - \text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = - 0,1 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 0,09) = -270 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -675 \text{ kN} < -270 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1,88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0,09 \cdot 30 \cdot 10^6} = 0,304 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-675000}{0,09 \cdot 30 \cdot 10^6} = 0,25 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka:

(\\$5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{oy} = \sqrt{\frac{I_{oy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{oz} = \sqrt{\frac{I_{oz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_{oy}} = \frac{4}{0.0866} = 46.2 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{oz}}{i_{oz}} = \frac{0.2}{0.0866} = 2.31 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (§5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.304}; 1.1) = 1.27$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.27 \cdot 0.7}{\sqrt{0.25}}; 75\right) = 35.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.27 \cdot 0.7}{\sqrt{0.25}}; 75\right) = 35.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 46.2 > \lambda_{limy} = 35.5$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než λ_{limy} . Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 2.31 \leq \lambda_{limz} = 35.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpřeny	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$l_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y \perp	Ne	2	2	4	46.2	35.5	2. řád
z-z \perp	Ano	2	0.1	0.2	2.31	35.5	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-27}{-675} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$

$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-675} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y}))$$

$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -27 + 0.4 \cdot -27); \text{abs}(0.4 \cdot -27)) = 27 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}); \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z}))$$

$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0); \text{abs}(0.4 \cdot 0)) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{27}{-675}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-675}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_{iy} = 0 \text{ m}$$

$$e_{iz} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{\min,z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{\min,y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0Edz} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz}) \text{abs}(e_{\min,z})) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0) \text{abs}(0)) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0Eedy} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy}) \text{abs}(e_{\min,y})) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0) \text{abs}(0)) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $y-y^\perp$.

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $z-z^\perp$.

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.304 = 1.3 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_r):

(§5.8.8.3(3))

$$K_r = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}; 1\right) = \min\left(\frac{1.3 - 0.25}{1.3 - 0.4}; 1\right) = 1$$

(5.36)

Součinitel zohledňující dotvarování (K_{ϕ}):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{45}{200} - \frac{46.24}{150} = 0.267$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{45}{200} - \frac{2.31}{150} = 0.56$$

$$K_{\phi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}; 1) = \max(1 + 0.267 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

$$K_{\phi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}; 1) = \max(1 + 0.56 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

Základní křivost ($\chi_0 = 1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi = 1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0188$$

(5.34)

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 1 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0208$$

(5.34)

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y} = M_y = M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z} = M_z = M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 46.24 > 35.5 \dots \text{účinek 2. řádu}$$

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y}\right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0188 \cdot 4^2}{8}\right) = 0.0377 \text{ m}$$

(5.33)

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 2.31 \leq 35.5$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvouosého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvouosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edz} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0.04 \cdot 46.24}{0.3} \right) = 4162$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edy} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0 \cdot 2.31}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Edy/z}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min.z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{zz/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-675	-27	-25.4	-52.4	40	0	0	40	37.7	77.7
$z-z^\perp$	-675	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-675,0	-52,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Sloup S4

Obdélník (300; 300)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 (dx = 0 m)

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-1125,0	-45,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1+1.50*ZS2

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 300 \text{ mm}$

Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 300 \text{ mm}$

Plocha průřezu: $A_c = 90000 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 675 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 21.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 12.8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.3 - 0.27 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.3 - 0.9 \cdot 0.3 = 30 \text{ mm}$$

Studentská verze

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{\text{com}} = -\text{Coeff}_{\text{com}} \cdot (f_{\text{cd}} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 0.09) = -270 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{\text{Ed}} < N_{\text{com}} = -1125 \text{ kN} < -270 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1.88 \cdot 10^{-3} \cdot 435 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 30 \cdot 10^6} = 0.304 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{\text{Ed}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{-1.13 \cdot 10^6}{0.09 \cdot 30 \cdot 10^6} = 0.417 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{\text{ef}} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka: (\S 5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{cy} = \sqrt{\frac{I_{cy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

$$i_{cz} = \sqrt{\frac{I_{cz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{675 \cdot 10^{-6}}{0.09}} = 86.6 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_{cy}} = \frac{4}{0.0866} = 46.2 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_{cz}} = \frac{0.2}{0.0866} = 2.31 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (\S 5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{\text{ef}}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.304}; 1.1) = 1.27$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{\text{lim}y} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.27 \cdot 0.7}{\sqrt{0.417}}; 75\right) = 27.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{\text{lim}z} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.27 \cdot 0.7}{\sqrt{0.417}}; 75\right) = 27.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 46.2 > \lambda_{\text{lim}y} = 27.5$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než $\lambda_{\text{lim}y}$. Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 2.31 \leq \lambda_{\text{lim}z} = 27.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než $\lambda_{\text{lim}z}$, a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpiřený	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/\beta_{yy}}$ [-]	$i_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{\text{lim}z/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{\text{lim}z/y}$
y-y	Ne	2	2	4	46.2	27.5	2. řád
z-z	Ano	2	0.1	0.2	2.31	27.5	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-45}{-1125} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$
$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-1125} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}), \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y}))$$
$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -45 + 0.4 \cdot -45), \text{abs}(0.4 \cdot -45)) = 45 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}), \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z}))$$
$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0), \text{abs}(0.4 \cdot 0)) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{45}{-1125}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-1125}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_{iy} = 0 \text{ m}$$

$$e_{iz} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{0min,z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{0min,y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0Ed,z} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz}), \text{abs}(e_{0min,z})) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0), \text{abs}(0)) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0Ed,y} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy}), \text{abs}(e_{0min,y})) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0), \text{abs}(0)) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 82.5 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{21.6 \cdot 10^{-6}}{1.88 \cdot 10^{-3}}} = 107 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = 0.5 \cdot b + i_{sy} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.0825 = 0.232 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu y - y^\perp .

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.107 = 0.257 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu z - z^\perp .

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.304 = 1.3 \text{ (mezí)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_γ):

(§5.8.8.3(3))

$$K_\gamma = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.3 - 0.417}{1.3 - 0.4}, 1\right) = 0.982 \quad (5.36)$$

Součinitel zohledňující dotvarování (K_φ):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{45}{200} - \frac{46.24}{150} = 0.267$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{45}{200} - \frac{2.31}{150} = 0.56$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.267 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.56 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

Základní křivost ($\chi_0=1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.257} = 0.0188$$

$$\chi_{0z} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.232} = 0.0208$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi=1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 0.982 \cdot 1 \cdot 0.0188 = 0.0185 \quad (5.34)$$

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 0.982 \cdot 1 \cdot 0.0208 = 0.0204 \quad (5.34)$$

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y}=M_y=M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z}=M_z=M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 46.24 > 27.5 \dots \text{účinek 2. řádu} \quad (§5.8.3.1(1))$$

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y} \right) = 1 \cdot \left(\frac{0.0185 \cdot 4^2}{8} \right) = 0.037 \text{ m} \quad (5.33)$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 2.31 \leq 27.5$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvousóseho/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.0866 \cdot \sqrt{12} = 0.3 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvousósy ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0.04 \cdot 46.24}{0.3} \right) = 6936$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0 \cdot 2.31}{0.3} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Ez/y}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min,z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{2z/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-1125	-45	-41.6	-86.6	40	0	0	40	37	77
$z-z^\perp$	-1125	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-1125,0	-86,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Studentská verze

2. Vnitřní síly (posudek); MEd

Hodnoty: MEd

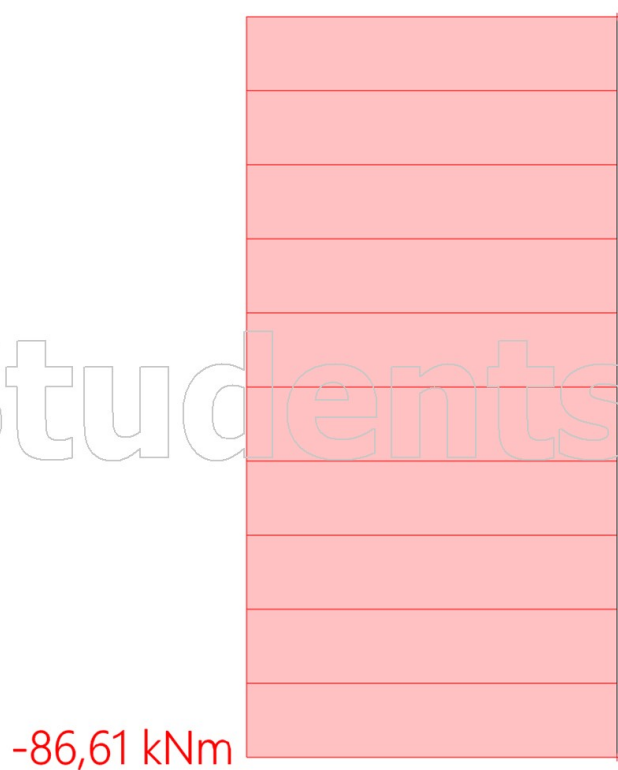
Lineární výpočet

Kombinace: C01-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše



Studentská verze

1. Vnitřní síly (posudek)

Lineární výpočet

Kombinace: CO1-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Sloup S5

Obdélník (500; 500)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 [dx = 0 m]

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-675,0	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 500 \text{ mm}$
Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 500 \text{ mm}$
Plocha průřezu: $A_c = 250000 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 5.21 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 5.21 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1000 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 40 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 37.2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.5 - 0.45 = 50 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.5 - 0.9 \cdot 0.5 = 50 \text{ mm}$$

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = - \text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = - 0.1 \cdot (13.3 \cdot 10^6 \cdot 0.25) = -333 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -675 \text{ kN} < -333 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -27 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 348 \cdot 10^6}{0.25 \cdot 13.3 \cdot 10^6} = 0.104 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-675000}{0.25 \cdot 13.3 \cdot 10^6} = 0.203 \quad (\$5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka:

(\\$5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{oy} = \sqrt{\frac{I_{oy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{5,21 \cdot 10^{-3}}{0,25}} = 144 \text{ mm}$$

$$i_{oz} = \sqrt{\frac{I_{oz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{5,21 \cdot 10^{-3}}{0,25}} = 144 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_{oy}} = \frac{4}{0,144} = 27,7 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{oz}}{i_{oz}} = \frac{0,2}{0,144} = 1,39 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (§5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0,2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0,2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1,1) = \max(\sqrt{1 + 2 \cdot 0,104}; 1,1) = 1,1$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1,7 - r_{my} = 1,7 - 1 = 0,7$$

$$C_z = 1,7 - r_{mz} = 1,7 - 1 = 0,7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,203}}; 75\right) = 34,2 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,203}}; 75\right) = 34,2 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 27,7 \leq \lambda_{limy} = 34,2$$

Poznámka: Štíhlost λ_y je menší než λ_{limy} a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

$$\lambda_z = 1,39 \leq \lambda_{limz} = 34,2$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpřeny	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/y/y}$ [-]	$l_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y \perp	Ne	2	2	4	27,7	34,2	1. řád
z-z \perp	Ano	2	0,1	0,2	1,39	34,2	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-27}{-675} = 0,04 \text{ m (sign}_z = 1)$$

$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-675} = 0 \text{ m (sign}_y = -1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0,6 \cdot M_{02y} + 0,4 \cdot M_{01y}); \text{abs}(0,4 \cdot M_{02y}))$$

$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0,6 \cdot -27 + 0,4 \cdot -27); \text{abs}(0,4 \cdot -27)) = 27 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0,6 \cdot M_{02z} + 0,4 \cdot M_{01z}); \text{abs}(0,4 \cdot M_{02z}))$$

$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0,6 \cdot 0 + 0,4 \cdot 0); \text{abs}(0,4 \cdot 0)) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{27}{-675}\right) \cdot 1 = 0,04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-675}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_y = 0 \text{ m}$$

$$e_z = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{\min,z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{\min,y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0Edz} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz}) \text{abs}(e_{\min,z})) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0) \text{abs}(0)) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0Eedy} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy}) \text{abs}(e_{\min,y})) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0) \text{abs}(0)) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{37.2 \cdot 10^{-6}}{1000 \cdot 10^{-6}}} = 193 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{1000 \cdot 10^{-6}}} = 200 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = b - a_{sy} = 0.5 - 0.05 = 0.45 \text{ m}$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena kolmo k rovině ohybu $y-y^\perp$.

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.5 + 0.2 = 0.45 \text{ m}$$

(5.35)

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu $z-z^\perp$.

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.104 = 1.1 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_ω):

(§5.8.8.3(3))

$$K_\omega = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.1 - 0.203}{1.1 - 0.4}, 1\right) = 1$$

(5.36)

Součinitel zohledňující dotvarování (K_φ):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{20}{200} - \frac{27.75}{150} = 0.265$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{20}{200} - \frac{1.39}{150} = 0.441$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.265 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.441 \cdot 0; 1) = 1$$

(5.37)

Základní křivost ($\chi_0 = 1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{1.74 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.45} = 8.59 \cdot 10^{-3}$$

$$\chi_{0z} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{1.74 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.45} = 8.59 \cdot 10^{-3}$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi = 1/r$):

(§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\varphi y} \cdot \chi_{0y} = 1 \cdot 1 \cdot 8.59 \cdot 10^{-3} = 8.59 \cdot 10^{-3}$$

(5.34)

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\varphi z} \cdot \chi_{0z} = 1 \cdot 1 \cdot 8.59 \cdot 10^{-3} = 8.59 \cdot 10^{-3}$$

(5.34)

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y} = M_y = M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z} = M_z = M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y \leq \lambda_{limy} = 27.75 \leq 34.2 \text{ ... účinek 1. řádu}$$

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2z} = 0 \text{ m}$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 1.39 \leq 34.2$$

... účinek 1. řádu

(§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvouosého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.144 \cdot \sqrt{12} = 0.5 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.144 \cdot \sqrt{12} = 0.5 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvouosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edz} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0.04 \cdot 27.75}{0.5} \right) = 1498$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Edy} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -675000 \cdot 0 \cdot 1.39}{0.5} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Edy/z}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Edy/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min.z/y}$ [mm]	$e_{0Edz/y}$ [mm]	$e_{zz/y}$ [mm]	$e_{Edz/y}$ [mm]
$y-y^\perp$	-675	-27	0	-27	40	0	0	40	0	40
$z-z^\perp$	-675	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-675,0	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sloup S5

Obdélník (500; 500)

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Řez 0 (dx = 0 m)

Vnitřní síly (MKP)

Extrém: CO1-MSÚ/1 (MSÚ)

Typ: Kombinace (lineární)

Návrhová situace: Obálka - únosnost

Typ zatížení	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]
Vnitřní síly (MKP)	-1125,0	-45,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obsah: 1.35*ZS1+1.50*ZS2

Redukce a úpravy

Úprava malých hodnot: NE

Charakteristiky betonového průřezu:

Rozměry průřezu ve směru osy y: $b = 500 \text{ mm}$

Rozměry průřezu ve směru osy z: $h = 500 \text{ mm}$

Plocha průřezu: $A_c = 250000 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy y: $I_{cy} = 5.21 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

Moment setrvačnosti betonového průřezu okolo osy z: $I_{cz} = 5.21 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

Charakteristiky vyztuženého průřezu

Poznámka: Charakteristiky jsou vypočteny pro definovanou uživatelskou výztuž

Průřezová plocha všech výztuží:

$$A_s = 1000 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy y:

$$I_{sy} = 40 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti plochy výztuže okolo osy z:

$$I_{sz} = 37.2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzdálenosti od okraje ke středu výztuže

$$a_{sz} = 0.5 - 0.45 = 50 \text{ mm}$$

$$a_{sy} = b - \text{Coeff}_d \cdot b = 0.5 - 0.9 \cdot 0.5 = 50 \text{ mm}$$

Studentská verze

Tlačený dílec

Limitní osová síla, při které se dílec uvažuje jako tlačený:

$$N_{com} = -\text{Coeff}_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (13.3 \cdot 10^6 \cdot 0.25) = -333 \text{ kN}$$

Podmínka posudku:

$$N_{Ed} < N_{com} = -1125 \text{ kN} < -333 \text{ kN} \dots \text{ tlačený dílec}$$

Poznámka: Je třeba zohlednit excentricitu prvního a druhého řádu, protože dílec je považován za tlačený (osová síla je výrazná).

Štíhlost

Koncové momenty prvního řádu:

$$M_{01y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{02y} = -45 \text{ kNm} \quad M_{01z} = 0 \text{ kNm} \quad M_{02z} = 0 \text{ kNm}$$

Poměr mechanické výztuže:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 348 \cdot 10^6}{0.25 \cdot 13.3 \cdot 10^6} = 0.104 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Relativní osová síla:

$$n = \frac{-N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-1.13 \cdot 10^6}{0.25 \cdot 13.3 \cdot 10^6} = 0.338 \quad (\S 5.8.3.1(1))$$

Efektivní poměr dotvarování:

$$\varphi_{ef} = 0$$

Poznámka: Efektivní součinitel dotvarování je zohledněn ve výpočtu jako součinitel dotvarování.

Efektivní délka: (\S 5.8.3.2(2))

$$l_{0y} = \beta_{yy} \cdot L_y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$

$$l_{0z} = \beta_{zz} \cdot L_z = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ m}$$

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu:

$$i_{cy} = \sqrt{\frac{I_{cy}}{A_c}} = \sqrt{\frac{5.21 \cdot 10^{-3}}{0.25}} = 144 \text{ mm}$$

$$i_{cz} = \sqrt{\frac{I_{cz}}{A_c}} = \sqrt{\frac{5.21 \cdot 10^{-3}}{0.25}} = 144 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_{cy}} = \frac{4}{0.144} = 27.7 \quad (5.14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0z}}{i_{cz}} = \frac{0.2}{0.144} = 1.39 \quad (5.14)$$

Mezní štíhlost

Parametry pro výpočet limitní štíhlosti: (\S 5.8.3.1(1))

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 0} = 1$$

$$B = \max\left(\sqrt{1 + 2 \cdot \omega}; 1.1\right) = \max\left(\sqrt{1 + 2 \cdot 0.104}; 1.1\right) = 1.1$$

$$r_{my} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{my} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02y} je nulová.

$$r_{mz} = 1$$

Poznámka: Hodnota $r_{mz} = 1,0$, protože dílec není kolem osy z zavětřován nebo protože hodnota M_{02z} je nulová.

$$C_y = 1.7 - r_{my} = 1.7 - 1 = 0.7$$

$$C_z = 1.7 - r_{mz} = 1.7 - 1 = 0.7$$

Mezní štíhlost:

$$\lambda_{limy} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_y}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{0.338}}; 75\right) = 26.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

$$\lambda_{limz} = \min\left(\frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C_z}{\sqrt{n}}; 75\right) = \min\left(\frac{20 \cdot 1 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{0.338}}; 75\right) = 26.5 \quad (\text{ČSN 5.13})$$

Kritérium štíhlosti

$$\lambda_y = 27.7 > \lambda_{limy} = 26.5$$

Varování: Štíhlost λ_y je větší než λ_{limy} . Je nutno uvažovat účinky druhého řádu.

$$\lambda_z = 1.39 \leq \lambda_{limz} = 26.5$$

Poznámka: Štíhlost λ_z je menší než λ_{limz} , a proto bude moment podle teorie druhého řádu ignorován.

Shrnutí

Osa	Podpířený	$L_{z/y}$ [m]	$\beta_{zz/yy}$ [-]	$i_{0z/y}$ [m]	$\lambda_{z/y}$ [-]	$\lambda_{limz/y}$ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y	Ne	2	2	4	27.7	26.5	2. řád
z-z	Ano	2	0.1	0.2	1.39	26.5	1. řád

Excentricita 1. řádu

Excentricita momentu 1. řádu

Moment 1. řádu a excentricita:

$$e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}} = \frac{-45}{-1125} = 0.04 \text{ m (sign}_z=1)$$
$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} = \frac{0}{-1125} = 0 \text{ m (sign}_y=-1)$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y})$$
$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -45 + 0.4 \cdot -45)) \text{abs}(0.4 \cdot -45) = 45 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$M_{0ez} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z})) \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z})$$
$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 0 + 0.4 \cdot 0)) \text{abs}(0.4 \cdot 0) = 0 \text{ kNm} \quad (5.32)$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_z = \text{abs}\left(\frac{45}{-1125}\right) \cdot 1 = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sign}_y = \text{abs}\left(\frac{0}{-1125}\right) \cdot -1 = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Uvažuje se ekvivalentní moment prvního řádu, viz §5.8.8.2(2).

Geometrická imperfekce

$$e_{iy} = 0 \text{ m}$$

$$e_{iz} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Výpočet imperfekce je vypnut uživatelem ($e_i = 0$).

Minimální excentricita

(§6.1(4))

$$e_{0\text{min},z} = 0 \text{ m}$$

$$e_{0\text{min},y} = 0 \text{ m}$$

Poznámka: Minimální excentricita je vypnuta uživatelem.

Excentricita prvního řádu s vlivem imperfekcí

$$e_{0\text{ed},z} = \text{sign}_z \cdot \max(\text{abs}(e_{0z} + e_{iz})) \text{abs}(e_{0\text{min},z}) = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.04 + 0)) \text{abs}(0) = 0.04 \text{ m}$$

$$e_{0\text{ed},y} = \text{sign}_y \cdot \max(\text{abs}(e_{0y} + e_{iy})) \text{abs}(e_{0\text{min},y}) = -1 \cdot \max(\text{abs}(0 + 0)) \text{abs}(0) = 0 \text{ m}$$

Excentricita 2. řádu

Křivost

Poznámka: Křivost bude odhadnuta na základě předpokladu symetrie průřezu i výztuže.

Poloměr setrvačnosti výztuže:

$$i_{sy} = \sqrt{\frac{I_{sz}}{A_s}} = \sqrt{\frac{37.2 \cdot 10^{-6}}{1000 \cdot 10^{-6}}} = 193 \text{ mm}$$

$$i_{sz} = \sqrt{\frac{I_{sy}}{A_s}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{1000 \cdot 10^{-6}}} = 200 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

(§5.8.8.3(2))

$$d_y = b - a_{sy} = 0.5 - 0.05 = 0.45 \text{ m}$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena kolmo k rovině ohybu y - y^\perp .

$$d_z = 0.5 \cdot h + i_{sz} = 0.5 \cdot 0.5 + 0.2 = 0.45 \text{ m} \quad (5.35)$$

Poznámka: Výztuž je rozdělena také rovnoběžně s rovinou ohybu z - z^\perp .

Vyvážená osová síla:

$$n_{\text{bal}} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.104 = 1.1 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení (K_r):

(§5.8.8.3(3))

$$K_r = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{\text{bal}}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.1 - 0.338}{1.1 - 0.4}, 1\right) = 1 \quad (5.36)$$

Součinitel zohledňující dotvarování (K_φ):

(§5.8.8.3(4))

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{20}{200} - \frac{27.75}{150} = 0.265$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{20}{200} - \frac{1.39}{150} = 0.441$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.265 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.441 \cdot 0, 1) = 1 \quad (5.37)$$

Základní křivost ($\chi_0=1/r_0$):

$$\chi_{0y} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{1.74 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.45} = 8.59 \cdot 10^{-3}$$

$$\chi_{0z} = \frac{\epsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{1.74 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.45} = 8.59 \cdot 10^{-3}$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ($\chi=1/r$): (§5.8.8.3(1))

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\phi y} \cdot \chi_{0y} = 1 \cdot 1 \cdot 8.59 \cdot 10^{-3} = 8.59 \cdot 10^{-3} \quad (5.34)$$

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\phi z} \cdot \chi_{0z} = 1 \cdot 1 \cdot 8.59 \cdot 10^{-3} = 8.59 \cdot 10^{-3} \quad (5.34)$$

Součinitel závislý na rozdělení křivosti

$$c_y = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_y je konstantní ($M_{01y}=M_y=M_{02y}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ey} .

$$c_z = 8$$

Poznámka: Moment prvního řádu M_z je konstantní ($M_{01z}=M_z=M_{02z}$) nebo se použije ekvivalentní moment prvního řádu M_{0ez} .

Excentricita druhého řádu včetně zjednodušeného kritéria

$$\lambda_y > \lambda_{limy} = 27.75 > 26.5 \dots \text{účinek 2. řádu} \quad (§5.8.3.1(1))$$

$$e_{2z} = \text{sign}_z \cdot \left(\frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y} \right) = 1 \cdot \left(\frac{8.59 \cdot 10^{-3} \cdot 4^2}{8} \right) = 0.0172 \text{ m} \quad (5.33)$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{limz} = 1.39 \leq 26.5$$

... účinek 1. řádu (§5.8.3.1(1))

$$e_{2y} = 0 \text{ m}$$

Podmínky dvouosého/jednoosého ohybu

(§5.8.9)

Rozměr ekvivalentního obdélníkového průřezu:

$$b_{eq} = i_{cz} \cdot \sqrt{12} = 0.144 \cdot \sqrt{12} = 0.5 \text{ m}$$

$$h_{eq} = i_{cy} \cdot \sqrt{12} = 0.144 \cdot \sqrt{12} = 0.5 \text{ m}$$

Poznámka: Podmínky nelze spočítat (dvouosý ohyb se uvažuje jako výchozí). Imperfekce je nutno zohlednit v obou směrech.

Nepříznivý směr

$$\eta_y = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_y}{h_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0.04 \cdot 27.75}{0.5} \right) = 2497$$

$$\eta_z = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot N_{Ed} \cdot e_{0Ez} \cdot \lambda_z}{b_{eq}} \right) = \text{abs} \left(\frac{0.001 \cdot -1.13 \cdot 10^6 \cdot 0 \cdot 1.39}{0.5} \right) = 0$$

Varování: Uživatel nastavil jednoosý ohyb - nejnepříznivější směr je stanoven jako $y-y^\perp$ (η_y, η_z). Imperfekce je nutno zohlednit pouze v tomto směru.

Účinky a imperfekce druhého řádu

Osa	N_{Ed} [kN]	$M_{0Ez/z}$ [kNm]	$M_{2y/z}$ [kNm]	$M_{Ez/z}$ [kNm]	$e_{0z/y}$ [mm]	$e_{iz/y}$ [mm]	$e_{0min.z/y}$ [mm]	$e_{0Ez/z}$ [mm]	$e_{2z/y}$ [mm]	$e_{Edz/z}$ [mm]
$y-y^\perp$	-1125	-45	-19.4	-64.4	40	0	0	40	17.2	57.2
$z-z^\perp$	-1125	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Návrhové síly (přepočtené)

Typ zatížení	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]
Návrhové síly (přepočtené)	-1125,0	-64,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Studentská verze

2. Vnitřní síly (posudek); MEd

Hodnoty: MEd

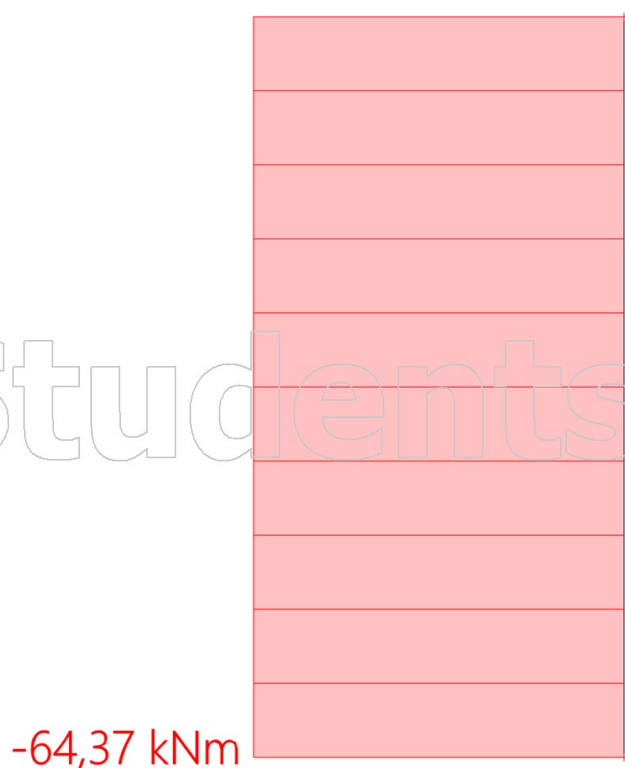
Lineární výpočet

Kombinace: C01-MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše



Studentská verze

