



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

P3. STATICKÝ VÝPOČET

**VLIV SEIZMICKÉHO ZATÍŽENÍ NA CHOVÁNÍ
ŽELEZOBETONOVÉHO RÁMU**

INFLUENCE OF SEISMIC LOAD ON BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE FRAME.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavlína Prekopová

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.

BRNO 2020

Obsah

1.	Úvod	5
2.	Ciele práce	7
3.	Seizmické zaťaženie.....	8
3.1.	Zemetrasenie.....	8
3.1.1.	Všeobecný popis	8
3.1.2.	Základné pojmy	8
3.1.3.	Meranie zemetrasenia	9
3.1.4.	Šírenie zemetrasenia.....	10
3.1.5.	Zdroje zemetrasenia	11
3.1.6.	Vznik zemetrasenia	11
3.1.7.	Oblasti zemetrasenia	12
3.1.8.	Veľkosť a klasifikácia zemetrasenia	13
3.1.9.	Zemetrasenie v ČR	14
3.1.10.	Mapa seizmických zón ČR	15
3.2.	Navrhovanie konštrukcií na seizmicitu podľa európskych noriem	16
3.2.1.	Klasifikácia a kombinácia seizmického zaťaženia	16
3.2.2.	Stanovenie účinkov seizmického zaťaženia na stavebné objekty podľa ČSN EN 1998-1 – Navrhovanie konštrukcií odolných proti zemetraseniu	17
4.	Vyšetrovanie seizmických parametrov ŽB rámu excentrickým stužením s vertikálnymi spojkami [1], [2]	29
4.1.	Úvod	29
4.2.	Výskumný rámec	31
4.3.	Návrh posudzovaného seizmického sanačného (stužiaceho) systému	32
4.4.	Záver	33
5.	Konštrukcia železobetónového rámu.....	34
5.1.	Popis konštrukcie – 3-podlažný rám	34
5.2.	Zaťaženie – 3-podlažný rám	36
5.2.1.	Zaťaženie stále	36
5.2.2.	Zaťaženie úžitné	36
5.3.	Popis konštrukcie – 9-podlažný rám	42

5.4.	Zaťaženie – 9-podlažný rám	45
5.4.1.	Zaťaženie stále	45
5.4.2.	Zaťaženie úžitné	47
6.	Účinky seizmicity	58
6.1.	Seizmické zaťaženie.....	58
6.1.1.	Kombinácia hmôt pre výpočet zotrvačných síl	58
6.1.2.	Modálna analýza vlastných tvarov kmitu pre 3-podlažný rám.....	58
6.1.3.	Modálna analýza vlastných tvarov kmitu pre 9-podlažný rám.....	60
6.1.4.	Spektrálna analýza	63
7.	Kombinácia zaťažení.....	67
7.1.1.	MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu.....	67
7.1.2.	MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu	67
7.1.3.	MSP – charakteristická kombinácia zaťaženia	67
7.1.4.	Prehľad zaťažovacích stavov a kombinačných súčiniteľov	68
7.1.5.	Kombinácia účinkov	68
8.	Výsledky.....	69
8.1.	3-podlažný rám.....	69
8.1.1.	MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu.....	69
8.1.2.	MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – nízka seismicita	70
8.1.3.	MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – vysoká seismicita	72
8.1.4.	Záver.....	73
8.2.	9-podlažný rám.....	73
8.2.1.	MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu.....	73
8.2.2.	MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – nízka seismicita	76
8.2.3.	MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – vysoká seismicita	78
8.2.4.	Záver.....	80
9.	Posúdenie konštrukcie na MSÚ.....	81
9.1.	Posúdenie stĺpov	81

9.1.1.	3-podlažný rám	81
9.1.2.	9- podlažný rám	113
9.2.	Posúdenie priečlí	170
9.2.1.	Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám	170
9.2.2.	Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám	184
9.2.3.	Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám	199
9.2.4.	Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám	205
9.2.5.	Kotvenie výstuže 3-podlažný rám	212
9.2.6.	Kotvenie výstuže – 9-podlažný rám	215
10.	Účinok seizmicity	217
10.1.	Účinok na stĺpy	217
10.1.1.	3-podlažný rám – nízka seizmicita	217
10.1.2.	9-podlažný rám – nízka seizmicita	218
10.1.3.	3-podlažný rám – vysoká seizmicita.....	221
10.1.4.	9-podlažný rám – vysoká seizmicita.....	222
10.2.	Účinok na priečle	225
10.2.1.	3-podlažný rám – nízka seizmicita	225
10.2.2.	9- podlažný rám – nízka seizmicita	226
10.2.3.	3-podlažný rám – vysoká seizmicita.....	227
10.2.4.	9-podlažný rám – vysoká seizmicita.....	228
10.2.5.	Zhrnutie.....	229
11.	Oceľové excentrické stuženie – sanačný seizmický systém	230
11.1.	Požiadavky pre posúdenie prvkov konštrukcie na MSÚ.....	230
11.1.1.	Zvláštne pravidlá pre betónové pozemné stavby	231
11.2.	Analýza stužidla	232
11.2.1.	Geometria excentrického stužidla	232
11.2.1.	Porovnanie	238
12.	Záver.....	240
13.	Literatura	242
14.	Zoznam obrázkou	243
15.	Zoznam tabuliek	247

1. Úvod

Zemetrasenie predstavuje celosvetovo veľmi významné riziko pre obyvateľov aj pre ekonomiku, preto je intenzívne sledované, či už kvôli definovaniu ohrozených oblastí Zeme alebo kvôli zvoleniu správnej metódy bezpečného projektovania a stavania. Česká republika avšak nepatrí do oblasti s častým výskytom zemetrasenia a pri pohľade na seizmickú mapu zistíme, že na väčšine územia sa seizmicita vôbec nemusí posudzovať, výnimkou je posudzovanie stavieb významných pre bezpečnosť obyvateľov (napr. jadrové elektrárne). V oblastiach kde sa vyskytuje najväčšie seizmické ohrozenie (Karviná, Cheb, Ostrava a Frýdecko-Místeko), je však znalosť seizmických účinkov nutnosťou. Väčšinou však konštruktér vystačí so zjednodušenými postupmi výpočtu a dodržaním konštrukčných zásad.

So vstupom Českej republiky do Európskej únie sa otvoril zahraničný trh práce, kde sa stále viac môžeme stretávať s problematikou seizmicity. Základné pravidlá pre navrhovanie konštrukcii odolných proti seizmickému zaťaženiu udáva Eurokód 8. Touto normou stanovenými spôsobmi výpočtu sa zaoberá predkladaná diplomová práca.

Všeobecne je veľmi ťažké odhadnúť kedy, za akých podmienok a v akom smere zemetrasenie uderí. V dnešnej dobe, kedy je vývoj techniky míľovými krokmi napred, môžeme však už veľmi podrobne analyzovať a skúmať pôsobenie seizmického zaťaženia na odolnosti konštrukcie. K dispozícii máme široké spektrum výpočtových programov, v ktorých je zahrnutý modul pre dynamickú analýzu, veľkú škálu nameraných a zaznamenaných časových priebehov zemetrasenia a rôzne metódy pre stanovenie odozvy konštrukcie.

„Ľudia sú vystrašení a vybiehajú von. Nábytok sa posúva, predmety padajú z políc... Objavujú sa trhliny v stenách, padá omietka, priečky sú zrútené, padajú časti komínov...” (Hanžl, 2012). Toto nie je úryvok z románu s apokalyptickým nádychom, ale časť definície VII. stupňa intenzity zemetrasenia zo zjednodušenej makroseizmickej stupnice EMS-98. Stupeň intenzity je jednou z veličín popisujúcich veľkosť zemetrasenia, rovnako ako magnitudo, ktorú je možné poznať v spojení s Richterovou stupnicou.

Už pominuli doby, kedy ľudstvo považovalo prírodné katastrofy za trest zoslaný na zem rozhnevanými bohmi (Zátopek, 1935). Dnes už väčšinou vieme ako procesy v prírode vznikajú, dokážeme ich zachytiť a popísať, avšak nie je možné ich tak jednoducho predvídať. Seizmika je geofyzikálny obor, zaoberajúci sa štúdiom zemetrasenia, ktorý sa utvára od 19. storočia. Na celom svete už existuje sieť meracích staníc, ktoré poskytujú aktuálne informácie o seizmickej aktivite danej oblasti, zachytené na meracích zariadeniach – seizmometroch. Tieto informácie je možné vďaka digitálnej podobe seizmografov zdieľať takmer kdekoľvek na svete.

Diplomová práca sa zaoberá seizmickou analýzou a následným normovým overením dvoch železobetónových rámov. Zadanie rámov vychádza z článku Investigating of seismic parameters of RC frames rehabilitated by eccentrically bracing with vertikál link [1] a Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing [2]. Účelom práce je posúdenie daných ŽB rámov a vytvorenie vhodného oceľového stužidla tak aby bolo zaručené vhodné chovanie celej konštrukcie aj pri seizmickom zaťažení a zároveň aby samotná konštrukcia po stužení splňovala všetky normové požiadavky.

Analýza bude založená na základe softwarového riešenia v dvoch programoch, porovnaním získaných výsledkov a overenie bude prevedené podľa normových podmienok a vzťahov. Práca bude rozdelená na tri časti, ktoré budú na seba navzájom nadväzovať.

Prvá časť sa bude zaoberať teóriou seizmického zaťaženia a oboru seizmiky ako časťou geofyziky. Budú popísané všeobecné poznatky o zemetrasení, základné definície k pochopeniu zemetrasenia a pojmov potrebných k jeho popisu a klasifikácii, spôsoby stanovenia účinkov seizmického zaťaženia na stavebné objekty podľa európskych noriem, charakterizované zdroje zemetrasenia a oblasti s najväčším podielom zemetrasných udalostí.

V druhej hlavnej časti bude prevedený návrh a následné posúdenie seizmicky namáhaných ŽB rámov. Najprv budú predstavené jednotlivé konštrukcie, ktorými sú dva ŽB rámy. Ďalej nasleduje popis modelov, ktoré boli vytvorené pomocou študentskej verzie programu RFEM a SCIA. Pre stanovenie dynamických účinkov je najprv nutné stanoviť charakteristiky vlastného kmitania, ktorými sú vlastné frekvencie, periódy a vlastné čísla. Výpočet modálnej analýzy aj vybraných metód pre stanovenie seizmických účinkov prebehol v prídavnom module RFEM – RD-DYNAM a SCIA – EC-TOOLS. Návrh bude prevedený na základe podmienok stanovených európskymi normami a na základe doporučení vyplývajúcich z výskumov.

V tretej časti bude prevedená analýza, overenie a posúdenie oceľového stužidla. Na základe analýz stuženia bude stanovené odporúčenie a podmienky pre použitie a návrh daného typu stuženia.

2. Ciele práce

Cieľom mojej diplomovej práce je overenie použiteľnosti možných analýz konštrukcii zaťažených seizmicitou odpovedajúcich požiadavkou podľa normy ČSN EN 1998-1 (EC8), prevedenie seizmického výpočtu podľa zvolených metód na vybraných konštrukciách a vyhodnotenie získaných výsledkov.

Vybranými konštrukciami pre zaťaženie seizmicitou sú dva ŽB rámy. Jeden rám má 3 poschodia o výške podlažia 3,5 m a rozpätia jednotlivých polí po 6 metroch pričom rám obsahuje 5 traktov (model 1), druhý rám má 9 podlaží o výške podlažia tak isto 3,5 m a rozpätia 6 metrov pre 5 traktov (model 2). Všetky rozmery konštrukcie, geometria a prierezy, zaťaženie, priemery výstuže, prierezy ocelových prvkov pre stuženie zodpovedajú charakteristikám vychádzajúcimi z článkov [1] a [2].

Na modeloch bude prevedený lineárne pružný výpočet seizmických účinkov pomocou metódy spektier odozvy (spektrálna analýza). Návrhové spektrum odozvy, použité u oboch metód výpočtu, bude stanovené ručne podľa vzťahov uvedených v EC8. Kombinácie seizmických odoziev v rôznych smeroch budú spočítané podľa pravidiel CQC. Porovnávanými veličinami bude okrem napätí na vybraných prútoch taktiež globálna deformácia konštrukcie v dvoch vodorovných smeroch.

Modelovanie konštrukcií a samotné výpočty budú vypracované v prostredí študentskej verzie programu RFEM a SCIA. Tieto softwary pracujú podľa metódy konečných prvkov. Dynamické výpočty aj s úvodnou modálnou analýzou budú prevedené v prídavnom module RF-DYNAM a SCIA EC-TOOLS.

3. Seizmické zaťaženie

3.1. Zemetrasenie

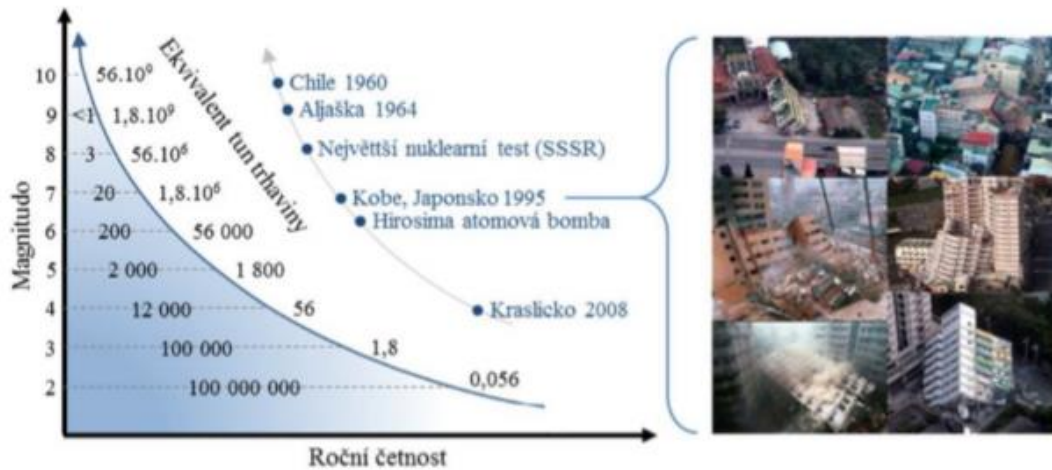
3.1.1. Všeobecný popis

Naša planéta je nehomogénne teleso, namáhané vo svojich rôznych miestach rôznymi silami: od vlastnej gravitácie a gravitácie blízkych nebeských telies, od odstredivej sily, teploty, od dopadajúcich meteoritov aj od ľudskej činnosti (napríklad priťaženie zdržami veľkých priehrad). Tieto sily namáhajú jej povrchové vrstvy (kôru, respektíve vrchnú vrstvu plášťa), ktoré sa môžu rozlomiť do kier, prípadne sa tieto kry na svojom styku po prekročení trenia posunú. Pritom sa uvoľní nahromadená deformačná energia, čo je sprevádzané otrasom. Miesto takejto poruchy sa nazýva hypocentrum a podľa jeho hĺbky sa rozlišujú zemetrasenia plytké (do 10 km), stredné (okolo 25 km) a hlbinné (viacej ako 60 km), nad ním na povrchu je tzv. epicentrum. Zemetrasenie sa na povrchu prejavuje otrasom, ktorý má všeobecne šesť zložiek. Spravidla sa však počíta iba so zložkami translačnými, teda jednou zvislou a dvomi vodorovnými. Časový priebeh otrasu (amplitúdy, frekvencie, trvanie) je zložitý, závislý na charaktere tektonickej poruchy, množstva uvoľnenej energie, vzdialenosti od epicentra, mechanických vlastnostiach prostredia, na prítomnosti odrazových a lomových plôch pozdĺž dráhy šírenia atď. Po silnom otrase môžu na teréne zostať aj trvalé deformácie, prípadne aj poruchy – zvislé či vodorovné posuny pozdĺž novo vzniknutých klzných plôch. Pokiaľ silný otras zasiahne dno plytkého mora, môže vytvoriť prílivovú vlnu – tsunami.

3.1.2. Základné pojmy

- *Ohnisko zemetrasenia* :
 - priestor, v ktorom vzniká zemetrasenie,
 - jeho dĺžka môže dosahovať až niekoľko sto kilometrov,
 - v ohniskovej oblasti dochádza k nevratným deformáciám zemského telesa,
 - od tohto procesu sa zemetrasenie šíri zemským telesom seizmickými vlnami.
- *Hypocentrum* :
 - bod, ktorým sa nahradzuje ohnisko zemetrasenia (ťažisko ohniska),
- *Epicentrum* :
 - bod na zemskom povrchu zvisle nad hypocentrom,
- *Hĺbka ohniska* :
 - vzdialenosť medzi hypocentrom a epicentrom,
- *Seizmická energia* :
 - energia šíriaca sa od ohniska seizmickými vlnami,
 - určená na základe hustoty toku energie seizmických kmitov,

- *Magnitudo* :
 - bezrozmerná veličina udávajúca mieru seizmickej energie,
 - amplitúda maximálnych posunutí na zemskom povrchu.

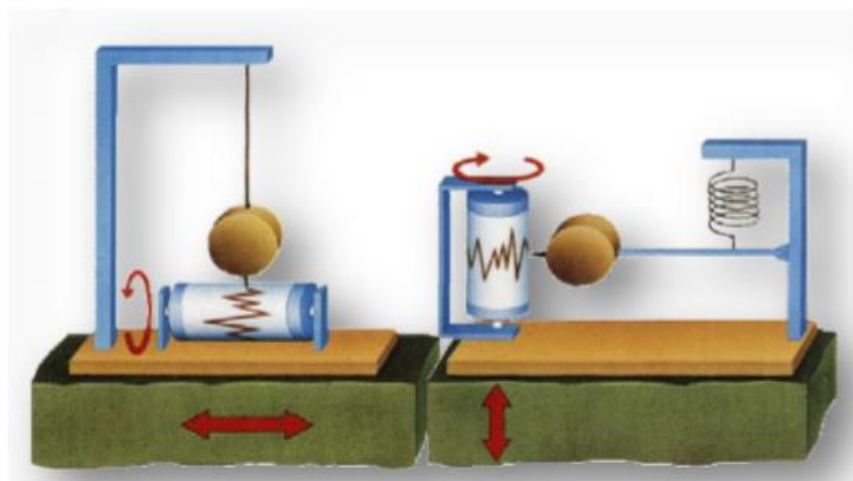


Obr. 3.1-1 Magnitúdo [6]

- *Intenzita zemetrasenia* :
 - miera veľkosti pozorovateľných dopadov na skúmané miesto,
 - závislá vzdialenosť od epicentra,
 - zaradená do niekoľko skupín podľa rozsahu škôd (podrobne vid'. 3.1.8).

3.1.3. Meranie zemetrasenia

- *Seizmometer (seizmograf)*:
 - zaznamenáva pohyby pôdy,
 - môže byť jednozložkový (zaznamenáva pohyb pôdy vo vertikálnom smere) alebo dnes už najčastejšie trojzložkový (záznam vo vertikálnom smere a v dvoch horizontálnych smeroch – prináša úplnú informáciu o pohybe pôdy),
 - tvorí ho upravené horizontálne a vertikálne kyvadlo využívajúce princíp zotrvačnej hmoty,
 - hmota je umiestnená tak, aby bola vzhľadom k zemi čo najviac pohyblivá (vid'. Obr. 3.1-2),
 - pri chvení sa kmity prenášajú na registračný papier – seizmograf,
 - tieto prístroje sú v dnešnej dobe už elektronické, seizmológovia na počítači môžu pozorovať chvenie na druhej strane planéty,
 - môžeme sledovať hneď niekoľko veličín - premiestnenie, rýchlosť a zrýchlenie zemského povrchu.



Obr. 3.1-2 Princíp seizmometra [7]

- **Seizmogram:**
 - záznam časového priebehu pohybu pôdy vypísaný seizmometrom,
 - napríklad záznam rýchlosti pohybu pôdy, záznam absolútneho zrýchlenia,
 - príklad je uvedený na Obr. 3.1-3 – najprv sú registrované pozdĺžne vlny (P-vlny), ďalej nasledujú priečne vlny (S-vlny), ako posledné dorazia vlny povrchové, tie spôsobujú maximálny rozkmit (amplitúdu) seizmometru.
- **Akcelometer:**
 - prístroj pre meranie a záznam absolútneho zrýchlenia v čase (akceleroqramu),
 - jedná sa o typ seizmometru.
- **Akceleroqram:**
 - Je časový priebeh zrýchlenia (napríklad pohybu podložia).

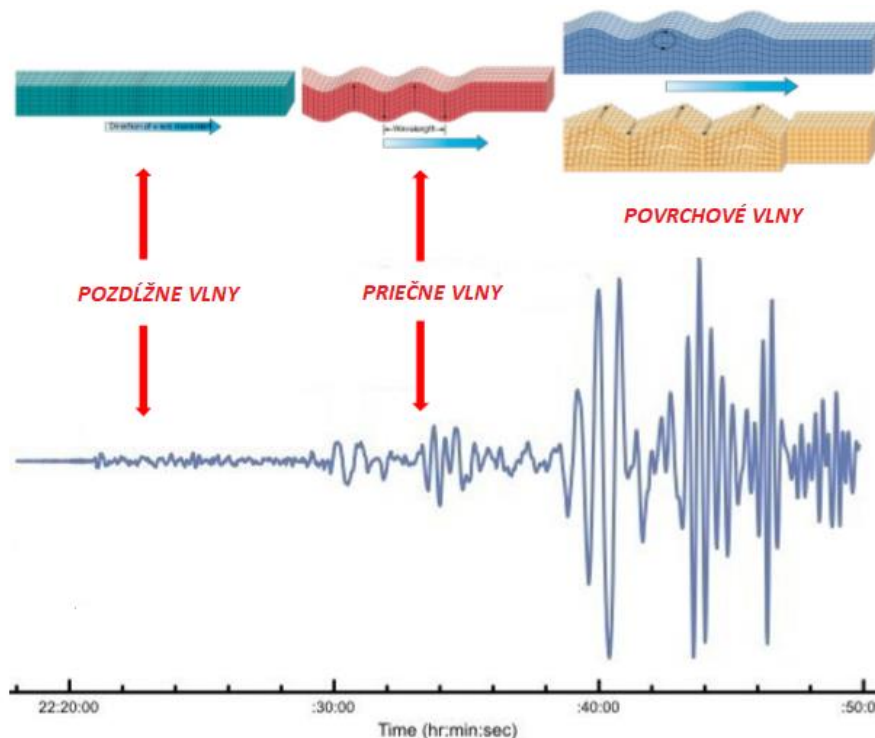
3.1.4. Šírenie zemetrasenia

Zemetrasenie sa šíri zemským povrchom pomocou tzv. seizmických vln, ktoré vyvolávajú pohyb častíc pružného podložia (pružné podložie popísané modulom pružnosti a Poissonovým číslom), kde je energia prenášaná medzi jednotlivými časticami.

V priebehu zemetrasenia postupne dochádza k niekoľkým nasledujúcim typom vln:

- **Objemové vlny** – šíriace sa zemským povrchom
 - pozdĺžne vlny – častice kmitajúce zhodne so smerom šírenia vlny, periodické stlačovanie a roztahovanie hmoty, šíria sa v akomkoľvek prostredí, sú najrýchlejším typom vln,
 - priečne vlny – častice kmitajú kolmo na smer šírenia vlny vo vertikálnom aj horizontálnom smere, šíria sa iba v tuhom (pružnom) prostredí.
- **Povrchové vlny** – na rozhraní zemského povrchu a vzduchu
 - Rayleighove vlny – častice kmitajú kolmo na smer vlnenia vo vertikálnej rovine, pohybujú sa po eliptickej trajektórii,

- Lovehove vlny – častice kmitajú kolmo na smer vlnenia v horizontálnej rovine, predstavujú maximálne riziko.



Obr. 3.1-3 – Seizmograf s priebehom a tvarom jednotlivých pôsobiacich vln [8]

3.1.5. Zdroje zemetrasenia

- *Prírodná seizmicita :*

- vzniká bez zásahu človeka a má krátkodobé účinky
- jej vznik aj priebeh je neovplyvniteľný
- frekvencia 0,5 – 10 Hz

- *Technická seizmicita :*

- vzniká výhradne ľudskou činnosťou alebo v dôsledku ľudskej činnosti a môže mať aj ustálený charakter (napríklad poddolované územie, výbuchy, doprava, pád ťažkých hmôt)
- účinky sa prejavujú iba v blízkom okolí ohniska zemetrasenia

3.1.6. Vznik zemetrasenia

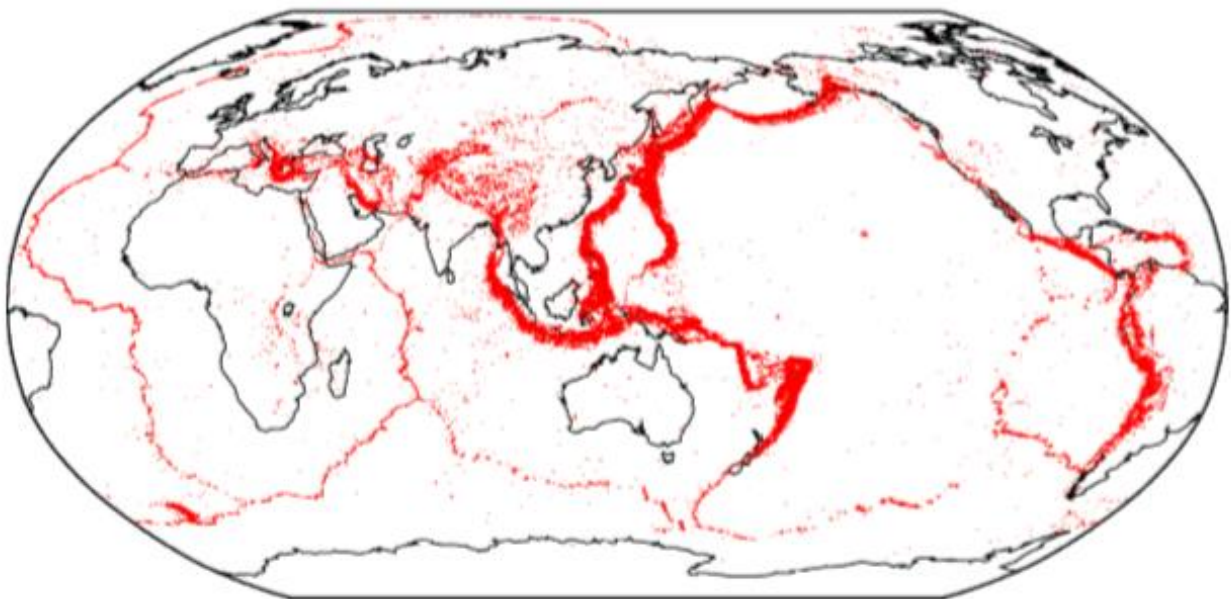
- Zemetrasenie vzniká náhlým uvoľnením nahromadenej energie, táto energia pochádza z rôznych zdrojov podľa nich sa zemetrasenie delí na niekoľko druhov
 - Zemetrasenie závalové
- vzniká pri uvoľnení kinetickej energie, ktorá sa vytvorila dopadom zrútenej hmoty (napríklad prepád stropov krasových alebo poddolovaných území)
- iba lokálne účinky
 - Zemetrasenie sopečné

- vzniká pri uvoľnení energie pri sopečnom výbuchu
- ohnisko leží niekoľko málo kilometrov pod povrchom zeme
- účinky sú iba na bezprostredné okolie krátera sopky
 - Zemetrasenie tektonické
- vzniká pri uvoľnení deformačnej energie, ktorá sa nahromadila v zemnom telese v mieste, kde bolo bránené vzájomnému posunu susedných zemských (tektonických) platní, medzi ktorými došlo k pohybu
- hypocentrum v hĺbke až 750 km pod povrchom zeme
- postihnuté oblasti o rozlohe až stoviek km²
- najničivejší a najčastejší typ zemetrasenia, pri ktorom dochádza často ku stratám na životoch (tvorí až 90% všetkých zemetrasení)

3.1.7. Oblasti zemetrasenia

Zemetrasné udalosti sa koncentrujú predovšetkým v okolí rozhrania zemských litosferických dosiek a k najväčším účinkom zemetrasenia dochádza najmä na pobreží Tichého oceána (najhoršie následky sú zaznamenané hlavne v Japonsku a Indonézii).

V Európe dochádza k zemetrasnej činnosti výnimočne v okolí Stredozemného mora. V Českej republike iba k slabým zemetrasným udalostiam v oblastiach doposiaľ živých tektonických zón a v oblastiach s husto poddolovaným územím.



Obr. 3.1-4 – Mapa zemetrasných oblastí [9]

3.1.8. Veľkosť a klasifikácia zemetrasenia

- *Magnitúdo :*
 - objektívne určená veľkosť zemetrasenia závislá na uvoľnenej energii v ohnisku,
 - určuje sa z maximálnej výchylky (amplitúdy) na seizmografe,
 - pre popis veľkosti zemetrasenia sa používa niekoľko stupníc, kde najznámejšou magnitúdovou stupnicou je Richterova stupnica (viď. nasledujúca tabuľka Tab. 3.1-1).

Magnitúdo	Následky
1,2	Ľudia necítia, je možné zmerať prístrojmi
3	Najmenšia rozpoznateľná hodnota, bez poškodenia
4	Slabé zemetrasenie
5	Slabé poškodenie budov blízko epicentra
6	Vážne poškodenie zle postavených budov
7	Veľké poškodenie budov
8 a viac	Takmer úplne zničenie

Tab. 3.1-1 – Richterova stupnica

- *Intenzita zemetrasenia:*
 - subjektívne určená na základe makroseizmických účinkov zemetrasenia – rôzne stupne poškodenia stavieb, praskliny v povrchu, zosuvy a poklesy terénu, a pod.,
 - veľkosť odlišná v každom mieste pozorovania (klesajúca od epicentra),
 - existuje niekoľko stupníc popisujúcich intenzitu, kde súčasne najpoužívanejšia je EMS-98 (Európska makroseizmická stupnica [10]).

Stupeň	Označenie	Zrýchlenie [mm/s ²]	Popis
I.	Nepozorovateľné	Do 2,5	Človek nerozpozná, iba prístroje
II.	Veľmi slabé	2,5 – 6	Rozpoznateľné v horných poschodiach budov citlivými ľuďmi
III.	Slabé	5 – 10	Vibrácie, lustre sa pohybujú, zrovnateľné s vibráciami spôsobenými prechádzajúcimi ťažkými nákladnými automobilmi
IV.	Mierne	10 – 25	Drnčanie okien, cingot príborov a riadu, múry vydávajú praskavé zvuky
V.	Málo silné	25 – 50	Je možné rozpoznať v krajine, zobúdzajú spiacich, praskanie okien, kyvadlové hodiny sa môžu zastaviť
VI.	Silné	50 – 100	Vrávoranie pri chôdzi, padajú predmety, rozbíja sa riad, praskliny v omietke
VII.	Veľmi silné	100 – 250	Je len veľmi obtiažne možné stáť, zvony zvonajú, trhliny v múroch
VIII.	Deštruktívne	250 – 500	Padajú komíny, poškodenie budov, pohybujúci sa ťažký nábytok
IX.	Pustošiacie	500 – 1000	Panika, vážne poškodenie domov, väčšie trhliny v pôde
X.	Ničivé	1000 – 2500	Zničené budovy, porušenie priehrad, veľké trhliny v pôde
XI.	Katastrofické	2500 – 5000	Roztrhnutie koľají a potrubí, zničené mosty, pozorovateľné zmeny terénu
XII.	Globálne	Cez 5000	Úplné zničenie, rozsiahle terénne zmeny

Tab. 3.1-2 – EMS – 98 (Európska makroseizmická stupnica)

3.1.9. Zemetrasenie v ČR

Česká republika nemá pod sebou významné tektonické zlomy, takže bola dlho ušetrená katastrofálnym zemetraseniami, avšak s jeho možným výskytom sa v projektových normách počíta pol storočia. Otrasy, ktoré sa čas od času vyskytnú v ČR pochádzajú vo východnej časti zo zlomov z oblasti Karpát, v západnej časti z oblasti Álp. Podrobná Mapa seizmických oblastí na území ČSSR bola publikovaná už v norme z roku 1973. Informácie o seizmickej oblasti existovali avšak už skôr. Pristúpilo sa k definovaniu seizmických zón, k pravdepodobnostnému vyjadreniu výskytu zemetrasenia a k objektivizácii údajov:

- od stupníc intenzity zemetrasenia založených na viditeľných poškodeniach budov a terénu (stupnica M.C.S. – Mercalli-Cancani-Sieberg, 1931) sa prechádza na množstvo uvoľnenej energie pri otrose (Richterova stupnica, Magnitudo),

- pri posudzovaní seizmickej bezpečnosti stavieb sa vychádza z časového priebehu otrasov a dosahovania maximálnej hodnoty zrýchlenia, z jeho frekvenčnej skladby a z pravdepodobnosti výskytu,
- rešpektuje sa aj korelácia s geofyzikálnym utváraním terénu a podložia.

3.1.10. Mapa seizmických zón ČR

Mapa seizmických zón je uvedená v Národnej prílohe k Eurokódu 8 (Obr. 3.1-5). V norme sú pri nej vypísané ohrozené okresy podľa veľkosti referenčného špičkového zrýchlenia podložia (ktoré sa v návrhu konkrétnej stavby násobia súčiniteľom významu stavby a súčiniteľom podložia). V sporných prípadoch o jeho veľkosti rozhoduje „odborné geofyzikálne pracovisko“. Maximálne podrobný seizmický návrh bol aj v ČR prevedený v súvislosti s výstavbou jadrových elektrární a so spoločenským tlakom na ich bezpečnosť. Tie sa však posudzujú na silnejšie zemetrasenie (zemetrasenie s významne menšou pravdepodobnosťou výskytu, s dlhšou dobou návratu – napríklad 2000 rokov namiesto 475 rokov použitých pre EC8), a Eurokód pre nich neplatí. Situácie v seizmicky ohrozenom území ČR podľa tejto mapy je možné zhrnúť takto:

- oblasti so seizmicitou väčšou než malou, v ktorých je návrhové zrýchlenie väčšie ako 0,08 g a kde by sa teda malo počítať podľa tejto normy, zahŕňa 10 okresov (Ostrava, Náchod, Tachov atď.),
- oblasti s malou seizmicitou, so zrýchlením 0,04 až 0,08 g a kde je možné seizmicitu riešiť zjednodušene, zasahujú 30 ďalších okresov podľa zoznamu, ktorý je uvedený v Národnej prílohe k ČSN EN 1998-1,
- na zvyšku územia ČR, asi na 50% územia, vrátane Prahy, Brna, Olomouce, sa seizmicita v normálnych prípadoch neuvažuje,



Obr. 3.1-5 - Mapa seizmických oblastí ČR [11]

3.2. Navrhovanie konštrukcií na seizmicitu podľa európskych noriem

Seizmické zaťaženie predstavuje budenie vynútený pohybom (kinematické budenie), vnášané do konštrukcie z podložia cez jej základy. Úloha je riešiteľná, pokiaľ je daný pohyb základov ako funkcia času. Niektorou z metód elementárnej stavebnej dynamiky [3] je možné určiť pohyb a odpovedajúce namáhanie konštrukcie, alebo sa určí iba pohyb a jeho zrýchlenie, ktoré po vynásobení hmotou príslušnej časti konštrukcie dá zotrvačnú silu, teda náhradnú statickú seizmickú silu. Z týchto seizmických síl sa potom určí namáhanie konštrukcie obvyklým statickým (kvazistatickým) riešením. Tento druhý spôsob bol v minulosti výhradne používaný a je dodnes v seizmických normách (vrátane EC8) zachovaný pre jednoduché prípady. Seizmické sily majú smer uvažovaného budiaceho zrýchlenia, teda buďto zvislý, alebo vybraný smer vo vodorovnej rovine. Komplikácia nastáva, ak ide o konštrukciu, ktorá nie je budená ako celok, napríklad budova pôdorysne rozľahlá s pätkami vzájomne vzdialenými. Potom je nutné buďto presnejšie riešenie konštrukcie – ako celku, z ktorej každá podpora je budená iným pohybom, alebo naopak prijať vhodný zjednodušujúci predpoklad, napríklad rozumnú superpozíciu. Iná komplikácia nastáva ak rešpektujeme skutočnosť, že otras je náhodný proces. Nie je teda popísaný jednou, tzv. deterministickou funkciou, ktorá istej časovej súradnici priraduje jednu veľkosť výchylky (prípadne zrýchlenia), ale iba pravdepodobnosť, že výchylka bude v určitom intervale. Aj v tomto prípade je riešenie v zásade možné, ale metódami stochastickej mechaniky a v pravdepodobnostných pojmoch (priemerná hodnota, rozptyl a pod.) [4]. Tento prístup, ktorý sa uplatňuje v pokročilej regulačnej, leteckej a raketovej mechanike, na svoje uplatnenie v seizmickom inžinierstve ešte iba čaká.

3.2.1. Klasifikácia a kombinácia seizmického zaťaženia

- podľa normy ČSN EN 1990 – Zásady navrhovania konštrukcií [12]
- seizmické zaťaženie je označované ako A_E a jeho návrhová hodnota sa vypočíta ako:

$$A_{Ed} = \gamma_1 \cdot A_{Ek}; \quad (3.01)$$
 kde γ_1 je súčiniteľ významu stavebného objektu a A_{Ek} je charakteristická hodnota seizmického zaťaženia (podrobne uvedené a rozpísané nižšie)
- zaťaženie seizmicitou je uvažované ako samostatná návrhová situácia zahrňujúca výnimočné podmienky, ktorým je konštrukcia vystavená behom seizmickej aktivity
- v závislosti na umiestnení stavby je možné uvažovať seizmické zaťaženie ako premenné alebo mimoriadne
- seizmické zaťaženie je uvažované iba v *medznom stave únosnosti*, ktorý je posudzovaný *na kombináciu pre seizmickú návrhovú situáciu* podľa rovnice 6.12b:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + S + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.02)$$

3.2.2. Stanovenie účinkov seizmického zaťaženia na stavebné objekty podľa ČSN EN 1998-1 – Navrhovanie konštrukcií odolných proti zemetraseniu

3.2.2.1. Základné termíny a ustanovenia pre prácu s normou

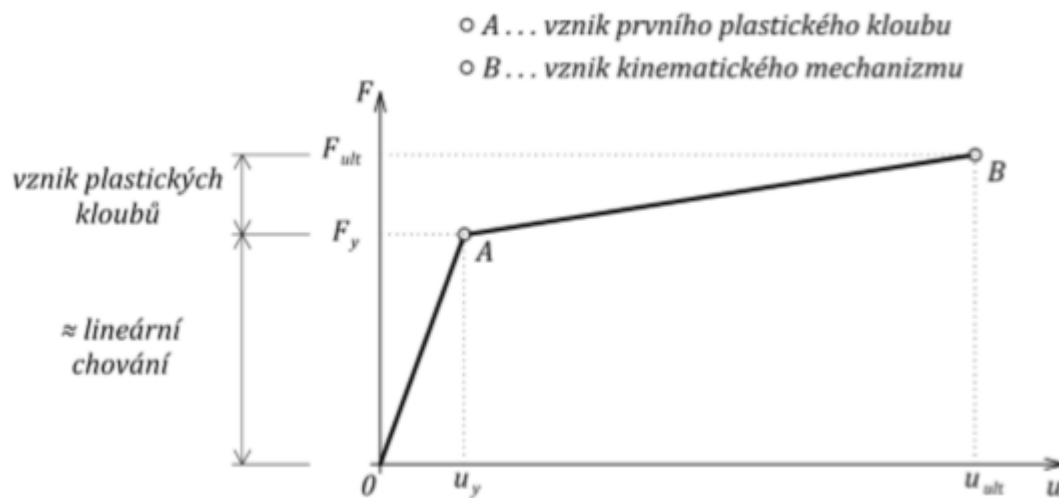
Norma ČSN EN 1998 [5] sa vzťahuje na navrhovanie a realizáciu pozemných a inžinierskych stavieb v seizmických oblastiach. Ich účelom je zaistiť aby v prípade zemetrasenia:

- boli uchránené ľudské životy,
- boli obmedzené škody,
- konštrukcie dôležité pre ochranu obyvateľov zostali schopné prevádzky.

Náhodná povaha zemetrasení a nedostatok podkladov pre určenie jeho následkov spôsobuje, že tieto ciele nemôžu byť splnené úplne celkom, ale je možné ich dosiahnuť iba s určitou pravdepodobnosťou.

Pravdepodobnosť je daná prekročením určitej úrovne seizmického zaťaženia za špecifickú dobu a je odlišná pre rôzne oblasti.

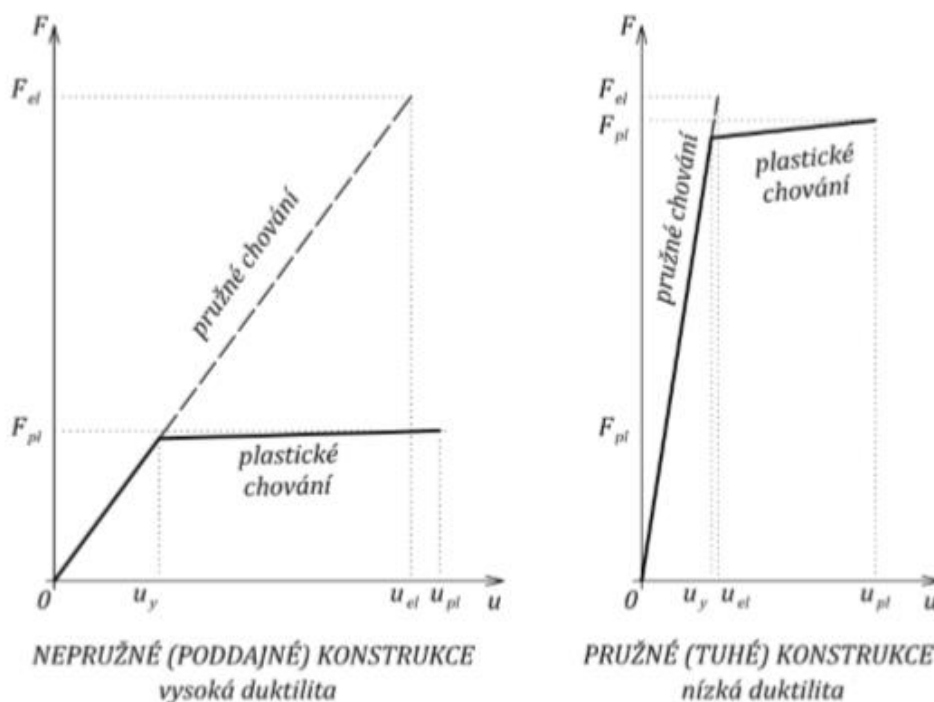
- *Duktilita konštrukcie* :
 - schopnosť konštrukcie ako celku prenášať zaťaženie a pohlcovať energiu v postelastickom stave (oblasť prekročenia medze klzu), pokiaľ je vystavená cyklickým deformáciám behom zemetrasenia
 - závisí na materiáloch, prierezoch, prvkoch, konštrukčných detailoch, konštrukcii
 - pomer maximálneho posunutia (napríklad vo vrcholy budovy) u_{ult} pri vzniku kinematického mechanizmu k hodnote posunutia pri vzniku prvého plastického kĺbu u_y
 - v závislosti na pôsobení konštrukcie rozlišujeme 3 triedy duktility:
 - L (malá duktilita),
 - M (stredná duktilita),
 - H (veľká duktilita).



Obr. 3.2-1 – Duktilita konštrukcie

- *Súčiniteľ duktility* - označenie: q
 - súčiniteľ používaný pri navrhovaní konštrukcií, ktorý vychádza z duktility,
 - faktor umožňujúci zníženie síl vypočítaných z lineárneho výpočtu, tak aby bolo zohľadnené nelineárne chovanie konštrukcie ovplyvnené materiálom, nosným systémom a spôsobom navrhovania,
 - zahrňuje aj vplyv viskózneho stlmenia odlišného od štandardnej hodnoty 5%.

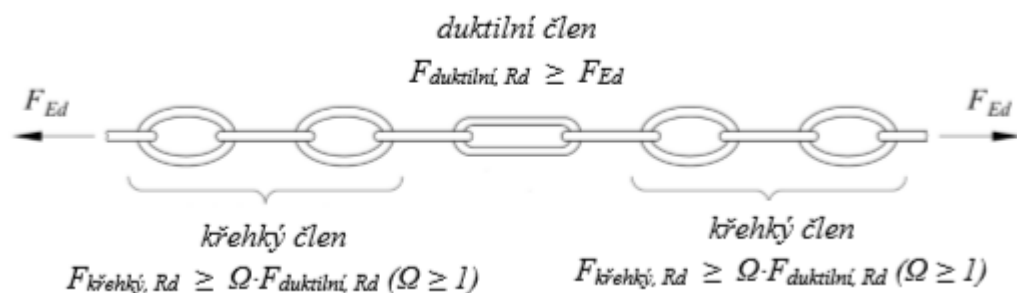
$$q = \frac{u_{el}}{u_y} = \frac{F_{el}}{F_{pl}} \rightarrow F_{pl} \approx \frac{F_{el}}{q} \quad F_{pl} \approx F_{el} \quad (3.03)$$



Obr. 3.2-2 – Zjednodušená schéma duktilného chovania konštrukcie

- *Návrh na kapacitu:*

- metóda navrhovania, kedy niektoré prvky nosného systému sú zvolené a navrhnuté tak, aby pri veľkých deformáciách rozptyľovali energiu a ostatné nosné prvky majú pritom dostatočnú pevnosť,
- najprv dochádza k porušeniu v duktilnom tvare (napríklad ohyb nosníka) a následne k porušeniu v krehkom tvare (napríklad kolaps v zvarovanom styku) – krehké prvky musia byť navrhnuté tak, aby vydržali (viacej ako) plnú kapacitu duktilných.



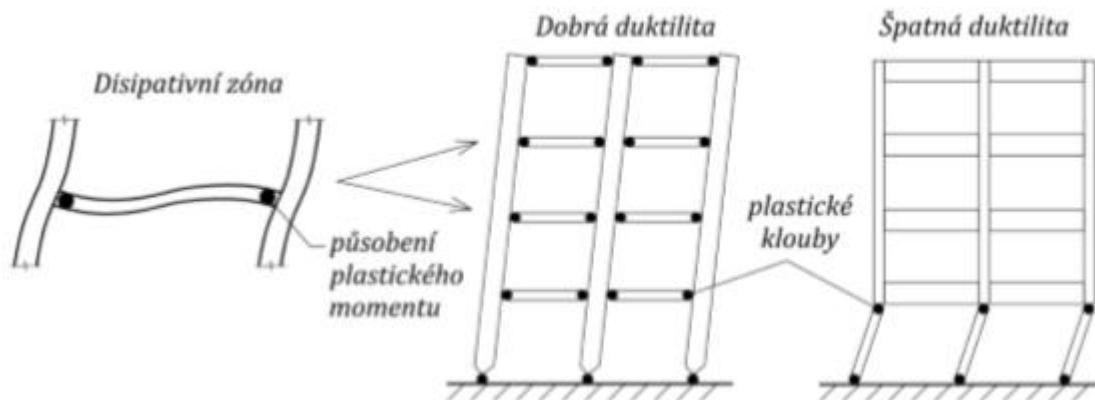
Obr. 3.2-3 – Princíp návrhu na kapacitu

- *Disipatívna konštrukcia :*

- konštrukcia schopná rozptyľovať energiu tým, že sa plasticky deformuje alebo ju rozptyľuje inými prostriedkami.

- *Disipatívne zóny :*

- predom určené časti konštrukcie, v ktorých dôjde k rozptýleniu energie vďaka plastifikácii materiálu (vznikajú plastické kĺby).



Obr. 3.2-4 – Disipácia konštrukcie

- *Nedisipatívna konštrukcia :*

- konštrukcia u ktorej sa neuvažuje s nelineárnym správaním materiálu pri návrhovej seizmickej situácii.

- *Súčiniteľ navýšenia pevnosti :*

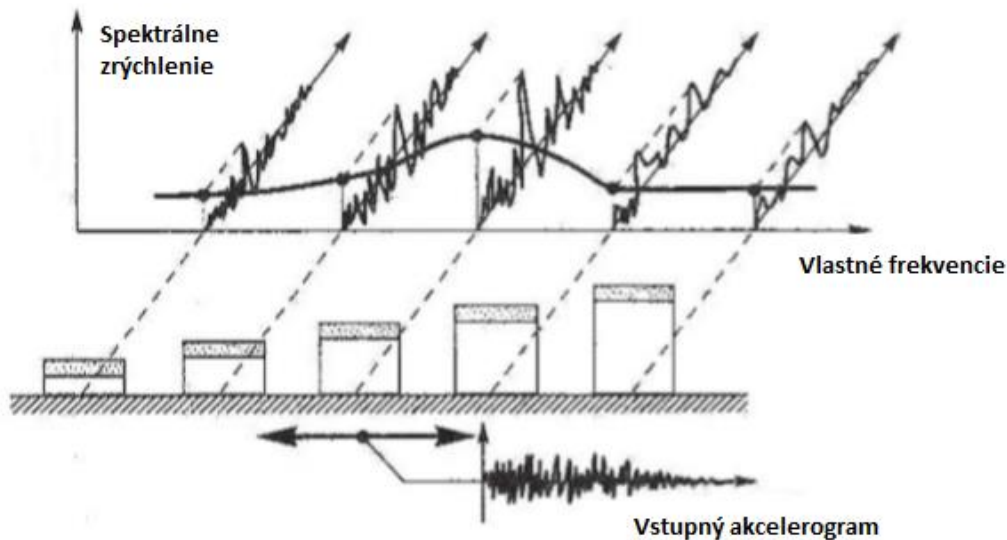
- označenie α_u / α_1 ,
- súčiniteľ zohľadňuje správanie objektu po vzniku prvého plastického kĺbu,
- určený podľa typu konštrukcie alebo na základe nelineárnej statickej analýzy.

- *Súčiniteľ významu* :
 - označenie γ_1 ,
 - súčiniteľ vzťahujúci sa k následkom porušenie konštrukcie,
 - je charakteristickou hodnotou triedy významu.
- *Trieda významu* :
 - triedy zohľadňujúce rôznu úroveň spoľahlivostí konštrukcií, ktorá je stanovená na základe následkov zrútenia na ľudský život, na dôležitosti pre verejnú bezpečnosť a na spoločenský a ekonomický následok zrútenia.

γ_1	Trieda významu	Pozemné stavby
0,8	I	Pozemné stavby s menším významom pre verejnú bezpečnosť, napríklad poľnohospodárske stavby atď.
1,0	II	Obvyklé pozemné stavby, nepatriace do ostatných kategórií
1,2	III	Pozemné stavby, ktorých seizmická odolnosť je dôležitá z hľadiska následkov spojených s ich zrútením, napríklad školy, spoločenské haly, kultúrne inštitúcie atď.
1,4	IV	Pozemné stavby, ktorých neporušenosť behom zemetrasenia je životne dôležitá pre ochranu občanov, napríklad nemocnice, hasičské stanice, elektrárne atď.

Tab. 3.2-1 – Definícia súčiniteľa a triedy významu

- *Spektrum odozvy* :
 - graf maxím odozvy konštrukcie na zadanú funkciu budenia,
 - závislé na vlastných tvaroch (vlastných frekvenciách/periódy kmitania) konštrukcie,
 - jednorazové extrémny (posunu, rýchlosti, zrýchlenia), ktoré sa na konštrukcií môžu vyskytnúť behom zemetrasenia.



Obr. 3.2-5 – Príklad spektra odozvy

3.2.2.2. Popis a vyjadrenie seizmického zaťaženia

Seizmické zaťaženie pôsobí na styku konštrukcie s geologickým povrchom, má značne náhodný charakter a zároveň sa jedná o zaťaženie s nelineárnym priebehom budenia. Práve kvôli týmto ťažko opísateľným charakteristikám bolo vytvorené niekoľko optimalizovaných kategórií a grafov popisujúcich seizmické zaťaženie.

- *Typy základových pôd :*
 - rozdelené podľa typu zeminy (stratigrafického profilu)
 - charakterizované týmito parametrami :
 - priemernou rýchlosťou šmykových vln šíriacich sa zeminou $v_{s,30}$,
 - počtom úderov pri penetračnej skúške N_{SPT} ,
 - súdržnosťou zeminu c_u .

Typ	Popis typu zeminy	Parametre		
		$V_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT} [počet]	c_u [kPa]
A	Skalný horninový masív, mäkké nadložie o hrúbke max. 5 m	> 800	-	-
B	Sedimenty veľmi usadlého piesku, štrku alebo tuhého ílu o hrúbke aspoň niekoľko desiatok metrov	360-800	> 50	> 250
C	Hrubé sedimenty stredne usadlého piesku, štrku alebo tuhého ílu o hrúbke niekoľko desiatok až stoviek metrov	180-360	15-50	70-250
D	Sedimenty z kyprých a stredne usadlých nesúdržných zemín alebo prevažne mäkkých a pevných súdržných zemín	< 180	< 15	< 70
E	Povrchové aluviálne vrstvy s hodnotami v_s podľa C,D a o hrúbke 5-20 m na tuhšom podklade s $v_s > 800$ m/s			
S1	Sedimenty zostavené z ílov alebo siltov s veľkým obsahom vody, o hrúbke najmenej 10 m	< 100	-	10-20
S2	Sedimenty zo zemín náchylných k stekuteniu			

Tab. 3.2-2 – Charakteristika typov základových pôd

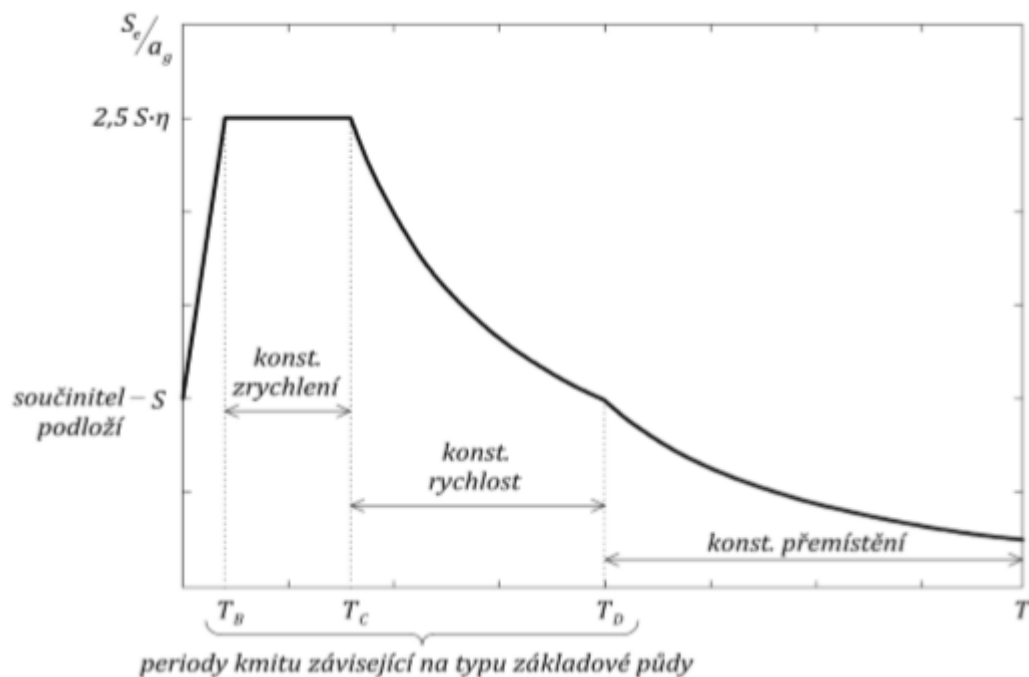
- *Seizmické oblasti :*

- určené podľa stupňa ohrozenia, ktorý je popísaný parametrom referenčného špičkového zrýchlenia a_{gR} pre podložie typu A,
- referenčné špičkové zrýchlenie podložia odpovedá referenčnej dobe návratu T_{NCR} (referenčná pravdepodobnosť prekročenia za dobu 50 rokov P_{NCR}) seizmického zaťaženia príslušného požiadavku vylúčenia zrútenia, tejto referenčnej dobe je priradený súčiniteľ významu 1,0,
- pre iné ako referenčné doby návratu (podľa triedy významu konštrukcie) je návrhové zrýchlenie určené podľa vzorca :

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} \quad (3.04)$$
- seizmické oblasti sú určené podľa národnej prílohy pre každý štát jednotlivo (pre Českú republiku vid'. Obr. 3.1-5).

- *Spektrum pružnej odozvy :*

- reprezentuje pohyb povrchu pri zemetrasení v danom bode,
- popisuje pohyb vo vodorovnom aj zvislom smere pre základnú hodnotu tlmenia konštrukcie 5%,
- pre tri zložky seizmického zaťaženia je možné použiť jeden alebo viacej typov spektier odozvy podľa zdroja a magnitúdy zemetrasenia,
- vodorovné seizmické zaťaženie je popísané dvoma kolmými nezávislými zložkami s rovnakým spektrom odozvy.



Obr. 3.2-6 – Tvar spektra pružnej odozvy

▪ **Spektrum pružnej odozvy pre vodorovné zložky seizmického zaťaženia $S_e(T)$**

- je definované týmito spôsobmi :

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (3.05)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (3.06)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (3.07)$$

$$T_D \leq T \leq 4s: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (3.08)$$

kde je

$S_e(T)$ spektrum pružnej odozvy

T perióda vlastných kmitov lineárnej jednostupňovej sústavy

a_g návrhové zrýchlenie podložia typu A

T_B najmenšia perióda kmitov, ktorej prislúcha konštantná hodnota spektra pružného zrýchlenia

T_C najväčšia perióda kmitov, ktorej prislúcha konštantná hodnota spektra pružného zrýchlenia

T_D doba kmitov, pri ktorej začína obor konštantnej hodnoty spektra pružného posunu

S súčiniteľ podložia

η korekčný súčiniteľ útlmu, $\eta = 1$ pre pomerný viskózný útlm 5%

▪ **Spektrum pružnej odozvy pre zvislú zložku seizmického zaťaženia $S_{ve}(T)$**

- je definované týmito spôsobmi :

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \quad (3.09)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \quad (3.10)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (3.11)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (3.12)$$

- parametre $S, T_B, T_C, T_D, a_{vg} / a_g$ potrebné pre výpočet spektier odozvy sú uvedené v národnej prílohe EC8 a sú závislé na type zeminy
- v ČR sa používajú dva typy spektier, ktorých voľba je závislá na magnitúde povrchových vln – jednotlivé oblasti doporučené v norme
- **Návrhové spektrum pre výpočet v pružnej oblasti :**
 - vďaka disipatívnym schopnostiam (pôsobenie v nelineárnej oblasti) nosných konštrukcií je možné znížiť účinky lineárne pružnej odozvy zemetrasenia
 - redukcia účinkov spektra pružnej odozvy je prevedená vďaka súčiniteľu duktility (viď. vyššie), ktorého hodnoty sú uvedené v EC8 a sú závislé na type usporiadania konštrukcie

▪ **Návrhové spektrum pre vodorovné zložky seizmického zaťaženia :**

- je definované týmito spôsobmi :

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (3.14)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.15)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.16)$$

kde je

$S_d(T)$ návrhové spektrum

q súčiniteľ duktility

β spodná medza súčiniteľa pre vodorovné návrhové spektrum

▪ **Návrhové spektrum pre zvislú zložku seizmického zaťaženia :**

- je definované týmito spôsobmi :

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.17)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (3.18)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = \begin{cases} a_{vg} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.19)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) = \begin{cases} a_{vg} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.20)$$

- pre zvislú zložku seizmického zaťaženia je možné obvykle použiť súčiniteľ duktility $q = 1,5$ pre všetky materiály a nosné systémy

• **Iné vyjadrenie seizmického zaťaženia :**

- seizmický pohyb môže byť popísaný časovým priebehom zrýchlenia podložia (akceleroqram) a s ním súvisiacimi veličinami (rýchlosť a posun)
- pri priestorovom modeli by mal byť seizmický pohyb zložený z troch súčasne pôsobiach akceleroqramov, pôsobiach v troch kolmých smeroch
- rozoznávame akceleroqramy :
 - umelé – odpovedajúce spektru pružnej odozvy
 - skutočné alebo simulované – záznam skutočného zemetrasenia alebo numerickou simuláciou zdroja a trasy šírenia

• **Kombinácia seizmického zaťaženia pre výpočet zotrvačných hmôt :**

- zotrvačné účinky návrhového seizmického zaťaženia je potrebné počítať s ohľadom na prítomnosť hmôt pôsobiach súčasne s vlastnou tiažou
- výsledná kombinácia pôsobiach hmôt pre výpočet vlastných tvarov kmitu vychádza zo vzorca :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.21)$$

- súčiniteľ kombinácie $\psi_{E,i}$ zohľadňuje pravdepodobnosť, že sa zaťaženie $Q_{k,i}$ nevyskytuje behom zemetrasenia súčasne na celej konštrukcii a taktiež berie v úvahu možnú zmenšenú činnosť hmôt pri pohybe konštrukcie spôsobenú ich netuhým spojením

3.2.2.3. Metódy výpočtu seizmických účinkov

V závislosti na charakteristikách konštrukcie stavby je možné použiť lineárne aj nelineárne metódy výpočtu seizmických účinkov na pozemné objekty

• **Lineárne metódy :**

▪ **Metóda výpočtu pomocou priečných síl :**

- použitie pre pozemné stavby, ktorých odozva nie je v oboch hlavných smeroch výrazne ovplyvnená tvarmi kmitania vyšším ako základný tvar

- konštrukcie musia splňovať následné podmienky :
 - podmienka pre základné periódy vlastných tvarov kmitov T_1

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_c \\ 2,0s \end{cases} \quad (3.22)$$
 - konštrukcia splňuje kritéria pravidelnosti po výške podľa EC8
- metóda je založená na určení šmykovej sily pôsobiacej na založenie konštrukcie a vodorovných seizmických síl pôsobiacich priečne na konštrukciu
- **seizmická sila F_b v základoch** pre každý vodorovný smer musí byť stanovená podľa nasledujúceho vzťahu :

$$F_b = S_d \cdot (T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad (3.23)$$

kde je

$S_d(T_1)$ poradnica návrhového spektra pri perióde kmitu T_1

T_1 základná perióda vlastných kmitov vodorovného pohybu stavby v uvažovanom smere

m celková hmotnosť stavby nad základovou špárrou, vypočítaná z (3.21)

λ opravný súčiniteľ, ktorého hodnota je $\lambda = 0,85$ keď $T_1 \leq T_c$ a keď má stavba viac ako 2 podlažia, v ostatných prípadoch $\lambda = 1,0$

- k stanoveniu základnej periódy vlastných kmitov T_1 sa dnes prevažne využívajú výpočtové softwary ale je možné použiť niektorú z metód stavebnej dynamiky (napríklad Rayleighova), pre stavby do 40 m výšky môže byť hodnota T_1 stanovená približne podľa vzorcov uvedených v EC8
- **rozdelenie vodorovných seizmických síl F_i** po jednotlivých podlažiach na konštrukcii je dané vzťahom :

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum_j s_j \cdot m_j} \quad (3.24)$$

kde je

F_i vodorovná pôsobiaca sila v i-tom podlaží

F_b seizmická šmyková sila v základe, podľa (3.23)

s_i, s_j posuny hmôt m_i, m_j v základnom tvare kmitania

m_i, m_j hmotnosti podlaží stavené podľa (3.21)

- účinky vodorovného seizmického zaťaženia pôsobiaceho na konštrukciu musia byť určené v dvoch navzájom kolmých smeroch
 - *Modálna analýza pomocou spektra odozvy :*
- tento spôsob musí byť použitý vždy, pokiaľ konštrukcia nevyhovuje podmienkam pre výpočet pomocou priečných síl
- vo výpočte výslednej odozvy musia byť uvažované všetky tvary kmitania, ktoré odozvu výrazne ovplyvňujú – táto požiadavka je splnená pokiaľ pre každý výrazný smer je splnená jedna z nasledujúcich podmienok :
 - súčet efektívnych modálnych hmôt vlastných tvarov kmitania je rovný najmenej 90% celkovej hmotnosti konštrukcie
 - všetky tvary kmitania s efektívnymi modálnymi hmotami väčšími ako 5% celkovej hmotnosti sú zahrnuté do výpočtu

- podmienky uvedené vyššie nemusia byť splnené pre konštrukcie, u ktorých prevládajú krúživé tvary kmitania, minimálny počet k-tvarov kmitania, vzatý do priestorového výpočtu má splňovať obe nasledujúce podmienky :

$$k \geq 3 \cdot \sqrt{n} \quad (3.25)$$

$$T_k \leq 0,20s \quad (3.26)$$

kde je

k počet tvarov kmitania použitých vo výpočte

n počet podlaží nad základovou špárou alebo nad vrchom tuhého základu

T_k perióda k-teho vlastného tvaru kmitania

- metóda spočíva vo výpočte seizmickej odozvy pomocou spektier odozvy pre jednotlivé významné vlastné tvary kmitu
- používa sa jednobodové spektrum pre jednotlivé ortogonálne smery
- výsledné odozvy konštrukcie je možné kombinovať dvoma nasledujúcimi spôsobmi :

➤ **Metóda SRSS :**

- použiteľná pre riedke spektrá, kde sú frekvencie od seba vzdialené minimálne o 10 %
- maximálny účinok E_E seizmického zaťaženia je daný vzťahom :

$$E_E = \sqrt{\sum_{j=1}^N E_{E,j}^2} \quad (3.27)$$

kde je

$E_{E,j}$ hodnota účinku seizmického zaťaženia (sila, posun atď.) pri kmitaní v j-tom tvare

➤ **Metóda CQC (metóda kompletnej kombinácie) :**

- vhodná pre ľubovoľné spektrum
- zohľadňuje aj úroveň tlmenia konštrukcie
- maximálny účinok E_E seizmického zaťaženia je daný vzťahmi :

$$E_E = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N E_{E,i} \cdot \rho_{i,j} \cdot E_{E,j}} \quad (3.28)$$

$$\rho_{i,j} = \frac{8 \cdot \sqrt{\xi_i \cdot \xi_j} \cdot (\xi_i + r \cdot \xi_j) \cdot r^{2/3}}{(1-r^2)^2 + 4 \cdot \xi_i \cdot \xi_j \cdot r \cdot (1+r^2) + 4 \cdot (\xi_i^2 + \xi_j^2) \cdot r^2} \quad (3.29)$$

$$r = \frac{\omega_j}{\omega_i} \quad (3.30)$$

kde je

$E_{E,i}, E_{E,j}$ účinok seizmického zaťaženia pre vlastné tvary i a j

$\rho_{i,j}$ modálne korelačné koeficienty zohľadňujúce mieru ovplyvnenia účinkov vlastných tvarov

ξ_i, ξ_j koeficienty tlmenia pre vlastné tvary i a j

r frekvenčný pomer

ω_i, ω_j frekvencia vlastných tvarov i a j

4. Vyšetrovanie seizmických parametrov ŽB rámu excentrickým stužením s vertikálnymi spojkami [1], [2]

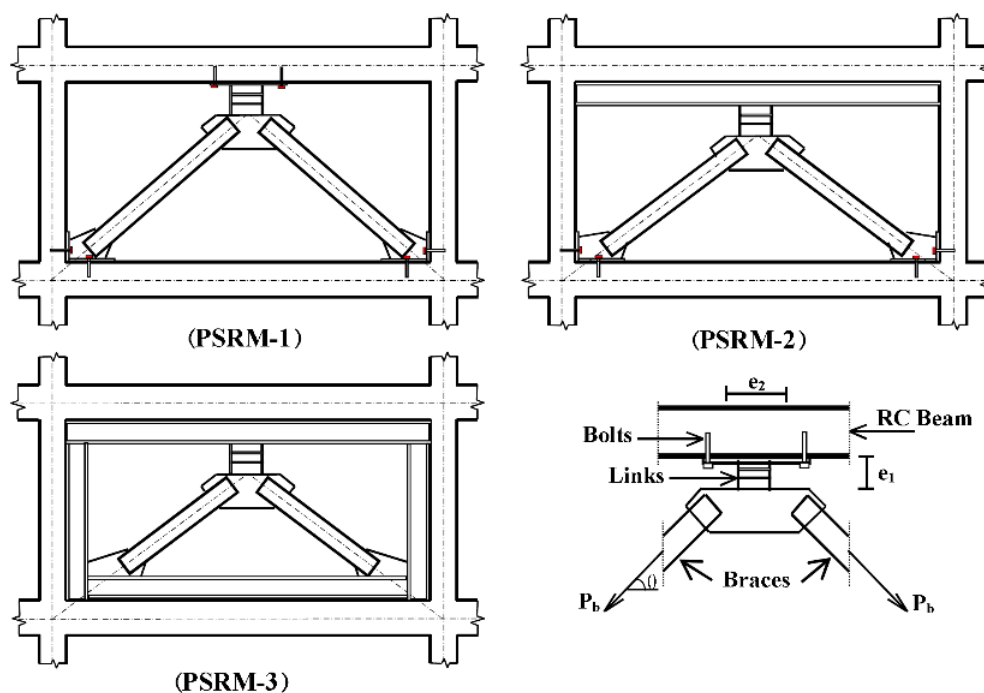
Nasledujúce podkapitoly pojednávajú o spomínaných článkoch [1] a [2]. Sú to články z ktorých vychádza návrh seizmického sanovania (stuženia) ŽB rámu excentrickým stužením. Tak isto z tohto článku vychádza geometria rámov, zaťaženie, približné priemery výstuží, oceľových profilov stuženia atď.

4.1. Úvod

Väčšina existujúcich betónových konštrukcií nemá vhodné opatrenia proti seizmickým účinkom z rôznych dôvodov, je preto teda nutné ich proti týmto účinkom sanovať. Jednou z možných sanácií proti seizmickým účinkom v statickej úrovni je použitie oceľových stužidiel. Ako nový druh oceľového stuženia môžeme uviesť napríklad excentrické stužidlá s vertikálnymi článkami, ktoré je použité ako stuženie na dané železobetónové rámy. Táto metóda sanácie poskytuje množstvo výhod ako napríklad zvýšenie duktility, tuhosti, priečneho odporu, architektonickej kompatibility, malej hmotnosti a minimálnej zmeny v hlavnom nosnom systéme budovy. V tejto štúdií sú vyšetrované dve budovy, 3 a 9 podlažné ŽB rámy posudzované podľa FEMA356 [13]. Výsledok nelineárnej časovej odozvy je založený na maximálnom premiestnení vnútorných podlaží. Maximálne premiestnenie strechy a plastická rotácia v kritickom bode pôvodného a sanovaného rámu je uvažovaná pre dva stupne bezpečnosti a to Life safety (LS) a Collapse prevention (CP). Výsledok poukazuje na to že, jeden zvislý článok môže vykazovať na konštrukcií požadovanú úroveň bezpečnosti s minimálnymi nákladmi a počtom stužených polí.

Možnosti výskytu závažných zemetrasení sú na jednej strane spôsobené prírodnými geologickými podmienkami na mieste staveniska a na druhej strane konštrukcie ŽB budov, ktoré nie sú navrhnuté na pôsobenie seizmického zaťaženia alebo v dôsledku týchto zmien je seizmické zaťaženie podcenené, následkom čoho je posúdenie budovy na seizmicitu a následná sanácia budovy nevyhnutná. Nedávne zemetrasenia po celom svete ukázali, že ŽB konštrukcie s malou duktilitou (navrhnuté na stále zaťaženie) sú veľmi zraniteľné proti účinkom zemetrasenia a to spôsobuje vážne poškodenie alebo kolaps budovy. Ako sanácia ŽB konštrukcií proti zemetraseniu bolo navrhovaných veľa rôznych metód, ktoré majú svoje výhody a nevýhody. Jednou z obyčajných metód medzi výskumníkmi je použitie nových konštrukčných prvkov ako napríklad oceľového stuženia ŽB konštrukcií. Oceľové stuženie je často používané ako seizmické “dovybavenie” ŽB konštrukcií, napriek tomu, že sú podrobené silným zemským pohybom, vzper vzpier vedie k strate priečnej tuhosti a tuhosti celého systému. Tým pádom seizmické “dovybavenie” ŽB konštrukcií s oceľovými vzperami, v ktorých môže viesť k vzperu nie je spoľahlivé riešenie problému. Použitie excentrického stužidla s vertikálnymi spojkami nielenže eliminuje problému so vzperom ale taktiež vedie k redukcii veľkej nepružnej deformácií ŽB konštrukcií. Z toho vyplýva, že táto štúdia sa zaoberá seizmickým sanačným systémom, ktorý je schopný disipovať vstupnú energiu od zemetrasenia bez vzperu vzpier. V posledných rokoch sa využíva veľmi často použitie seizmickej sanačnej

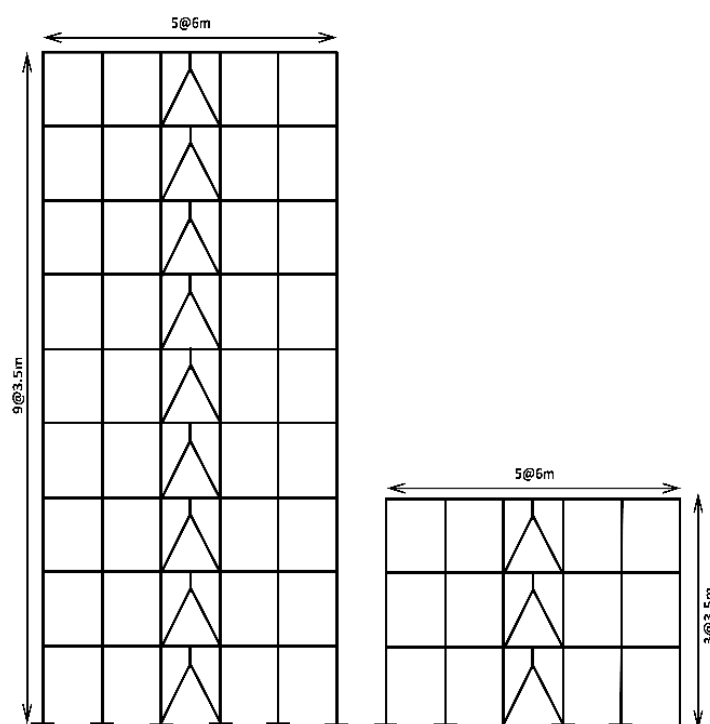
metódy pomocou excentrických stužidiel s vertikálnou spojkou ako dodatočný disipátor energie. Ghobarah a Abou Elfath [14] skúmali distribučný efekt tohto sanačného systému pozdĺž výšky ŽB rámu v prípadoch premiestnenia jednotlivých poschodí a indexu poškodenia. Seizmické posúdenie ŽB konštrukcií, ktoré boli stužené excentrickými stužidlami s jednou vertikálnou spojkou boli študované Durucan a Dicleli (2010). Výsledky ukazujú, že plastická deformácia konštrukčných prvkov bola menšia v porovnaní s konvenčnými prístupmi. Podľa výskumu vykonaným Sahoo a Rai (2010) efekt výmeny materiálu na zvislej spojke z ocele na hliník má významný vzrast v schopnosti absorbovať energiu na seizmicky ztužených neduktilných ŽB rámoch, v ktorých sú použité excentrické stužidlá so zvislými spojkami. Spôsob porušenia spojenia medzi zvislou spojkou a doskou, stužidiel s ŽB stĺpmi a nosníkmi vyhodnotený rozsiahlymi experimentami na ŽB budovách stužených excentrickými stužidlami so zvislými spojkami boli realizované Mazzolani (2008). Taktiež táto metóda poukázala na mnoho výhod ako napríklad zvýšenie duktility, tuhosti, priečneho odporu, architektonickej kompatibility, nízkej hmotnosti a minimu zmien v hlavnom nosnom systéme budovy. Navrhovaný seizmický sanačný systém, ktorý je na Obr. 4.1-1, môže byť aplikovaný v rôznych konfiguráciách, ktoré obsahujú : a) PSRM – 1 - spojka a stužidlá sú priamo spojené s ŽB prvkami prostredníctvom oceleových dosiek pomocou skrutiek a epoxidovej injektáže, b) PSRM – 2 - spojka je pripojená na náhradný oceľový nosník (kolektor), ktorý je pripojený na betónový nosník a zvyšok prvkov sú pripojené na ŽB prvky pomocou oceleových dosiek, c) PSRM – 3 - spojka a stužidlá sú uložené do obdĺžnikového oceľového rámu (domčekový rám), kde je oceľový rám spojený s ŽB prvkami pomocou skrutiek a epoxidovej injektáže.



Obr. 4.1-1 – Detaily jednotlivých sanačných systémov

4.2. Výskumný rámec

Tento článok sa zaoberá použitím excentrických stužidiel s jednou zvislou spojkou ako základný sanačný systém proti seizmickým účinkom. Za účelom vyhodnotenia účinnosti navrhovaného seizmického sanačného systému boli seizmicky posudzované podľa FEMA365 po numerickom modelovaní v Opensees dva existujúce neduktilné ŽB rámy a to 3 a 9 poschodové budovy. Navrhovaný seizmický sanačný systém je stanovený po seizmickom vyhodnotení rámov a potom sú rámy navrhované na základe požadovaného stupňa bezpečnosti. Prevedenie založené na prístupe, ktorý obsahuje nelineárnu statickú analýzu a analýzu spektra odozvy bolo použité na navrhovaný seizmický sanačný systém, ktorý bol použitý na rámoch, ktoré sú obsahom tohto článku. Potom numerické modelovanie jedného zvislého článku bolo prevedené v programe Opensses podľa príslušných experimentálnych výsledkov. Potom bola vyhotovená analýza nelineárnej časovej histórie z dôvodu zistenia maximálnych vnútro-podlažných posuvov a strešných posuvov, plastickej rotácie kritických prvkov a deformovaný tvar rámov v okamihu maximálneho posuvu podlaží v dvoch rôznych seizmických stupňoch bezpečnosti (Life Safety a Collapse Prevention). Potom bol výsledok porovnaný s obmedzeniami podľa FEMA365. Analytický model pre posúdenie navrhovaného seizmického sanačného systému sú dva neduktilné ŽB rámy budovy kancelárií a to 3 a 9 podlažné, ktoré sú navrhované podľa ACI s ohľadom len na gravitačné zaťaženie. Návrhová pevnosť betónu v tlaku je 21MPa a návrhová pevnosť ocele je 300 MPa, modul pružnosti je 20 GPa. Návrhové stále zaťaženie je 35 kN/m a návrhové premenné zaťaženie je 12 kN/m. Hmotnosť budovy vzhľadom na hmotnosť všetkých nosných a nenosných prvkov je 945 kN pre každé podlažie. Celkové rozmery rámov sú uvedené na Obr. 4.2-1 a jednotlivé konštrukčné detaily v Tab. 4.2-1.



Obr. 4.2-1 – Schematický rez rámov

Typ ŽB rámu		Vonkajší stĺp		Vnútný stĺp		Vnútný prievlak		
		Rozmery [mm]	Výstuž	Rozmery [mm]	Výstuž	Rozmery [mm]	Horná výstuž	Spodná výstuž
3. podl.	1-3	300x300	4Ø19	400x500	8Ø19	250x600	5Ø19	2Ø19
9. podl.	1-3	500x500	8Ø22	600x600	8Ø25	250x600	5Ø19	2Ø19
	4-6	400x400	8Ø19	500x500	8Ø22	250x600	5Ø19	2Ø19
	7-9	300x300	4Ø19	400x500	8Ø19	250x600	5Ø19	2Ø19

Tab. 4.2-1 – Konštrukčné detaily prvkov

4.3. Návrh posudzovaného seizmického sanačného (stužiaceho) systému

Ciele seizmického sanačného systému, ktorým sa zaoberá tento článok sa skladá zo základných a optimalizovaných objektov. V základných a optimalizovaných cieľoch by mali rámy dosiahnuť stupňa bezpečnosti (Performance Levels PLs) a to Life Safety (LS) a Collapse Prevention (CP). V LS PLs nízke alebo opraviteľné štrukturálne a neštrukturálne poškodenie je očakávané pri miernych zemetrasných excitáciách (10% možnosť prekročenia v priebehu 50 rokov). V CP PLs neopraviteľné alebo ťažko opraviteľné škody štrukturálneho a neštrukturálneho poškodenia môžu nastať ale kolaps konštrukcie nie je očakávaný pri významných zemetrasných excitáciách (2% možnosť prekročenia v priebehu 50 rokov). V FEMA 356 je prípustné kritérium stupňa bezpečnosti (PLs) je hlavne definované limitou plastickej deformácie ŽB prvkov. Za účelom navrhovania sanačných detailov rámov je použitá

metóda založená na výkone, ktorá je hlavne založená na princípe rovnováhy disipácie energie. V tejto metóde je počítaná kapacita monotónnej disipácie energie rámov založená na strešnom posune a je porovnaná v dvoch častiach lineárnej elastickej oblasti, ktorá je obsiahnutá z analýzy Spektra odozvy (Response Spectrum RS) a nelineárnej nepružnej oblasti, ktorá je obsiahnutá z Nelineárnej statickej analýzy (Nonlinear static pushover analyses). Rozdiel v plochách medzi dvomi oblasťami elastickej a neelastickej základnej šmykovej sily verus krivka strešného posunu je rovný požadovanej dodatočnej energie, ktorá by mala byť absorbovaná PSRM (Proposed Seismic Rehabilitation Method). Charakteristiky ocele, ktorá bola použitá pre proces návrhu PSRM má medzi klzu 250 MPa a modul pružnosti 200 GPa. Detaily vzpery a šmykovej spojky PSRM pre rámy sú zhrnuté v Tab. 4.3-1.

Typ ŽB rámu		Prierez vzpery	Prierez rámu	Jeden vertikálny článok	
				Prierez	e1 [cm]
3.podl.	1	2UNP140	IPE240	IPE400	82
	2	2UNP120	IPE220	IPE360	76
	3	2UNP120	IPE220	IPE330	70
9.podl.	1-3	2UNP140	IPE270	IPE450	86
	4-6	2UNP140	IPE240	IPE400	76
	7-9	2UNP120	IPE220	IPE360	70

Tab. 4.3-1 – Prierezy stuženia PSRM systému

4.4. Záver

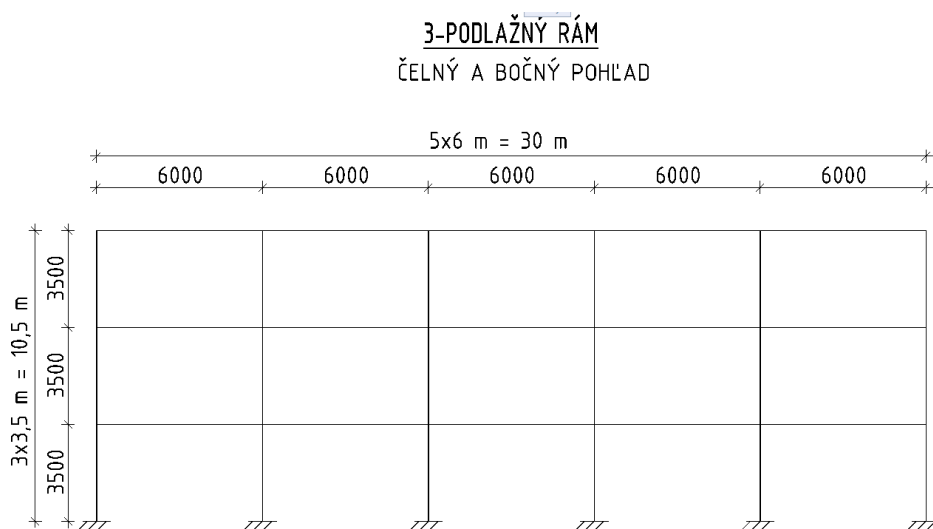
V tejto štúdií je rozoberaná nová seizmická sanačná metóda založená na prevedení, ktoré je používané pre seizmický sanačný návrh rámov pre zaistenie uspokojivého prevedenia sanovaných konštrukcií PSRM systémom. Efektívnosť tejto metódy bola hodnotená s použitím nelineárnej časovej analýzy (NLTH) pre 3 a 9 podlažné ŽB rámy podľa FEMA356. Výsledky NLTH ukázali, že distribúcia vnútro podlažného posuvu po výške rámu má menej jednotné chovanie s navyšovaním podlaží a to z dôvodu gravitačného zaťaženia, ktoré je riadené v návrhu nízkeho rámu v porovnaní s vysokým rámom. Takže aplikácia PSRM v nízkom ráme nielenže má významný efekt v jednotnej distribúcií vnútro podlažného posuvu ale taktiež znižuje vnútro podlažný posuv. Takže v prípade použitia PSRM významný nárast duktility ŽB prvkov je dosiahnuté počas zemetrasení. V rámoch sanovaných PSRM, kvôli zvýšení duktility, tuhosti a kapacity zaťaženia v priečnej tuhosti rámov poškodenie indikuje menšie hodnoty na rozdiel od pôvodného rámu, ktorý poukazuje na významné štruktúrne poškodenia.

5. Konštrukcia železobetónového rámu

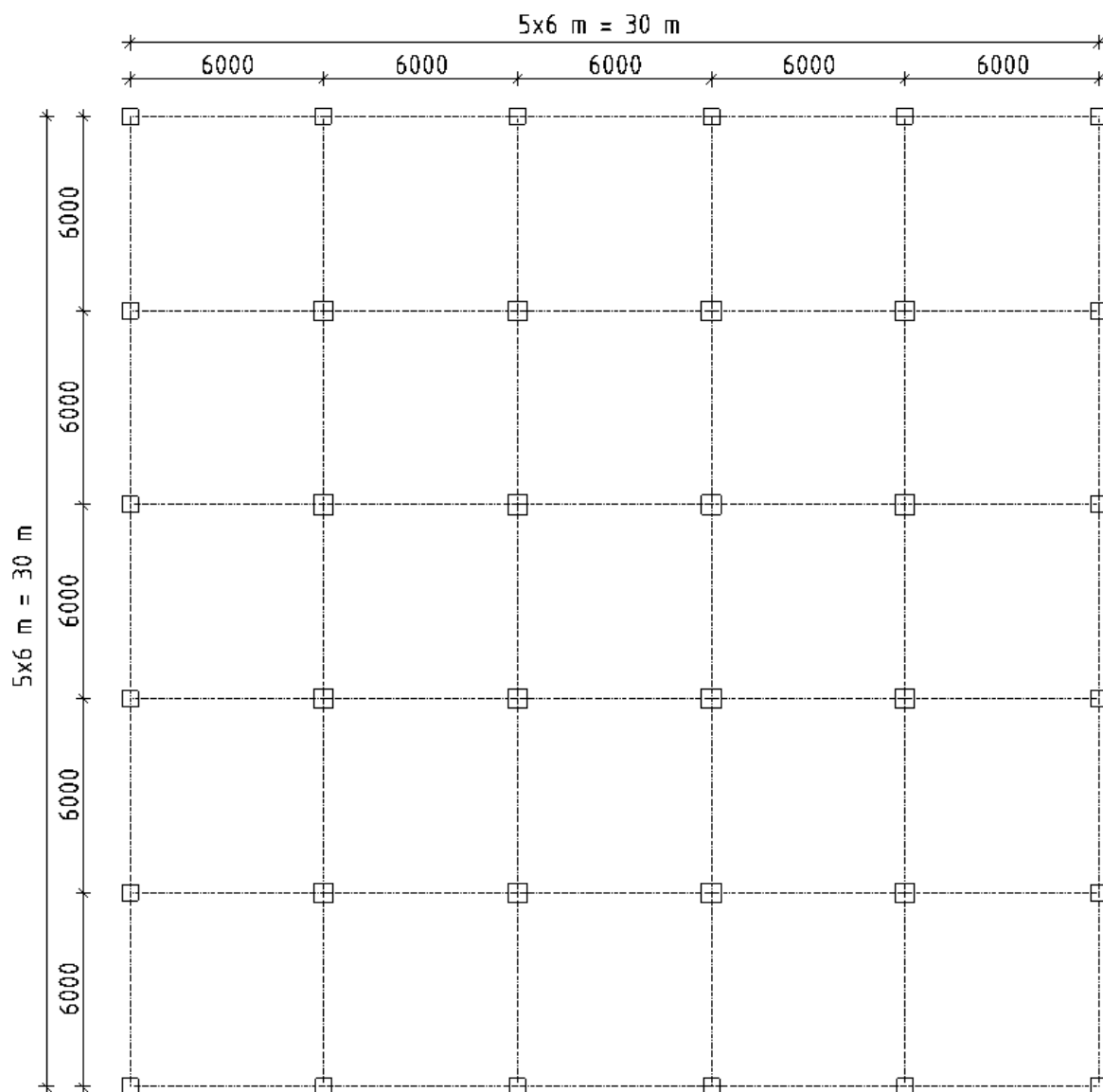
V tejto časti budú popísané železobetónové rámy, ktoré sú prevzaté z článku [1] a na ktoré bude následne aplikované seizmické zaťaženie. Konštrukcie sú umiestnené jednak v okrese Frýdek-Místek z dôvodu vysokého seizmického zrýchlenia v tejto oblasti v rámci Českej republiky a pre porovnanie s niekoľko násobne vyšším špičkovým zrýchlením sú umiestnené v Grécku na ostrove Kefaliónia. Toto porovnanie bolo vyhotovené najmä kvôli tomu, že v prebratých rámoch nebolo uvažované zaťaženie vetrom, ktoré som sa rozhodla pridať k ostatným uvažovaným zaťaženiám. Vzhľadom na to, že ak sú rámy umiestnené na území Českej republiky, účinky spojené so zaťažením od vetra by výrazne prevyšovali účinky seizmicity, vyhotovil sa pre porovnanie účinkov od vyššieho špičkového zrýchlenia. Zo štúdie vychádza, že konštrukcie boli navrhnuté tak, aby rozhodovala seizmická návrhová situácia a bolo navrhnuté sanačné stuženie rámov. Na jednotlivých obrázkoch som sa rozhodla reprezentovať hodnoty, exporty a výsledky iba z jedného softwaru a to Scia Engineer, hodnoty a výsledky zo softwaru Dlubal RFEM sú takmer totožné iba s minimálnymi rozdielmi. Exporty z oboch programov pre porovnanie sú súčasťou samostatnej prílohy.

5.1. Popis konštrukcie – 3-podlažný rám

Jedná sa o železobetónový rám s 3 podlažiami, kde výška každého podlažia je 3,5 m, štvorcového pôdorysu s 5 poliami v každom smere s osovými vzdialenosťami stĺpov 6 m. Celý objekt je prevedený zo železobetónu, hlavná nosná kostra je tvorená obojsmernými tuhými rámi, ktoré budú po zosilnení tvorené stužidlami (viď. kapitola 4.1 so zvolenými typmi stuženia). Stĺpy sú votknuté do železobetónových pätiiek. Vzhľadom na to, že v prevzatom článku nie je nijak popísaná konštrukcia stropov, zvolila som doskové železobetónové stropy, ktoré neovplyvnia výsledné zaťaženie prevzaté zo štúdie a použité na modely.



Obr. 5.1-1 – Schéma 3-podlažného rámu v pohľade



Obr. 5.1-2 – Schéma 3-podlažného rámu v pôdoryse

Geometria prierezov v jednotlivých podlažiach je zhrnutá v nasledujúcej tabuľke Tab. 5.1-1.

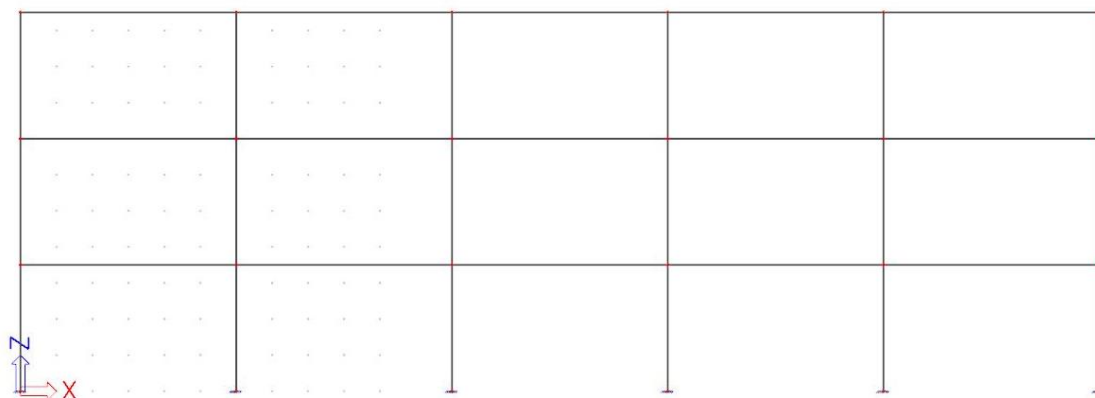
Typ rámu	Podlažie	Vonkajší stĺp	Vnútorý stĺp	Priečla
		[mm]	[mm]	[mm]
3-podlažný rám	1-3	300x300	400x500	250x600

Tab. 5.1-1 – Rozmery prierezov v 3-podlažnom ráme

5.2. Zatáženie – 3-podlažný rám

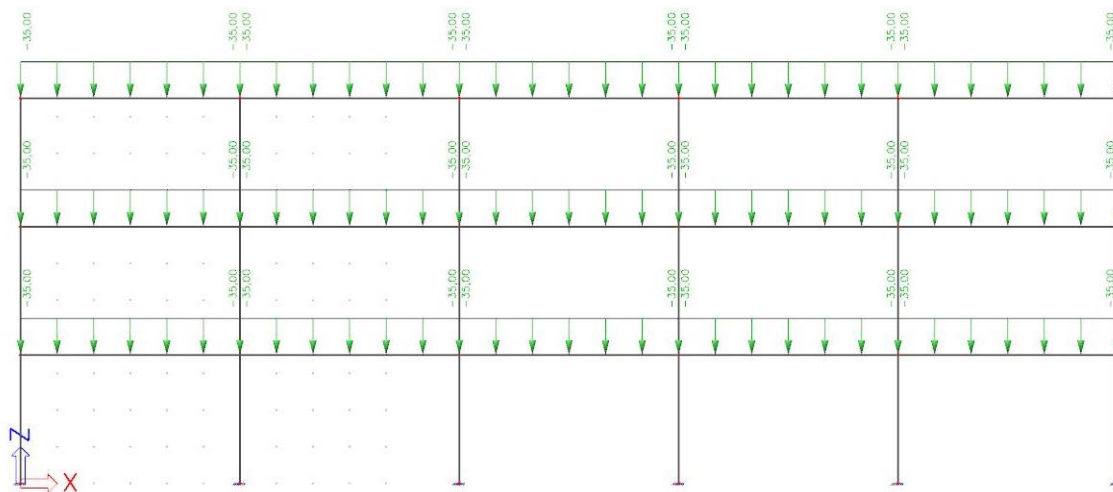
5.2.1. Zatáženie stálie

- *ZS1 – Vlastná tiaž* - zaťaženie od vlastnej tiaže je zohľadnené v globálnom výpočtovom modeli softwaru SciaEngineer a RFEM, kde sú nadefinované prierezy použitých prvkov.



Obr. 5.2-1 - 3-podlažný rám – ZS1 – Vlastná tiaž

- *ZS2 – Ostatné stálie zaťaženie* – prevzaté z článku [1] použité na jednotlivé stropy a na strešnú konštrukciu - $g_{1,k} = 35 \text{ kN/m}$.

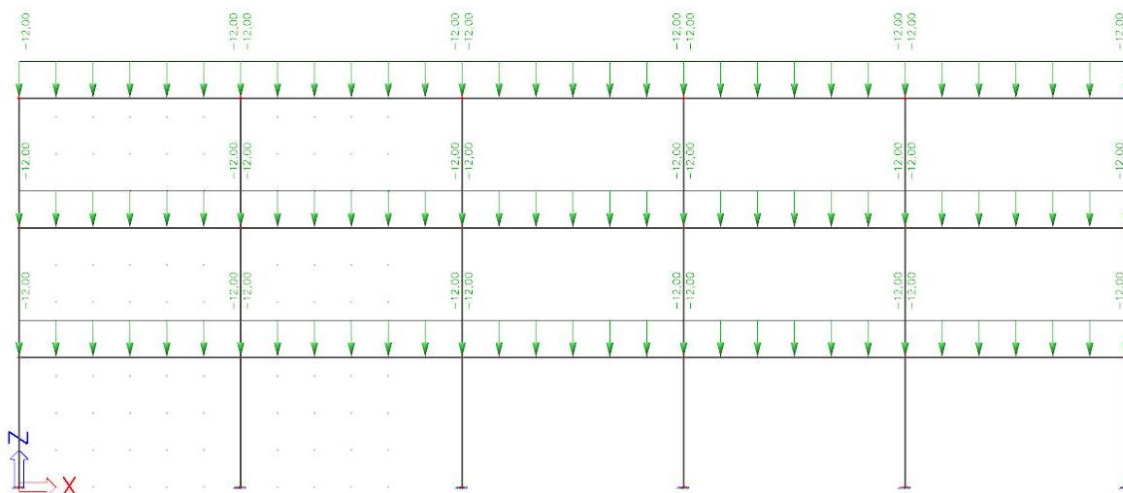


Obr. 5.2-2 – 3-podlažný rám – ZS2 – Ostatné stálie zaťaženie

5.2.2. Zatáženie úžitné

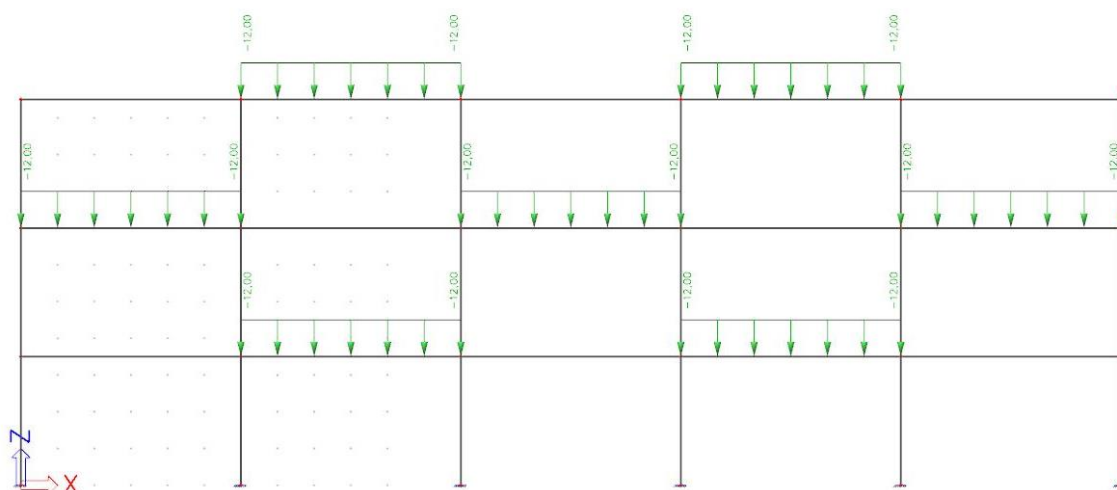
Pre posúdenie a dimenzovanie konštrukcie na MSÚ boli vyhotovené dodatočné zaťažovacie stavy, ktoré sa nenachádzajú v zaťažovacích stavov z článku [1] a to ZS4 – Šach 1 a ZS5 – Šach 2. Pre seizmickú kombináciu tieto dva zaťažovacie stavy neboli použité pretože rozhoduje plné premenné zaťaženie konštrukcie. Zaťaženie kategória B – kancelárske plochy.

- ZS3 – Úžitné zaťaženie - plné - prevzaté z článku [1] - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$.



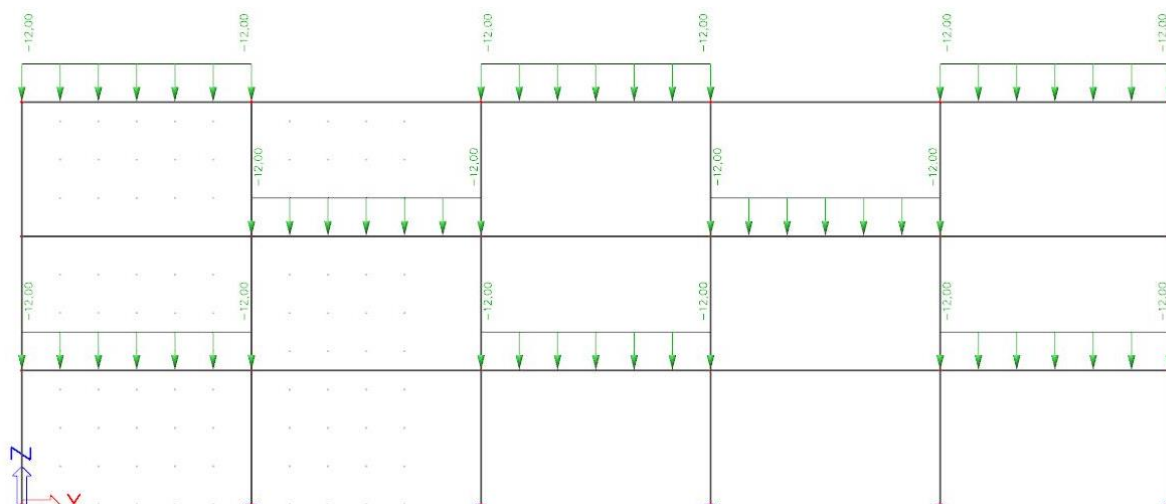
Obr. 5.2-3 – 3-podlažný rám – ZS3 – Úžitné zaťaženie – plné

- ZS4 – Úžitné zaťaženie – šach 1 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$



Obr. 5.2-4 – 3-podlažný rám – ZS4 – Úžitné zaťaženie – šach 1

- ZS5 – Úžitné zaťaženie – šach 2 – $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$



Obr. 5.2-5 – 3-podlažný rám – ZS5 – Úžitné zaťaženie – šach 2

- ZS6 – Zaťaženie snehom –

Snehová oblasť :

Frýdek-Místek – IV.

Charakteristická hodnota zaťaženia snehom :

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

Kategória terénu :

normálna krajina

Súčiniteľ okolitého terénu :

$c_e = 1,0$

Tvarový súčiniteľ :

$\mu_1 = 0,8$ pre $\alpha = <0^\circ; 30^\circ >$

Tepelný súčiniteľ :

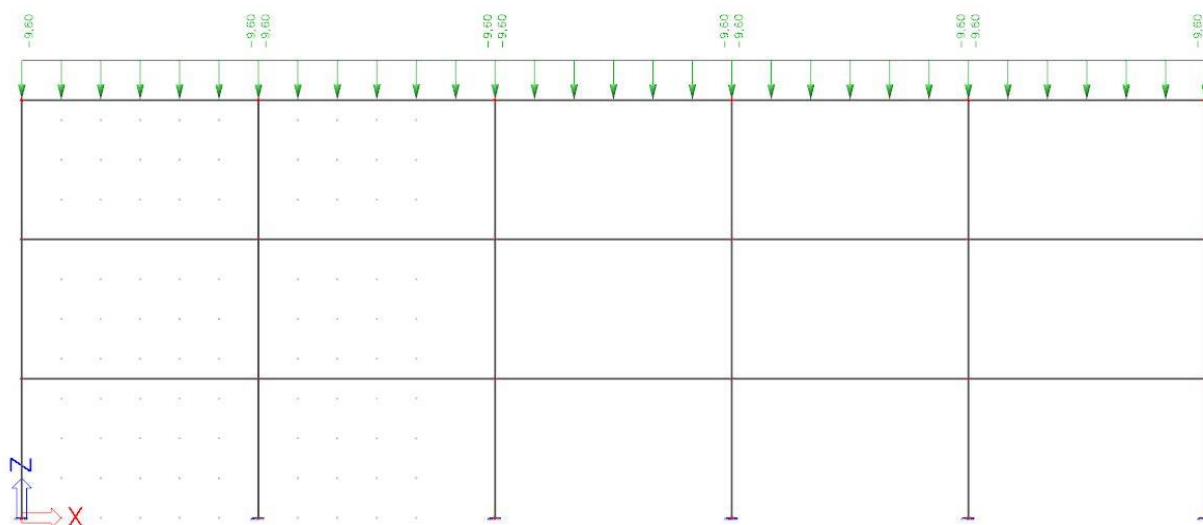
$c_t = 1,0$

Zaťaženie snehom :

$s = q_s = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k =$

$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 1,6 \text{ kN/m}^2$

$s = 1,6 \cdot Z_\Sigma = 1,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ kN/m}$



Obr. 5.2-6 – 3-podlažný rám – ZS6 – Zaťaženie snehom

- *ZS7 – Zaťaženie vetrom – zľava -*

ZS8 – Zaťaženie vetrom – sprava -

Veterná oblasť :

Frýdek-Místek – II. => $v_{b,0} = 27,5$ m/s

Kategória terénu :

III. => $z_0 = 0,3$ m; $z_{\min} = 5$ m; $z_{\max} = 200$ m $z = 10,5$ m

Súčiniteľ smeru vetra :

 $C_{\text{dir}} = 1,0$

Súčiniteľ ročného obdobia :

 $C_{\text{season}} = 1,0$

Základná rýchlosť vetra :

 $v_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot v_{b,0} =$ $v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5$ m/s

Súčiniteľ orografie :

 $c_0(z) = 1,0$

Súčiniteľ terénu :

 $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$ pre $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$

Súčiniteľ drsnosti terénu :

 $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ pre $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ $c_r(z) = 0,2154 \cdot \ln\left(\frac{10,5}{0,3}\right) = 0,7658$

Charakteristická stredná rýchlosť vetra :

 $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b =$ $v_m(z) = 0,7658 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 21,06$ m/s

Vplyv turbulencií :

 $I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10,5}{0,3}\right)} = 0,2813$

Merná hmotnosť vzduchu :

 $\rho = 1,25$ kg/m³

Súčiniteľ turbulencie :

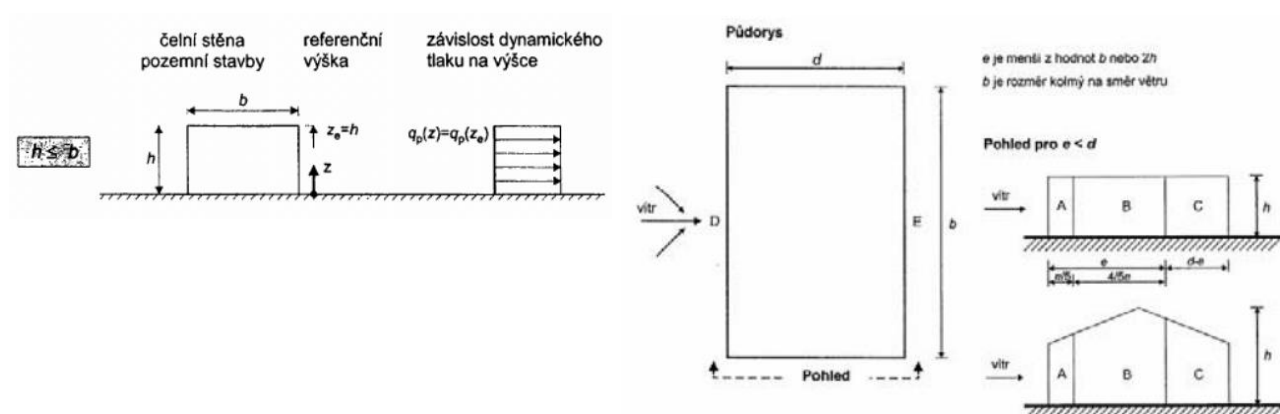
 $k_I = 1,0$

Základný dynamický tlak :

 $q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 =$ $q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 472,66$ N/m²

Maximálny dynamický tlak :

 $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 =$ $q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,2813] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 =$ $q_p(z) = 823,041$ N/m²



Obr. 5.2-7 – Referenčná výška budovy a legenda pre zvislé steny pre 3- podlažný rám

$$d = 30 \text{ m}; b = 30 \text{ m}; h = 10,5 \text{ m}$$

$$h/d = 10,5/30 = 0,35$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(30; 2 \cdot 10,5) = \min(30; 21) = 21 \text{ m}$$

Súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra -

$$C_{pe,10,A} = -1,2$$

$$C_{pe,10,B} = -0,8$$

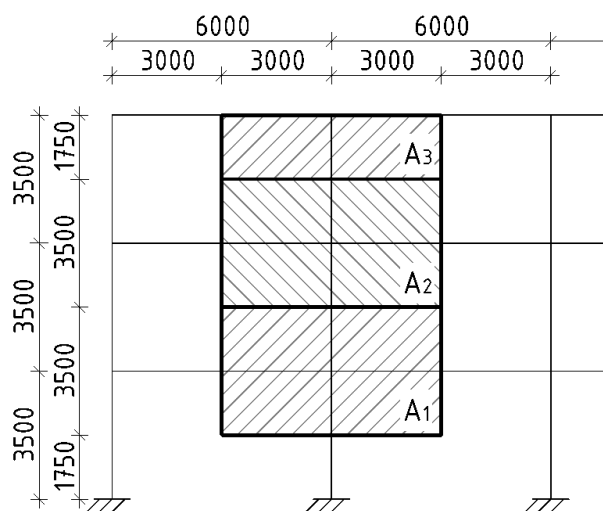
$$C_{pe,10,C} = -0,5$$

$$C_{pe,10,D} = +0,7154$$

$$C_{pe,10,E} = -0,3267$$

$$w_e = q_p(z) \cdot C_{pe}$$

$$F_w = C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$$

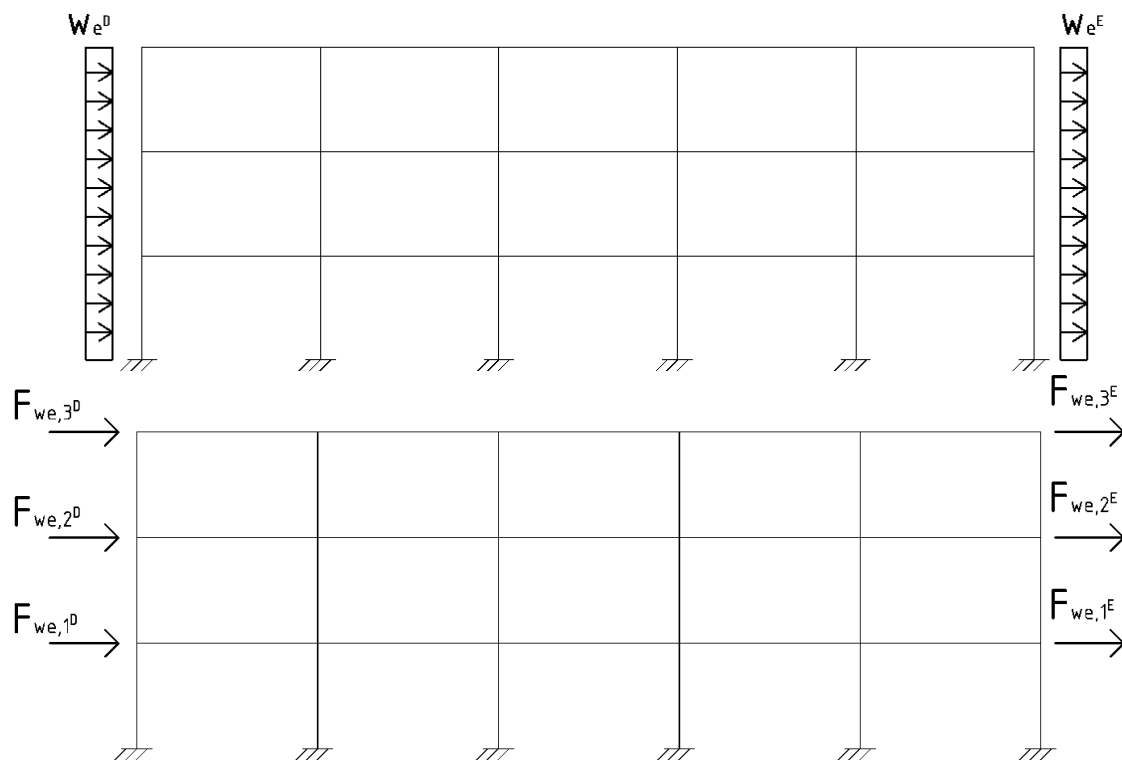


$$A_1 = 6 \cdot 3,5 = 21 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 6 \cdot 3,5 = 21 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 6 \cdot 1,75 = 10,5 \text{ m}^2$$

Obr. 5.2-8 – Referenčné plochy 3-podlažného rámu



Obr. 5.2-9 – Tlak vetra na 3-podlažný rám a jednotlivé sily od vetra

- Tlak vetra :

$$w_e^D = q_p(z_e) \cdot c_{pe}^D = 823,041 \cdot 0,7154 = 588,8 \text{ N/m}^2$$

$$w_e^E = q_p(z_e) \cdot c_{pe}^E = 823,041 \cdot (-0,3267) = -268,89 \text{ N/m}^2$$

- Sily od vetra :

$$F_{we,1}^D = w_e^D \cdot A_1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 588,8 \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 12,365 \text{ kN}$$

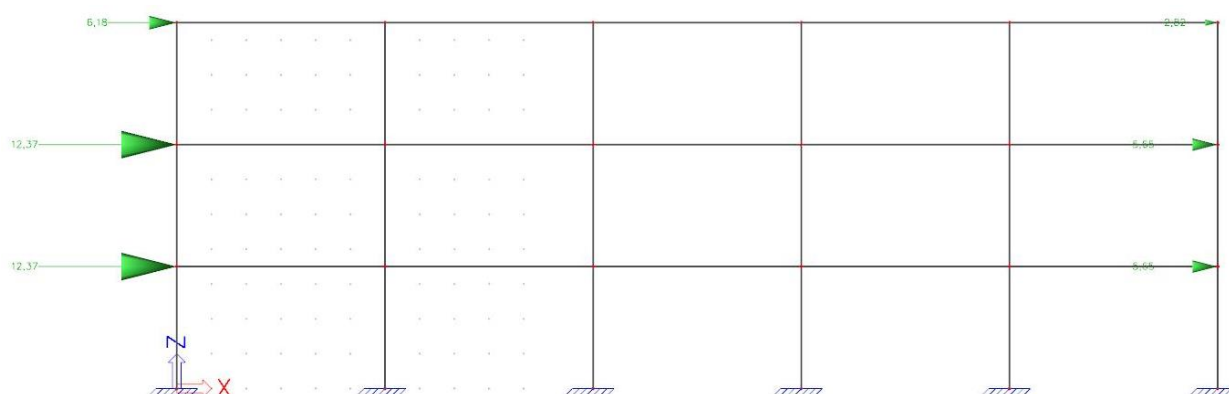
$$F_{we,2}^D = w_e^D \cdot A_2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 588,8 \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 12,365 \text{ kN}$$

$$F_{we,3}^D = w_e^D \cdot A_3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 588,8 \cdot 10,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 6,182 \text{ kN}$$

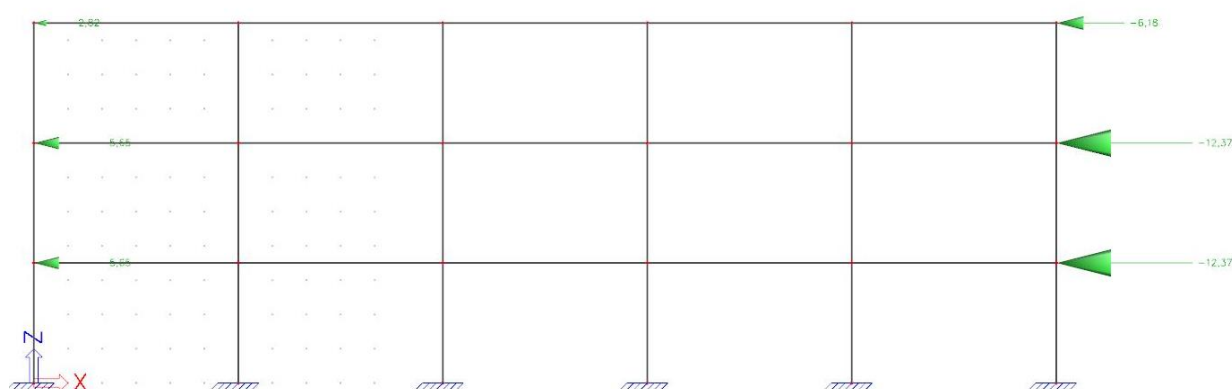
$$F_{we,1}^E = w_e^E \cdot A_1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = (-268,89) \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = -5,647 \text{ kN}$$

$$F_{we,2}^E = w_e^E \cdot A_2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = (-268,89) \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = -5,647 \text{ kN}$$

$$F_{we,3}^E = w_e^E \cdot A_3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = (-268,89) \cdot 10,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = -2,823 \text{ kN}$$



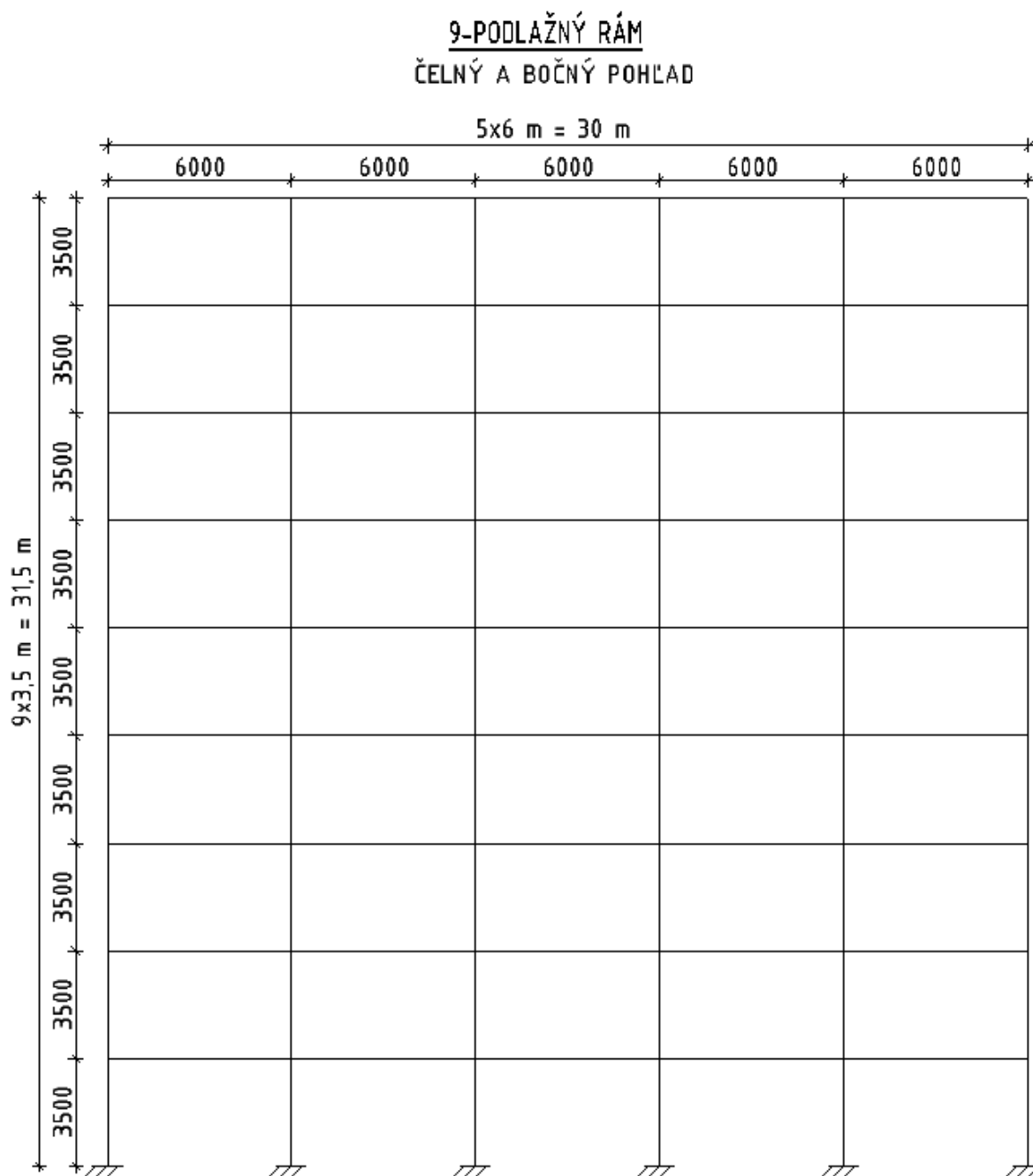
Obr. 5.2-10 – 3-podlažný rám – ZS7 – Zataženie vetrom – zľava



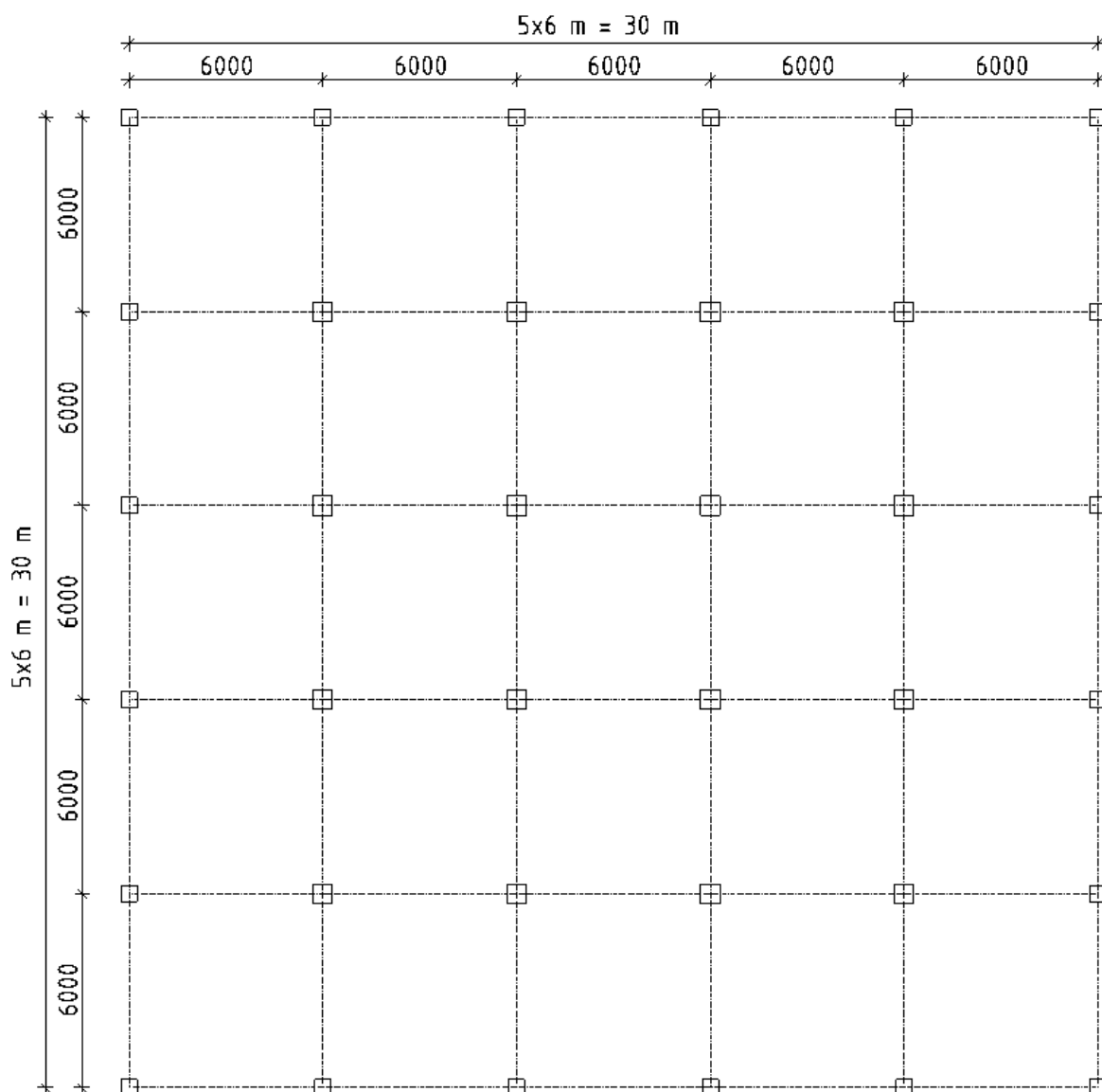
Obr. 5.2-11 – 3-podlažný rám – ZS8 – Zataženie vetrom – sprava

5.3. Popis konštrukcie – 9-podlažný rám

Jedná sa o železobetónový rám s 9 podlažiami, kde výška každého podlažia je 3,5 m, štvorcového pôdorysu s 5 poliami v každom smere s osovými vzdialenosťami stĺpov 6 m. Celý objekt je prevedený zo železobetónu, hlavná nosná kostra je tvorená obojsmernými tuhými ráhami, ktoré budú po zosilnení tvorené stužidlami (vid'. kapitola 4.1 so zvolenými typmi stuženia). Stĺpy sú votknuté do železobetónových pätiiek. Vzhľadom na to, že v prevzatom článku nie je nijak popísaná konštrukcia stropov, zvolila som doskové železobetónové stropy, ktoré neovplyvnia výsledné zaťaženie prevzaté zo štúdie a použité na modely.



Obr. 5.3-1 – Schéma 9-podlažného rámu v pohľade



Obr. 5.3-2 – Schéma 9-podlažného rámu v pôdoryse

Kedže sa geometria prierezov mení po podlažiach z toho dôvodu na obrázku Obr. 5.3-2 je iba informatívny pôdorys s osovými vzdialenosťami stĺpov a jednotnými prierezmi stĺpov. Výkresy jednotlivých podlaží so skutočnými rozmermi stĺpov po podlažiach sú súčasťou samostatnej prílohy – Výkresová dokumentácia. Prierezy sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke Tab. 5.3-1.

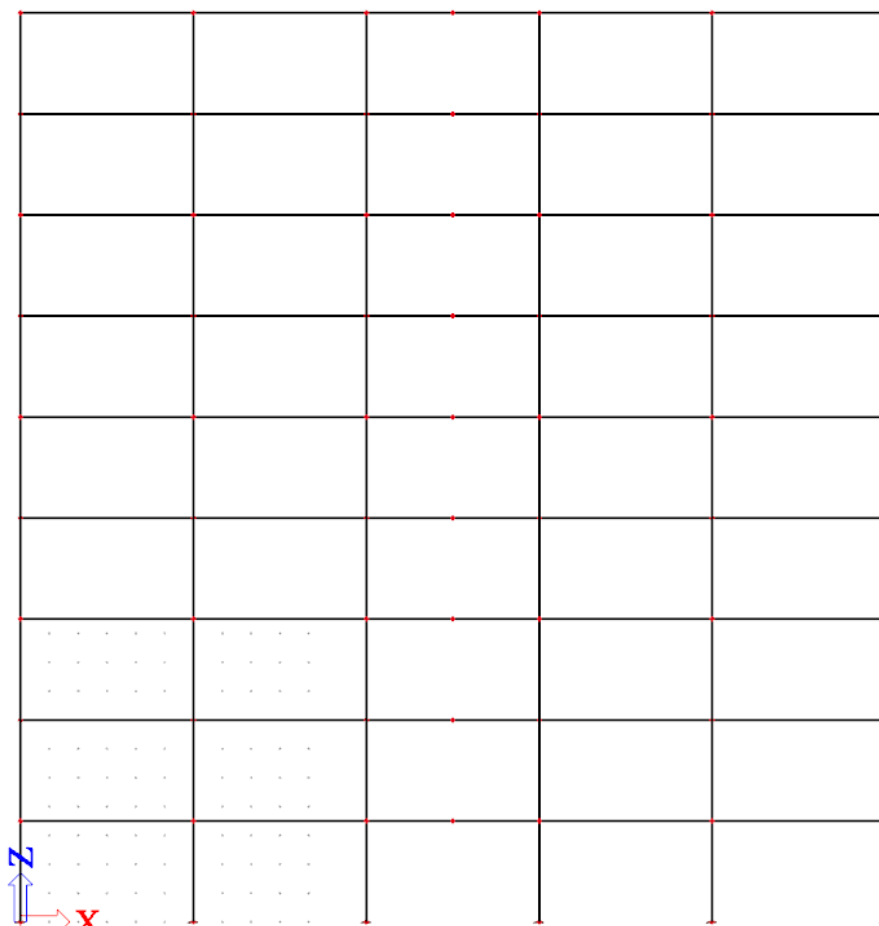
Typ rámu	Podlažie	Vonkajší stĺp	Vnútorý stĺp	Priečla
		[mm]	[mm]	[mm]
9-podlažný rám	1-3	500x500	600x600	250x600
9-podlažný rám	3-6	400x400	500x500	250x600
9-podlažný rám	6-9	300x300	400x500	250x600

Tab. 5.3-1 – Rozmery prierezov v 9 – podlažnom ráme

5.4. Zatáženie – 9-podlažný rám

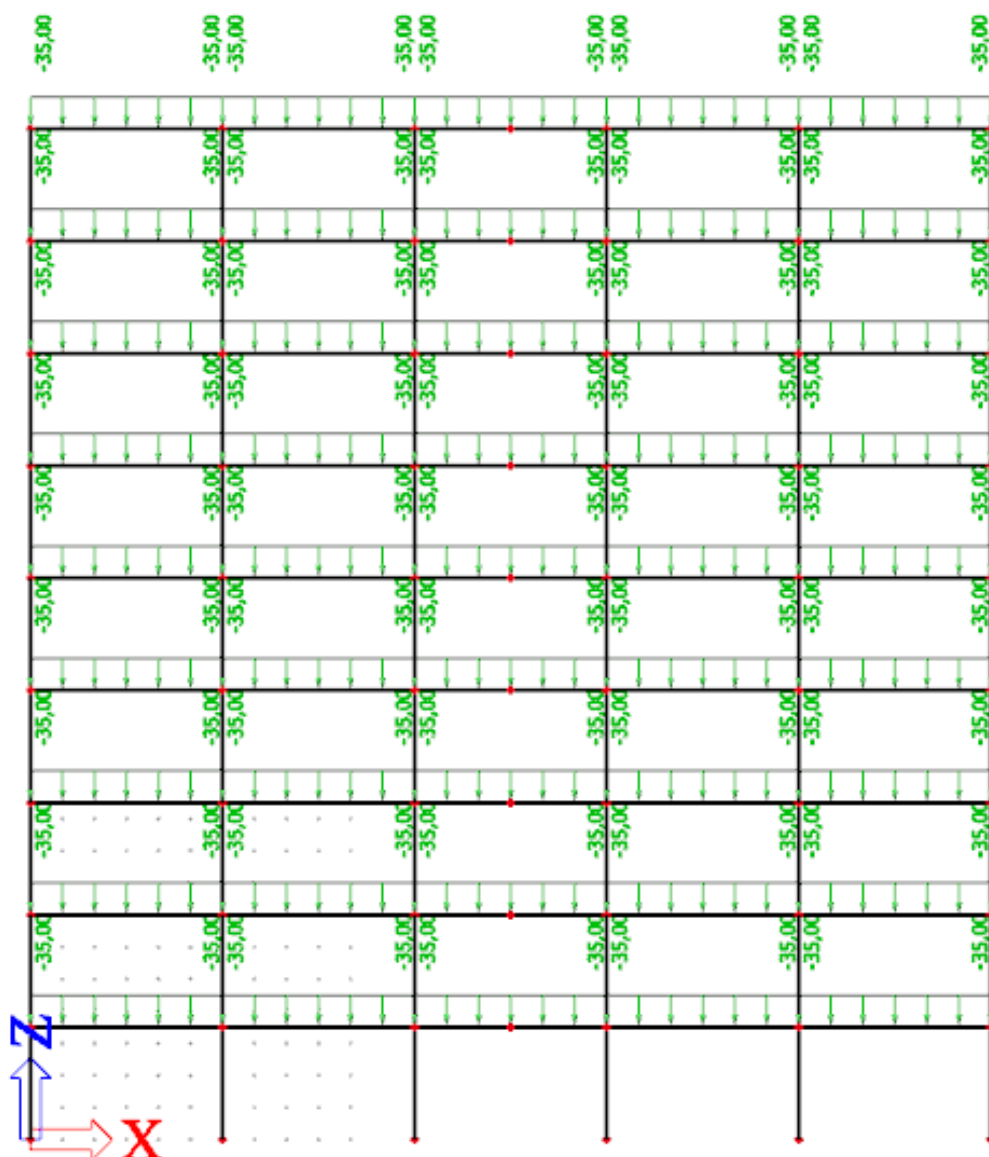
5.4.1. Zatáženie stále

- *ZS1 – Vlastná tiaž* - zatáženie od vlastnej tiaže je zohľadnené v globálnom výpočtovom modeli softwaru SciaEngineer a RFEM, kde sú nadefinované prierezy použitých prvkov.



Obr. 5.4-1 - 9-podlažný rám – ZS1 – Vlastná tiaž

- ZS2 – *Ostatné stále zaťaženie* – prevzaté z článku [1] použité na jednotlivé stropy a na strešnú konštrukciu - $g_{1,k} = 35 \text{ kN/m}$.

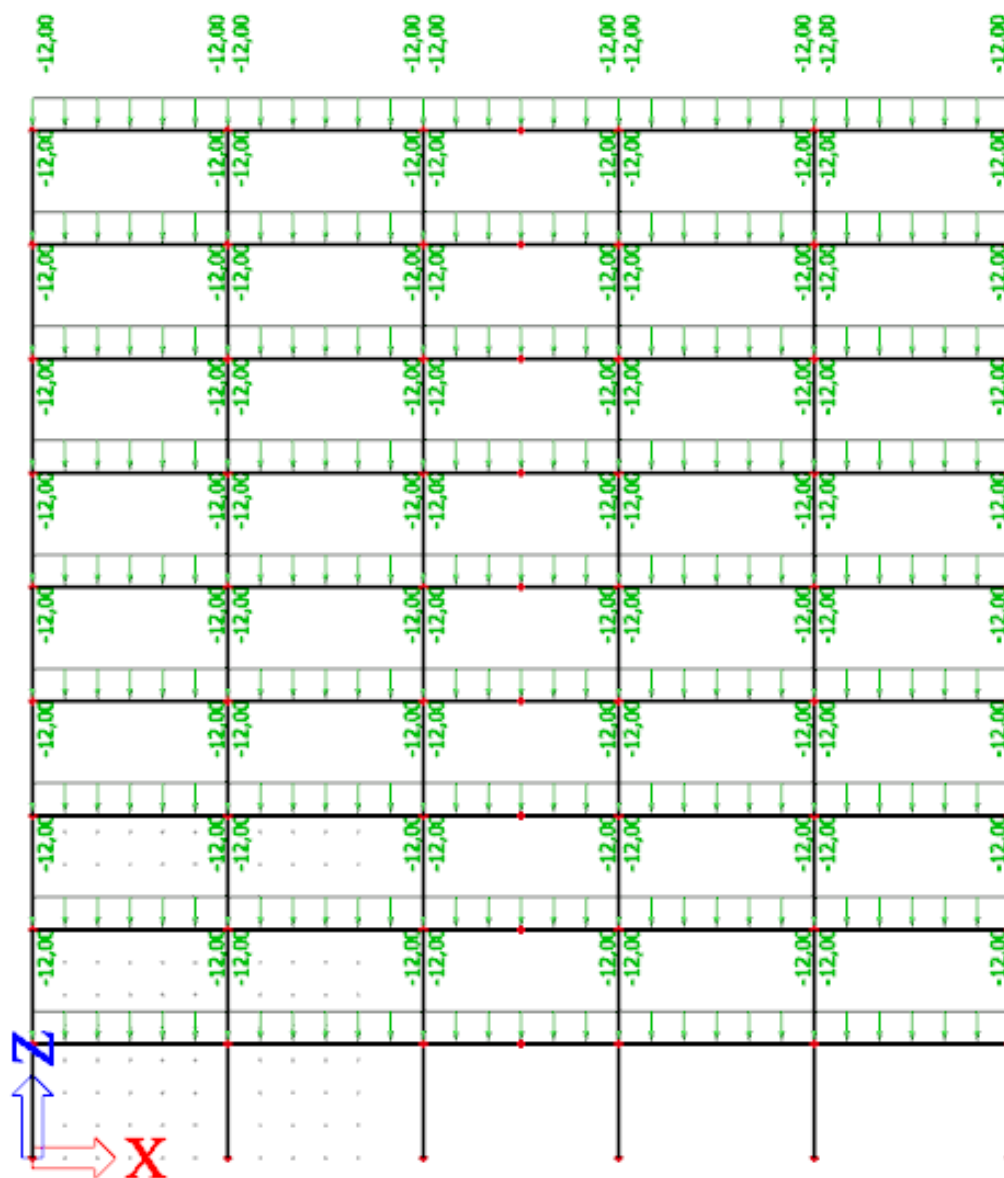


Obr. 5.4-2 – 9-podlažný rám – ZS2 – *Ostatné stále zaťaženie*

5.4.2. Zatáženie úžitné

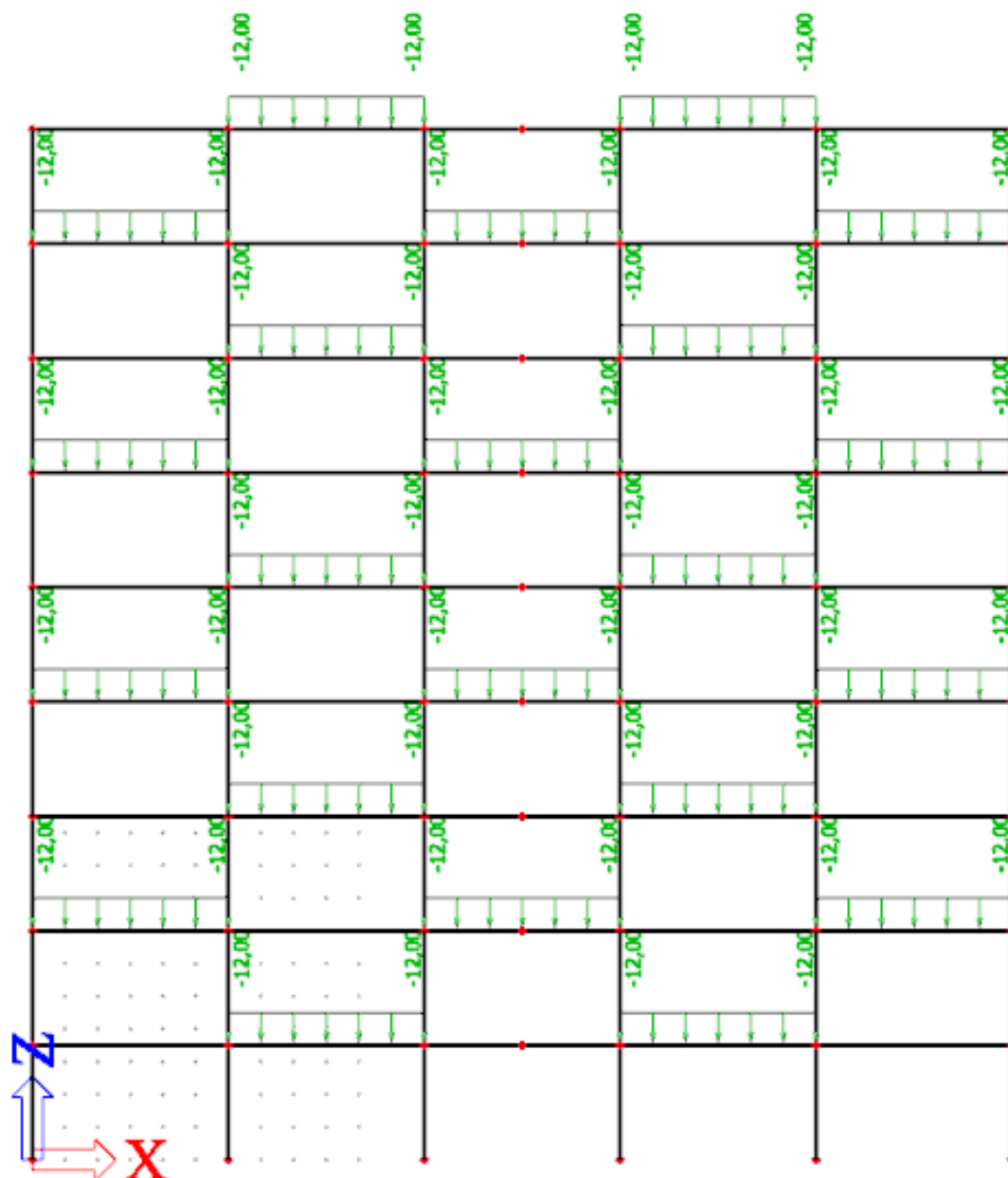
Pre posúdenie a dimenzovanie konštrukcie na MSÚ boli vyhotovené dodatočné zaťažovacie stavy, ktoré sa nenachádzajú v zaťažovacích stavov z článku [1] a to ZS4 – Šach 1 a ZS5 – Šach 2. Pre seizmickú kombináciu tieto dva zaťažovacie stavy neboli použité pretože rozhoduje plné premenné zaťaženie konštrukcie. Zaťaženie kategória B – kancelárske plochy.

- ZS3 – Úžitné zaťaženie - plné - prevzaté z článku [1] - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$.



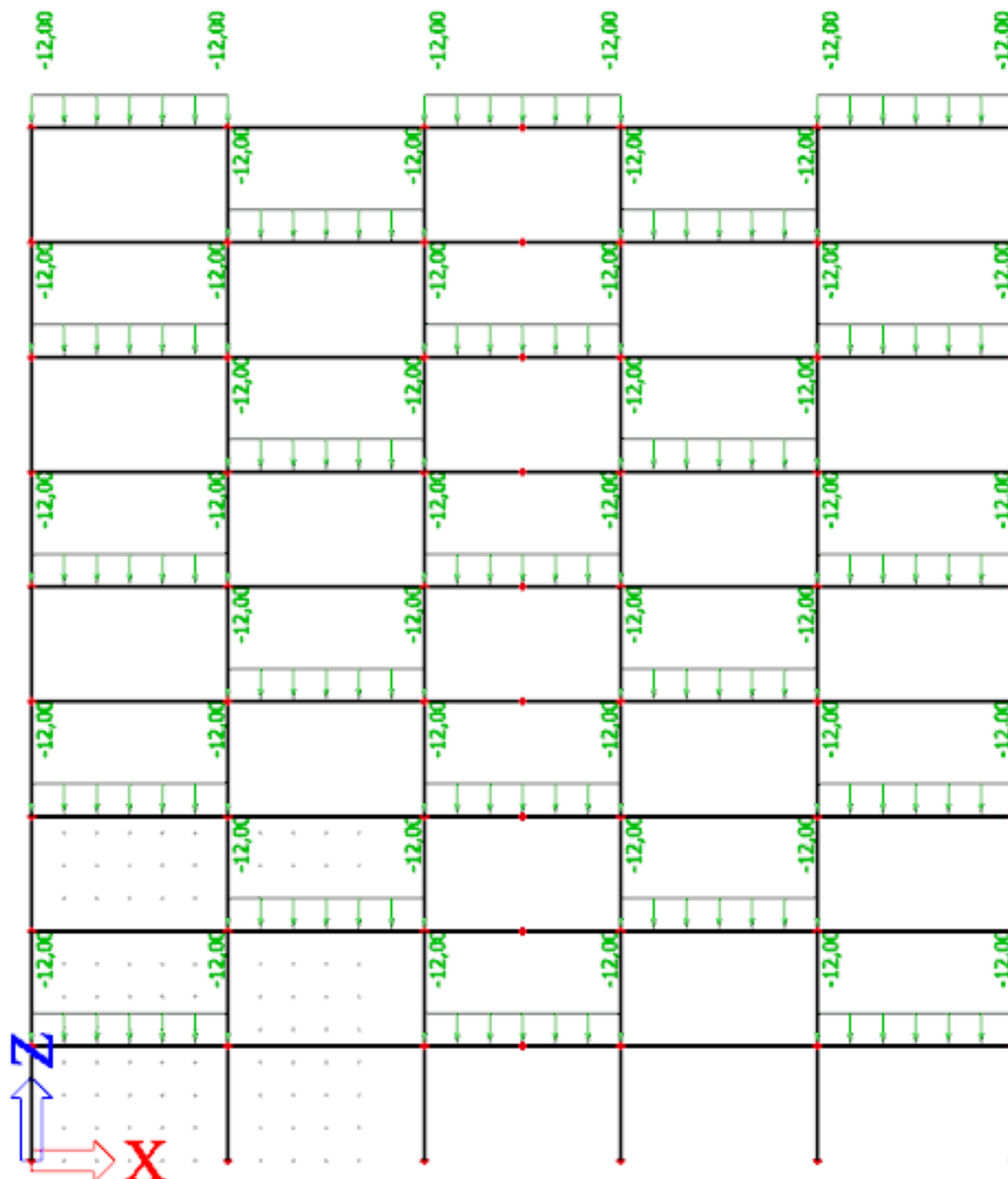
Obr. 5.4-3 – 9-podlažný rám – ZS3 – Úžitné zaťaženie – plné

- ZS4 – Úžitné zaťaženie – šach 1 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$



Obr. 5.4-4 – 9-podlažný rám – ZS4 – Úžitné zaťaženie – šach 1

- ZS5 – Úžitné zaťaženie – šach 2 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$



Obr. 5.4-5 – 9-podlažný rám – ZS5 – Úžitné zaťaženie – šach 2

- ZS6 – Zaťaženie snehom –

Snehová oblasť :

Frýdek-Místek – IV.

Charakteristická hodnota zaťaženia snehom :

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

Kategória terénu :

normálna krajina

Súčiniteľ okolitého terénu :

$c_e = 1,0$

Tvarový súčiniteľ :

$\mu_1 = 0,8$ pre $\alpha = <0^\circ; 30^\circ>$

Tepelný súčiniteľ :

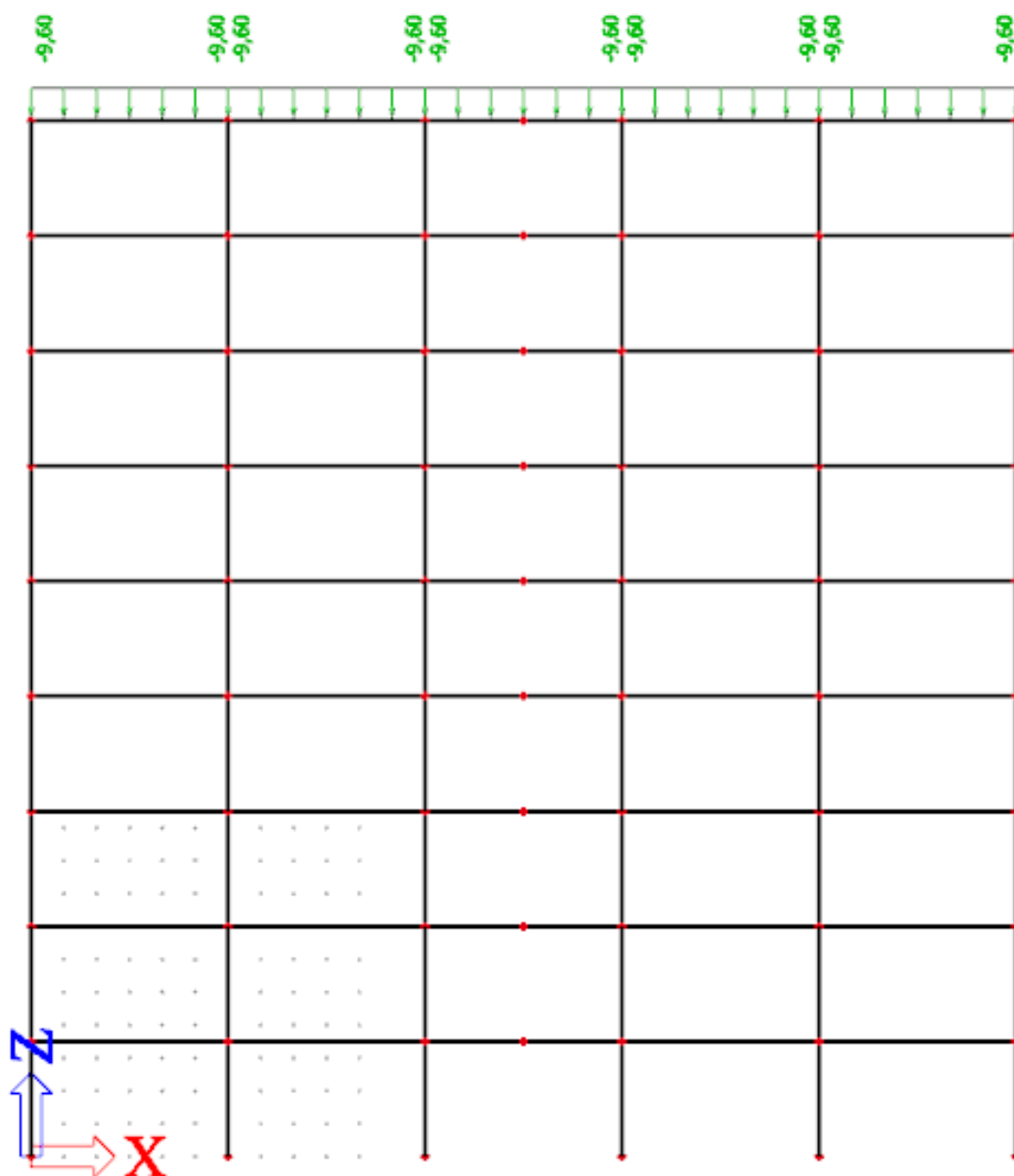
$c_t = 1,0$

Zaťaženie snehom :

$$s = q_s = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k =$$

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 1,6 \cdot Z\check{S} = 1,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ kN/m}$$



Obr. 5.4-6 – 9-podlažný rám – ZS6 – Zaťaženie snehom

- **ZS7 – Zaťaženie vetrom – zľava -**

ZS8 – Zaťaženie vetrom – sprava -

Výška budovy $h = 31,5$ m podľa normy spadá do rozdelenia zaťaženia po výške vid'. Obr. 5.4-7. Z toho dôvodu bude najprv spočítaný účinok vetra pre výšku $z = h$ (31,5 m) a následne pre $z = b$ (30 m) aby bolo možné dopočítať sily od vetra po výške rámu.

Výpočet pre výšku $z = h$

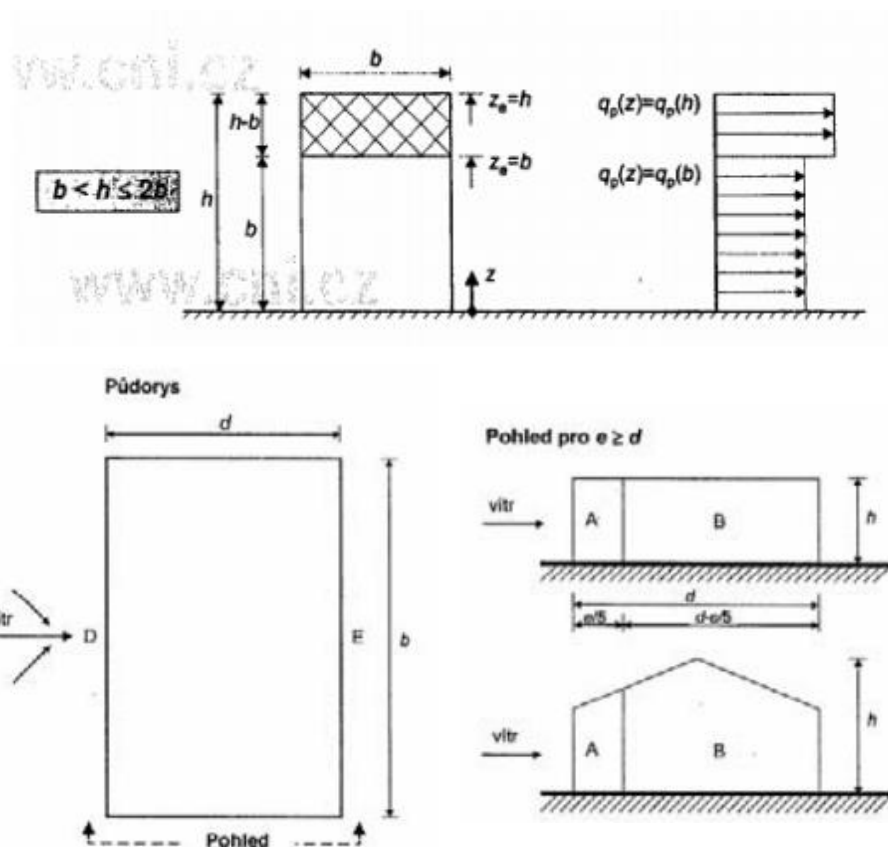
Veterná oblasť :	Frýdek-Místek – II. $\Rightarrow v_{b,0} = 27,5$ m/s
Kategória terénu :	III. $\Rightarrow z_0 = 0,3$ m; $z_{\min} = 5$ m; $z_{\max} = 200$ m
$z = 31,5$ m ($z = h$)	
Súčiniteľ smeru vetra :	$C_{dir} = 1,0$
Súčiniteľ ročného obdobia :	$C_{season} = 1,0$
Základná rýchlosť vetra :	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} =$ $v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5$ m/s
Súčiniteľ orografie :	$C_0(z) = 1,0$
Súčiniteľ terénu :	$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$ pre $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$
Súčiniteľ drsnosti terénu :	$c_r(z_h) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ pre $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ $c_r(z_h) = 0,2154 \cdot \ln\left(\frac{31,5}{0,3}\right) = 1,002$
Charakteristická stredná rýchlosť vetra :	$v_m(z_h) = c_r(z_h) \cdot C_0(z) \cdot v_b =$ $v_m(z_h) = 1,002 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,57$ m/s
Vplyv turbulencií :	$I_v(z_h) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{31,5}{0,3}\right)} = 0,2149$
Merná hmotnosť vzduchu :	$\rho = 1,25$ kg/m ³
Súčiniteľ turbulencie :	$k_I = 1,0$
Základný dynamický tlak :	$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 =$ $q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 472,66$ N/m ²
Maximálny dynamický tlak :	$q_p(z_h) = [1 + 7 \cdot I_v(z_h)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z_h)^2 =$ $q_p(z_h) = [1 + 7 \cdot 0,2149] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,57^2 =$ $q_p(z_h) = 1189,71$ N/m ²

Výpočet pre výšku $z = b$

Veterná oblasť :	Frýdek-Místek – II. $\Rightarrow v_{b,0} = 27,5$ m/s
Kategória terénu :	III. $\Rightarrow z_0 = 0,3$ m; $z_{\min} = 5$ m; $z_{\max} = 200$ m

z = 30 m (z = b)

Súčiniteľ smeru vetra :	$C_{dir} = 1,0$
Súčiniteľ ročného obdobia :	$C_{season} = 1,0$
Základná rýchlosť vetra :	$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} =$ $v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$
Súčiniteľ orografie :	$C_0(z) = 1,0$
Súčiniteľ terénu :	$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \text{ pre } z_{min} \leq z \leq z_{max}$ $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$
Súčiniteľ drsnosti terénu :	$c_r(z_b) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pre } z_{min} \leq z \leq z_{max}$ $c_r(z_b) = 0,2154 \cdot \ln\left(\frac{30}{0,3}\right) = 0,992$
Charakteristická stredná rýchlosť vetra :	$v_m(z_b) = c_r(z_b) \cdot C_0(z) \cdot v_b =$ $v_m(z_b) = 0,992 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,28 \text{ m/s}$
Vplyv turbulencií :	$I_v(z_b) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{30}{0,3}\right)} = 0,2171$
Merná hmotnosť vzduchu :	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
Súčiniteľ turbulencie :	$k_l = 1,0$
Základný dynamický tlak :	$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 =$ $q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 472,66 \text{ N/m}^2$
Maximálny dynamický tlak :	$q_p(z_b) = [1 + 7 \cdot I_v(z_b)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z_b)^2 =$ $q_p(z_b) = [1 + 7 \cdot 0,2171] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,28^2 =$ $q_p(z_b) = 1164,81 \text{ N/m}^2$



Obr. 5.4-7 – Referenční výška budovy a legenda pro zvislé steny pro 9-podlažný rám

$$d = 30 \text{ m}; b = 30 \text{ m}; h = 31,5 \text{ m}$$

$$h/d = 31,5/30 = 1,05$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(30; 2 \cdot 31,5) = \min(30; 63) = 30 \text{ m}$$

Súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra -

$$C_{pe,10,A} = -1,2$$

$$C_{pe,10,B} = -0,8$$

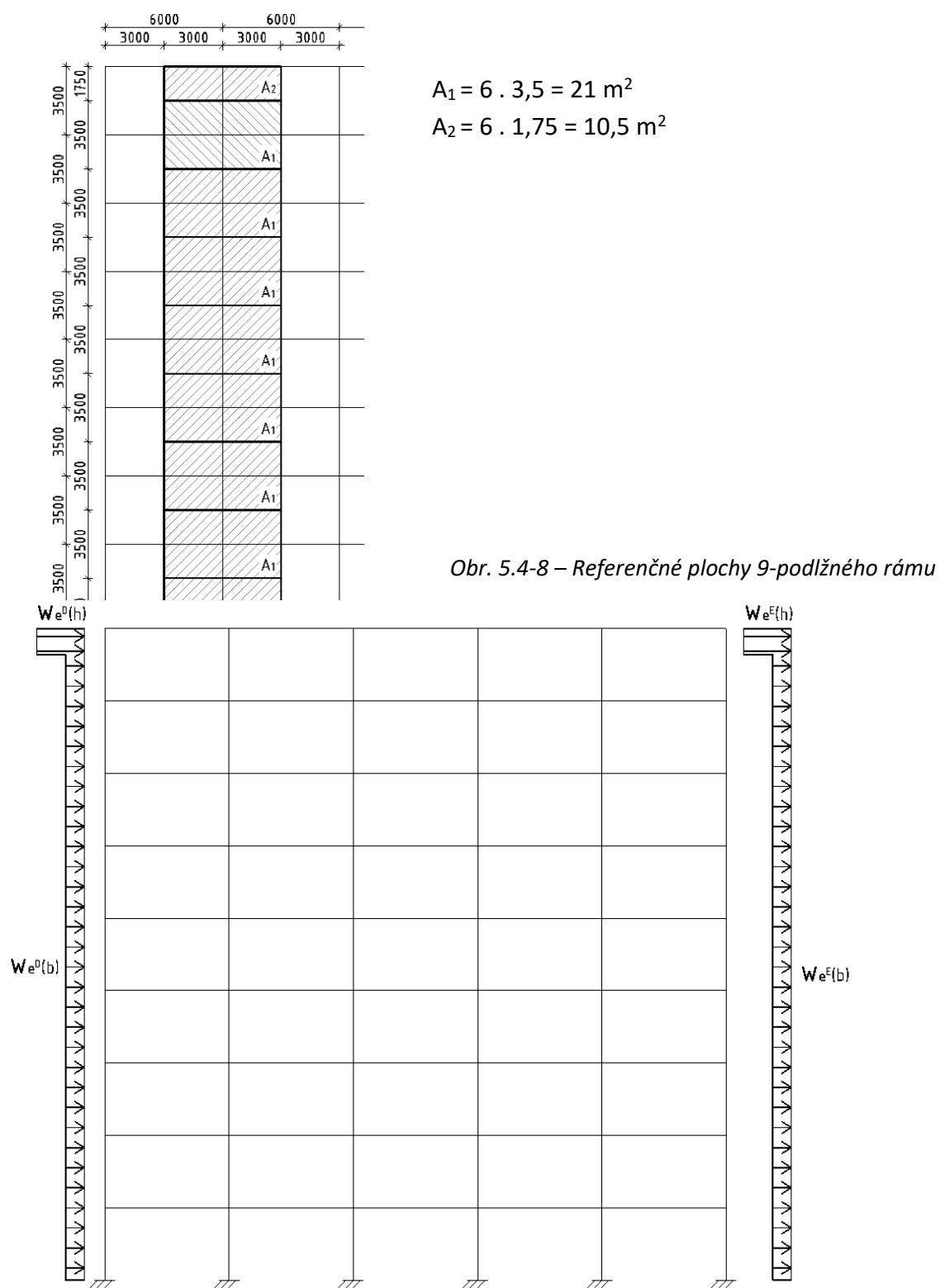
$$C_{pe,10,C} = -0,5$$

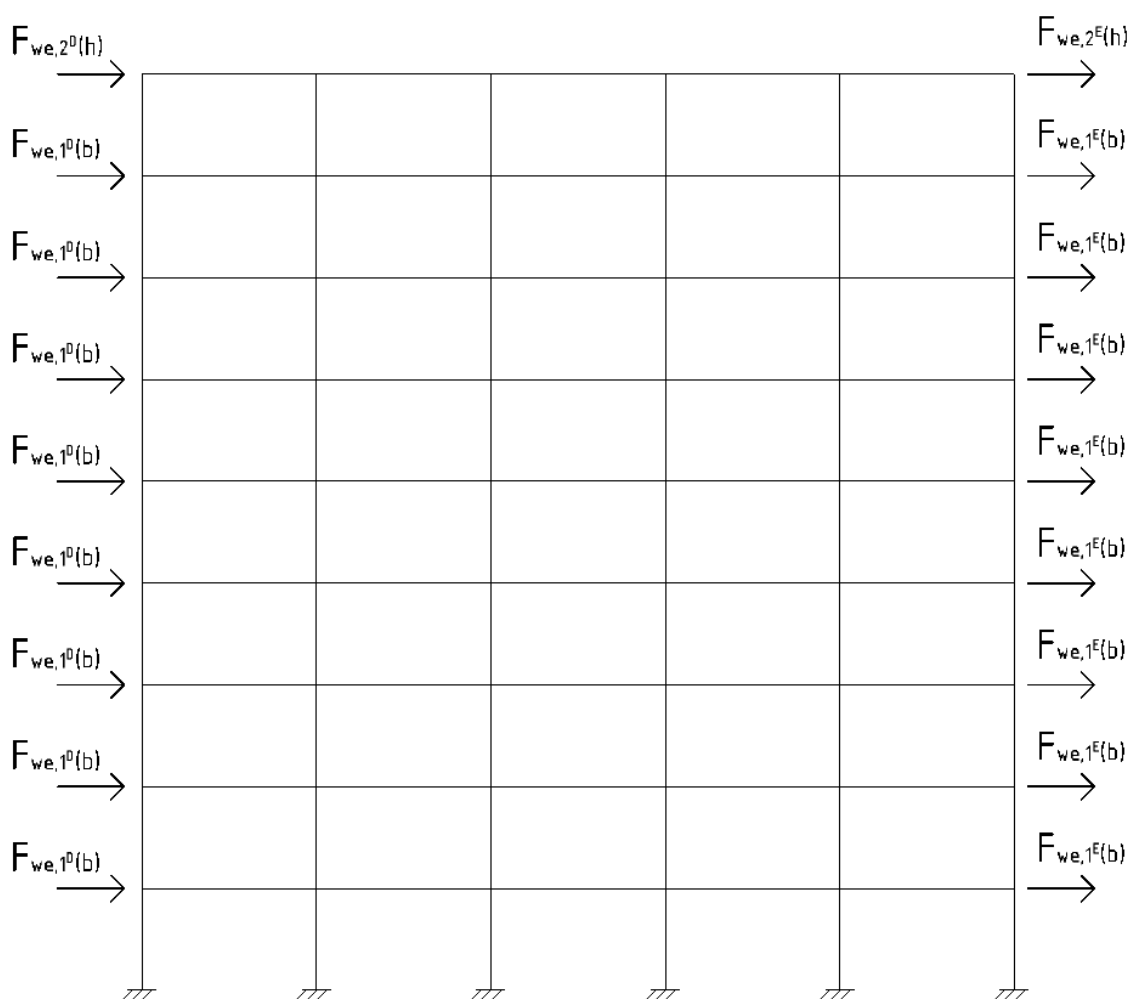
$$C_{pe,10,D} = +0,8$$

$$C_{pe,10,E} = -0,5025$$

$$w_e = q_p(z) \cdot C_{pe}$$

$$F_w = C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$$





Obr. 5.4-9 – Tlak vetra na 3-podlažný rám a jednotlivé sily od vetra

- Tlak vetra :

$$w_e^D(h) = q_p(z_{eh}) \cdot c_{pe}^D = 1189,71 \cdot 0,8 = 951,77 \text{ N/m}^2$$

$$w_e^E(h) = q_p(z_{eh}) \cdot c_{pe}^E = 1189,71 \cdot (-0,5025) = -597,83 \text{ N/m}^2$$

$$w_e^D(b) = q_p(z_{eb}) \cdot c_{pe}^D = 1164,81 \cdot 0,8 = 931,85 \text{ N/m}^2$$

$$w_e^E(b) = q_p(z_{eb}) \cdot c_{pe}^E = 1164,81 \cdot (-0,5025) = -585,32 \text{ N/m}^2$$

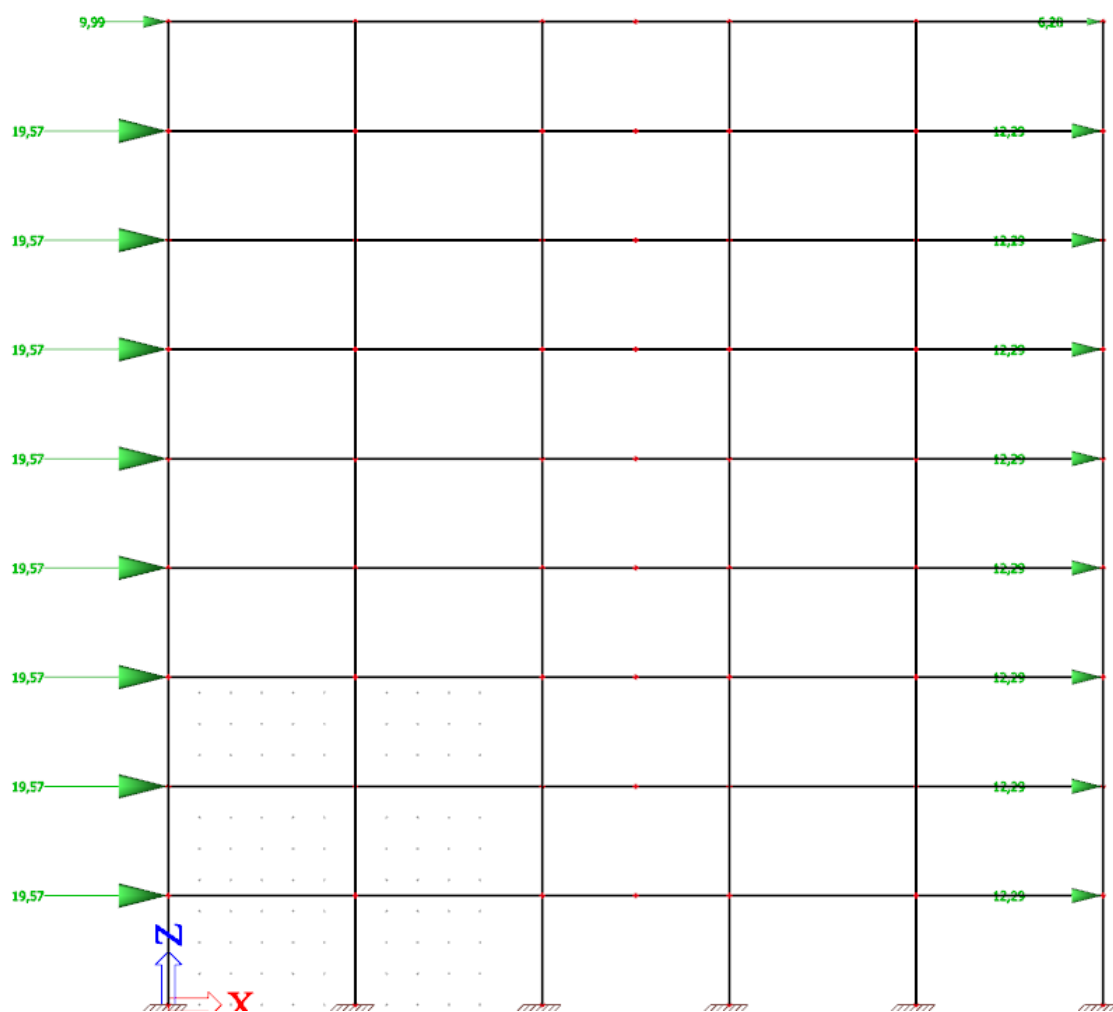
- Sily od vetra :

$$F_{we,1}^D(b) = w_e^D(b) \cdot A_1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 931,85 \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 19,57 \text{ kN}$$

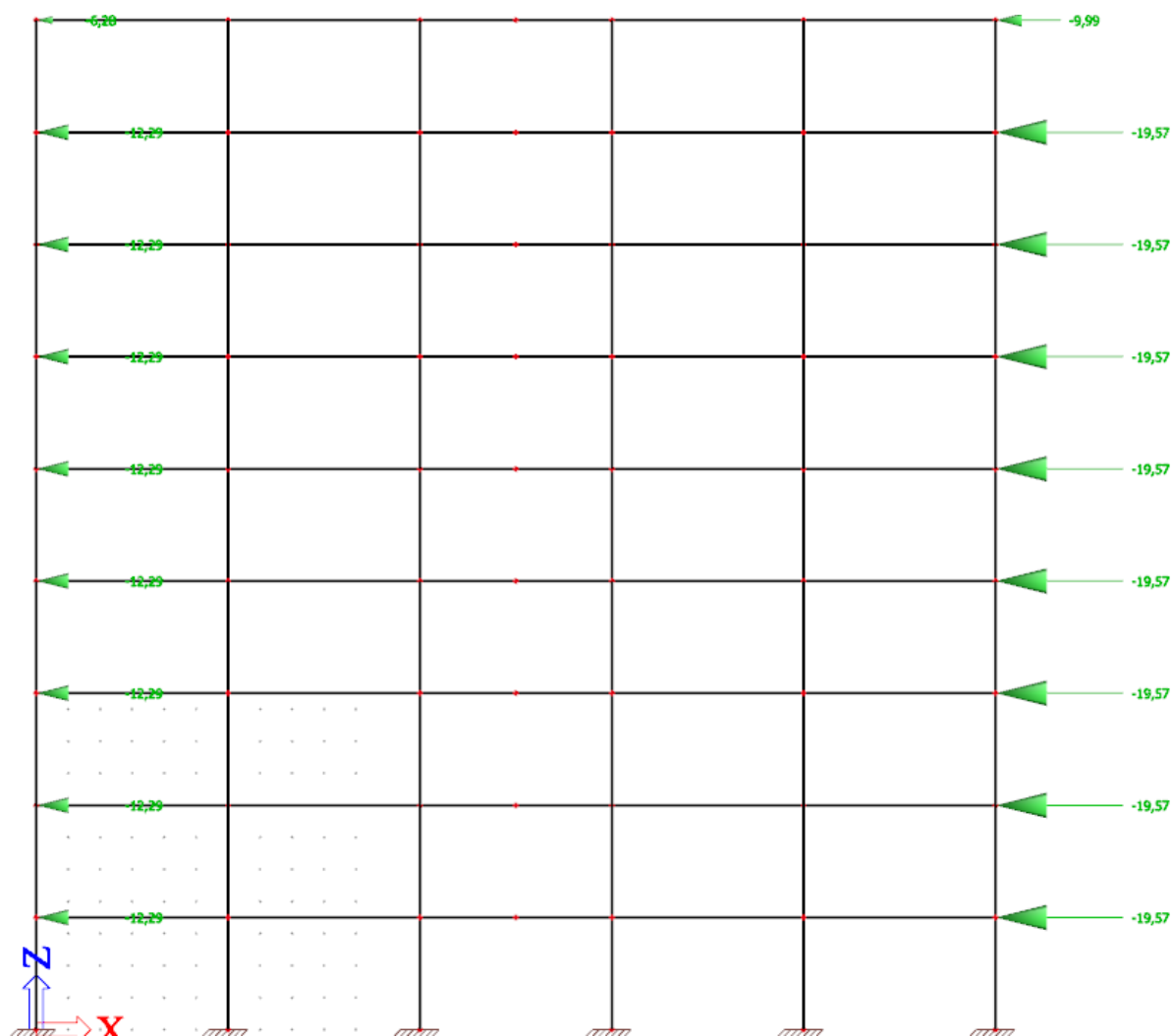
$$F_{we,2}^D(h) = w_e^D(h) \cdot A_2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 951,77 \cdot 10,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 9,99 \text{ kN}$$

$$F_{we,1}^E(b) = w_e^E(b) \cdot A_1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = (-585,32) \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = -12,29 \text{ kN}$$

$$F_{we,2}^E(h) = w_e^E(h) \cdot A_2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = (-597,83) \cdot 10,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = -6,28 \text{ kN}$$



Obr. 5.4-10 – 9-podlažný rám – ZS7 – Zatiaženie vetrom – zľava



Obr. 5.4-11 – 9-podlažný rám – ZS8 – Zaťaženie vetrom – sprava

6. Účinky seizmicity

6.1. Seizmické zaťaženie

6.1.1. Kombinácia hmôt pre výpočet zotrvačných síl

Pre analýzu vlastného kmitania konštrukcie je nutné vytvoriť kombináciu takých hmôt, ktoré budú mať významný vplyv na vlastné tvary zaťaženej konštrukcie. Kombinácia bola vytvorená podľa predpisu : $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i},$$

kde :

φ je súčiniteľ zohľadňujúci využitie konštrukcie a vzájomnú závislosť úžitného zaťaženia

$\psi_{2,i}$ je súčiniteľ pre kvazistálu hodnotu premenného zaťaženia

$\varphi = 0,5$ kategória B – kancelárske plochy – podlažia so vzájomne nezávislými úžitnými zaťažzeniami

Typ zaťaženia	$\Psi_{2,i}$
Úžitné – kategória B – kancelárske plochy	0,3
Klimatické – sneh, vietor	0

Tab. 6.1-1 – Tabuľka hodnôt súčiniteľa $\psi_{2,i}$

Výsledná kombinácia aplikovaná do softwaru SciaEngineer a Dlubal RFEM :

(„Stále zaťaženie“ : ZS1-ZS2) . 1,0 + („Úžitné zaťaženie“ : ZS3) . 0,5 . 0,3

6.1.2. Modálna analýza vlastných tvarov kmitu pre 3-podlažný rám

Pomocou softwaru bolo vypočítaných prvých 18 vlastných tvarov kmitu. Každý bod v konštrukcii má 6 možných vlastných tvarov to znamená, že na jedno podlažie je jedna hmota, ktorá má 6 vlastných tvarov. Výsledný počet vlastných tvarov sa dá zjednodušene určiť tak, že sa vynásobí počet podlaží počtom možných vlastných tvarov (6) a dostaneme maximálny počet vlastných tvarov, v ktorých vykmitá 90% hmôt, ktoré vyžaduje norma [5]. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené významné vlastné tvary, v ktorých kmitá aspoň 5% modálnej hmoty.

Vlastný tvar	Frekvencia [Hz]	Periódna [s]	Modálna kmitajúca hmota [-]	
			V ose x	V ose z
1	1,785	0,560	0,861	0,000
2	5,603	0,178	0,105	0,000
3	9,369	0,107	0,026	0,000

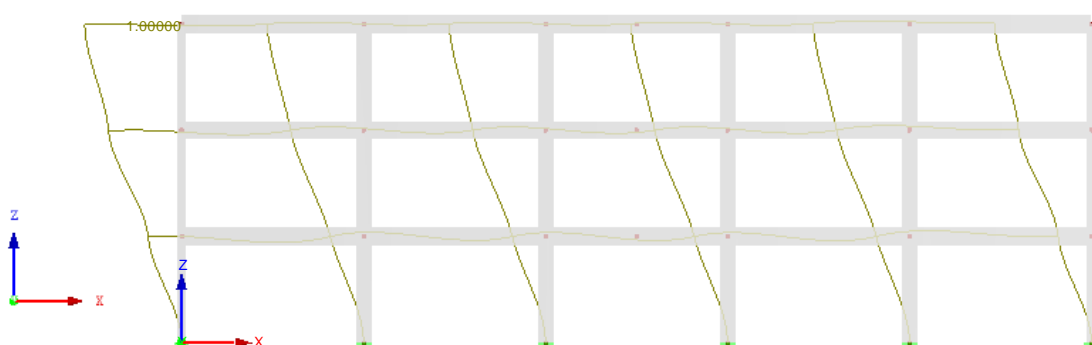
$$\Sigma = 0,992$$

Tab. 6.1-2 – 3-podlažný rám - Prehľad vlastných tvarov kmitu

Na konci tabuľky môžeme vidieť, že konštrukcia splňuje požiadavky na výpočet seizmických účinkov pomocou modálnych spektier odozvy – kmitá cez 90% efektívnej modálnej hmoty a zároveň nekmitá žiadna hmota vo zvislom smere a preto nie je potreba navrhovať spektrum odozvy v smere osi z.

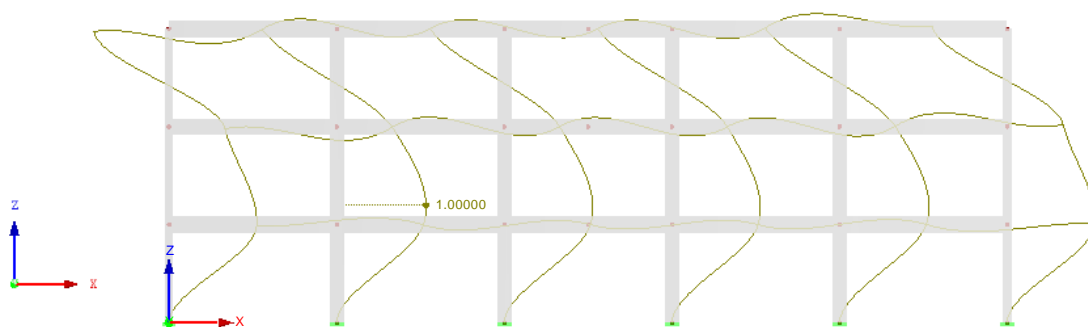
Na obrázkoch nižšie môžeme vidieť 3 rozhodujúce vlastné tvary kmitu, kde hmota kmitá predovšetkým v jednom z hlavných smerov a postupne sa zvyšuje počet polovln kmitu. Ostatné tvary kmitu boli značne ovplyvnené krútiacimi účinkami, preto v nich kmitá minimum hmoty.

RF-DYNAM Pro
Vlastní kmitání u
Vlastní tvar č. 1 - 1.785 Hz



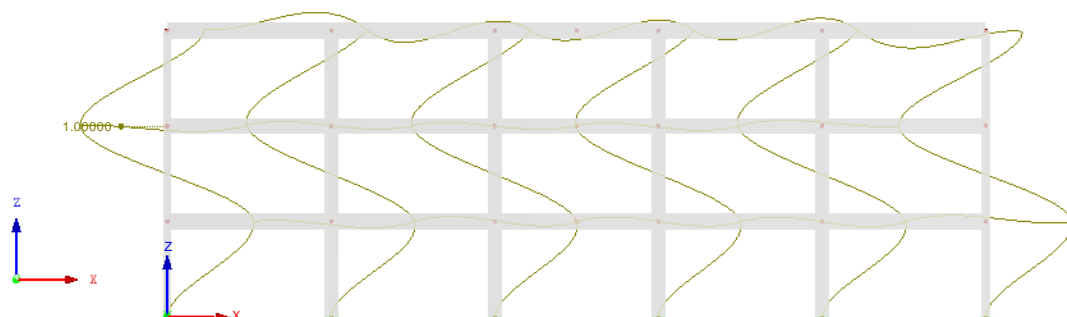
Obr. 6.1-1 – 3-podlažný rám - Vlastný tvar kmitu č.1

RF-DYNAM Pro
Vlastní kmitání u
Vlastní tvar č. 2 - 5.603 Hz



Obr. 6.1-2 – 3-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.2

RF-DYNAM Pro
Vlastní kmitání u
Vlastní tvar č. 3 - 9.369 Hz



Obr. 6.1-3 – 3-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.3

6.1.3. Modálna analýza vlastných tvarov kmitu pre 9-podlažný rám

Pomocou softwaru bolo vypočítaných prvých 36 vlastných tvarov kmitu. Každý bod v konštrukcii má 6 možných vlastných tvarov to znamená, že na jedno podlažie je jedna hmota, ktorá má 6 vlastných tvarov. Výsledný počet vlastných tvarov sa dá zjednodušene určiť tak, že sa vynásobí počet podlaží počtom možných vlastných tvarov (6) a dostaneme maximálny počet vlastných tvarov, v ktorých vykmitá 90% hmôt, ktoré vyžaduje norma [5]. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené významné vlastné tvary, v ktorých kmitá aspoň 5% modálnej hmoty.

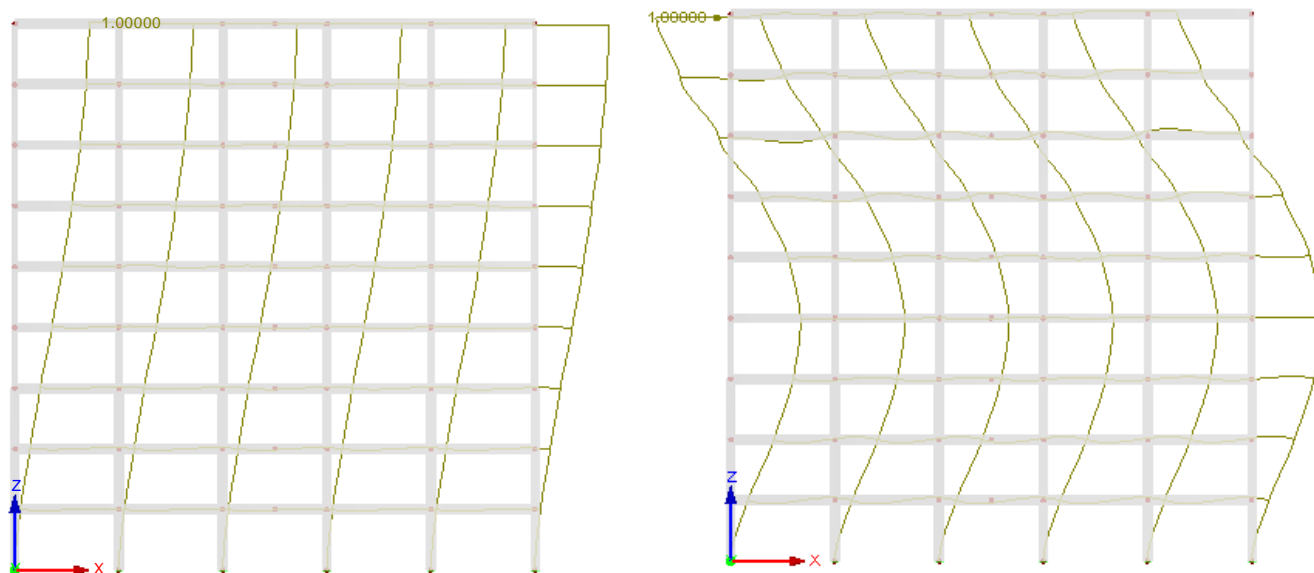
Vlastný tvar	Frekvencia [Hz]	Periódá [s]	Modálna kmitajúca hmota [-]	
			V ose x	V ose z
1	0,700	1,430	0,769	0,000
2	2,032	0,492	0,111	0,000
3	3,497	0,286	0,047	0,000
4	5,106	0,196	0,021	0,000
5	6,863	0,146	0,014	0,000
6	8,743	0,114	0,010	0,000
7	10,178	0,098	0,009	0,000
8	11,881	0,084	0,005	0,000
9	15,768	0,063	0,008	0,000

$$\Sigma = 0,995$$

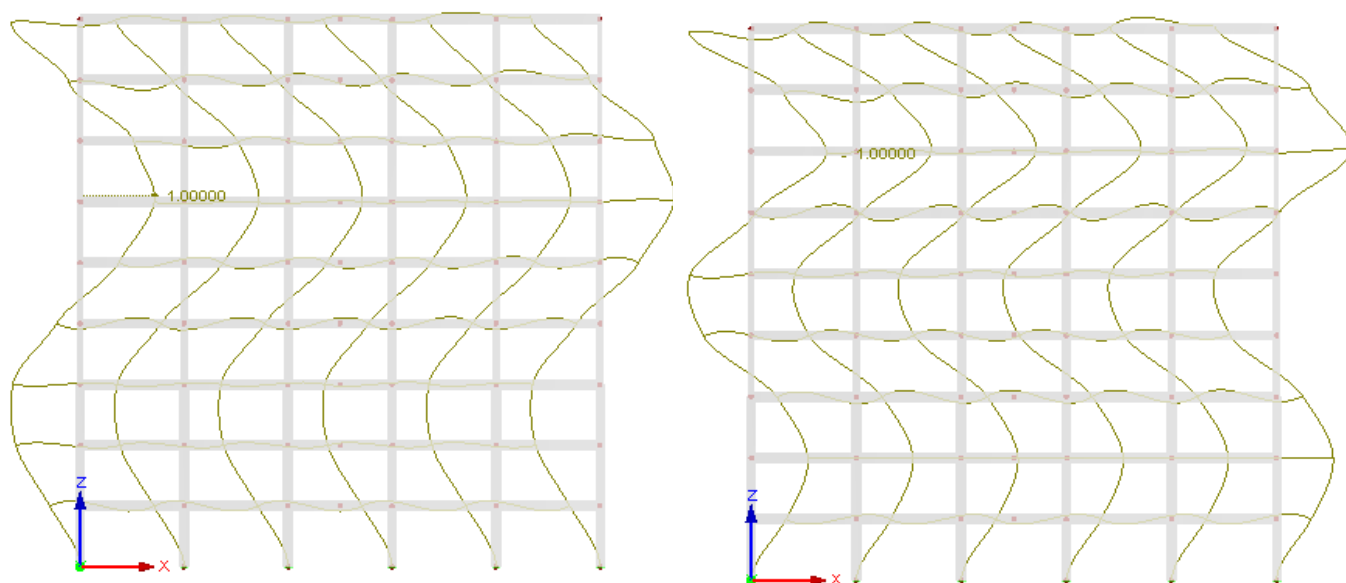
Tab. 6.1-3 – 9-podlažný rám - Prehľad vlastných tvarov kmitu

Na konci tabuľky môžeme vidieť, že konštrukcia splňuje požiadavky na výpočet seizmických účinkov pomocou modálnych spektier odozvy – kmitá cez 90% efektívnej modálnej hmoty a zároveň nekmitá žiadna hmota vo zvislom smere a preto nie je potreba navrhovať spektrum odozvy v smere osi z.

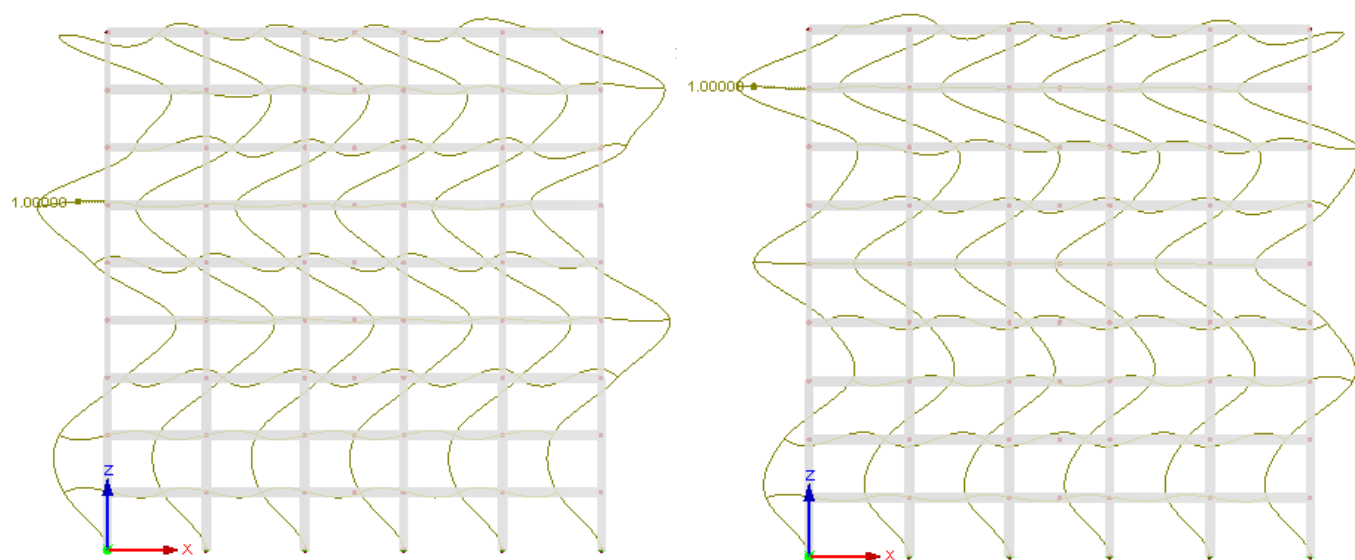
Na obrázkoch nižšie môžeme vidieť 9 rozhodujúcich vlastných tvarov kmitu, kde hmota kmitá predovšetkým v jednom z hlavných smerov a postupne sa zvyšuje počet polovln kmitu. Ostatné tvary kmitu boli značne ovplyvnené krútiacimi účinkami, preto v nich kmitá minimum hmoty.



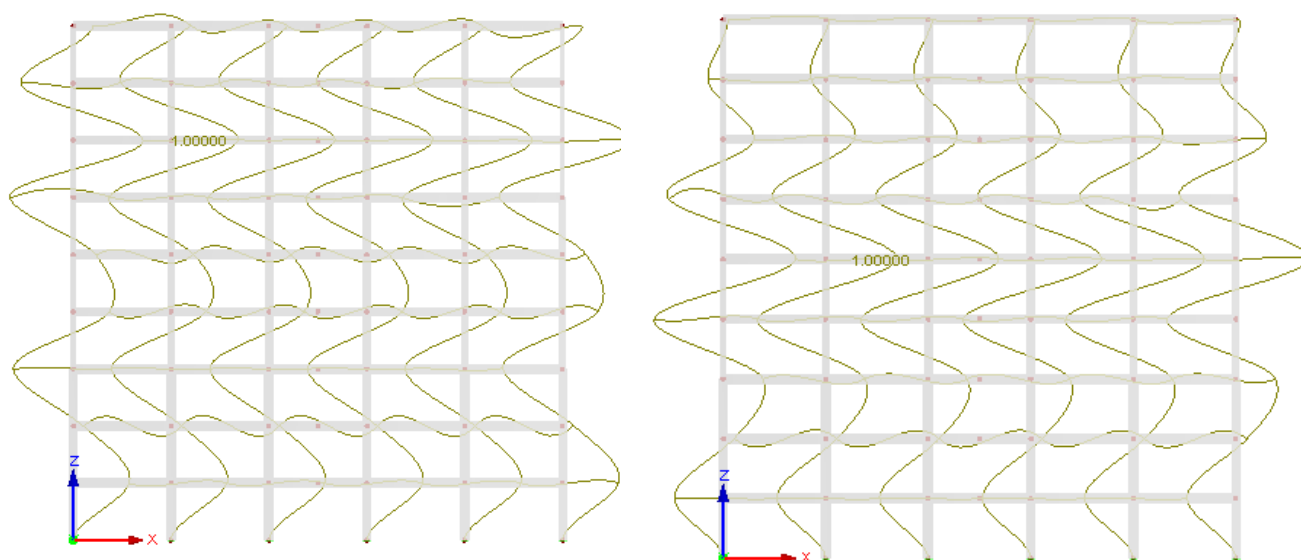
Obr. 6.1-4 – 9-podlažný rám - Vlastný tvar kmitu č.1; Vlastný tvar kmitu č.2



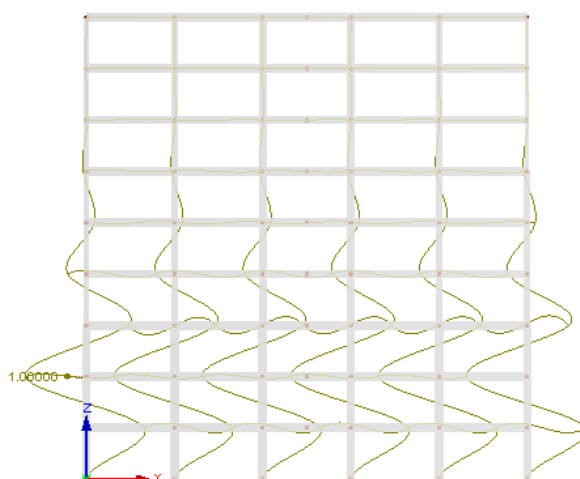
Obr. 6.1-5 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.3; Vlastný tvar kmitu č.4



Obr. 6.1-6 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.5; Vlastný tvar kmitu č.6



Obr. 6.1-7 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.7; Vlastný tvar kmitu č.8



Obr. 6.1-8 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.9

6.1.4. Spektrálna analýza

Návrhové spektrum bolo vygenerované automaticky na základe údajov o polohe, tvaru a typu konštrukcie, ktoré rozhodujú o tvaru spektra. Bolo vytvorené vodorovné spektrum, pretože duktilita je rovnaká pre rámy odolávajúce momentom aj rámy so stužením.

6.1.4.1. Nízka seizmicita –

Súčiniteľ významu : trieda významu II. – obvyklé pozemné stavby

$$\gamma_1 = 1,0$$

Návrhové zrýchlenie : okres Frýdek-Místek – oblasť 0,06.g

$$a_{gR} = 0,59 \text{ m/s}^2$$

$$a = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 1,0 \cdot 0,59 = 0,59 \text{ m/s}^2$$

Súčiniteľ duktility :

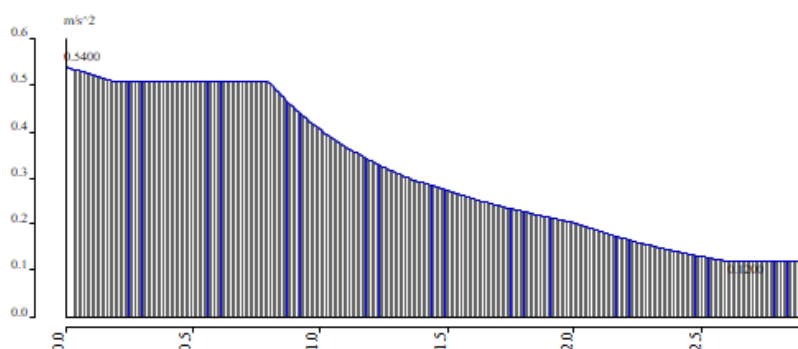
stredná duktilita

železobetónové rámy odolávajúce momentov
(s kombináciou centrického stuženia)

 $q = 4$

Parametre podložia :

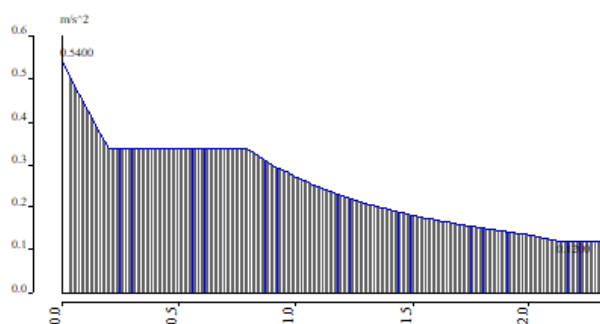
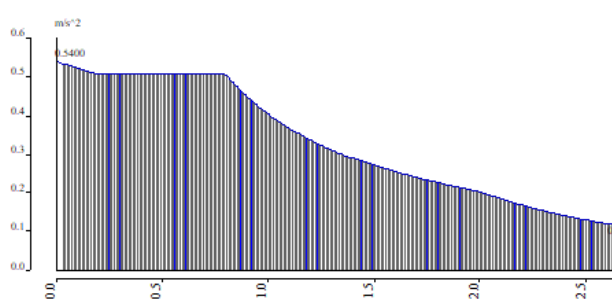
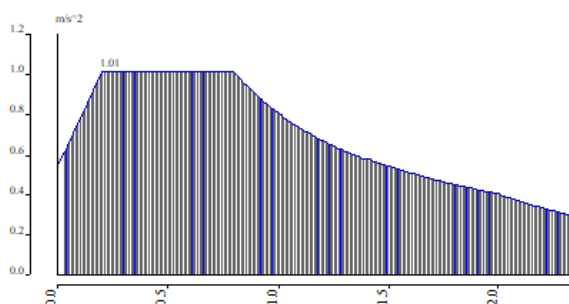
typ podložia D – sediment z kyprej nesúdržnej zeminy
spektrum typu 1



souč. zrychlení a_g	0,061
a_g - návrhové zrychlení [m/s²]	0,600
q - součinitel duktility	4,000
beta	0,200
S , T_b , T_c , T_d ručně?	Ne
Typ podloží	D
Typ spektra	typ 1
Směr	Vodorovně
Součinitel směru	1
S - koeficient zeminy	1,350
T_b	0,200
T_c	0,800
T_d	2,000

Obr. 6.1-9 – 9-podlažný rám – nízka seizmicita - vstupné parametre a vygenerovaný tvar spektra odozvy zo softwaru Scia Engineer

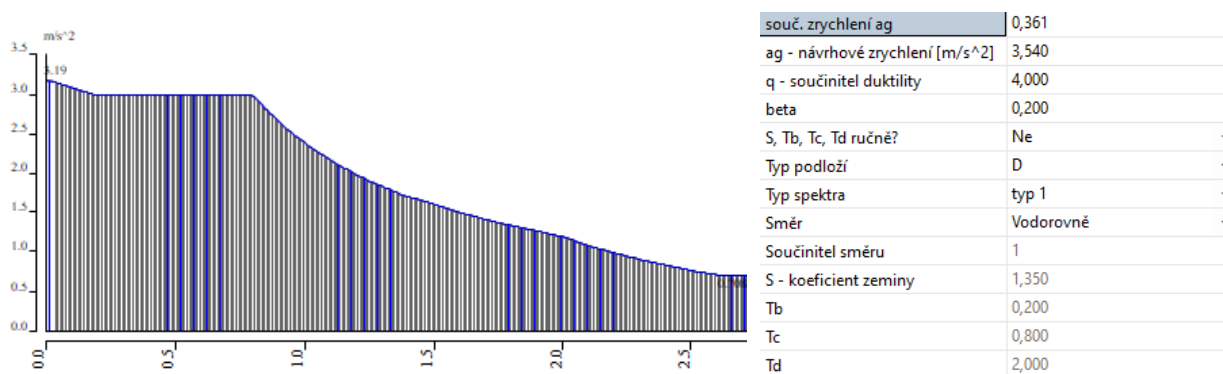
Tvar návrhové spektra je závislý predovšetkým na tuhosti (duktilite) konštrukcie a jeho tvar sa mení predovšetkým v ľavej a strednej časti, kde s rastúcou tuhosťou konštrukcie stúpa, čo znamená, že sa zvyšujú seizmické účinky na konštrukciu. Na obrázkoch nižšie sú zobrazené 3 spektrá pre rovnaké základové a seizmické podmienky, mení sa iba duktilita konštrukcie. Príklady sú uvedené pre duktilitu o hodnotách 2, 4 a 6, alebo taktiež nízka, stredná a vysoká duktilita.



Obr. 6.1-10 – Návrhové spektrum – duktilita $q=2$; $q=4$; $q=6$

6.1.4.2. Vysoká seizmicita –

Súčiniteľ významu :	trieda významu II. – obvyklé pozemné stavby
	$\gamma_1 = 1,0$
Návrhové zrýchlenie :	Grécko, ostrov Kefalónia – Z3
	$a_{gR} = 3,54 \text{ m/s}^2$
	$a = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 1,0 \cdot 3,54 = 3,54 \text{ m/s}^2$
Súčiniteľ duktility :	stredná duktilita
	železobetónové rámy odolávajúce momentov (s kombináciou centrického stuženia)
	$q = 4$
Parametre podložia :	typ podložia D – sediment z kyprej nesúdržnej zeminy
	spektrum typu 1



Obr. 6.1-11 – 3-podlažný rám – vysoká seizmicita - vstupné parametre a vygenerovaný tvar spektra odozvy zo softwaru Scia Engineer

6.1.4.3. Kombinácia seizmických účinkov

Vzhľadom k tomu, že frekvencie významných vlastných tvarov kmitu konštrukcie sú od vzdialené viacej ako o 10% bolo by možné počítať kombináciu odoziev kmitania metódou SRSS, ale vďaka možnostiam softwarového vybavenia použitého k výpočtu bude použitá metóda CQC (metóda kompletnej kombinácie – v praxi využívaná najčastejšie), ktorá je všeobecne presnejšou metódou zahrňujúca aj úroveň tlmenia konštrukcie, ktoré bude zvolené podľa zvyklostí 5%.

Jméno	ZS9
Popis	Ex - quake
Typ působení	Proměnné
Skupina zatížení	LG2 - Seizmicita
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Seismické
Parametry	
Směr X	
Směr X	<input checked="" type="checkbox"/>
Spectrum odezvy X	FS1
Součinitel X	1
Směr Y	
Směr Y	<input type="checkbox"/>
Směr Z	
Směr Z	<input type="checkbox"/>
Součinitel zrychlení	1
Referenční úroveň překlopení [m]	0,000
Ekvivalentní příčné síly	
Metoda ELF	Vypnut
Náhodná excentricita	
Metoda	Vypnut
Modální superpozice	
Typ superpozice	CQC
Spektrum tlumení	CQC-0,05
Vícenásobné vlastní tvary	
Sjednotit vlastní tvary	<input type="checkbox"/>
Hmota ve výpočtu	Pouze spolupůsobící hmota
Výsledky se znaménkem	
Převládající mód	<input type="checkbox"/>
Řídící zat. stav	Žádný
Kombi hmot	CM1

Obr. 6.1-12 – 9-podlažný rám – ZS9 – Seismické zatížení X

7. Kombinácia zaťažení

7.1.1. MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu

Pre medzné stavy únosnosti boli vytvorené kombinácie podľa bežne používaných rovníc 6.10a a 6.10b.

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Najskôr boli kombinačné kľúče zostavené automaticky softwarom, potom boli vybrané a ručne overené iba kombinácie vyvolávajúce najnepriaznivejšie účinky na jednotlivých prvkoch koštruktie.

7.1.2. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu

Pre seizmickú návrhovú situáciu boli vytvorené kombinácie podľa normových rovníc 6.12b.

$$6.12b: \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Vzhľadom ku koeficientom (viď. 4.5.4) použitým v kombinačnom kľúči bolo možné vytvoriť iba jednu kombináciu pre každý vodorovný smer.

7.1.3. MSP – charakteristická kombinácia zaťaženia

V medznom stave použiteľnosti bude overovaný vodorovný posun vo vrchole budovy a vodorovný posun v jednotlivých podlažiach od zaťaženia vetrom. Ďalej budú posudzované lokálne priehyby jednotlivých nosníkov (prievlaky, stĺpy), tieto priehyby budú posudzované na charakteristickú kombináciu premenných zaťažení podľa nasledujúceho vzorca :

$$Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.1.4. Prehľad zaťažovacích stavov a kombinačných súčiniteľov

Ozn.	Názov	Kombinačné súčinitele					Skupina zaťaženia	
		γ_i	ξ	ψ_0	ψ_1	ψ_2		
ZS1	Vlastná tiaž	1,35	0,85	-			Stále	
ZS2	Ostatné stále zaťaženie							
ZS3	Úžitné zaťaženie - plné	1,5	-	0,7	0,5	0,3	Úžitné	
ZS4	Úžitné zaťaženie – šach 1							
ZS5	Úžitné zaťaženie – šach 2							
ZS6	Sneh			0,5	0,2	0,0	Sneh	
ZS7	Vietor - L			0,6	0,2	0,0	Vietor	Výberová
ZS8	Vietor - P							
ZS9	Seizmické zaťaženie - X	-					Seizmické	

7.1.5. Kombinácia účinkov

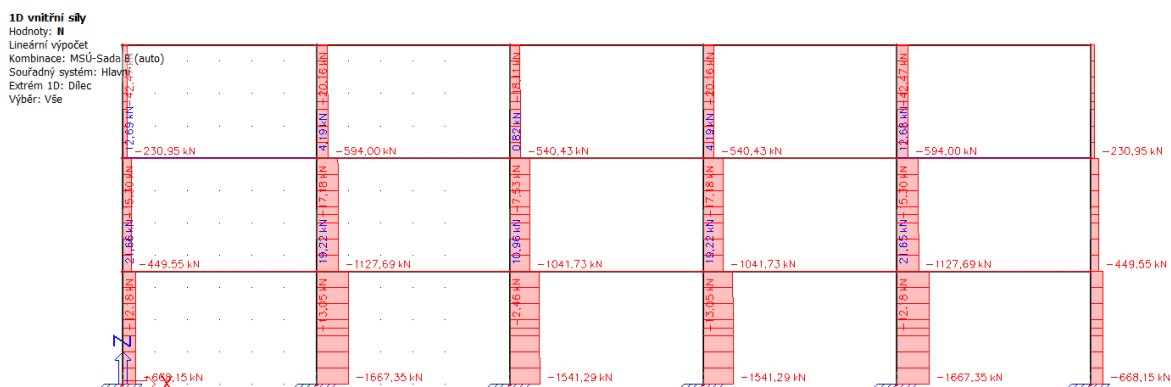
V programoch boli vytvorené kombinácie podľa kombinačného pravidla 6.10a a 6.10b. Celkovo bolo vytvorených 293 kombinácií pre posúdenie podľa MSÚ.

8. Výsledky

8.1. 3-podlažný rám

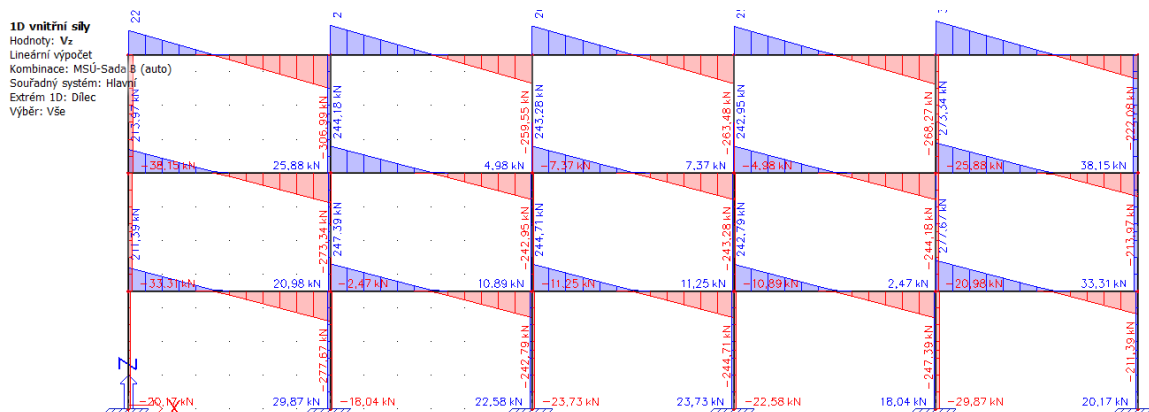
8.1.1. MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu

8.1.1.1. Normálové sily - N



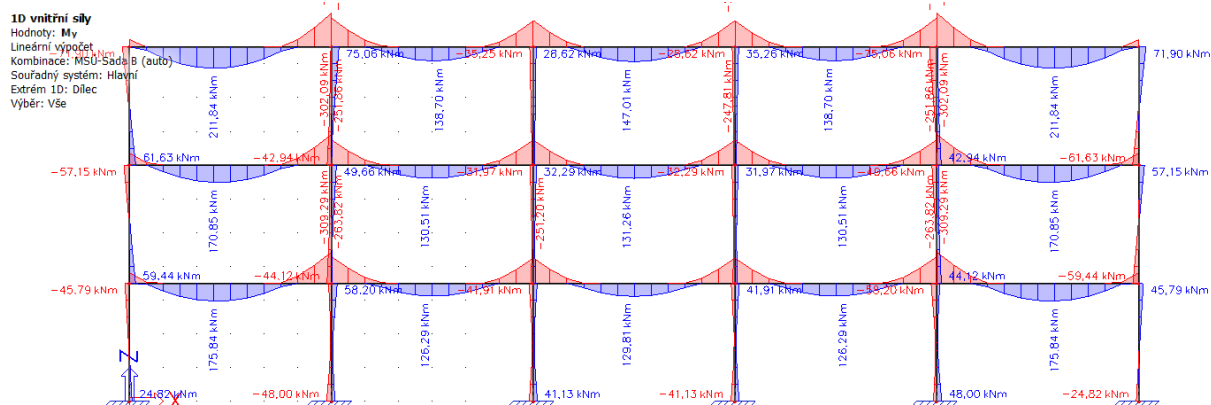
Obr. 8.1-1 – MSÚ – 3-podlažný rám – N – normálové sily

8.1.1.2. Posuvající sily - V



Obr. 8.1-2 – MSÚ – 3-podlažný rám – V – posuvající sily

8.1.1.3. Ohybové momenty – M



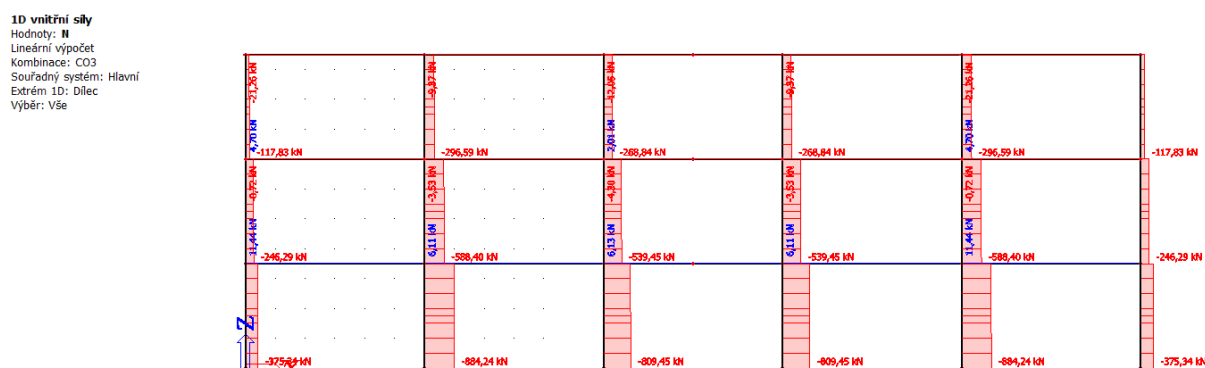
Obr. 8.1-3 – MSÚ – 3-podlažný rám – M – ohybové momenty

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S1	Päta	-668,15	-20,17	24,82
	Hlava	-659,29	-20,17	-45,79
S2	Päta	-1667,35	29,87	59,44
	Hlava	-1647,65	29,87	-57,15
R1	Vľavo	-	211,39	-102,93
	Stred	-	-	175,84
	Vpravo	-	-277,67	-309,29
R2	Vľavo	-	247,39	-263,82
	Stred	-	-	126,29
	Vpravo	-	-242,79	-248,16

Tab. 8.1-1 – Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme - MSÚ

8.1.2. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – nízka seismicita

8.1.2.1. Normálové sily – N



Obr. 8.1-4 – Nízka seismicita – 3-podlažný rám – N – normálové sily

8.1.2.2. Posúvajúce sily - V

1D vnútorné sily

Hodnoty: Vz

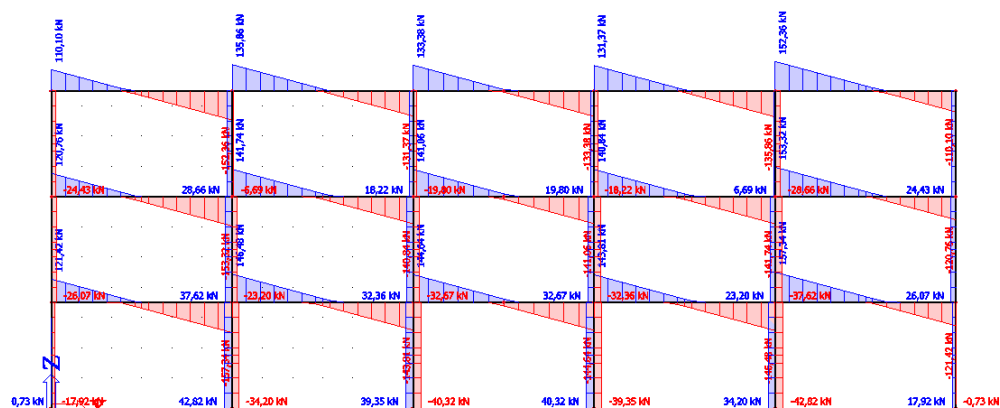
Lineárny výpočet

Kombinácia: C03

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dilce

Výběr: Vše



Obr. 8.1-5 - Nízka seizmicita – 3-podlažný rám – V – posúvajúce sily

8.1.2.3. Ohybové momenty - M

1D vnútorné sily

Hodnoty: My

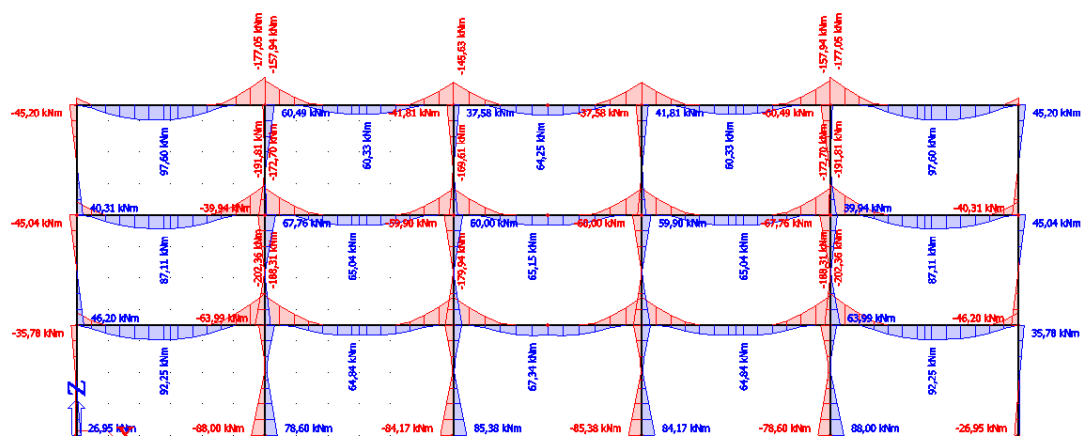
Lineárny výpočet

Kombinácia: C03

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dilce

Výběr: Vše



Obr. 8.1-6 - Nízka seizmicita – 3-podlažný rám – M – ohybové momenty

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S1	Päta	-375,34	-17,92	26,95
	Hlava	-367,62	-17,92	-35,78
S2	Päta	-884,24	42,82	-88,0
	Hlava	-867,07	42,82	61,90
R1	Vľavo	-	121,42	-81,89
	Stred	-	-	92,25
	Vpravo	-	-157,34	-202,36
R2	Vľavo	-	146,48	-188,31
	Stred	-	-	64,84
	Vpravo	-	-143,81	-179,12

Tab. 8.1-2 - Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme – nízka seizmicita

8.1.3. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – vysoká seismicita

8.1.3.1. Normálové sily – N

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

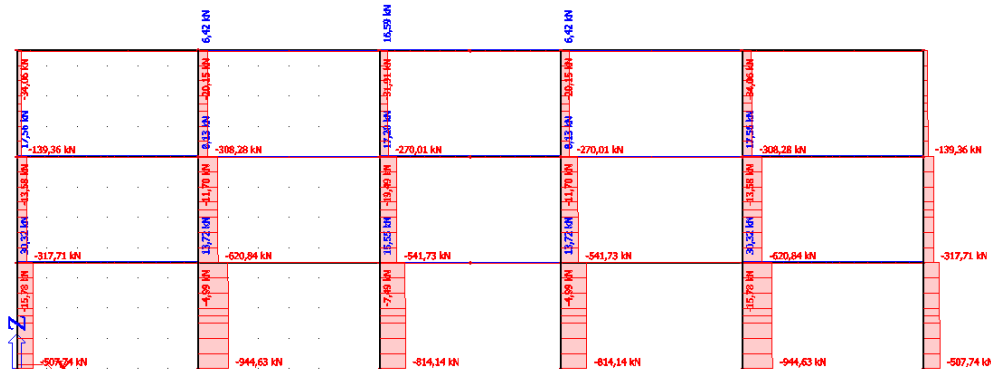
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dilec

Výběr: Vše

Obr. 8.1-7 - Vysoká seismicita – 3-podlažný rám – N – normálové sily

8.1.3.2. Posuvající sily – V

1D vnitřní síly

Hodnoty: V

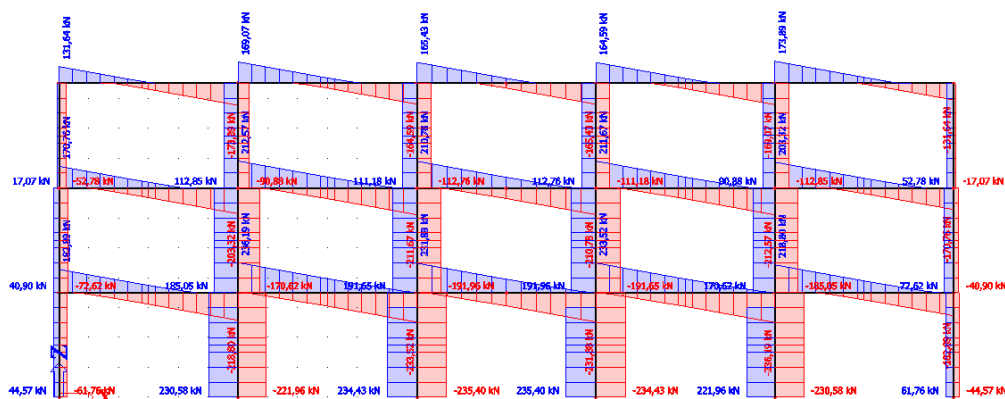
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dilec

Výběr: Vše

Obr. 8.1-8 - Vysoká seismicita – 3-podlažný rám – V – posuvající sily

8.1.3.3. Ohybové momenty – M

1D vnitřní síly

Hodnoty: M

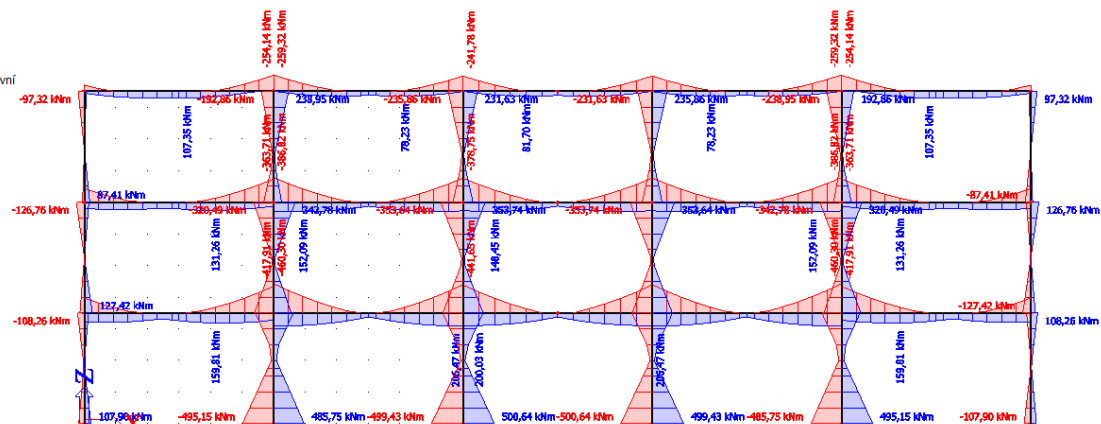
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dilec

Výběr: Vše

Obr. 8.1-9 - Vysoká seismicita – 3-podlažný rám – M – ohybové momenty

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S1	Päta	-507,74	61,67	107,90
	Hlava	-500,01	61,67	-108,26
S2	Päta	-944,63	230,85	-495,15
	Hlava	-927,46	230,85	312,09
R1	Vľavo	-	182,89	-235,13
	Stred	-	-	101,79
	Vpravo	-	-218,80	-417,91
R2	Vľavo	-	236,19	-460,30
	Stred	-	-	64,91
	Vpravo	-	-223,52	-445,40

Tab. 8.1-3 - Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme – vysoká seizmicita

8.1.4. Záver

Z jednotlivých tabuliek je zrejmé, že sa seizmicitou menia vnútorné sily na ráme. Ako už bolo spomínané, vysoká seizmicita bola zvolená najmä z dôvodu, že pokiaľ je rám umiestnený na území Českej republiky, tak seizmické zaťaženie má na výsledky menší účinok ako zaťaženie vetrom, čo je patrné aj z jednotlivých súhrnných tabuliek vnútorných síl.

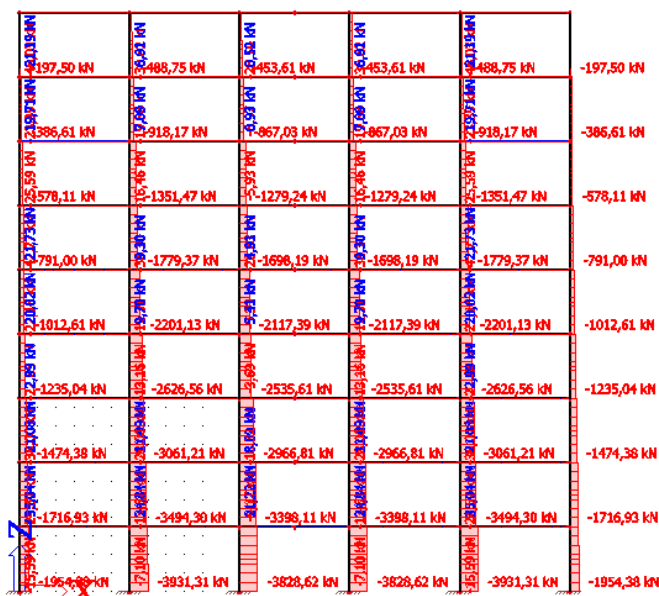
8.2. 9-podlažný rám

8.2.1. MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu

8.2.1.1. Normálové sily – N

1D vnitřní síly

Hodnoty: N
Lineární výpočet
Kombinace: CO1 - MSÚ
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Dilec
Výběr: Vše



Obr. 8.2-1 - MSÚ – 9-podlažný rám – N – normálové sily

8.2.1.2. Posuvající síly - V

1D vnitřní síly

Hodnoty: Vz

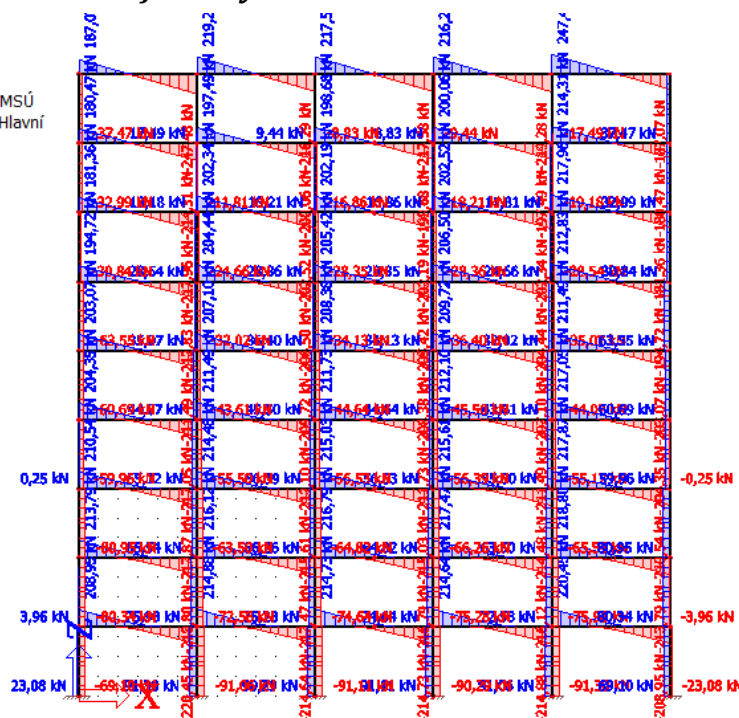
Lineární výpočet

Kombinace: CO1 - MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-2 - MSÚ – 9-podlažný rám – V – posuvající síly

8.2.1.3. Ohybové momenty - M

1D vnitřní síly

Hodnoty: My

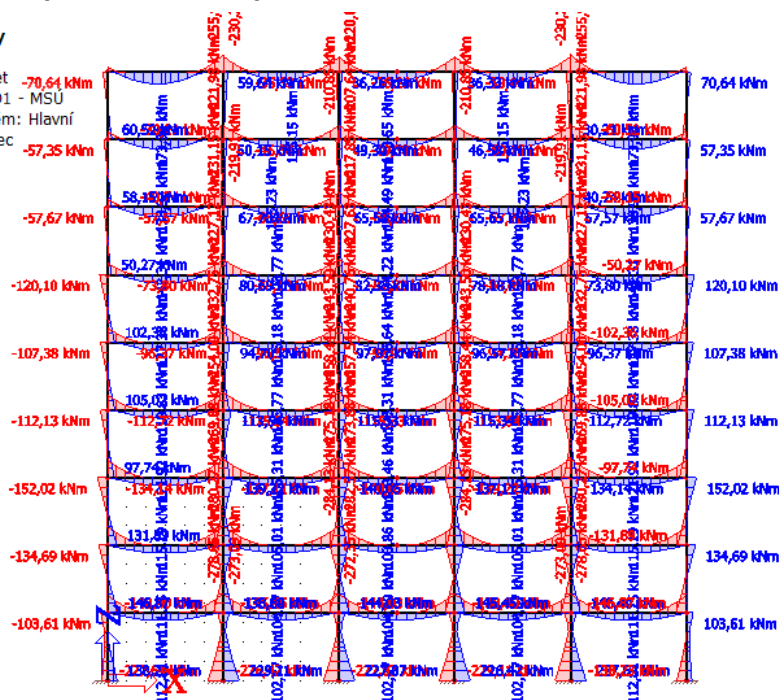
Lineární výpočet

Kombinace: CO1 - MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-3 - MSÚ – 9-podlažný rám – M – ohybové momenty

Označenie	Miesto	<i>N</i> [kN]	<i>V</i> [kN]	<i>M</i> [kNm]
S3	Päta	-1954,38	-69,10	138,23
	Hlava	-1925,41	-69,10	-103,61
S4	Päta	-1235,04	-59,96	97,74
	Hlava	-1216,50	-59,69	-112,13
S5	Päta	-578,11	-30,84	50,27
	Hlava	-567,68	-30,84	-57,67
S6	Päta	-3931,31	91,30	229,11
	Hlava	-3889,60	91,30	91,97
S7	Päta	-2626,56	-55,50	95,49
	Hlava	-2597,59	-55,50	113,54
S8	Päta	-1351,47	35,07	-52,37
	Hlava	-1328,30	35,07	67,70
R1	Vľavo	-	208,95	-246,65
	Stred	-	-	112,81
	Vpravo	-	-220,45	-278,65
R2	Vľavo	-	214,88	-273,09
	Stred	-	-	102,77
	Vpravo	-	-214,64	-272,37

Tab. 8.2-1 – Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme - MSÚ

8.2.2. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – nízka seismicita

8.2.2.1. Normálové sily – N

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

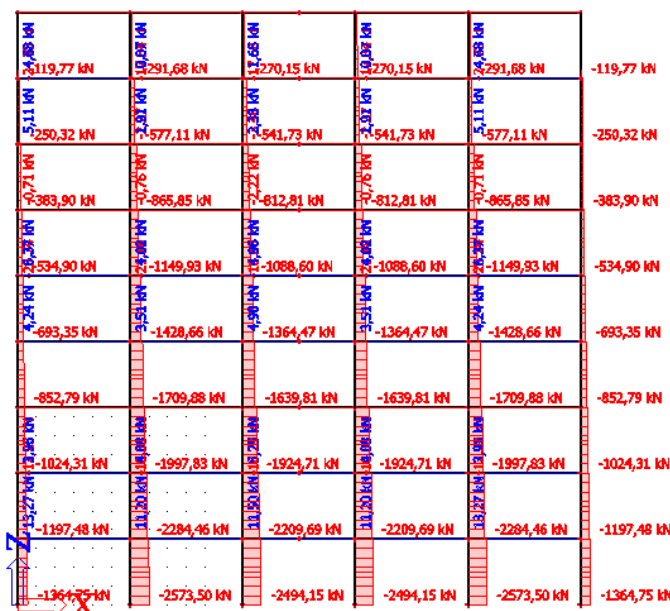
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-4 - Nízka seismicita – 9-podlažný rám – N – normálové sily

8.2.2.2. Posuvající sily – V

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z

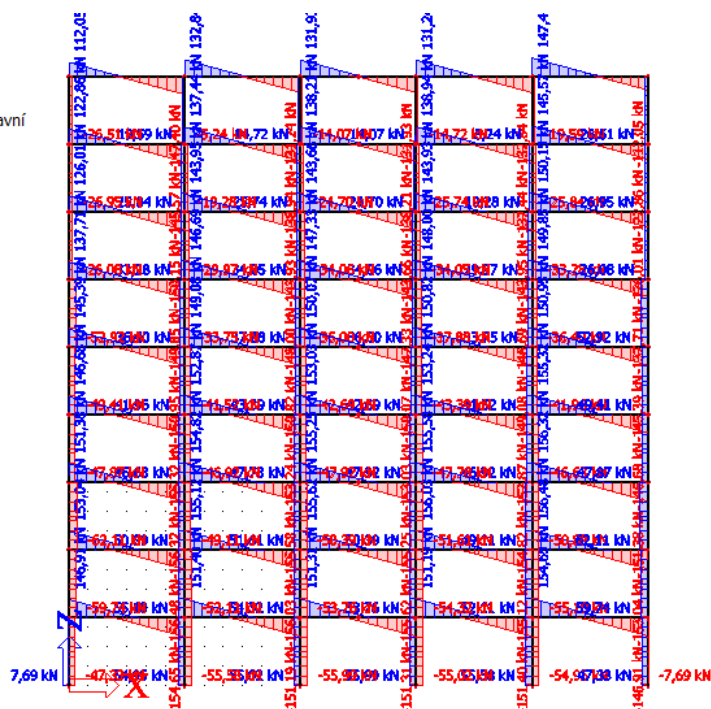
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-5 - Nízka seismicita – 9-podlažný rám – V – posuvající sily

8.2.2.3. Ohybové momenty – M

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

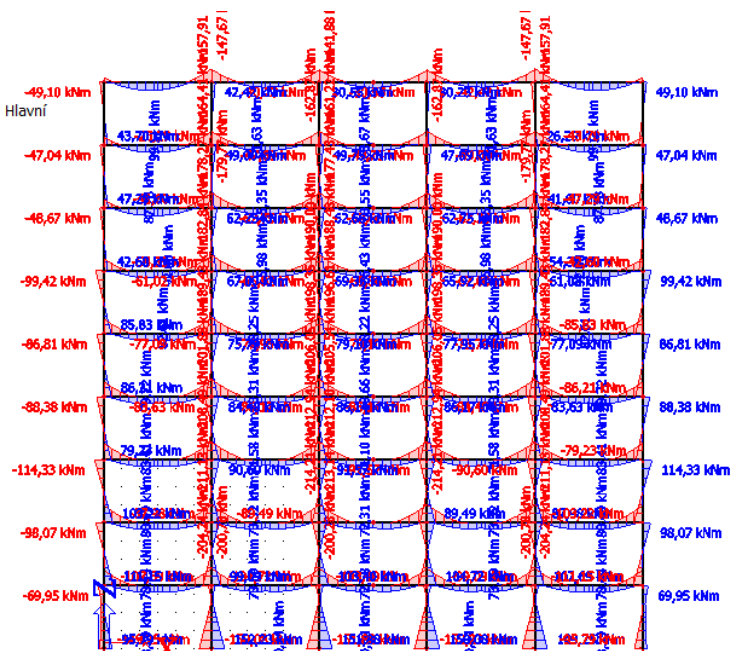
Lineární výpočet

Kombinace: C03

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-6 - Nízka seizmicita – 9-podlažný rám – M – ohybové momenty

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S3	Päta	-1364,75	-47,33	95,79
	Hlava	-1343,29	-47,33	-69,95
S4	Päta	-852,79	-47,87	79,23
	Hlava	-839,05	-47,87	-88,38
S5	Päta	-383,90	-26,08	42,60
	Hlava	-376,18	-26,08	-48,67
S6	Päta	-2573,50	-55,58	152,23
	Hlava	-2542,60	-55,58	43,34
S7	Päta	-1709,88	-46,92	80,86
	Hlava	-1688,42	-46,92	84,40
S8	Päta	-865,85	-29,97	-54,39
	Hlava	-848,69	-29,97	62,25
R1	Vľavo	-	146,91	-108,75
	Stred	-	-	69,72
	Vpravo	-	-154,65	-204,24
R2	Vľavo	-	151,40	-200,78
	Stred	-	-	63,24
	Vpravo	-	-151,19	-200,08

Tab. 8.2-2 - Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme – nízka seizmicita

8.2.3. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – vysoká seismicita

8.2.3.1. Normálové sily – N

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

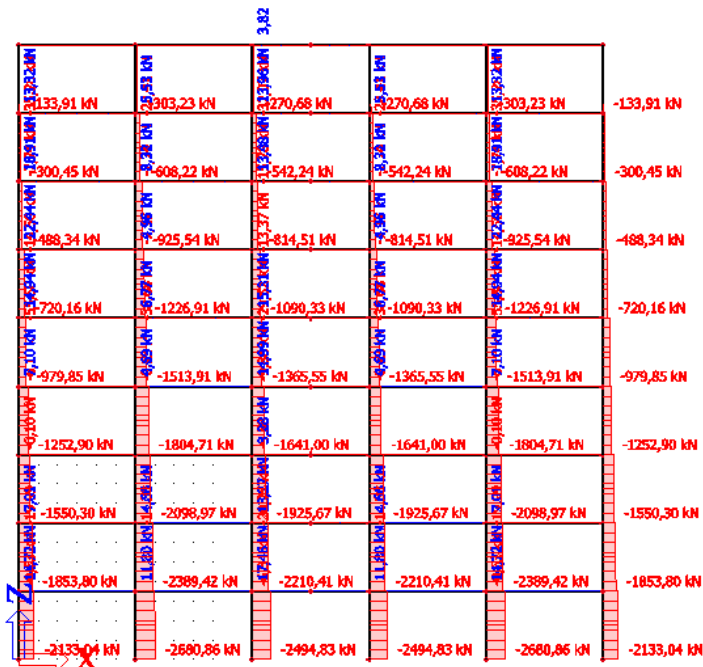
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-7 – Vysoká seismicita – 9-podlažný rám – N – normálové sily

8.2.3.2. Posuvající sily – V

1D vnitřní síly

Hodnoty: Vz

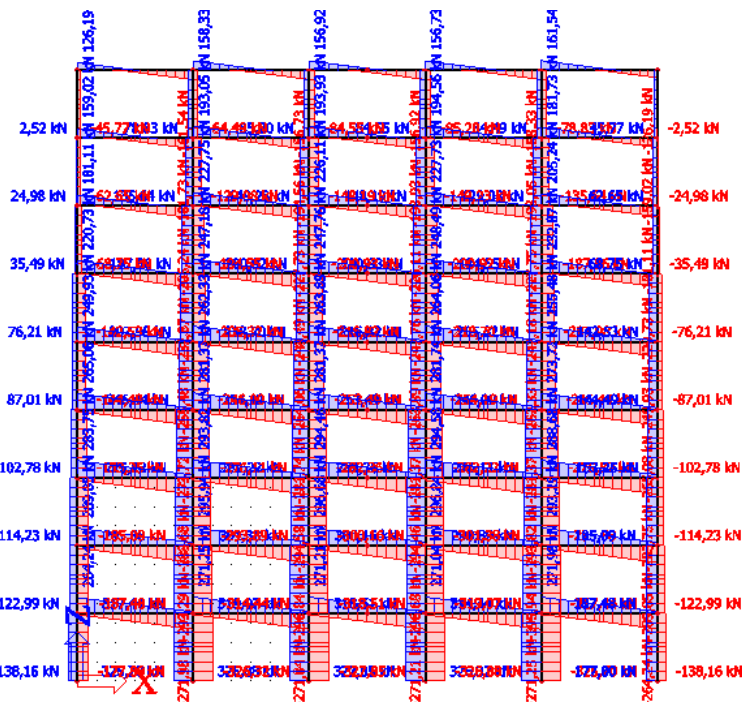
Lineární výpočet

Kombinace: CO3

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-8 - Vysoká seismicita – 9-podlažný rám – V – posuvající sily

8.2.3.3. Ohybové momenty – M

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

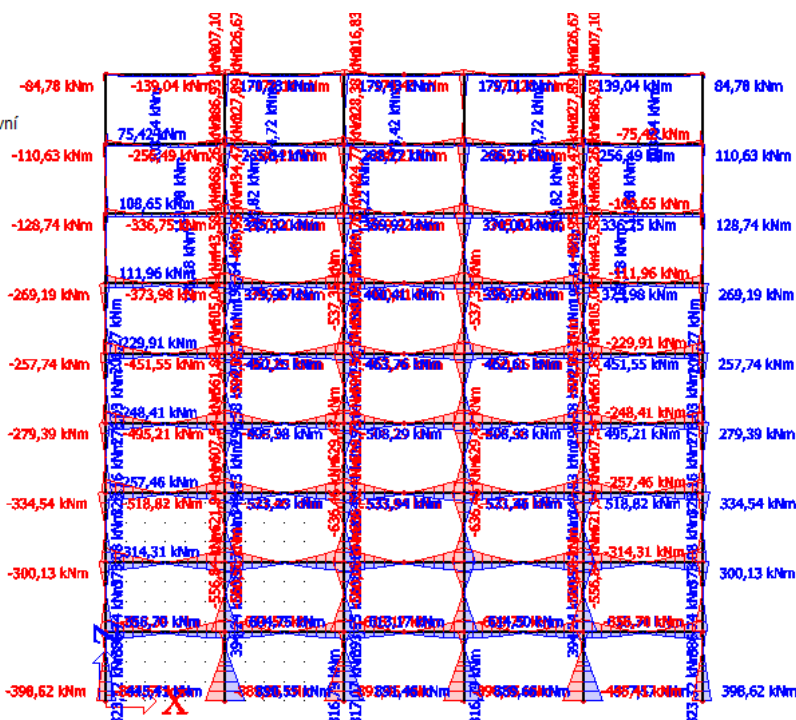
Lineární výpočet

Kombinace: C03

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dilec

Výběr: Vše



Obr. 8.2-9 - Vysoká seizmicita – 9-podlažný rám – M – ohybové momenty

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S3	Päta	-2133,04	-177,80	445,41
	Hlava	-2111,58	-177,80	-177,42
S4	Päta	-1252,90	-153,25	275,46
	Hlava	-1239,16	-153,25	-279,39
S5	Päta	-488,34	-68,75	111,96
	Hlava	-480,52	-68,75	-128,74
S6	Päta	-2680,86	-326,32	890,55
	Hlava	-2649,96	-326,32	253,68
S7	Päta	-1804,71	-276,11	472,56
	Hlava	-1783,25	-276,11	495,98
S8	Päta	-925,54	187,86	-313,11
	Hlava	-908,37	187,86	345,32
R1	Vľavo	-	264,24	-532,14
	Stred	-	-	70,33
	Vpravo	-	-271,98	-555,84
R2	Vľavo	-	271,25	-560,50
	Stred	-	-	63,40
	Vpravo	-	-271,04	-559,46

Tab. 8.2-3 - Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme – vysoká seizmicita

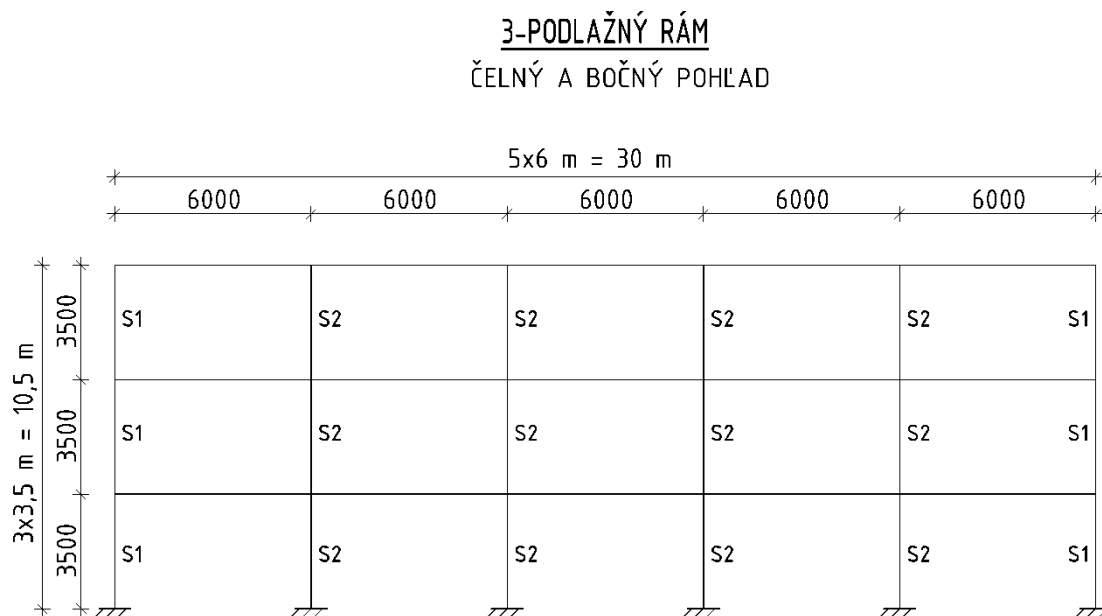
8.2.4. Záver

Z jednotlivých tabuliek je zrejmé, že sa seizmicitou menia vnútorné sily na ráme. Ako už bolo spomínané, vysoká seizmicita bola zvolená najmä z dôvodu, že pokiaľ je rám umiestnený na území Českej republiky, tak seizmické zaťaženie má na výsledky menší účinok ako zaťaženie vetrom, čo je patrné aj z jednotlivých súhrnných tabuliek vnútorných síl.

9. Posúdenie konštrukcie na MSÚ

9.1. Posúdenie stĺpov

9.1.1. 3-podlažný rám



Obr. 9.1-1 – Schematický rez 3-podlažného rámu s označením stĺpov

9.1.1.1. Krytie výstuže

- Nominálna hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy :

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

kde sa hodnota c_{min} ako väčšia z hodnôt :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

kde je

$c_{min,b}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k požiadavkám súdržnosti
$c_{min,dur}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k podmienkam prostredia (pokiaľ ho ovplyvňujú)
$\Delta c_{dur,y}$	prídavná hodnota z hľadiska spoľahlivosti
$\Delta c_{dur,st}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití nehrdzavejúcej oceli
$\Delta c_{dur,add}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití dodatočnej ochrany (napríklad povlak výstuže)

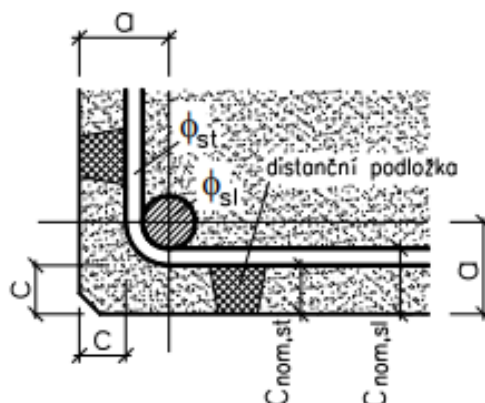
- Stanovenie $c_{min,b}$ (požiadavka súdržnosti) :

$$c_{min,b} \geq \emptyset \text{ alebo } \emptyset_n \text{ pri } d_g < 32 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} \geq (\emptyset + 5 \text{ mm}) \text{ alebo } (\emptyset_n + 5 \text{ mm}) \text{ pri } d_g \geq 32 \text{ mm}$$

kde je

- \varnothing priemer výstužného prútu
- \varnothing_n náhradný priemer skupinovej vložky
- d_g najväčší menovitý rozmer zrna kameniva



Obr. 9.1-2 – Krytie výstuže

- Stanovenie $c_{min,dur}$ – požiadavka z hľadiska trvanlivosti podľa stupňa vplyvu prostredia a triedy konštrukcie v mm :

Trieda konštrukcie	Stupeň prostredia						
	XC0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tab. 9.1-1 – Stanovenie $c_{min,dur}$

- Stanovenie hodnoty $\Delta c_{dur,y}$ - $\Delta c_{dur,st}$ - $\Delta c_{dur,add}$:

Doporučené hodnoty : $\Delta c_{dur,y} = 0$ (hľadisko spoľahlivosti)

$\Delta c_{dur,st} = 0$ (pri nepoužívaní nehrdzavejúcej oceli)

$\Delta c_{dur,add} = 0$ (ak sa nevyhotoví dodatočná ochrana výstuže proti korózií)

- Doporučené hrúbky nominálnej krycej vrstvy pri betonáži na nerovnej ploche :
 zväčšenie c_{min} minimálne o 5 mm
 $c_{nom} \geq 40$ mm pre betonáž na upravený podklad
 $c_{nom} \geq 75$ mm pre betonáž na neupravenej zemine
- Doporučené hrúbky minimálnej krycej vrstvy pri možnom obruse :
 zväčšenie o 5,10,15 mm pre triedu XM1,XM2,XM3

- Možná návrhová odchýlka Δc_{dev} od nominálnej hodnoty (prídavok k minimálnej hodnote) podľa kvality prevedenia :

Doporučená hodnota pre Δc_{dev} pre bežnú úroveň prevedenia a kontroly je 10 mm (podľa NA je možné ju zmenšiť o 5 mm u konštrukcií pozemných stavieb, pokiaľ je realizovaná riadna a na dodávateľovi nezávislá kontrola pri dodržaní zaistenia polohy výstuže). Pri uplatnení systému zaistenia kvality vrátane kontroly betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$ (odporúčenie podľa NA). Pri použití veľmi citlivých prístrojov pre meranie betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $5 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$.

- Výpočet pre konštrukciu rámov :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max (20 \text{ mm}; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

→ navrhujem kryciu betónovú vrstvu **c = 35 mm**

9.1.1.2. Materiálové charakteristiky

BETÓN C 30/37 –

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

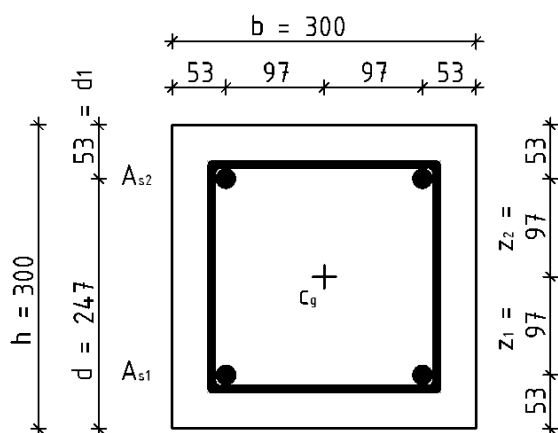
VÝSTUŽ B500B –

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

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

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 434,78 / 200 \cdot 10^3 = 2,17 \text{ ‰}$$

9.1.1.3. Prierezové charakteristiky**• Vonkajší stĺp – S1**

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,053 = 0,247 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,3/2 - 0,053 = 0,097 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,053 = 0,097 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

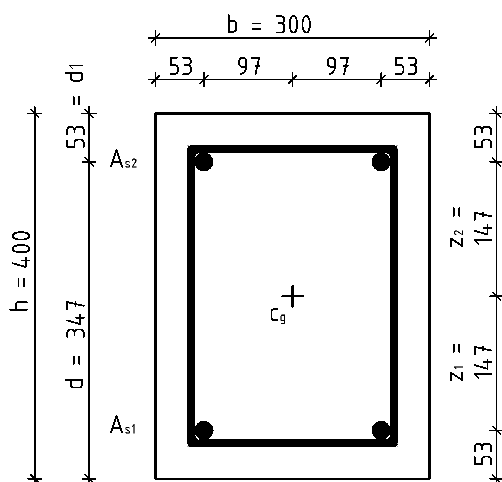
$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,247 = 0,152 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

• Vnútný stĺp – S2

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,053 = 0,347 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,3/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,347 = 0,214 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

9.1.1.4. Výpočet účinkov II. radu v smere rámu

Vzorovo je spočítaná kombinácia K1. Ostatné kombinácie sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-2 – Účinky II. radu v smere rámu pre 3-podlažný rám.

• Vonkajší stĺp – S1

- Päta – K1 - max $N_{Ed} = -668,15 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 23,71 \text{ kNm}$
K2 - max $M_{Ed} = 24,82 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -623,65 \text{ kN}$
- Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -659,29 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 43,55 \text{ kNm}$
K4 - max $M_{Ed} = 45,79 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -614,78 \text{ kN}$

• Vnútny stĺp – S2

- Päta – K5 - max $N_{Ed} = -1667,35 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 9,36 \text{ kNm}$
K6 - max $M_{Ed} = 48,0 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1332,09 \text{ kN}$
- Hlava - K7 - max $N_{Ed} = -1647,65 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 7,97 \text{ kNm}$
K8 - max $M_{Ed} = 58,2 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1471,6 \text{ kN}$

$$\blacksquare K1 - \text{max } N_{Ed} = 668,15 \text{ kN}; \text{ odp. } M_{Ed} = 23,71 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} + M_2$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot (M_1/N_{Ed} + e_i)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{668,15}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,371$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,2}{\sqrt{0,371}} = 55,609$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,3}{\sqrt{12}} = 0,087 \text{ m}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{1,75}{0,087} = 20,21$$

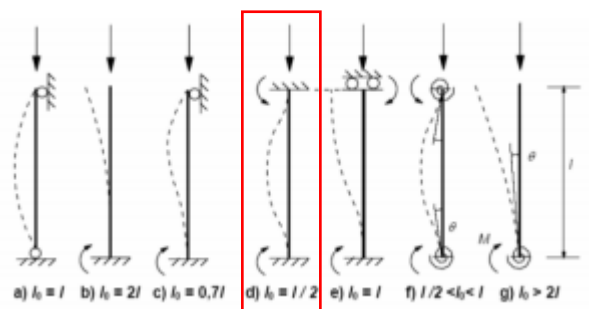
$$\lambda \leq \lambda_{lim} \rightarrow 20,21 \leq 55,609 \rightarrow \text{momenty podľa teórie II. radu sa } \underline{\text{neuvažujú}}$$

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{1,75}{400} = 0,0044 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = 668,15 \cdot (23,71/668,15 + 0,0044) = 26,63 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} = \mathbf{26,63 \text{ kNm}}$$



	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S2	S2
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
N_{Ed}	668,15	623,65	659,29	614,78	1667,35	1332,09	1647,65	1471,6
M_{Ed}	23,71	24,82	43,55	45,79	9,36	48,0	7,97	58,2
A	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
B	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
C	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
n	0,371	0,346	0,366	0,342	0,695	0,555	0,687	0,613
λ_{lim}	55,609	57,558	55,981	57,972	40,648	45,476	40,890	43,267
i	0,087	0,087	0,087	0,087	0,115	0,115	0,115	0,115
l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
l_0	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
λ	20,21	20,21	20,21	20,21	15,16	15,16	15,16	15,16
$\lambda \leq \lambda_{lim}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
e_i	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044
M_{0Ed}	26,633	27,548	46,434	48,480	16,655	53,828	15,178	64,638
M_2	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{Ed}	26,633	27,548	46,434	48,480	16,655	53,828	15,178	64,638

Tab. 9.1-2 – Účinky II. radu v smere rámu pre 3-podlažný rám

9.1.1.5. Výpočet účinkov II. radu kolmo na rám

Vzorovo je spočítaná kombinácia K9. Ostatné kombinácie sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-3 - Účinky II. radu kolmo na rám pre 3-podlažný rám. Rozdiel oproti počítaniu v smere na rám je v štíhlostnom kritériu l_0 , v „C“, ktorý vyjadruje vplyv koncových ohybových momentov prvého radu a šírka b sa mení za výšku h , pretože prierez je posudzovaný v rovine kolmej na rám. Vo všetkých prípadoch vychádza počítanie s účinkami II. radu, pre výpočet bola použitá metóda menovitých krivostí.

• Vonkajší stĺp – S1

- Päta – K9 - max N_{Ed} = -668,15 kN; odp. M_{Ed} = 0 kNm
- Hlava - K10 - max N_{Ed} = -659,29 kN; odp. M_{Ed} = 0 kNm

• Vnútorý stĺp – S2

- Päta – K11 - max N_{Ed} = -1667,35 kN; odp. M_{Ed} = 0 kNm
- Hlava - K12 - max N_{Ed} = -1647,65 kN; odp. M_{Ed} = 0 kNm

- K9 - max $N_{Ed} = 668,15 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} + M_2$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot (M_1/N_{Ed} + e_i)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{668,15}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,371$$

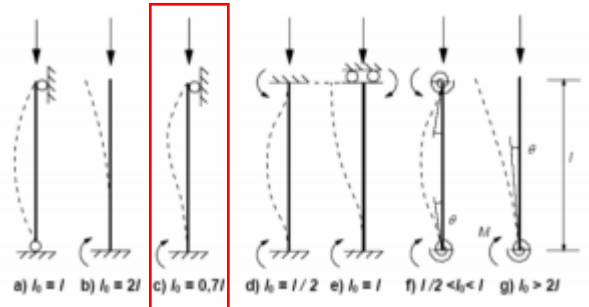
$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,371}} = 17,694$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,3}{\sqrt{12}} = 0,087 \text{ m}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot 3,5 = 2,45 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2,45}{0,087} = 28,29$$



$\lambda \leq \lambda_{lim} \rightarrow 28,29 \leq 17,694 \rightarrow$ momenty podľa teórie II. radu sa uvažujú

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{2,45}{400} = 0,0061 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = 668,15 \cdot (0/668,15 + 0,0061) = 4,092 \text{ kNm}$$

$$M_{0Eqp} = 11,35 \text{ kNm}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 20} = 0,304$$

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

$$n_{bal} = 0,4$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{668,15}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 20} = 0,371$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,304 - 0,371}{1,304 - 0,4} = 1,302 \leq 1,0 \rightarrow K_r = 1,0$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150 = 0,35 + 30/200 - 28,29/150 = 0,311$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{2 \cdot (b+h)} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 0,3}{2 \cdot (0,3+0,3)} = 0,054 \text{ m}$$

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,4 \text{ (odčítané z grafu)}$$

$$t_0 = 30 \text{ dní}$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp}/M_{0Ed} = 2,4 \cdot (11,35/4,092) = 6,656$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,311 \cdot 6,656 = 3,073 \geq 1,0$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{2,17 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 0,247} = 0,012$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,0 \cdot 3,073 \cdot 0,012 = 0,0367$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0367 \cdot \frac{2,45^2}{10} = 0,022 \text{ m}$$

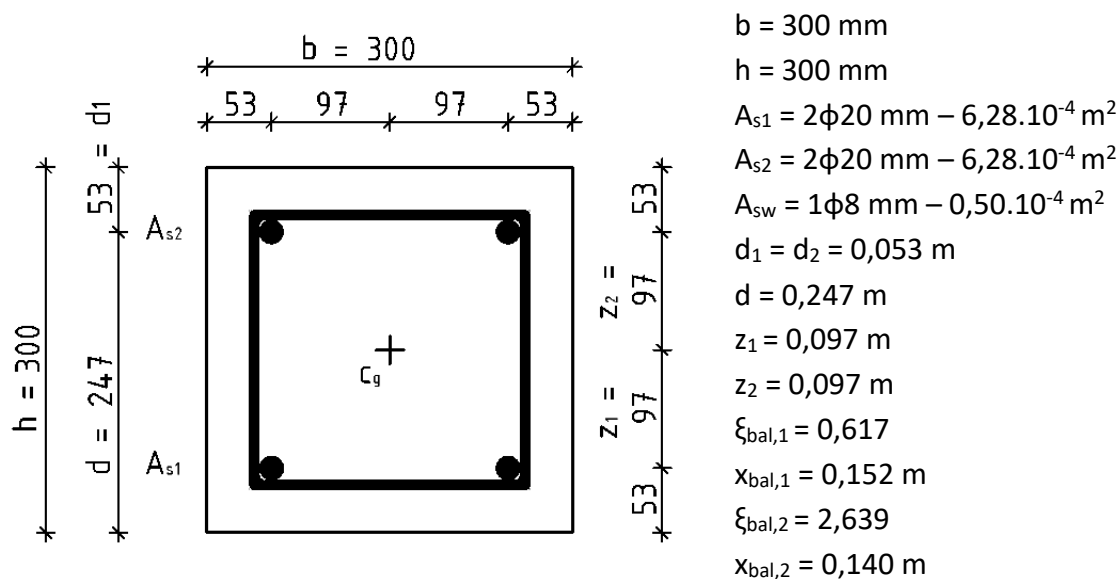
$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 668,15 \cdot 0,022 = 14,705 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} + M_2 = 4,092 + 14,705 = 18,797 \text{ kNm}$$

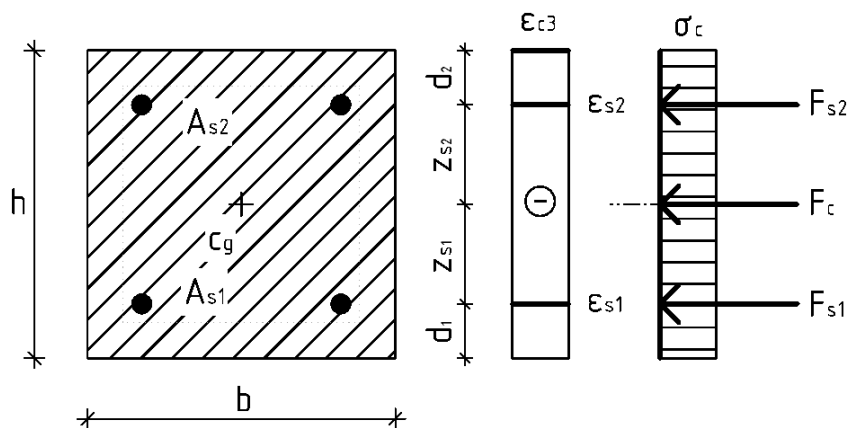
	S1	S1	S2	S2
	K9	K10	K11	K12
N_{Ed}	668,15	659,29	1667,35	1647,65
M_{Ed}	0	0	0	0
A	0,7	0,7	0,7	0,7
B	1,1	1,1	1,1	1,1
C	0,7	0,7	0,7	0,7
n	0,371	0,366	0,695	0,687
λ_{lim}	17,694	17,812	12,933	13,010
i	0,087	0,087	0,087	0,087
l	3,5	3,5	3,5	3,5
l_0	2,45	2,45	2,45	2,45
λ	28,29	28,29	28,29	28,29
$\lambda \leq \lambda_{lim}$	X	X	X	X
e_i	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
M_{0Ed}	4,092	4,038	10,213	10,092
M_{0Eqp}	11,350	22,860	5,220	11,530
ω	0,304	0,304	0,228	0,228
n_u	1,304	1,304	1,228	1,228
n_{bal}	0,4	0,4	0,4	0,4
n	0,371	0,366	0,695	0,687
K_r	1,0	1,0	0,644	0,654
θ	0,311	0,311	0,311	0,311
h_0	0,054	0,054	0,084	0,084
$\varphi(\infty, t_0)$	2,4	2,4	2,5	2,5
φ_{ef}	6,656	13,586	1,278	2,856
K_φ	3,073	5,231	1,398	1,889
$1/r_0$	0,012	0,012	0,012	0,012
$1/r$	0,0367	0,0624	0,0107	0,0147
e_2	0,022	0,037	0,006	0,009
M_2	14,705	24,700	10,749	14,578
M_{Ed}	18,797	28,738	20,962	24,670

Tab. 9.1-3 - Účinky II. radu kolmo na rám pre 3-podlažný rám

9.1.1.6. Výpočet bodov interakčného diagramu – v smere rámu – vonkajší stĺp – S1



- Päta – K1 - max $N_{Ed} = -668,15$ kN; odp. $M_{Ed} = 26,633$ kNm
K2 - max $M_{Ed} = 27,548$ kNm; odp. $N_{Ed} = -623,65$ kN
- Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -659,29$ kN; odp. $M_{Ed} = 46,434$ kNm
K4 - max $M_{Ed} = 48,480$ kNm; odp. $N_{Ed} = -614,78$ kN
- **Bod 0:** Jedná sa o prípad tlakového porušenia pri rovnomernom rozdelení pretvorenia ϵ_{c3} v tlačnom betóne po celej výške prierezu.



$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 350 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

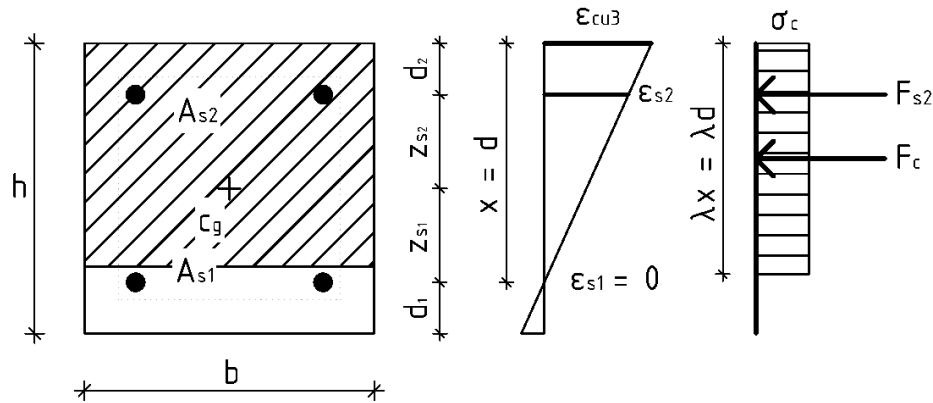
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1800 \text{ kN}$$

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(1800 + 219,9 + 219,9) = -2239,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

- **Bod 1:** Jedná sa o prípad kedy neutrálna osa prechádza ťažiskom výstuže A_{s1} . Výstuž A_{s1} nie je namáhaná a na únosnosti sa podieľa iba tlačaná časť betónu a tlačaná výstuž A_{s2} .



$$\varepsilon_{s1} = 0; F_{s1} = 0 \text{ kN}; x = d; x > \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

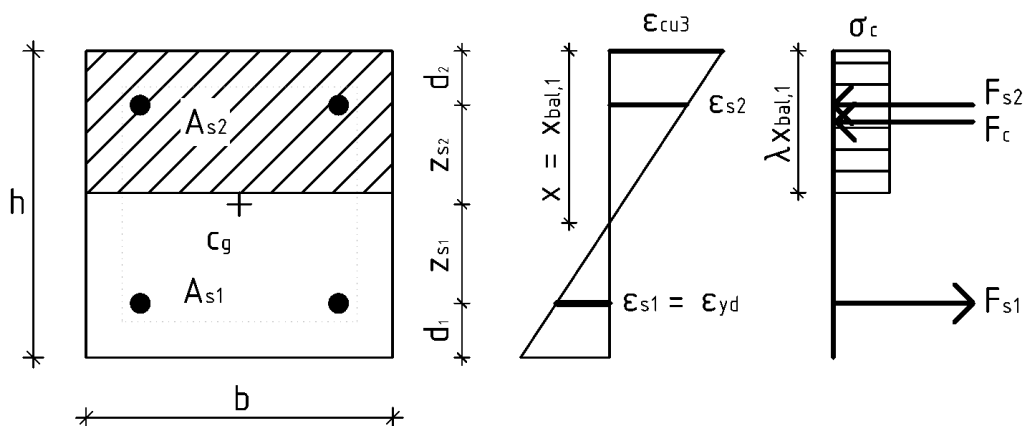
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot d \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,247 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1185,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s2}) = -(1185,6 + 273,18) = -1458,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot d) / 2 + F_{s2} \cdot z_2 = 1185,6 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,247) / 2 + 273,18 \cdot 0,097 = 87,2 \text{ kNm}$$

- **Bod 2:** Jedná sa o prípad, kedy neutrálna osa leží vo vzdialenosti $x_{bal,1}$ od tlačeneho okraja prierezu. Tento prípad predstavuje rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením (medzi malou a veľkou výstrednosťou v tlaku).



$$x = x_{bal,1}; x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

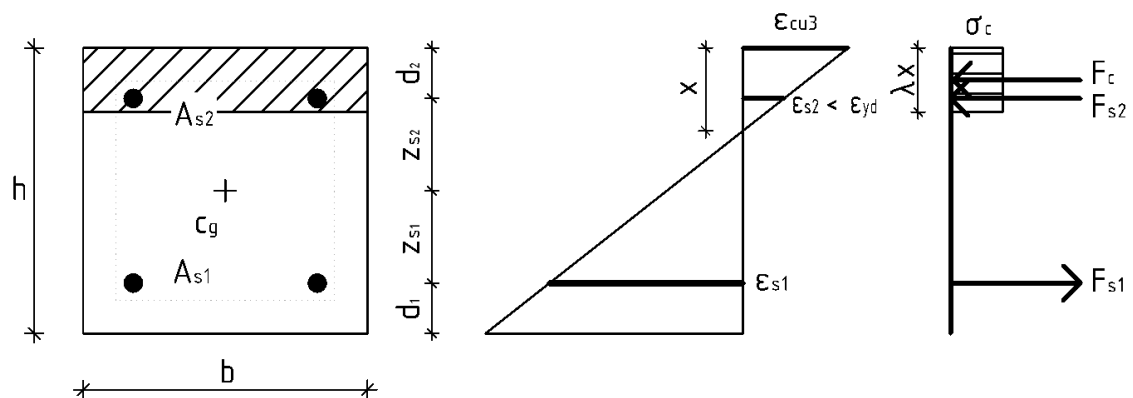
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,1} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,152 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 731,35 \text{ kN}$$

$$N_{Rd2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -731,35 + 273,18 - 273,18 = -731,35 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,1})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 731,35 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,152)/2 + 273,18 \cdot 0,097 + 273,18 \cdot 0,097 = 118,13 \text{ kNm}$$

- **Bod 3:** Jedná sa o prípad namáhania prostým ohybom. Bod 3 je možné počítať bez alebo so započítaním tlačenej výstuže A_{s2} . Tlačenú výstuž nie je možné plne započítať. Riešenie prostého ohybu s ťahanou aj tlačenou výstužou vedie preto v tomto prípade na riešenie kvadratickej rovnice vyplývajúcej zo silovej podmienky rovnováhy a príslušných geometrických podmienok rovnováhy.



$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \rightarrow$ riešením tejto rovnice je jeden reálny koreň

$$0,3 \cdot 0,8 \cdot x^2 \cdot 20 \cdot 10^3 + 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot x - 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,053 - 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot x = 0$$

$$\rightarrow x = 0,054 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}; \sigma_{s1} = f_{yd}; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

$$\epsilon_{s1} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (d - x) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,054) \cdot (0,247 - 0,054) = 12,374 \text{ ‰} > \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\epsilon_{s2} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (x - d_2) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,054) \cdot (0,054 - 0,053) = 0,094 \text{ ‰} < \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

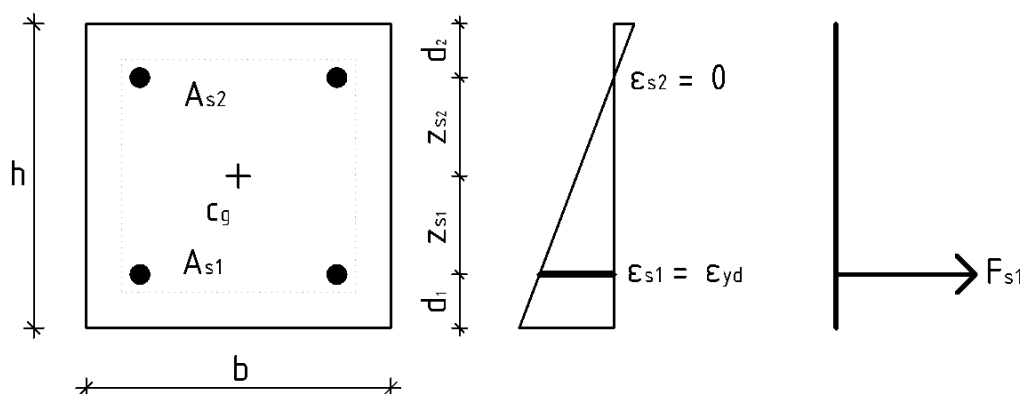
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 0,094 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 = 11,78 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,054 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 261,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x)/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 261,4 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,054)/2 + 273,18 \cdot 0,097 + 11,78 \cdot 0,097 = 61,16 \text{ kNm}$$

- **Bod 4:** Jedná sa o prípad, kedy pôsobisko ťahovej sily na medzi porušenia leží v ťažisku výstuže A_{s2} . Rozhranie medzi malou a veľkou výstrednosťou v ťahu.



$$\sigma_{s1} = f_{yd}; \varepsilon_{s2} = 0 \rightarrow F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

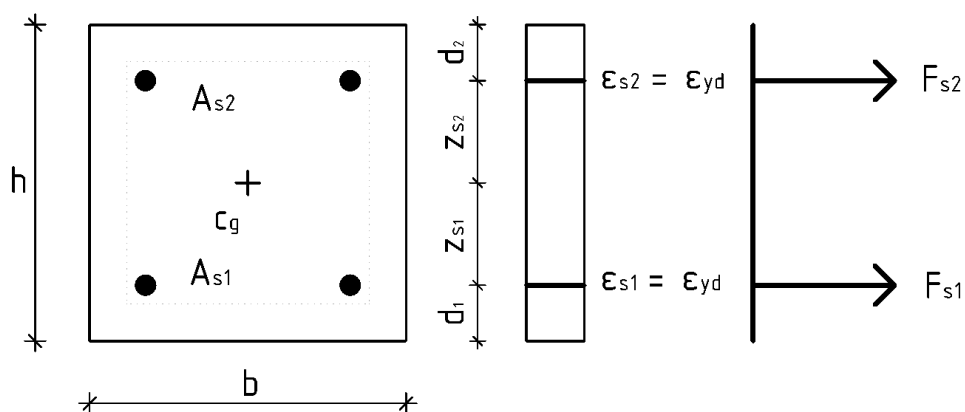
$$F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 273,18 = \mathbf{273,18 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,18 \cdot 0,097 = \mathbf{26,50 \text{ kNm}}$$

- **Bod 5:** Jedná sa o prípad, kedy pôsobisko ťahovej sily leží v ťažisku výstuže A_{s1} a A_{s2} .



$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

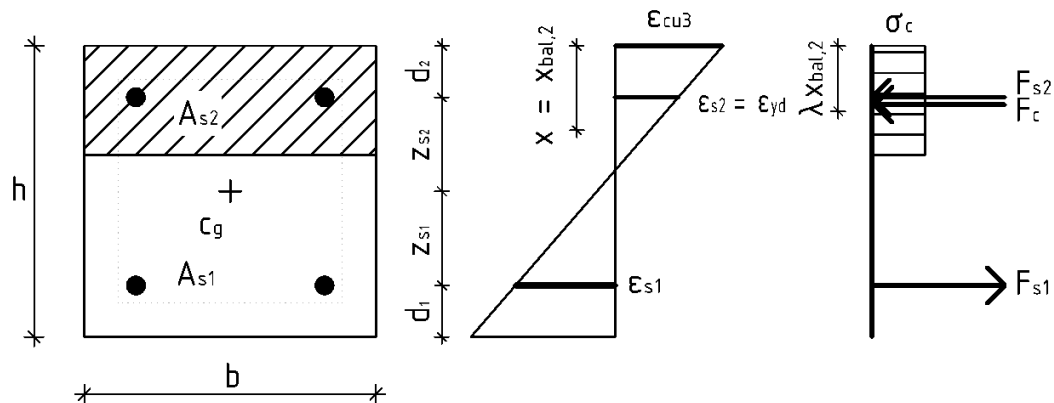
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 273,18 + 273,18 = \mathbf{546,4 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 273,18 \cdot 0,097 - 273,18 \cdot 0,097 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

- **Bod Z:** Medzi bodmi 1 až 4 je možné nájsť bod Z, ktorý znázorňuje prípad hranice plného využitia tlačenej výstuže A_{s2} .



$$x = x_{bal,2}; \epsilon_{s2} = \epsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,2} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,140 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 671,45 \text{ kN}$$

$$N_{RdZ} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -671,45 + 273,18 - 273,18 = \mathbf{-671,45 \text{ kN}}$$

$$M_{RdZ} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,2})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 671,45 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,140)/2 + 273,18 \cdot 0,097 + 273,18 \cdot 0,097 = \mathbf{106,75 \text{ kNm}}$$

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-2239,8	0
1	-1458,8	87,20
2	-731,3	118,13
Z	-671,4	106,75
3	0	61,16
4	273,2	26,50
5	546,4	0

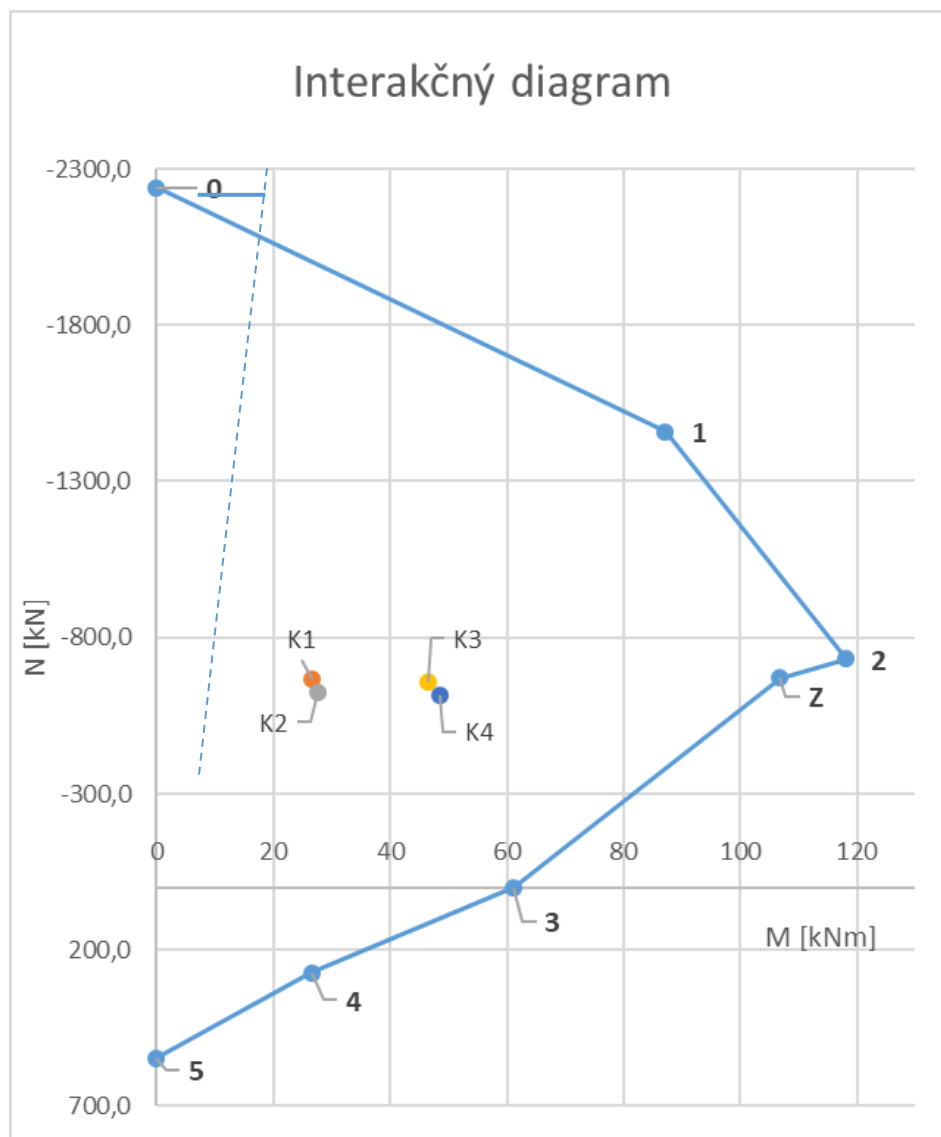
Tab. 9.1-4 Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp - S1

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 300/30 = 10$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K1, K2, K3, K4. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-3 – Interakčný diagram – v smere rámu – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1

9.1.1.6.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 20,17 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 668,15 \text{ kN}$; $b = 300 \text{ mm}$; $h = 300 \text{ mm}$; $d = 247 \text{ mm}$; $A_{sl} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [668,15/(300 \cdot 300)] = 1,15 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{247}} = 1,89 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,3 \cdot 0,247 = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 12,56 \cdot 10^{-4}/0,0741 = 0,0169$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,89 \cdot (100 \cdot 0,0169 \cdot 30)^{1/3} + 1,15] \cdot 0,0741 = 147,42 \text{ kN}$$

$147,42 \text{ kN} > 20,17 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$\rho_{w,\min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8 / 180 = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

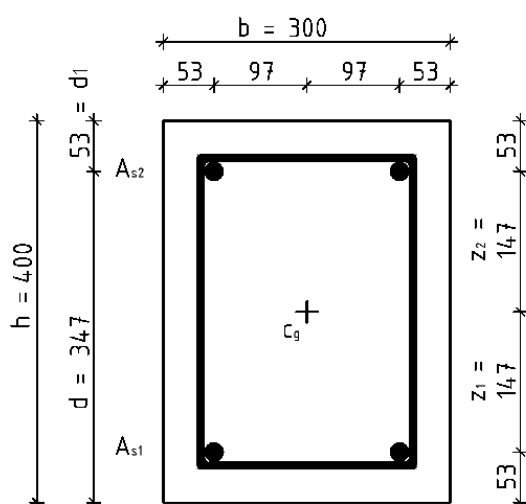
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{2,79 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,18} = 0,00517$$

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

$$0,00517 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,180 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,247 = 0,185 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.1.7. Výpočet bodov interakčného diagramu - v smere rámu - vnútorný stĺp - S2



$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{SW} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = 0,347 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,147 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,147 \text{ m}$$

$$\xi_{\text{bal},1} = 0,617$$

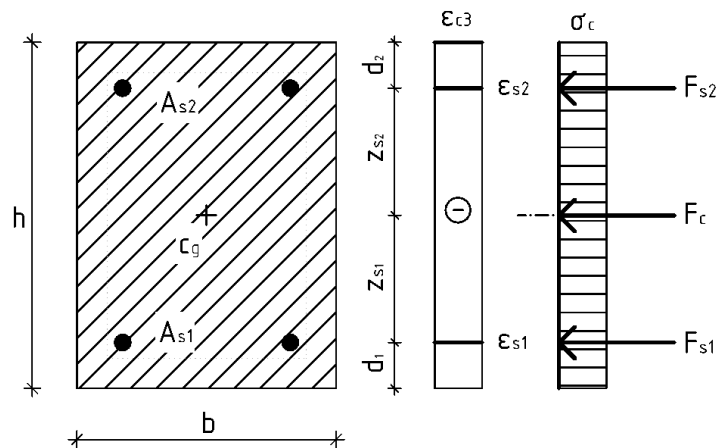
$$x_{bal,1} = 0,214 \text{ m}$$

$$\xi_{\text{bal},2} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = 0,140 \text{ m}$$

- Päta - K5 - max $N_{Ed} = -1667,35$ kN; odp. $M_{Ed} = 16,655$ kNm
K6 - max $M_{Ed} = 53,828$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1332,09$ kN
- Hlava - K7 - max $N_{Ed} = -1647,65$ kN; odp. $M_{Ed} = 15,178$ kNm
K8 - max $M_{Ed} = 64,638$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1471,6$ kN

• **Bod 0:**



$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 350 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

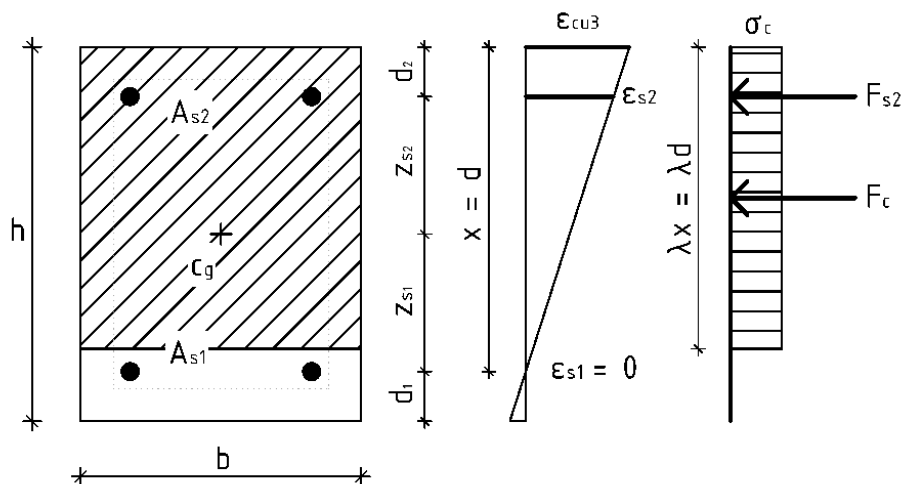
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2400 \text{ kN}$$

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(2400 + 219,9 + 219,9) = -2839,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

• **Bod 1:**



$$\epsilon_{s1} = 0; F_{s1} = 0 \text{ kN}; x = d; x > \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

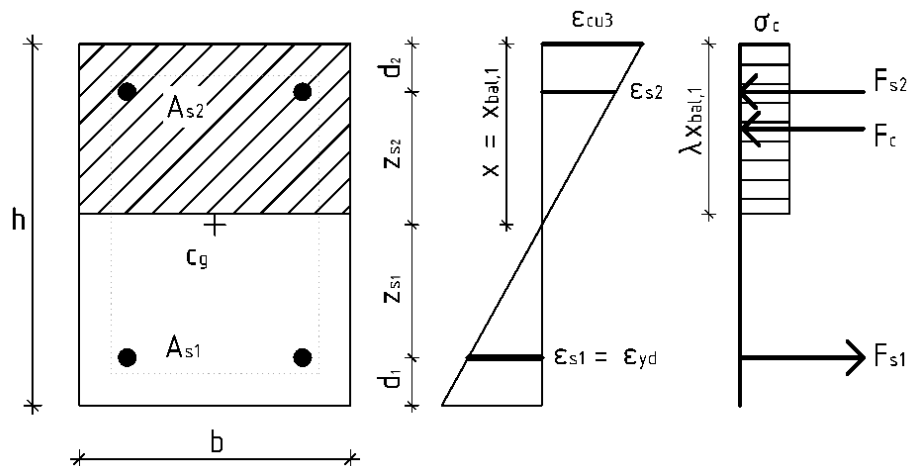
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot d \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,347 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1665,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s2}) = -(1665,6 + 273,18) = -1938,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot d)/2 + F_{s2} \cdot z_2 = 1665,6 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,347)/2 + 273,18 \cdot 0,147 = 142,09 \text{ kNm}$$

• **Bod 2:**



$$X = X_{bal,1}; X_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq X_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

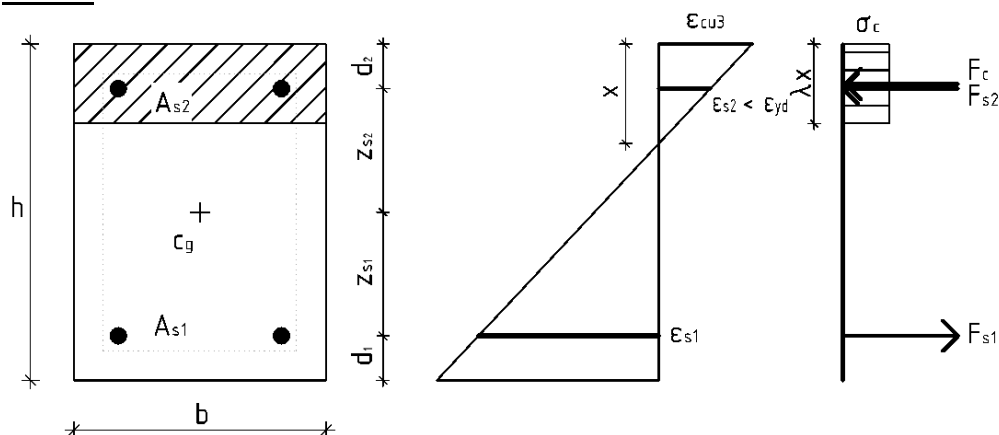
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot X_{bal,1} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,214 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1027,44 \text{ kN}$$

$$N_{Rd2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -1027,44 + 273,18 - 273,18 = -1027,44 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot X_{bal,1})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 1027,44 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,214)/2 + 273,18 \cdot 0,147 + 273,18 \cdot 0,147 = 197,83 \text{ kNm}$$

• **Bod 3:**



$b \cdot \lambda \cdot X^2 \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot X - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot X = 0 \rightarrow$ řešením této rovnice je jeden reálný koreň

$$0,3 \cdot 0,8 \cdot x^2 \cdot 20 \cdot 10^3 + 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot x - 6,28 \cdot 10^4 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,053 - 6,28 \cdot 10^4 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot x = 0$$

$$\rightarrow x = 0,054 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}; \sigma_{s1} = f_{yd}; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

$$\varepsilon_{s1} = (\varepsilon_{cu3}/x) \cdot (d - x) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,054) \cdot (0,347 - 0,054) = 18,801 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\varepsilon_{s2} = (\varepsilon_{cu3}/x) \cdot (x - d_2) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,054) \cdot (0,054 - 0,053) = 0,094 \text{ ‰} < \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

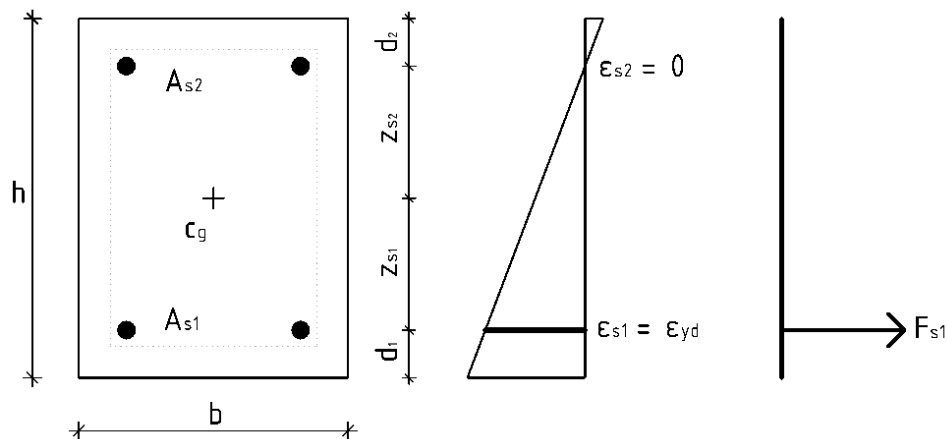
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 0,094 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 = 11,78 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,054 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 261,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x)/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 261,4 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,054)/2 + 273,18 \cdot 0,147 + 11,78 \cdot 0,147 = 88,48 \text{ kNm}$$

• **Bod 4 :**



$$\sigma_{s1} = f_{yd}; \varepsilon_{s2} = 0 \rightarrow F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

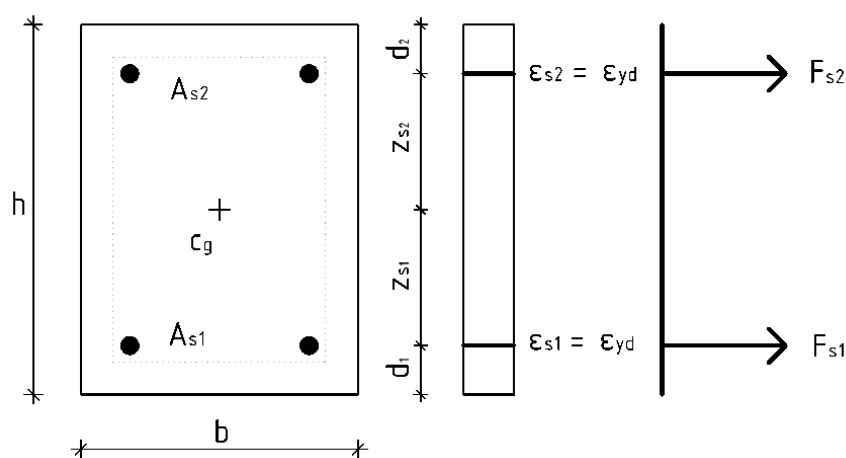
$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 273,18 = 273,18 \text{ kN}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,18 \cdot 0,147 = 40,16 \text{ kNm}$$

• **Bod 5:**

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$



$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

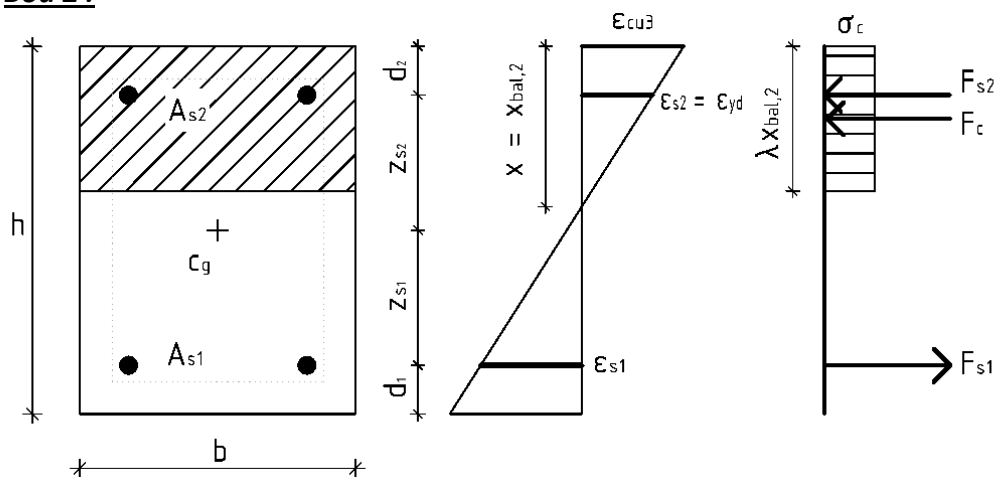
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 273,18 + 273,18 = 546,4 \text{ kN}$$

$$M_{Rd5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 273,18 \cdot 0,147 - 273,18 \cdot 0,147 = 0 \text{ kNm}$$

• **Bod Z:**



$$X = x_{bal,2}; \epsilon_{s2} = \epsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,2} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,3 \cdot 0,140 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 671,45 \text{ kN}$$

$$N_{RdZ} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -671,45 + 273,18 - 273,18 = -671,45 \text{ kN}$$

$$M_{RdZ} = F_c \cdot (h - \lambda x_{bal,2})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 671,45 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,140)/2 + 273,18 \cdot 0,147 + 273,18 \cdot 0,147 = 167,64 \text{ kNm}$$

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-2839,8	0
1	-1938,8	142,09
2	-1027,4	197,83
Z	-671,4	167,64
3	0	88,48
4	273,2	40,16
5	546,4	0

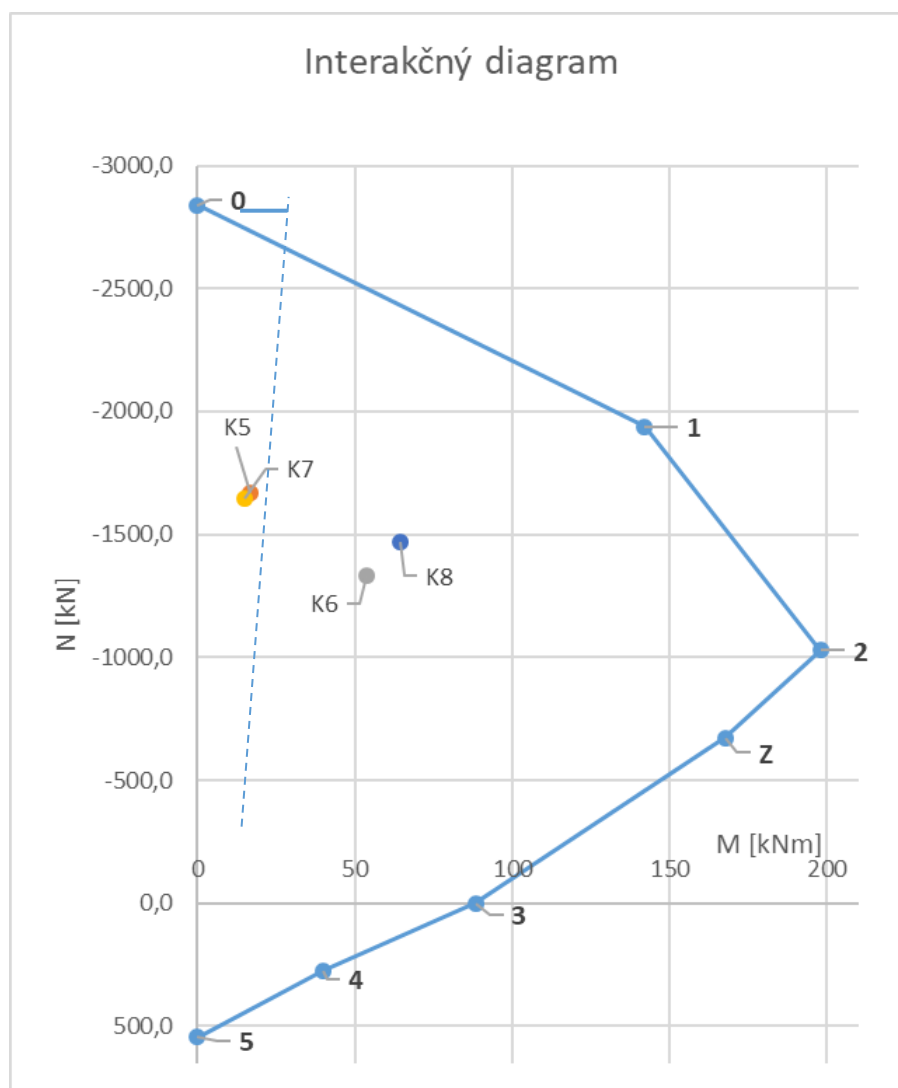
Tab. 9.1-5 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 400/30 = 13,33$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K5, K6, K7, K8. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-4 – Interakčný diagram – v smere rámu – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp –S2

9.1.1.7.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 29,87 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 1667,35 \text{ kN}$; $b = 300 \text{ mm}$; $h = 400 \text{ mm}$; $d = 347 \text{ mm}$; $A_{sl} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [1667,35/(300 \cdot 400)] = 2,08 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{347}} = 1,76 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,3 \cdot 0,347 = 0,1041 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 12,56 \cdot 10^{-4}/0,1041 = 0,0121$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,76 \cdot (100 \cdot 0,0121 \cdot 30)^{1/3} + 2,08] \cdot 0,1041 = 289,33 \text{ kN}$$

$289,33 \text{ kN} > 29,87 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

• **Konstrukčná šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/250 = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{2,01 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,25} = 0,00268$$

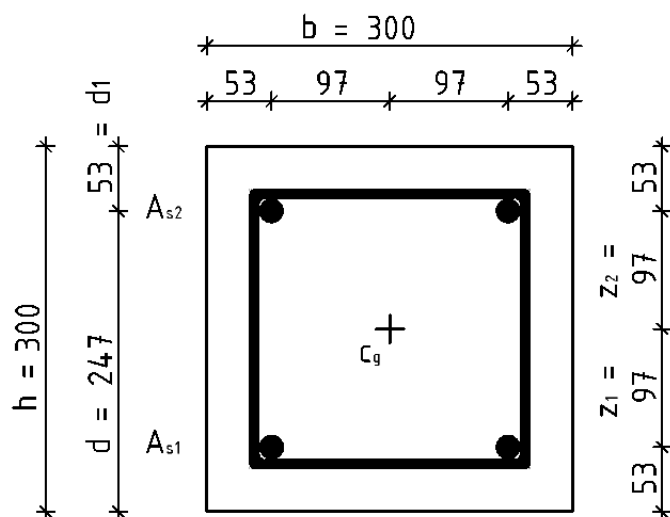
$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,00268 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,250 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,347 = 0,260 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.1.8. Výpočet bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – vonkajší stĺp – S1

Vzhľadom na to, že v prípade posudzovania kolmo na rám sa prierez posudzuje v kolmom smere u štvorcových stĺpov je únosnosť prierezu v oboch smeroch rovnaká ($b = h$) a z toho dôvodu uvediem iba zhrnutie tabuľkových výsledkov z kapitoly 9.1.1.6 pretože výsledky sú totožné.



$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = 0,247 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,097 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,097 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = 0,152 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,2} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = 0,140 \text{ m}$$

○ Päta – K9 - max $N_{Ed} = -668,15 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 18,797 \text{ kNm}$

○ Hlava - K10 - max $N_{Ed} = -659,29 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 28,738 \text{ kNm}$

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-2239,8	0
1	-1458,8	87,20
2	-731,3	118,13
2	-671,4	106,75
3	0	61,16
4	273,2	26,50
5	546,4	0

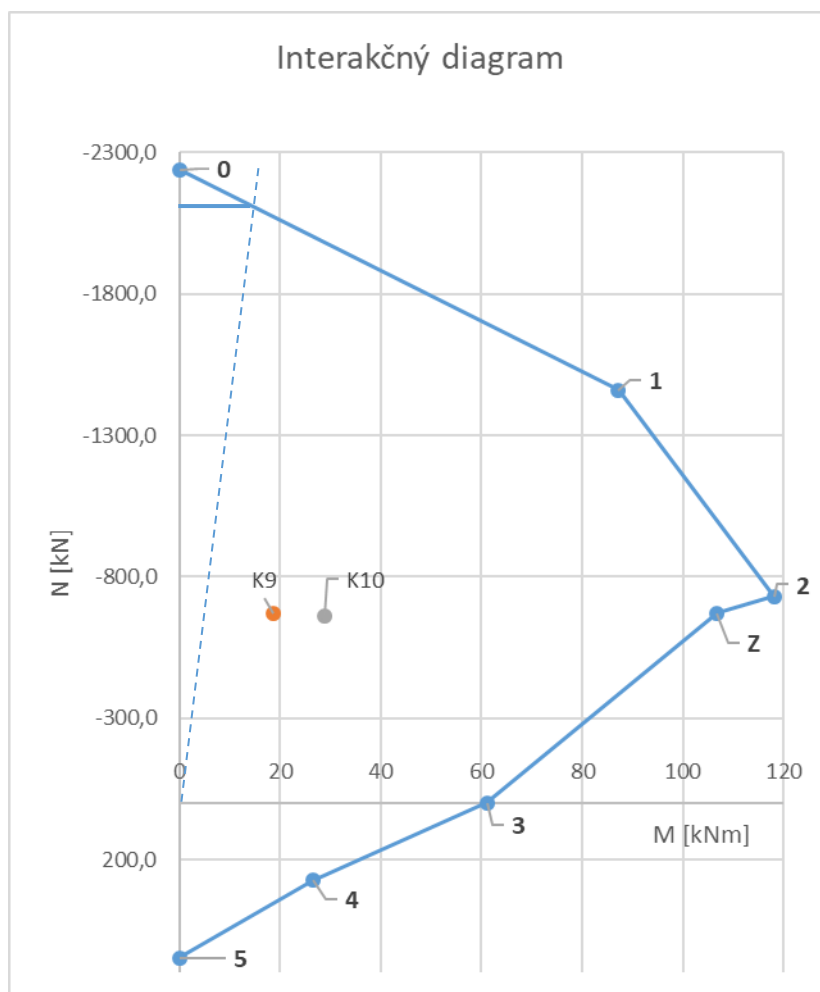
Tab. 9.1-6 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 300/30 = 10,00$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

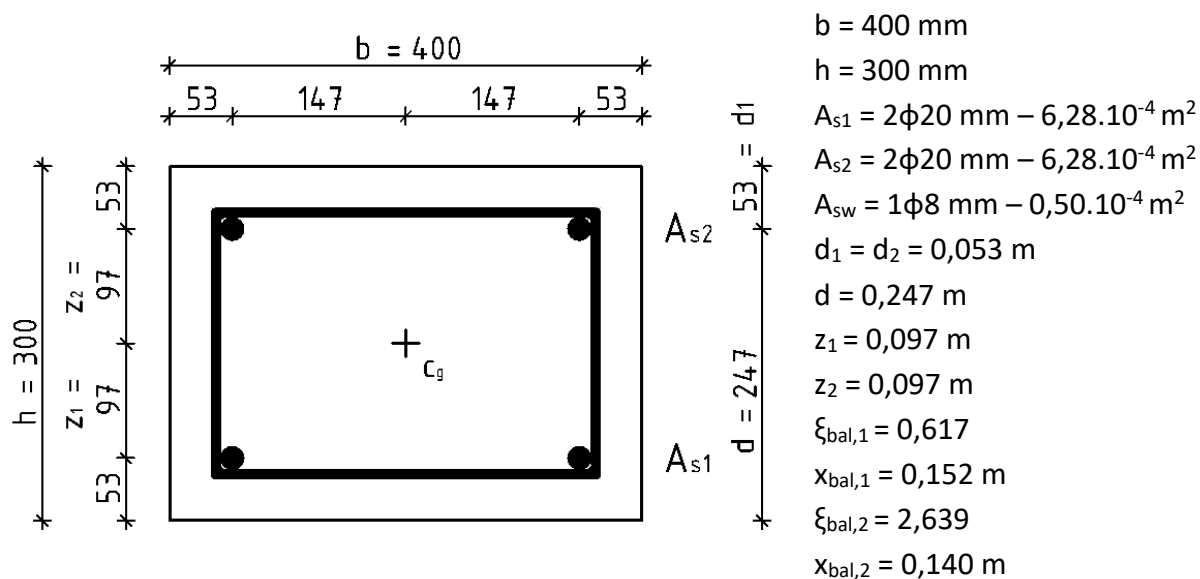
Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K9, K10. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



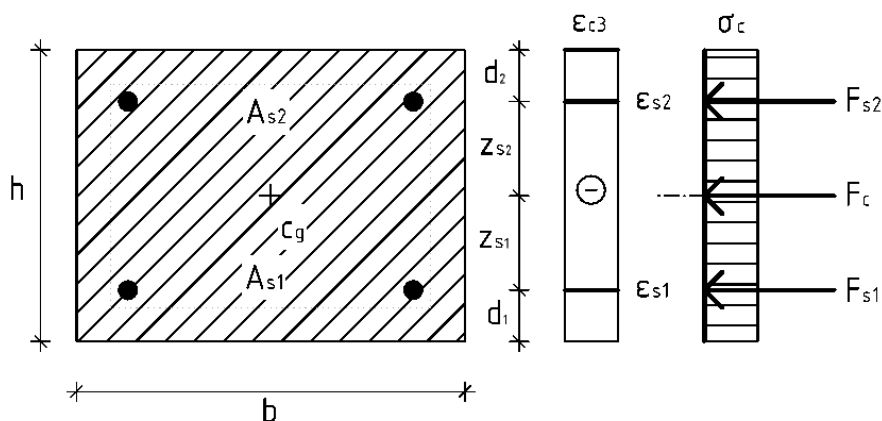
Obr. 9.1-5 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1

9.1.1.9. Výpočet bodů interakčního diagramu – kolmo na rám – vnitřní stĺp – S2



- Päta – K11 - max $N_{Ed} = -1667,35 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 20,962 \text{ kNm}$
- Hlava - K12 - max $N_{Ed} = -1647,65 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 24,670 \text{ kNm}$

• Bod 0:



$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 350 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

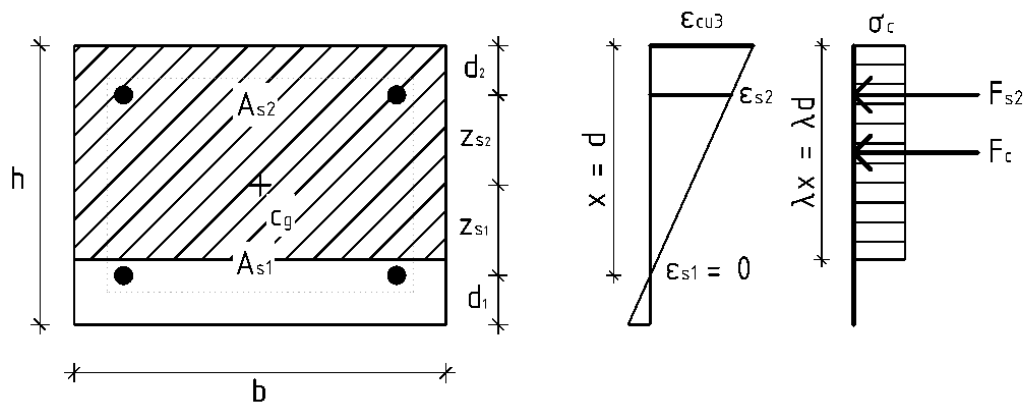
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2400 \text{ kN}$$

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(2400 + 219,9 + 219,9) = -2839,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

• **Bod 1:**



$$\varepsilon_{s1} = 0; F_{s1} = 0 \text{ kN}; x = d; x > \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

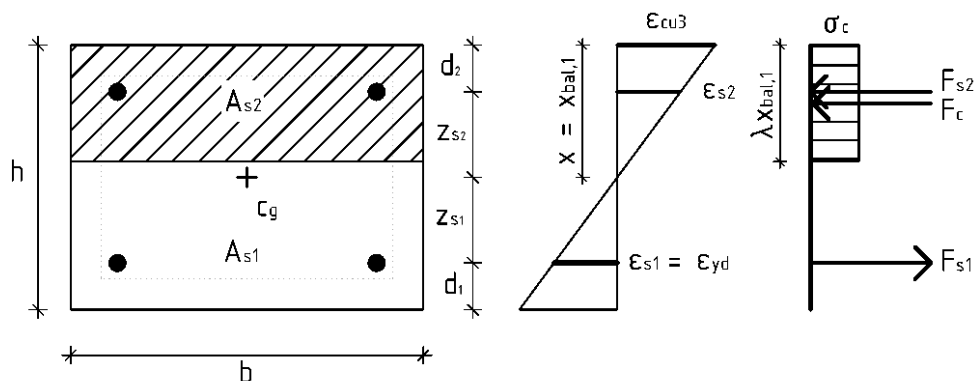
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot d \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,247 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1580,8 \text{ kN}$$

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s2}) = -(1580,8 + 273,18) = -1854,0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot d)/2 + F_{s2} \cdot z_2 = 1580,8 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,247)/2 + 273,18 \cdot 0,097 = 107,44 \text{ kNm}$$

• **Bod 2:**



$$x = x_{bal,1}; x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

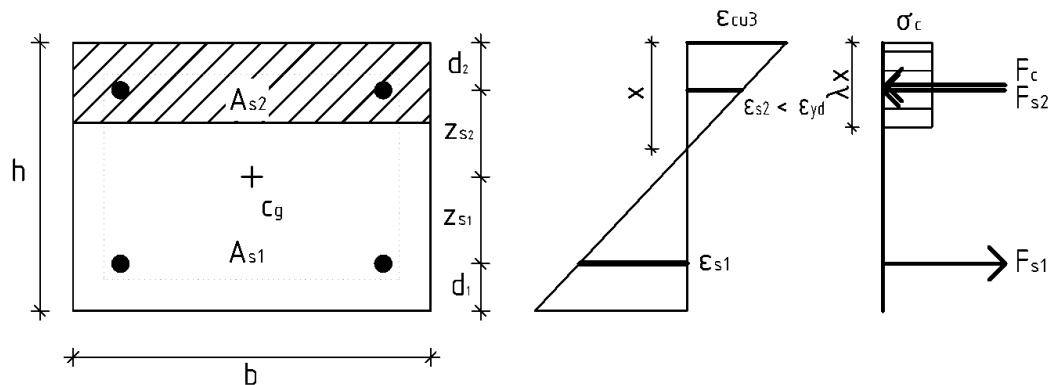
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,1} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,152 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 975,13 \text{ kN}$$

$$N_{Rd2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -975,13 + 273,18 - 273,18 = -975,13 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,1})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 975,13 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,152)/2 + 273,18 \cdot 0,097 + 273,18 \cdot 0,097 = 139,84 \text{ kNm}$$

• **Bod 3:**



$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \rightarrow$ řešením této rovnice je jeden reálný koreň

$$0,4 \cdot 0,8 \cdot x^2 \cdot 20 \cdot 10^3 + 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot x - 6,28 \cdot 10^4 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,053 - 6,28 \cdot 10^4 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot x = 0$$

$$\rightarrow x = 0,049 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}; \sigma_{s1} = f_{yd}; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

$$\epsilon_{s1} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (d - x) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,049) \cdot (0,247 - 0,049) = 14,244 \text{ ‰} > \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\epsilon_{s2} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (x - d_2) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,049) \cdot (0,049 - 0,053) = -0,307 \text{ ‰} < \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

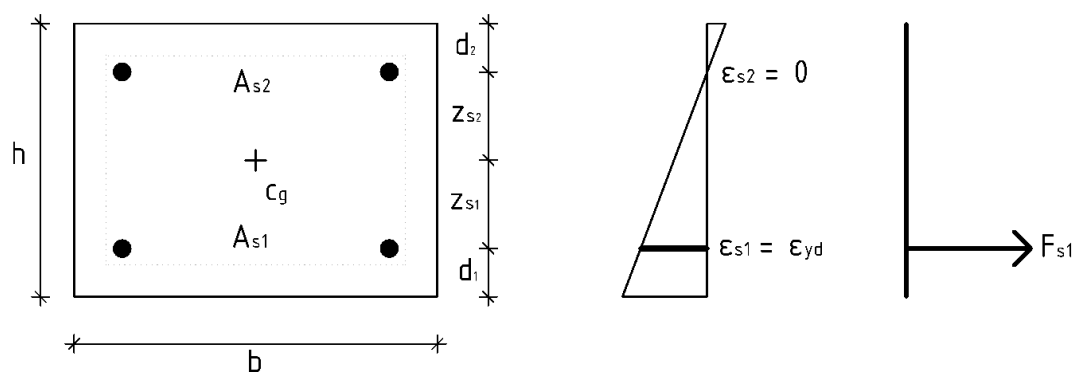
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot (-0,307 \cdot 10^{-3}) \cdot 200 \cdot 10^6 = -38,63 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,049 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 311,81 \text{ kN}$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x)/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 311,81 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,049)/2 + 273,18 \cdot 0,097 - 38,63 \cdot 0,097 = 63,45 \text{ kNm}$$

• **Bod 4:**



$$\sigma_{s1} = f_{yd}; \epsilon_{s2} = 0 \rightarrow F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

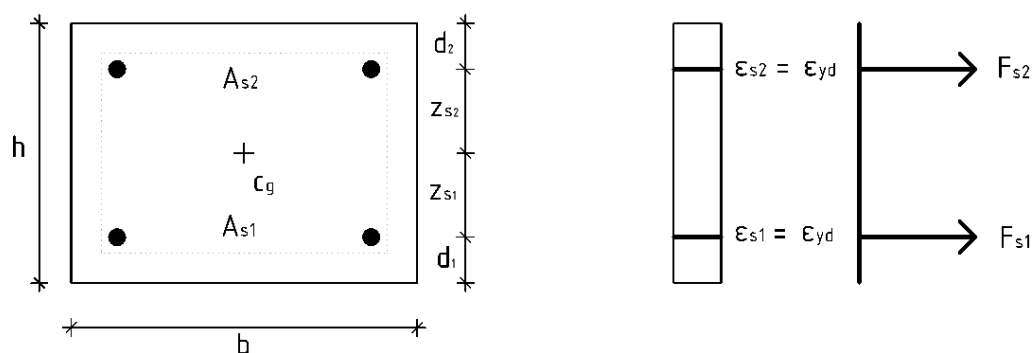
$$F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 273,18 = \mathbf{273,18 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,18 \cdot 0,097 = \mathbf{26,50 \text{ kNm}}$$

• **Bod 5:**



$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

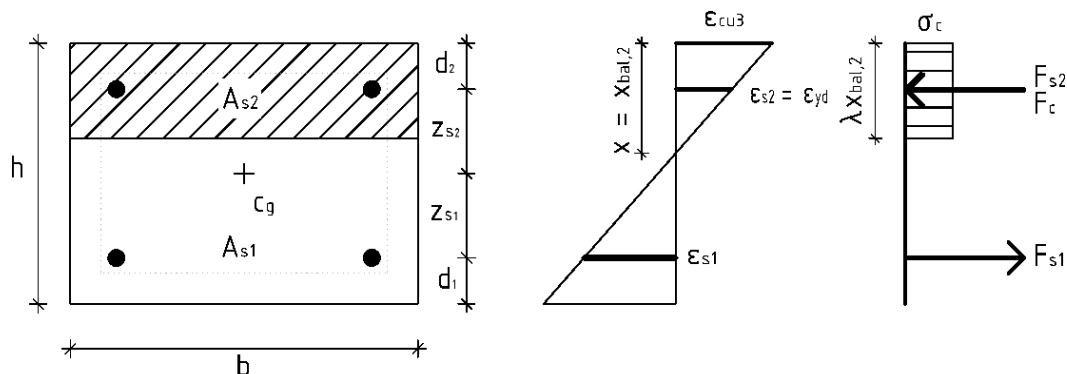
$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 273,18 + 273,18 = \mathbf{546,4 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 273,18 \cdot 0,097 - 273,18 \cdot 0,097 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

• **Bod Z:**

$$X = X_{bal,2}; \epsilon_{s2} = \epsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$



$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot X_{bal,2} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,140 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 895,27 \text{ kN}$$

$$N_{RdZ} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -895,27 + 273,18 - 273,18 = -895,27 \text{ kN}$$

$$M_{RdZ} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot X_{bal,2})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 895,27 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,140)/2 + 273,18 \cdot 0,097 + 273,18 \cdot 0,097 = 124,67 \text{ kNm}$$

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-2839,8	0
1	-1854,0	107,44
2	-975,1	139,84
Z	-895,3	124,67
3	0	63,45
4	273,2	26,50
5	546,4	0

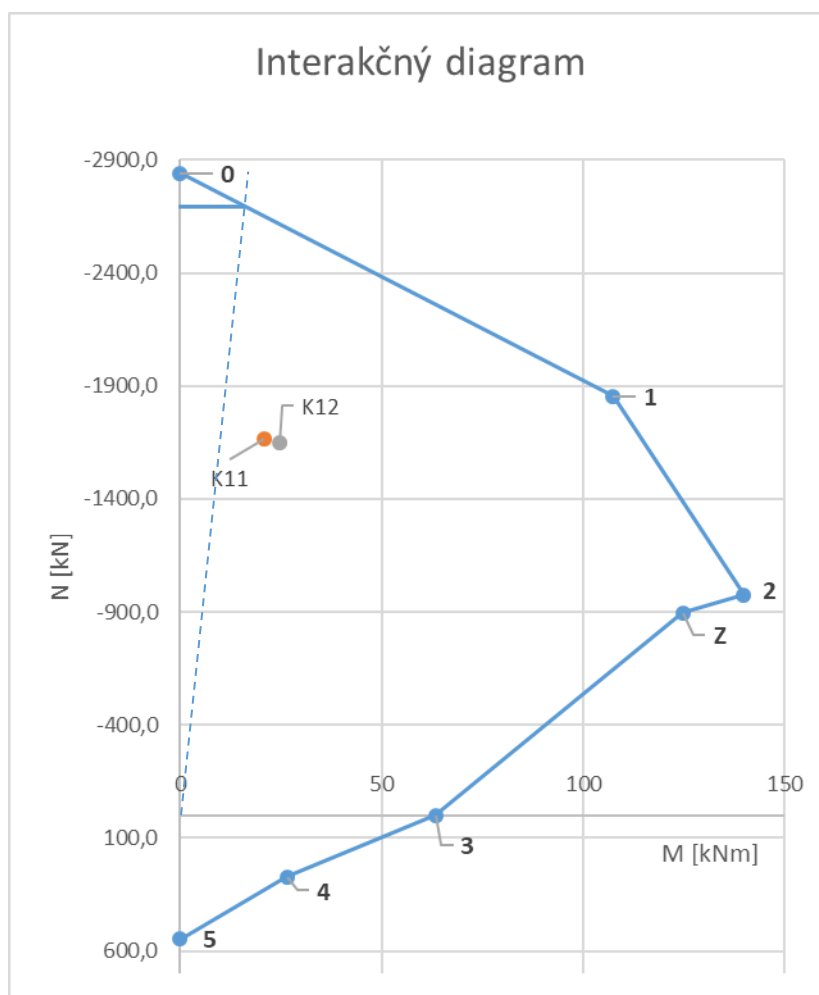
Tab. 9.1-7 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 300/30 = 10,00$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlom $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K11, K12. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-6 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2

9.1.1.10. Kotvenie výstuže stĺpov – S1, S2

$$4\phi 20 - A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- medzné napätie v súdržnosti :

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu
behom betonáže. Pre dobré podmienky $\eta_1 = 1,0$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- základná kotevná dĺžka :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,78}{3,0} = 724,63 \text{ mm}$$

- návrhová kotevná dĺžka :

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \phi_{sl} = 0,30 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,020 = 0,190 \text{ m}$$

$$c_d = \min(a/2; c_l; c) = \min(0,190/2; 0,035; 0,035) = (0,095; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,020)}{0,020} = 0,888$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,888$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$\alpha_6 = (\rho_l/25)^{0,5} \leq 1,5$$

ρ_l je percento stykovanej výstuže – 100 %

$$\alpha_6 = (100/25)^{0,5} = 2 \leq 1,5 \rightarrow \alpha_6 = 1,5$$

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,888 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 724,63 = 965,21 \text{ mm}$$

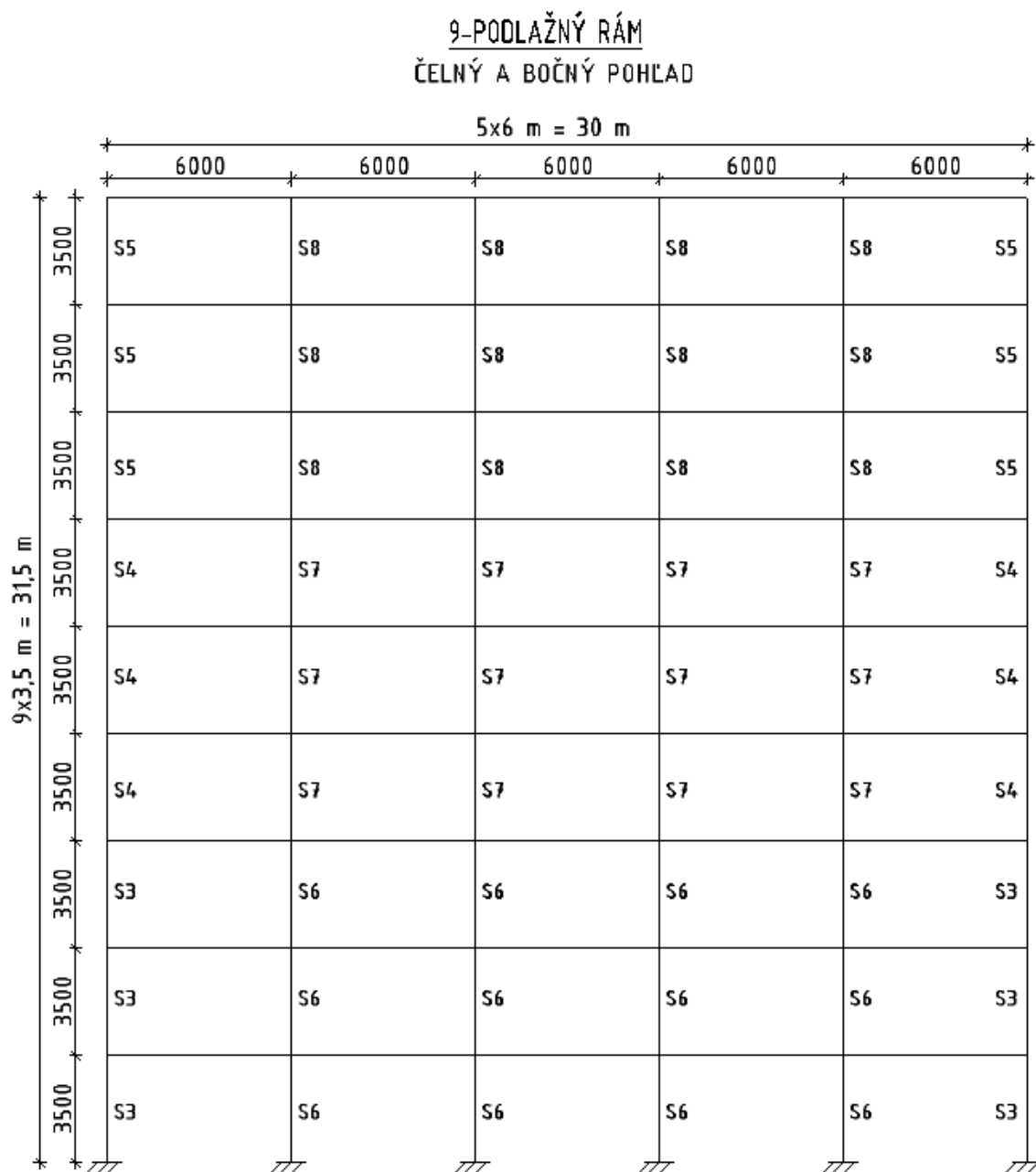
→ navrhujem kotevnú dĺžku 1000 mm

$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 965,21; 10 \cdot 20; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max(289,56; 200; 100) = 290 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 1000 \text{ mm} \geq 290 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2. 9- podlažný rám



Obr. 9.1-7 – Schematický rez 9-podlažného rámu s označením stĺpov

9.1.2.1. Krytie výstuže

- Nominálna hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy :

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

kde sa hodnota c_{min} ako väčšia z hodnôt :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

kde je

$c_{min,b}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k požiadavkám súdržnosti
$c_{min,dur}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k podmienkam prostredia (pokiaľ ho ovplyvňujú)
$\Delta c_{dur,y}$	prídavná hodnota z hľadiska spoľahlivosti
$\Delta c_{dur,st}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití nehrdzavejúcej oceli
$\Delta c_{dur,add}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití dodatočnej ochrany (napríklad povlak výstuže)

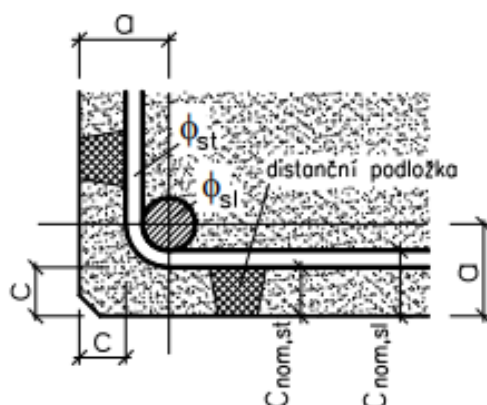
- Stanovenie $c_{min,b}$ (požiadavka súdržnosti) :

$$c_{min,b} \geq \emptyset \text{ alebo } \emptyset_n \text{ pri } d_g < 32 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} \geq (\emptyset + 5 \text{ mm}) \text{ alebo } (\emptyset_n + 5 \text{ mm}) \text{ pri } d_g \geq 32 \text{ mm}$$

kde je

- \emptyset priemer výstužného prútu
- \emptyset_n náhradný priemer skupinovej vložky
- d_g najväčší menovitý rozmer zrna kameniva



Obr. 9.1-8 – Krytie výstuže

- Stanovenie $c_{min,dur}$ – požiadavka z hľadiska trvanlivosti podľa stupňa vplyvu prostredia a triedy konštrukcie v mm :

Trieda konštrukcie	Stupeň prostredia						
	XC0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tab. 8.1.1 – Stanovenie $c_{min,dur}$

- Stanovenie hodnoty $\Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$:

Doporučené hodnoty : $\Delta c_{dur,y} = 0$ (hľadisko spoľahlivosti)

$\Delta c_{dur,st} = 0$ (pri nepoužívaní nehrdzavejúcej oceli)

$\Delta c_{dur,add} = 0$ (ak sa nevyhotoví dodatočná ochrana výstuže proti korózií)

- Doporučené hrúbky nominálnej krycej vrstvy pri betonáži na nerovnej ploche :
zväčšenie c_{min} minimálne o 5 mm

$c_{nom} \geq 40$ mm pre betonáž na upravený podklad

$c_{nom} \geq 75$ mm pre betonáž na neupravenej zemine

- Doporučené hrúbky minimálnej krycej vrstvy pri možnom obruse :
zväčšenie o 5,10,15 mm pre triedu XM1,XM2,XM3

- Možná návrhová odchýlka Δc_{dev} od nominálnej hodnoty (prídavok k minimálnej hodnote) podľa kvality prevedenia :

Doporučená hodnota pre Δc_{dev} pre bežnú úroveň prevedenia a kontroly je 10 mm (podľa NA je možné ju zmenšiť o 5 mm u konštrukcií pozemných stavieb, pokiaľ je realizovaná riadna a na dodávateľovi nezávislá kontrola pri dodržaní zaistenia polohy výstuže). Pri uplatnení systému zaistenia kvality vrátane kontroly betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$ (odporúčenie podľa NA). Pri použití veľmi citlivých prístrojov pre meranie betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $5 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$.

- Výpočet pre konštrukciu rámov :

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(20 \text{ mm}; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

→ navrhujem kryciu betónovú vrstvu **c = 35 mm**

9.1.2.2. Materiálové charakteristiky

BETÓN C 30/37 –

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

VÝSTUŽ B500B –

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

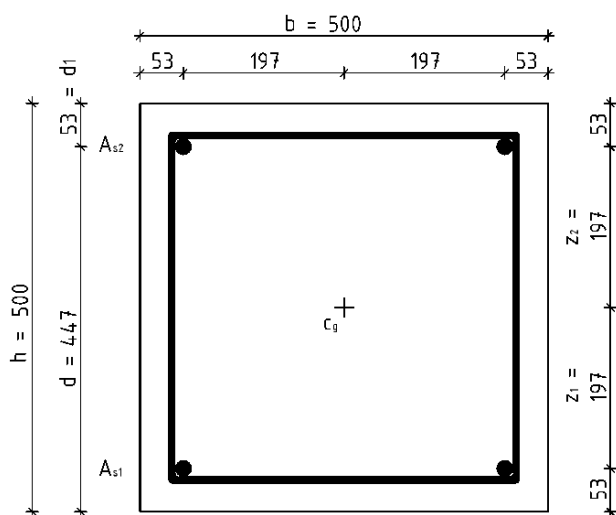
$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 434,78/200 \cdot 10^3 = 2,17 \text{ ‰}$$

9.1.2.3. Prierezové charakteristiky

• Vonkajší stĺp – S3 – podlažia 1-3



$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

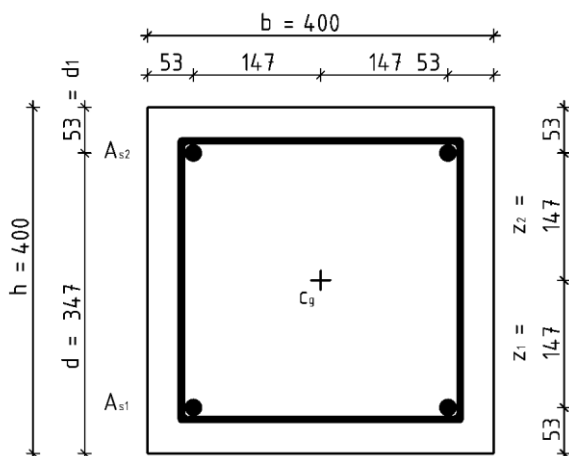
$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

• **Vonkajší stĺp – S4 – podlažia 4-6**



$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,4 - 0,053 = 0,347 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,347 = 0,214 \text{ m}$$

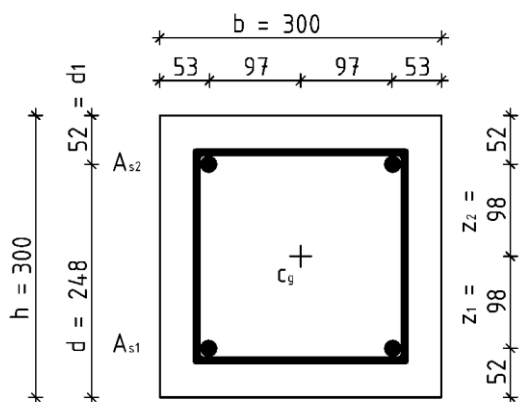
$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

• **Vonkajší stĺp – S5 – podlažia 7-9**



$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,18/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,052 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,052 = 0,248 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,248 = 0,153 \text{ m}$$

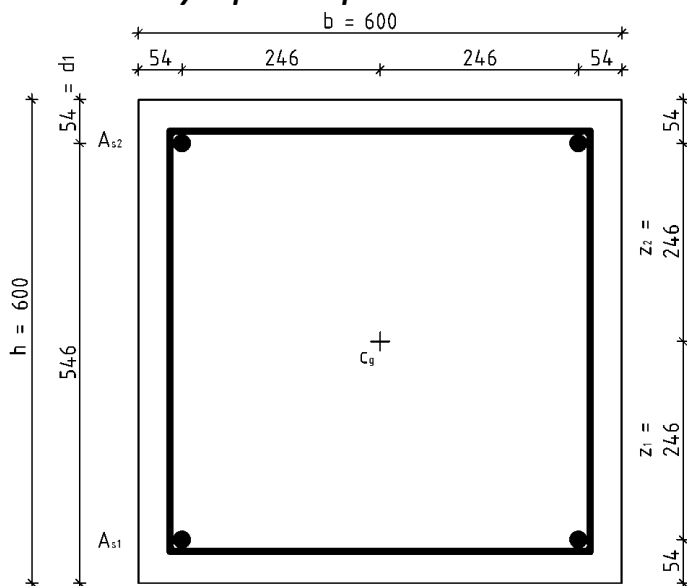
$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,052 = 0,137 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

• **Vnútorný stĺp – S6 – podlažia 1-3**



$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,22/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,054 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,054 = 0,546 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,546 = 0,337 \text{ m}$$

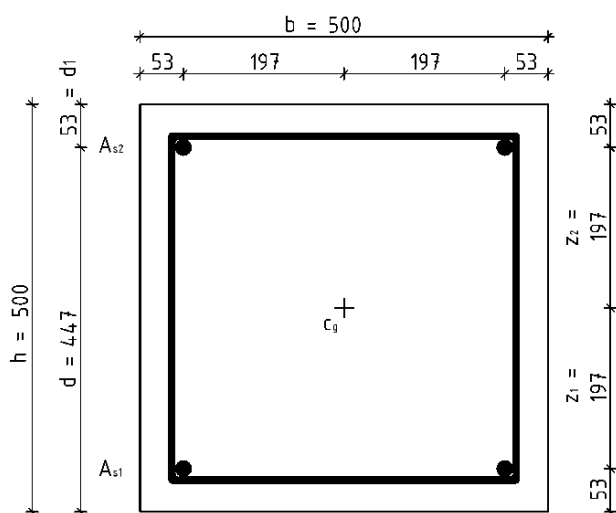
$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,054 = 0,137 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

• **Vnútorný stĺp – S7 – podlažia 4-6**



$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

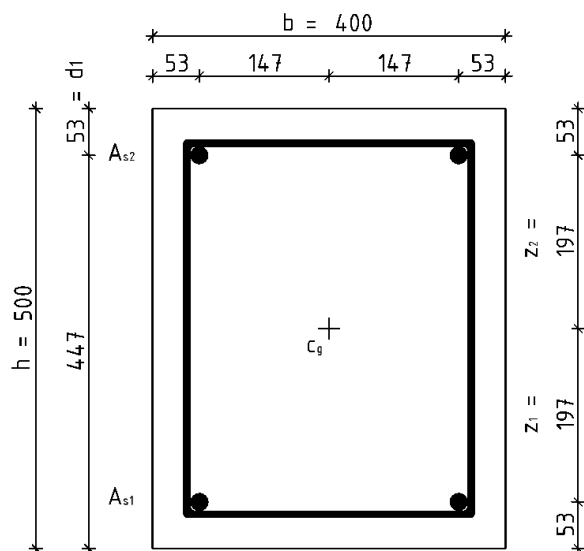
$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

• **Vnútrotný stĺp – S8 – podlažia 7-9**



$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

9.1.2.4. Výpočet účinkov II. radu v smere rámu

Vzorovo je spočítaná kombinácia K1. Ostatné kombinácie sú zhrnuté v tabuľkách Tab. 9.1-8 – Účinky II. rádu v smere rámu pre 9-podlažný rám - 1. časť a Tab. 9.1-9 – Účinky II. rádu v smere rámu pre 9-podlažný rám – 2. časť.

• **Vonkajší stĺp – S3**

○ Päta – K1 - max $N_{Ed} = -1954,38 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 99,77 \text{ kNm}$

K2 - max $M_{Ed} = 138,23 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1656,3 \text{ kN}$

○ Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -1925,41 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 94,66 \text{ kNm}$

K4 - max $M_{Ed} = 103,61 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1631,67 \text{ kN}$

- **Vonkajší stĺp – S4**

- Päta – K5 - max $N_{Ed} = -1235,04$ kN; odp. $M_{Ed} = 89,74$ kNm
K6 - max $M_{Ed} = 97,74$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1121,60$ kN
- Hlava - K7 - max $N_{Ed} = -1216,50$ kN; odp. $M_{Ed} = 103,11$ kNm
K8 - max $M_{Ed} = 112,13$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1105,84$ kN

- **Vonkajší stĺp – S5**

- Päta – K9 - max $N_{Ed} = -578,11$ kN; max. $M_{Ed} = 50,27$ kNm
- Hlava - K10 - max $N_{Ed} = -567,68$ kN; max. $M_{Ed} = 57,67$ kNm

- **Vnútorý stĺp – S6**

- Päta – K11 - max $N_{Ed} = -3931,31$ kN; odp. $M_{Ed} = 132,63$ kNm
K12 - max $M_{Ed} = 229,11$ kNm; odp. $N_{Ed} = -3111,91$ kN
- Hlava - K13 - max $N_{Ed} = -3889,60$ kN; odp. $M_{Ed} = 40,00$ kNm
K14 - max $M_{Ed} = 91,97$ kNm; odp. $N_{Ed} = -2994,77$ kN

- **Vnútorý stĺp – S7**

- Päta – K15 - max $N_{Ed} = -2626,56$ kN; odp. $M_{Ed} = 53,89$ kNm
K16 - max $M_{Ed} = 95,48$ kNm; odp. $N_{Ed} = -2081,81$ kN
- Hlava - K17 - max $N_{Ed} = -2597,59$ kN; odp. $M_{Ed} = 58,50$ kNm
K18 - max $M_{Ed} = 113,54$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1977,84$ kN

- **Vnútorý stĺp – S8**

- Päta – K19 - max $N_{Ed} = -1351,47$ kN; odp. $M_{Ed} = 21,90$ kNm
K20 - max $M_{Ed} = 52,37$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1009,53$ kN
- Hlava - K21 - max $N_{Ed} = -1328,30$ kN; odp. $M_{Ed} = 22,35$ kNm
K22 - max $M_{Ed} = 67,70$ kNm; odp. $N_{Ed} = -993,66$ kN

- $K1 - \max N_{Ed} = 1954,38$ kN; odp. $M_{Ed} = 99,77$ kNm

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} + M_2$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot (M_1/N_{Ed} + e_i)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1954,38}{0,5 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,391$$

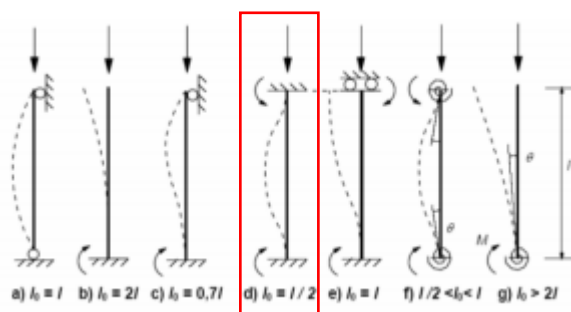
$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,2}{\sqrt{0,391}} = 54,191$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,5}{\sqrt{12}} = 0,144 \text{ m}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{1,75}{0,144} = 12,12$$



$\lambda \leq \lambda_{lim} \rightarrow 12,12 \leq 54,191 \rightarrow$ momenty podľa teórie II. radu sa neuvažujú

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{1750}{400} = 0,0044 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = 1954,38 \cdot (99,77/1954,38 + 0,0044) = 108,32 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} = 108,32 \text{ kNm}$$

	S3	S3	S3	S3	S4	S4	S4	S4	S5	S5	S6
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
N_{Ed}	1954,4	1656,3	1925,4	1631,7	1235,04	1121,6	1216,5	1105,84	578,11	567,68	3931,31
M_{Ed}	99,77	138,23	94,66	103,61	89,74	97,74	103,11	112,13	50,27	57,67	132,63
A	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
B	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
C	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
n	0,391	0,331	0,385	0,326	0,386	0,351	0,380	0,346	0,321	0,315	0,546
λ_{lim}	54,191	58,865	54,597	59,308	54,535	57,227	54,949	57,633	59,783	60,329	45,85
i	0,144	0,144	0,144	0,144	0,115	0,115	0,115	0,115	0,087	0,087	0,173
l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
l_0	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
λ	12,12	12,12	12,12	12,12	15,16	15,16	15,16	15,16	20,21	20,21	10,10
$\lambda \leq \lambda_{lim}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
e_i	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044
M_{0Ed}	108,32	145,48	103,08	110,75	95,143	102,65	108,43	116,97	52,799	60,154	149,83
M_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{Ed}	108,32	145,48	103,08	110,75	95,143	102,65	108,43	116,97	52,799	60,154	149,83

Tab. 9.1-8 – Účinky II. rádu v smere rámu pre 9-podlažný rám - 1. časť

	S6	S6	S6	S7	S7	S7	S7	S8	S8	S8	S8
	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22
N_{Ed}	3111,9	3889,6	2994,8	2526,6	2081,8	2597,6	1977,8	1351,5	1009,5	1328,3	993,66
M_{Ed}	229,11	40,00	91,97	53,89	95,48	58,5	103,11	21,9	52,37	22,35	67,70
A	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
B	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
C	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
n	0,432	0,540	0,416	0,505	0,416	0,520	0,396	0,338	0,252	0,332	0,248
λ_{lim}	51,534	46,095	52,532	47,661	52,506	47,005	53,868	58,287	67,439	58,793	67,976
i	0,173	0,173	0,173	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
l_0	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
λ	10,10	10,10	10,10	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12	12,12
$\Lambda \leq \lambda_{lim}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
e_i	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044
M_{0Ed}	242,73	57,017	105,07	64,944	104,59	69,864	122,19	27,813	56,787	28,161	72,047
M_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{Ed}	242,73	57,017	105,07	64,944	104,59	69,864	122,193	27,813	56,787	28,161	72,047

Tab. 9.1-9 – Účinky II. rádu v smere rámu pre 9-podlažný rám – 2. časť

9.1.2.5. Výpočet účinkov II. radu kolmo na rám

Vzorovo je spočítaná kombinácia K9. Ostatné kombinácie sú zhrnuté v tabuľkách Tab. 9.1-10- Účinky II. radu kolmo na rám pre 9-podlažný rám – 1. časť a Tab. 9.1-11 – Účinky II. rádu kolmo na rám pre 9-podlažný rám – 2. časť. Rozdiel oproti počítaniu v smere na rám je v štíhlostnom kritériu l_0 , v „C“, ktorý vyjadruje vplyv koncových ohybových momentov prvého rádu a šírka b sa mení za výšku h , pretože prierez je posudzovaný v rovine kolmej na rám. Vo všetkých prípadoch vychádza počítanie s účinkami II. radu, pre výpočet bola použitá metóda menovitých krivostí.

• Vonkajší stĺp – S3

- Päta – K23 - max N_{Ed} = -1954,38 kN; odp. M_{Ed} = 0 kNm
- Hlava - K24 - max N_{Ed} = -1925,41 kN; odp. M_{Ed} = 0 kNm

- **Vonkajší stĺp – S4**

- Päta – K25 - max $N_{Ed} = -1235,04$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- Hlava - K26 - max $N_{Ed} = -1216,50$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- **Vonkajší stĺp – S5**

- Päta – K27 - max $N_{Ed} = -578,11$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- Hlava - K28 - max $N_{Ed} = -567,68$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- **Vnútný stĺp – S6**

- Päta – K29 - max $N_{Ed} = -3931,31$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- Hlava - K30 - max $N_{Ed} = -3889,60$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- **Vnútný stĺp – S7**

- Päta – K31 - max $N_{Ed} = -2526,56$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- Hlava - K32 - max $N_{Ed} = -2597,59$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- **Vnútný stĺp – S8**

- Päta – K33 - max $N_{Ed} = -1351,47$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

- Hlava - K34 - max $N_{Ed} = -1328,3$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

▪ K25 - max $N_{Ed} = 1235,04$ kN; odp. $M_{Ed} = 0$ kNm

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} + M_2$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot (M_1/N_{Ed} + e_i)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1235,04}{0,4 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,386$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,386}} = 17,352$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,4}{\sqrt{12}} = 0,115 \text{ m}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot 3,5 = 2,45 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2,45}{0,115} = 21,22$$

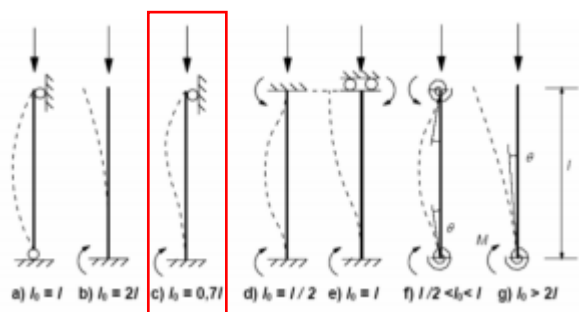
$\lambda \leq \lambda_{lim} \rightarrow 21,22 \leq 17,352 \rightarrow$ momenty podľa teórie II. radu sa uvažujú

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{2450}{400} = 0,0061 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = 1235,04 \cdot (0/1235,04 + 0,0061) = 7,565 \text{ kNm}$$

$$M_{0Eqp} = 42,860 \text{ kNm}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,4 \cdot 0,4 \cdot 20} = 0,171$$



$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,171 = 1,171$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1235,04}{0,4 \cdot 0,4 \cdot 20} = 0,386$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,171 - 0,386}{1,171 - 0,4} = 1,018 \leq 1,0 \rightarrow K_r = 1,0$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150 = 0,35 + 30/200 - 21,22/150 = 0,359$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{2 \cdot (b+h)} = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,4+0,4)} = 0,128 \text{ m}$$

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,4 \text{ (odčítané z grafu)}$$

$$t_0 = 30 \text{ dní}$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp}/M_{0Ed} = 2,4 \cdot (42,86/7,565) = 13,598$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,359 \cdot 13,598 = 5,876 \geq 1,0$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{2,17 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 0,347} = 0,017$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,0 \cdot 5,876 \cdot 0,017 = 0,0985$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0985 \cdot \frac{2,45^2}{10} = 0,059 \text{ m}$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1235,04 \cdot 0,059 = 73,017 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_i + e_2) = M_{0Ed} + M_2 = 7,565 + 73,017 = \mathbf{80,581 \text{ kNm}}$$

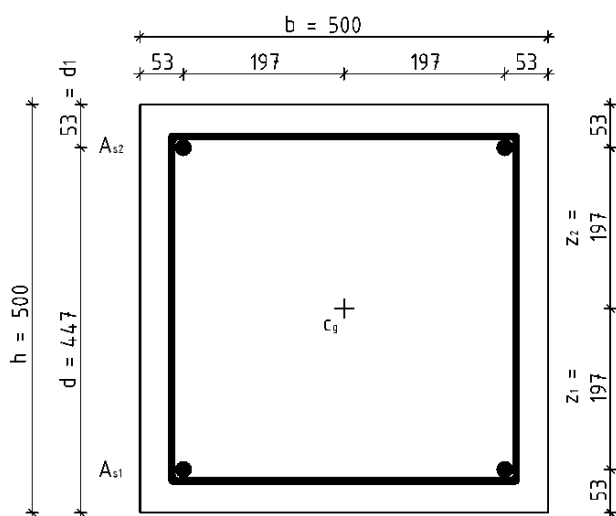
	S3	S3	S4	S4	S5	S5
	K23	K24	K25	K26	K27	K28
N_{Ed}	1954,38	1925,41	1235,04	1216,50	578,11	567,08
M_{Ed}	0	0	0	0	0	0
A	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
B	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
C	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
n	0,391	0,326	0,386	0,380	0,321	0,315
λ_{lim}	17,242	18,871	17,352	17,484	19,022	19,196
i	0,144	0,144	0,115	0,115	0,087	0,087
l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
l_0	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
λ	16,97	16,97	21,22	21,22	28,29	28,29
$\lambda \leq \lambda_{lim}$	✓	✓	✗	✗	✗	✗
e_i	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
M_{0Ed}	11,971	9,994	7,565	7,451	3,477	3,541
M_{0Eqp}	-	-	42,860	49,390	28,450	32,330
ω	-	-	0,171	0,171	0,246	0,246
n_u	-	-	1,171	1,171	1,246	1,246
n_{bal}	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4
n	-	-	0,386	0,380	0,321	0,315
K_r	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0
β	-	-	0,359	0,359	0,311	0,311
h_0	-	-	0,128	0,128	0,054	0,054
$\varphi(\infty, t_0)$	-	-	2,4	2,4	2,5	2,5
φ_{ef}	-	-	13,598	15,909	20,087	23,245
K_φ	-	-	5,876	6,704	7,255	8,239
$1/r_0$	-	-	0,017	0,017	0,012	0,012
$1/r$	-	-	0,0985	0,1124	0,0869	0,0987
e_2	-	-	0,059	0,067	0,052	0,059
M_2	0	0	73,017	82,061	30,162	33,633
M_{Ed}	11,971	9,994	80,581	89,512	33,703	37,110

Tab. 9.1-10- Účinky II. radu kolmo na rám pre 9-podlažný rám – 1. časť

	S6	S6	S7	S7	S8	S8
	K29	K30	K31	K32	K33	K34
N_{Ed}	3931,31	3889,60	2526,56	2597,59	1351,47	1328,3
M_{Ed}	0	0	0	0	0	0
A	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
B	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
C	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
n	0,546	0,540	0,505	0,520	0,338	0,332
λ_{lim}	14,589	14,667	15,165	14,956	18,546	18,707
i	0,173	0,173	0,144	0,144	0,115	0,115
l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
l_0	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
λ	14,15	14,15	16,97	16,97	21,22	21,22
$\lambda \leq \lambda_{lim}$	✓	✓	✗	✗	✗	✗
e_i	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
M_{0Ed}	24,079	23,824	7,565	7,451	3,477	3,541
M_{0Eqp}	-	-	0,920	0,410	1,590	11,530
ω	-	-	0,109	0,109	0,137	0,137
n_u	-	-	1,109	1,109	1,137	1,137
n_{bal}	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4
n	-	-	0,505	0,520	0,338	0,332
K_r	-	-	0,852	0,977	1,0	1,0
β	-	-	0,387	0,387	0,359	0,359
h_0	-	-	0,250	0,250	0,180	0,180
$\varphi(\infty, t_0)$	-	-	2,2	2,2	2,3	2,3
φ_{ef}	-	-	0,131	0,057	0,442	6,50
K_φ	-	-	1,051	1,022	1,158	3,330
$1/r_0$	-	-	0,022	0,022	0,017	0,017
$1/r$	-	-	0,0193	0,0183	0,0211	0,0610
e_2	-	-	0,012	0,011	0,013	0,037
M_2	0	0	22,297	28,610	17,082	48,619
M_{Ed}	24,079	23,824	44,773	44,520	25,359	52,699

Tab. 9.1-11 – Účinky II. rádu kolmo na rám pre 9-podlažný rám – 2.časť

9.1.2.6. Výpočet bodov interakčného diagramu – v smere rámu – vonkajší stĺp – S3



$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

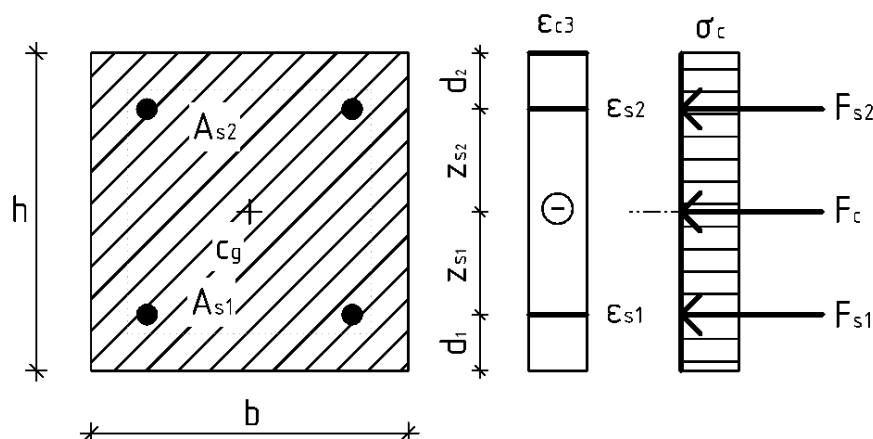
- Päta – K1 - max $N_{Ed} = -1954,38 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 108,32 \text{ kNm}$

$$K2 - \text{max } M_{Ed} = 145,476 \text{ kNm}; \text{ odp. } N_{Ed} = -1656,3 \text{ kN}$$

- Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -1925,41 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 103,084 \text{ kNm}$

$$K4 - \text{max } M_{Ed} = 110,749 \text{ kNm}; \text{ odp. } N_{Ed} = -1631,67 \text{ kN}$$

- **Bod 0:** Jedná sa o prípad tlakového porušenia pri rovnomernom rozdelení pretvorenia ε_{c3} v tlačnom betóne po celej výške prierezu.



$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} \cdot E_s = 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 350 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

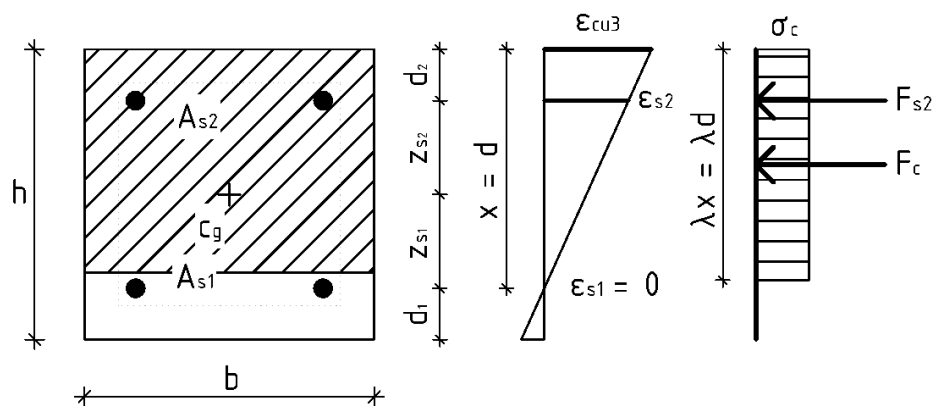
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 5000 \text{ kN}$$

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(5000 + 219,9 + 219,9) = -5239,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

- **Bod 1:** Jedná sa o prípad kedy neutrálna osa prechádza ťažiskom výstuže A_{s1} . Výstuž A_{s1} nie je namáhaná a na únosnosti sa podieľa iba tlačaná časť betónu a tlačaná výstuž A_{s2} .



$$\varepsilon_{s1} = 0; F_{s1} = 0 \text{ kN}; x = d; x > \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

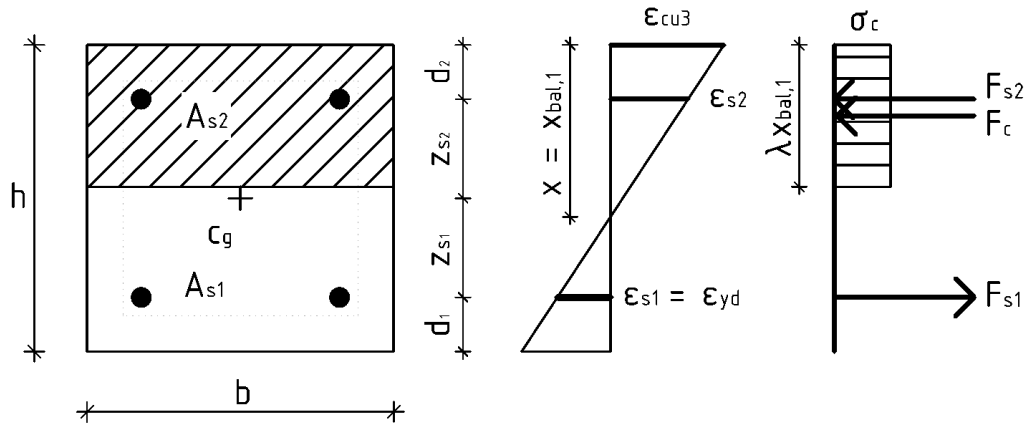
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot d \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,447 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 3576 \text{ kN}$$

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s2}) = -(3576 + 273,18) = -3849,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot d) / 2 + F_{s2} \cdot z_2 = 3576 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,447) / 2 + 273,18 \cdot 0,097 = 308,4 \text{ kNm}$$

- **Bod 2:** Jedná sa o prípad, kedy neutrálna osa leží vo vzdialenosti $x_{bal,1}$ od tlačeneho okraja prierezu. Tento prípad predstavuje rozhranie medzi tlakovým a ťahovým porušením (medzi malou a veľkou výstrednosťou v tlaku).



$$x = x_{bal,1}; x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

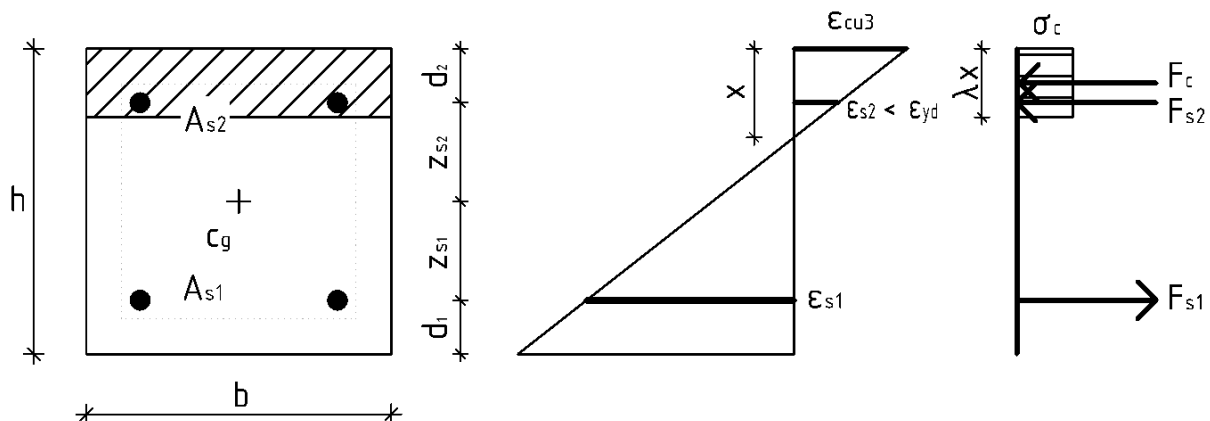
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,1} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,276 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2205,89 \text{ kN}$$

$$N_{Rd2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -2205,89 + 273,18 - 273,18 = -2205,89 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,1})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 2205,89 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,276)/2 + 273,18 \cdot 0,197 + 273,18 \cdot 0,197 = 415,81 \text{ kNm}$$

- **Bod 3:** Jedná sa o prípad namáhania prostým ohybom. Bod 3 je možné počítať bez alebo so započítaním tlačenej výstuže A_{s2} . Tlačenu výstuž nie je možné plne započítať. Riešenie prostého ohybu s ťahanou aj tlačenu výstužou vedie preto v tomto prípade na riešenie kvadratickej rovnice vyplývajúcej zo silovej podmienky rovnováhy a príslušných geometrických podmienok rovnováhy.



$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \rightarrow$ riešením tejto rovnice je jeden reálny koreň

$$0,5 \cdot 0,8 \cdot x^2 \cdot 20 \cdot 10^3 + 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot x - 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,053 - 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot x = 0$$

$$\rightarrow x = 0,045 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}; \sigma_{s1} = f_{yd}; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

$$\epsilon_{s1} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (d - x) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,045) \cdot (0,447 - 0,045) = 31,610 \text{ ‰} > \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\epsilon_{s2} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (x - d_2) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,045) \cdot (0,045 - 0,053) = -0,663 \text{ ‰} < \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

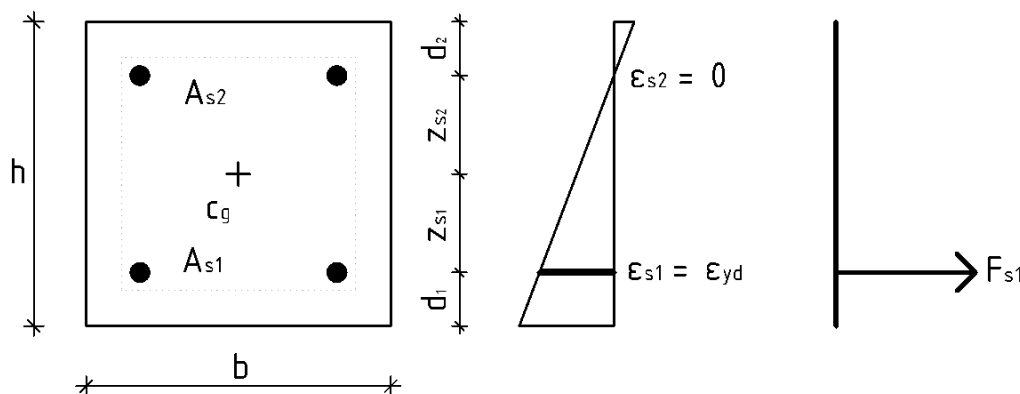
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot (-0,663 \cdot 10^{-3}) \cdot 200 \cdot 10^6 = -83,30 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,045 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 356,48 \text{ kN}$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x)/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 356,48 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,045)/2 + 273,18 \cdot 0,197 - 83,30 \cdot 0,197 = 120,17 \text{ kNm}$$

- **Bod 4:** Jedná sa o prípad, kedy pôsobisko ťahovej sily na medzi porušenia leží v ťažisku výstuže A_{s2} . Rozhranie medzi malou a veľkou výstrednosťou v ťahu.



$$\sigma_{s1} = f_{yd}; \epsilon_{s2} = 0 \rightarrow F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

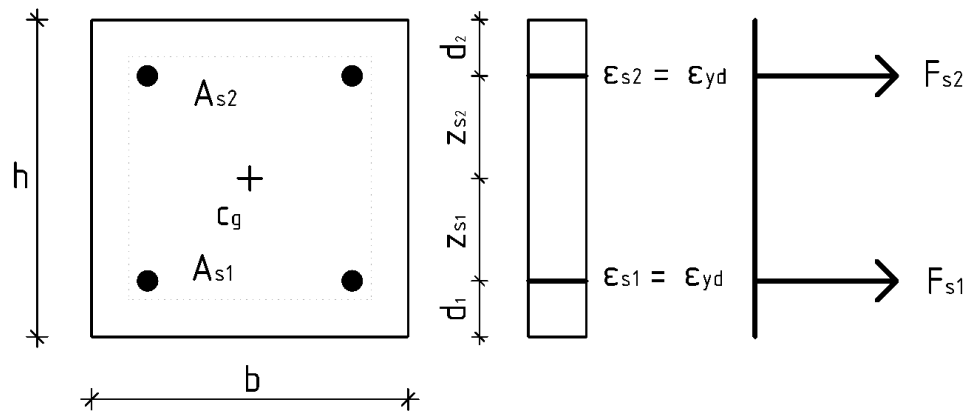
$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 273,18 = 273,18 \text{ kN}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,18 \cdot 0,197 = 53,82 \text{ kNm}$$

- **Bod 5:** Jedná sa o prípad, kedy pôsobisko ťahovej sily leží v ťažisku výstuže A_{s1} a A_{s2} .

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$



$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

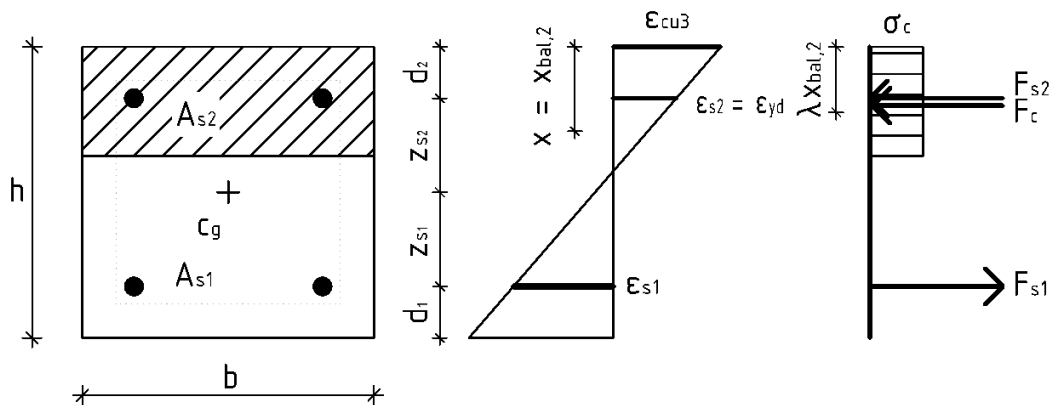
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 273,18 + 273,18 = 546,4 \text{ kN}$$

$$M_{Rd5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 273,18 \cdot 0,197 - 273,18 \cdot 0,197 = 0 \text{ kNm}$$

- **Bod Z:** Medzi bodmi 1 až 4 je možné nájsť bod Z, ktorý znázorňuje prípad hranice plného využitia tlačenej výstuže A_{s2} .



$$x = x_{bal,2}; \epsilon_{s2} = \epsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,2} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,140 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1119,082 \text{ kN}$$

$$N_{RdZ} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -1119,082 + 273,18 - 273,18 = -1119,082 \text{ kN}$$

$$M_{RdZ} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,2})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 1119,082 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,140)/2 + 273,18 \cdot 0,197 + 273,18 \cdot 0,197 = 309,13 \text{ kNm}$$

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-5439,8	0
1	-3849,2	308,43
2	-2205,9	415,81
Z	-1119,1	309,13
3	0	120,17
4	273,2	53,82
5	546,4	0

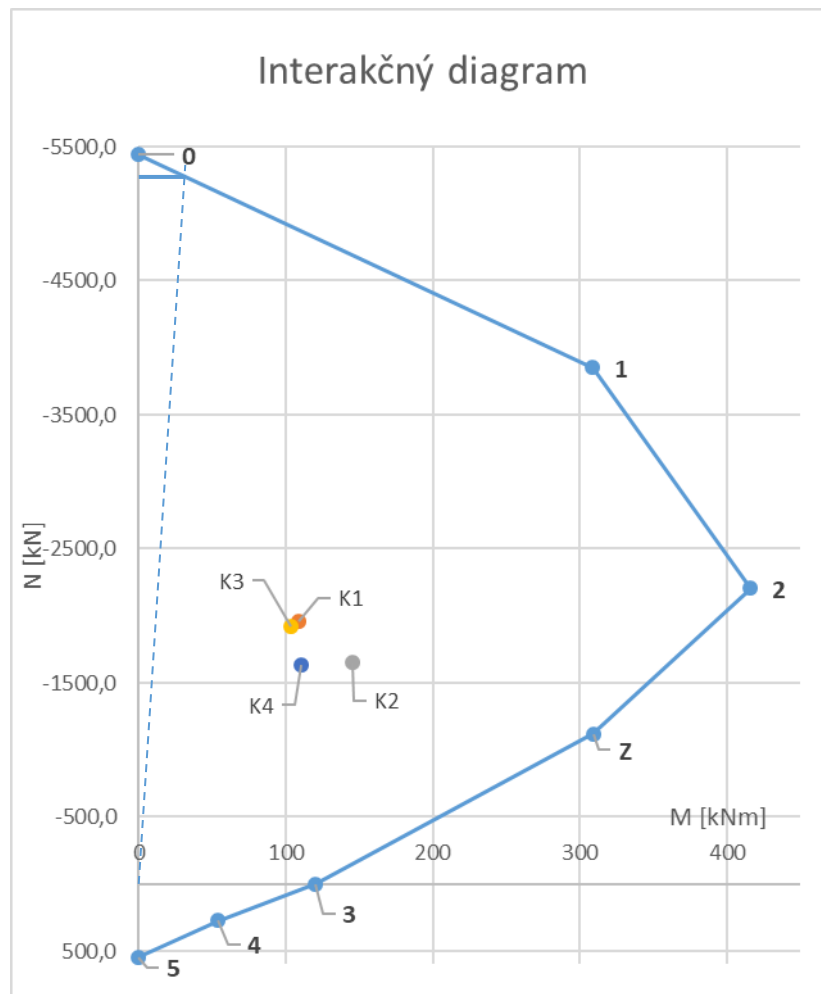
Tab. 9.1-12 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 500/30 = 16,667$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlom $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K1, K2, K3, K4. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-9 – Interakční diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3

9.1.2.6.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 69,10 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 1954,38 \text{ kN}$; $b = 500 \text{ mm}$; $h = 500 \text{ mm}$; $d = 447 \text{ mm}$; $A_{sl} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [1954,38/(500 \cdot 500)] = 1,17 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{447}} = 1,67 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,5 \cdot 0,447 = 0,2235 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 12,56 \cdot 10^{-4}/0,2235 = 0,0056$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,0056 \cdot 30)^{1/3} + 1,17] \cdot 0,2235 = 367,21 \text{ kN}$$

$367,21 \text{ kN} > 69,10 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

• **Konstrukčná šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/300 = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

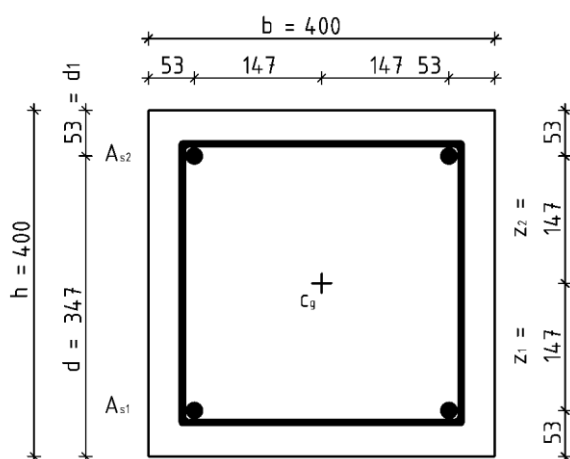
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 0,30} = 0,00112$$

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

$$0,00112 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,300 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,447 = 0,340 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.7. Výpočet bodov interakčného diagramu – v smere rámu – vonkajší stĺp – S4



$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,4 - 0,053 = 0,347 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,347 = 0,214 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

○ Päta – K5 - max $N_{Ed} = -1235,04 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 95,143 \text{ kNm}$

K6 - max $M_{Ed} = 102,647 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1121,60 \text{ kN}$

○ Hlava - K7 - max $N_{Ed} = -1216,50 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 108,432 \text{ kNm}$

K8 - max $M_{Ed} = 116,968 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1105,84 \text{ kN}$

Body interakčného diagramu 0,1,2,3,4,5,Z sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-13 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4.

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-3639,8	0
1	-2494,0	176,07
2	-1369,9	237,01
Z	-895,3	196,75
3	0	90,76
4	273,2	40,16
5	546,4	0

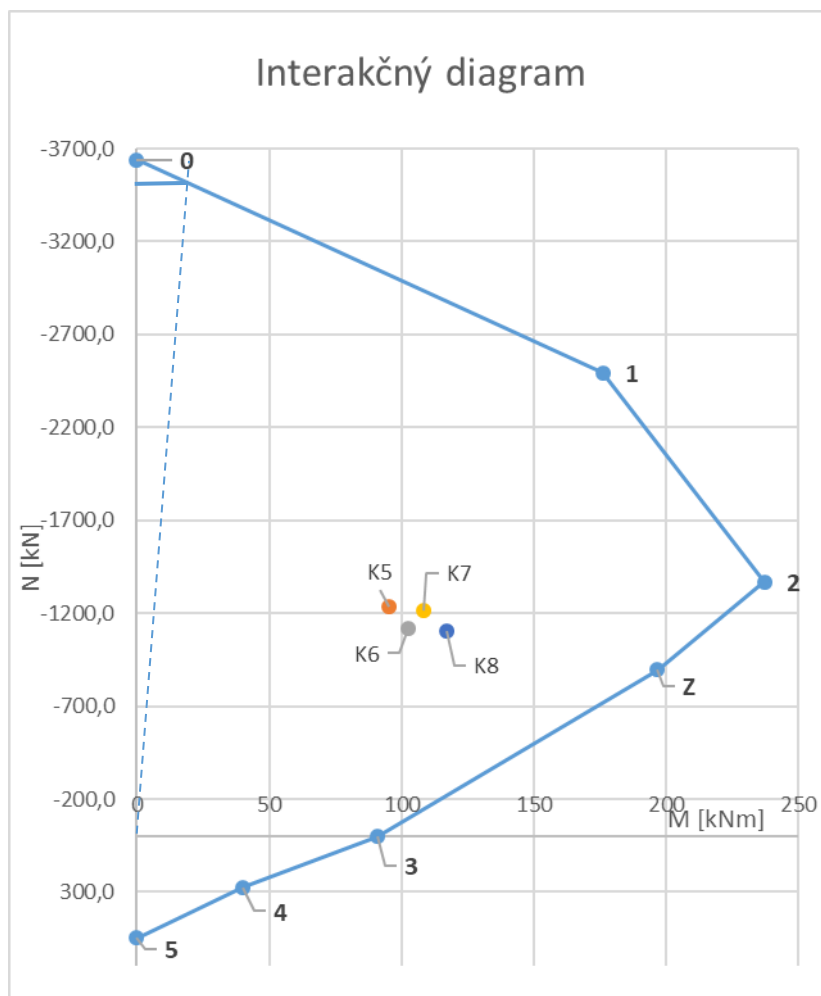
Tab. 9.1-13 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 400/30 = 13,333$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K5, K6, K7, K8. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy



Obr. 9.1-10 – Interakční diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp - S4

9.1.2.7.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 59,69 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 1235,04 \text{ kN}$; $b = 400 \text{ mm}$; $h = 400 \text{ mm}$; $d = 347 \text{ mm}$; $A_{sl} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [1235,04/(400 \cdot 400)] = 1,16 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{347}} = 1,76 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,4 \cdot 0,347 = 0,1388 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 12,56 \cdot 10^{-4}/0,1388 = 0,00905$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,76 \cdot (100 \cdot 0,00905 \cdot 30)^{1/3} + 1,16] \cdot 0,1388 = 249,11 \text{ kN}$$

$249,11 \text{ kN} > 59,69 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

• **Konštrukčná šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/250 = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

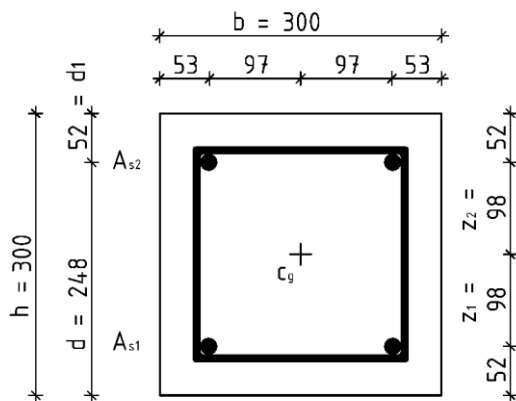
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{2,01 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 0,25} = 0,00201$$

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

$$0,00201 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,250 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,347 = 0,260 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.8. Výpočet bodov interakčného diagramu – v smere rámu – vonkajší stĺp – S5



$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,18/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,052 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,052 = 0,248 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,248 = 0,153 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,052 = 0,137 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

○ Päta – K9 - max $N_{Ed} = -578,11 \text{ kN}$; max. $M_{Ed} = 52,799 \text{ kNm}$

○ Hlava - K10 - max $N_{Ed} = -567,68 \text{ kN}$; max. $M_{Ed} = 60,154 \text{ kNm}$

Body interakčného diagramu 0,1,2,3,4,5,Z sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-14 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5 Tab. 9.1-13 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-2156,3	0
1	-1411,7	82,16
2	-734,3	108,58
Z	-658,8	96,98
3	0	51,03
4	221,3	21,69
5	442,6	0

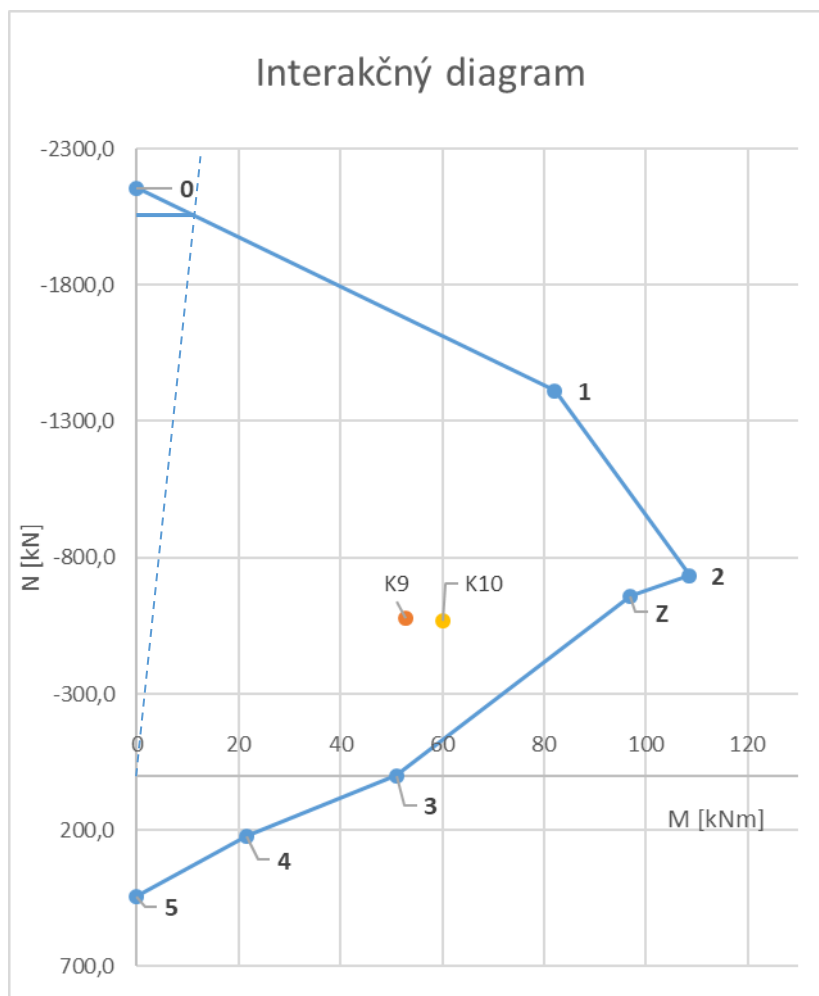
Tab. 9.1-14 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 300/30 = 10$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K9, K10. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-11 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5

9.1.2.8.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 30,84 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 578,11 \text{ kN}$; $b = 300 \text{ mm}$; $h = 300 \text{ mm}$; $d = 248 \text{ mm}$; $A_{sl} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [578,11/(300 \cdot 300)] = 0,96 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{248}} = 1,89 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,3 \cdot 0,248 = 0,0744 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 10,18 \cdot 10^{-4}/0,0744 = 0,01368$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,89 \cdot (100 \cdot 0,01368 \cdot 30)^{1/3} + 0,96] \cdot 0,0744 = 129,63 \text{ kN}$$

$129,631 \text{ kN} > 30,84 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

• **Konstrukční šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/180 = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

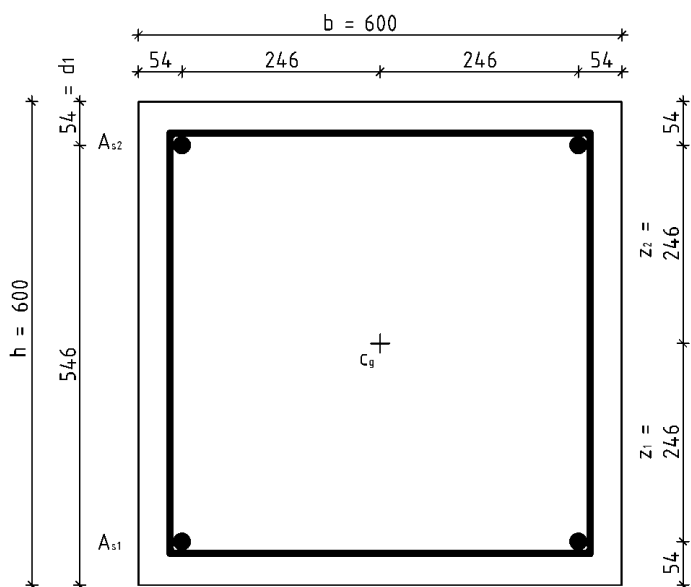
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{2,79 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,18} = 0,005167$$

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

$$0,005167 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,180 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,248 = 0,190 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.9. Výpočet bodů interakčního diagramu – vsmere rámu – vnitřní stěp – S6



$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,22/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,054 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,054 = 0,546 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,546 = 0,337 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,054 = 0,137 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

- Päta – K11 - max $N_{Ed} = -3931,31 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 149,829 \text{ kNm}$
K12 - max $M_{Ed} = 242,725 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -3111,91 \text{ kN}$
- Hlava - K13 - max $N_{Ed} = -3889,60 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 57,017 \text{ kNm}$
K14 - max $M_{Ed} = 105,072 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -2994,77 \text{ kN}$

Body interakčného diagramu 0,1,2,3,4,5,Z sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-15 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6.

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-7732,2	0
1	-5572,2	509,03
2	-3233,3	697,03
Z	-1368,2	475,60
3	0	178,22
4	330,6	81,32
5	661,1	0

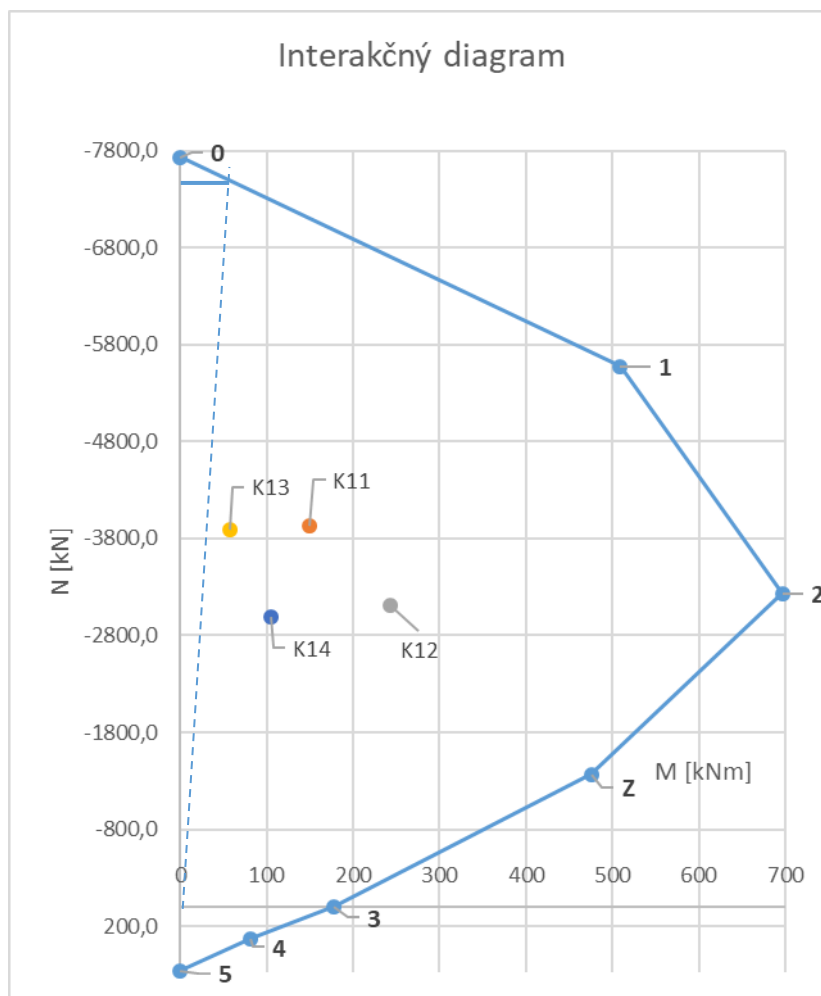
Tab. 9.1-15 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 600/30 = 20$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K11, K12, K13, K14. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-12 – Interakční diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6

9.1.2.9.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 91,30 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 3931,31 \text{ kN}$; $b = 600 \text{ mm}$; $h = 600 \text{ mm}$; $d = 546 \text{ mm}$; $A_{sl} = 15,20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [3931,31/(600 \cdot 600)] = 1,64 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{546}} = 1,61 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,6 \cdot 0,546 = 0,3276 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 15,20 \cdot 10^{-4}/0,3276 = 0,00464$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,61 \cdot (100 \cdot 0,00464 \cdot 30)^{1/3} + 1,64] \cdot 0,3276 = 689,52 \text{ kN}$$

$689,52 \text{ kN} > 91,30 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

• **Konstrukčná šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/300 = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

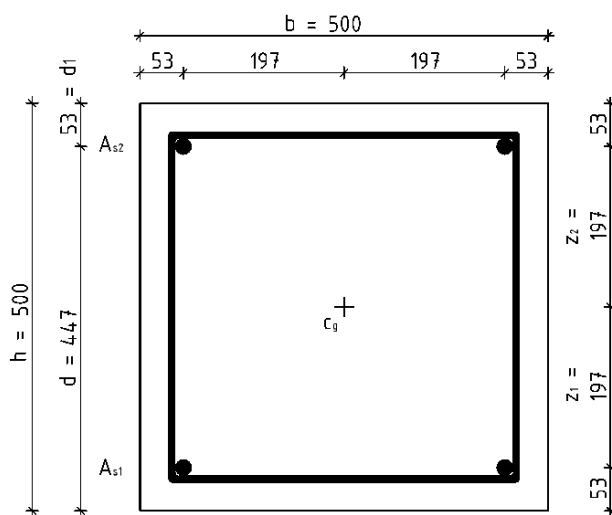
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,6 \cdot 0,3} = 0,00093$$

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

$$0,00093 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,300 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,546 = 0,410 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.10. Výpočet bodov interakčného diagramu – v smere rámu – vnútorný stĺp – S7



$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

○ Päta – K15 - max $N_{Ed} = -2626,56 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 53,89 \text{ kNm}$

K16 - max $M_{Ed} = 95,48 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -2081,81 \text{ kN}$

○ Hlava - K17 - max $N_{Ed} = -2597,59 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 58,50 \text{ kNm}$

K18 - max $M_{Ed} = 113,54 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1977,84 \text{ kN}$

Body interakčného diagramu 0,1,2,3,4,5,Z sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-16 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7.

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-5439,8	0
1	-3849,2	308,43
2	-2205,9	415,81
Z	-1119,1	309,13
3	0	120,17
4	273,2	53,82
5	546,4	0

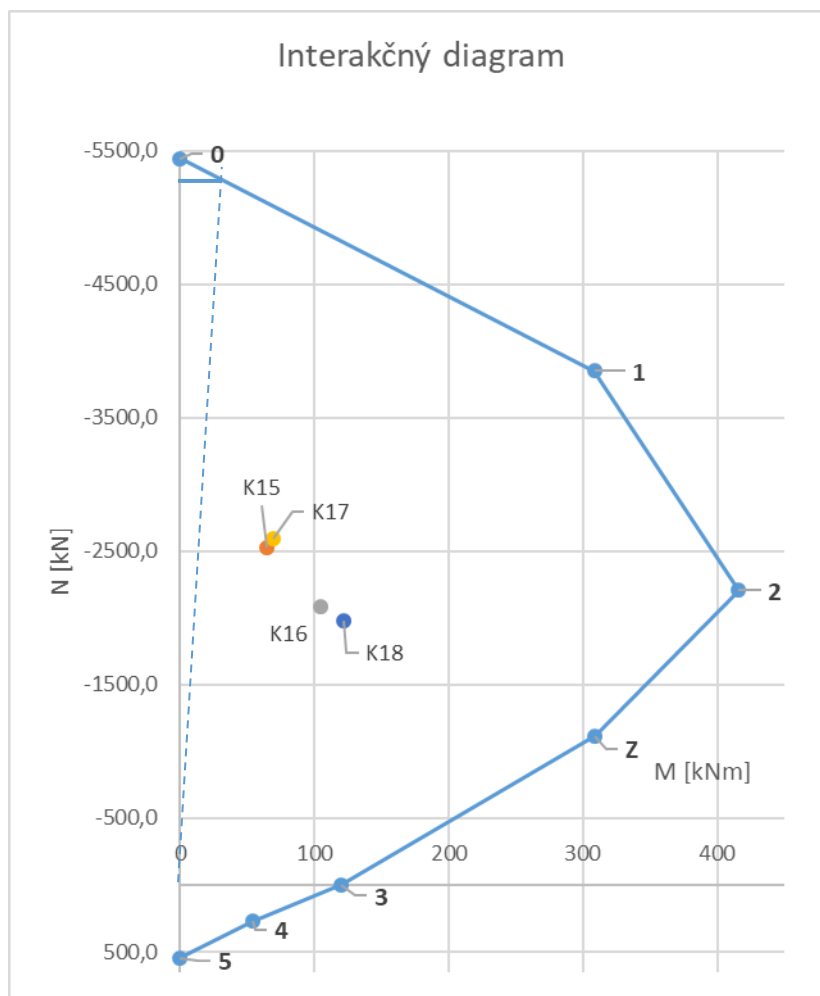
Tab. 9.1-16 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 500/30 = 16,667$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K15, K16, K17, K18. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-13 – Interakční diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnitorní stĺp – S7

9.1.2.10.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 55,50 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 2626,56 \text{ kN}$; $b = 500 \text{ mm}$; $h = 500 \text{ mm}$; $d = 447 \text{ mm}$; $A_{sl} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [2626,56/(500 \cdot 500)] = 1,58 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{447}} = 1,67 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,5 \cdot 0,447 = 0,2235 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 12,56 \cdot 10^{-4}/0,2235 = 0,00562$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,00562 \cdot 30)^{1/3} + 1,58] \cdot 0,2235 = 467,98 \text{ kN}$$

$467,98 \text{ kN} > 55,50 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

• **Konstrukční šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/300 = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

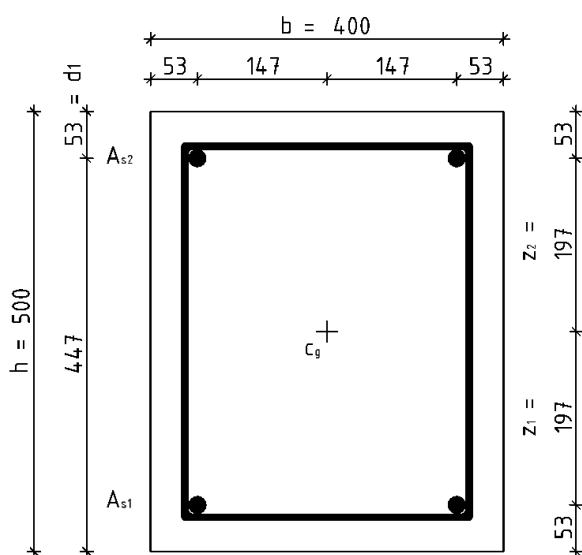
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 0,3} = 0,00112$$

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

$$0,00112 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,300 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,447 = 0,340 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.11. Výpočet bodov interakčného diagramu - v smere rámu - vnútorný stĺp - S8



$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

- Päta – K19 - max $N_{Ed} = -1351,47 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 21,90 \text{ kNm}$
K20 - max $M_{Ed} = 52,37 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -1009,53 \text{ kN}$
- Hlava - K21 - max $N_{Ed} = -1328,30 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 22,35 \text{ kNm}$
K22 - max $M_{Ed} = 67,70 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -993,66 \text{ kN}$

Body interakčného diagramu 0,1,2,3,4,5,Z sú zhrnuté v tabuľke Tab. 9.1-17 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8.

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-4439,8	0
1	-3134,0	257,51
2	-1764,7	354,17
Z	-895,3	268,83
3	0	118,08
4	273,2	53,82
5	546,4	0

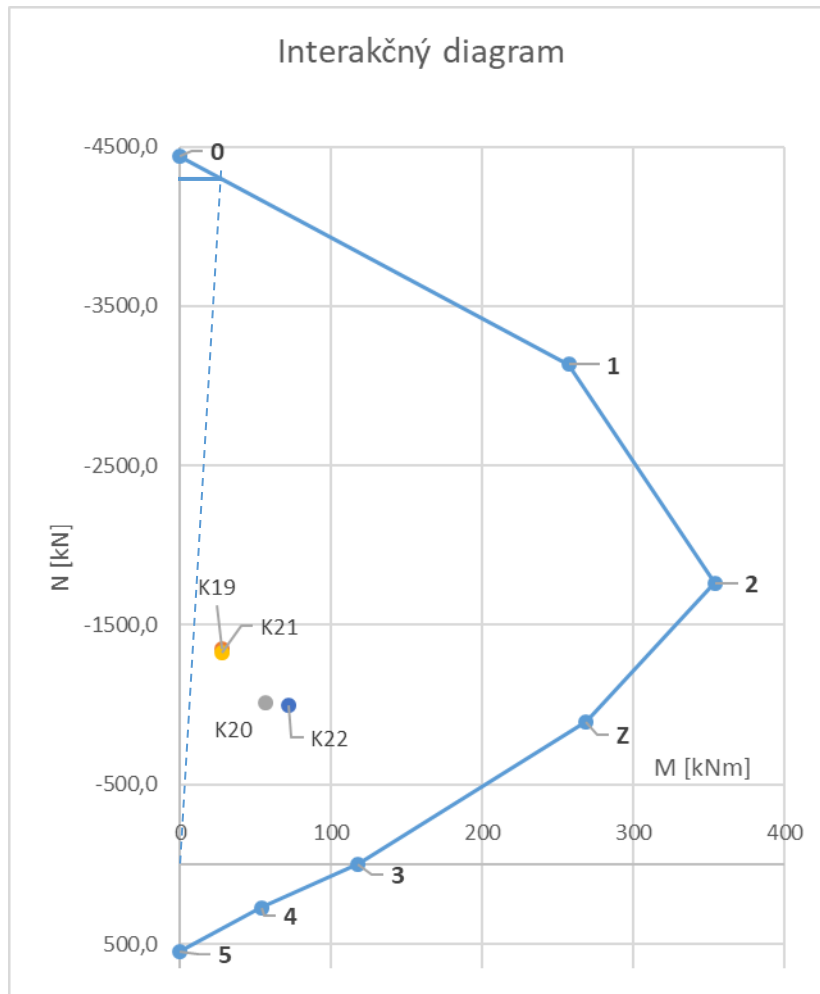
Tab. 9.1-17 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 500/30 = 16,667$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K19, K20, K21, K22. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-14 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8

9.1.2.11.1. Posúdenie na šmyk

$V_{Ed} = 35,07 \text{ kN}$; $N_{Ed} = 1351,47 \text{ kN}$; $b = 400 \text{ mm}$; $h = 500 \text{ mm}$; $d = 447 \text{ mm}$; $A_{sl} = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa šmyková výstuž \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot [1351,47/(400 \cdot 500)] = 1,01 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{447}} = 1,67 \leq 2,00$$

$$b_w \cdot d = 0,4 \cdot 0,447 = 0,1788 \text{ m}^2$$

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 12,56 \cdot 10^{-4}/0,1788 = 0,007$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,007 \cdot 30)^{1/3} + 1,01] \cdot 0,1788 = 179,44 \text{ kN}$$

$$279,44 \text{ kN} > 35,07 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje} \rightarrow \text{konštrukčná šmyková výstuž}$$

- **Konstrukčná šmyková výstuž**

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$A_{sw} = \phi 8/300 = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 0,3} = 0,0014$$

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

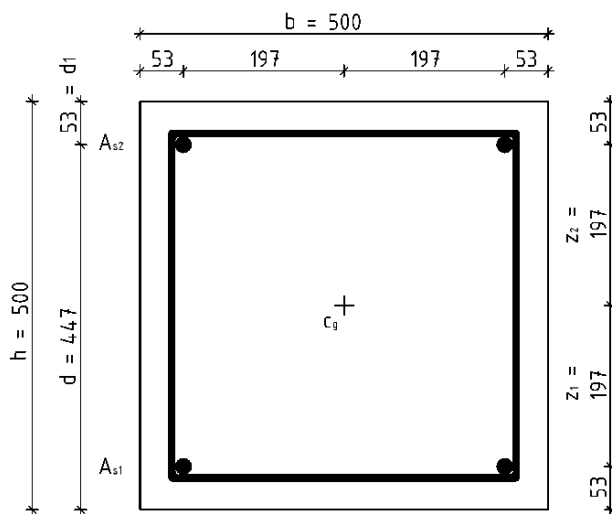
$$0,0014 \geq 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$s_t = 0,300 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,447 = 0,340 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.12. Výpočet bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – vonkajší stĺp – S3

Vzhľadom na to, že v prípade posudzovania kolmo na rám sa prierez posudzuje v kolmom smere u štvorcových stĺpov je únosnosť prierezu v oboch smeroch rovnaká ($b = h$) a z toho dôvodu uvediem iba zhrnutie tabuľkových výsledkov z kapitoly 9.1.2.6 pretože výsledky sú totožné.

Prierez vo výpočte účinkov II. rádu kolmo na rám v kapitole 9.1.1.5 vyšiel bez započítania účinkov II. rádu.



$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

- Päta – K23 - max $N_{Ed} = -1954,38 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 11,971 \text{ kNm}$

- Hlava - K24 - max $N_{Ed} = -1925,41$ kN; odp. $M_{Ed} = 11,793$ kNm

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-5439,8	0
1	-3849,2	308,43
2	-2205,9	415,81
Z	-1119,1	309,13
3	0	120,17
4	273,2	53,82
5	546,4	0

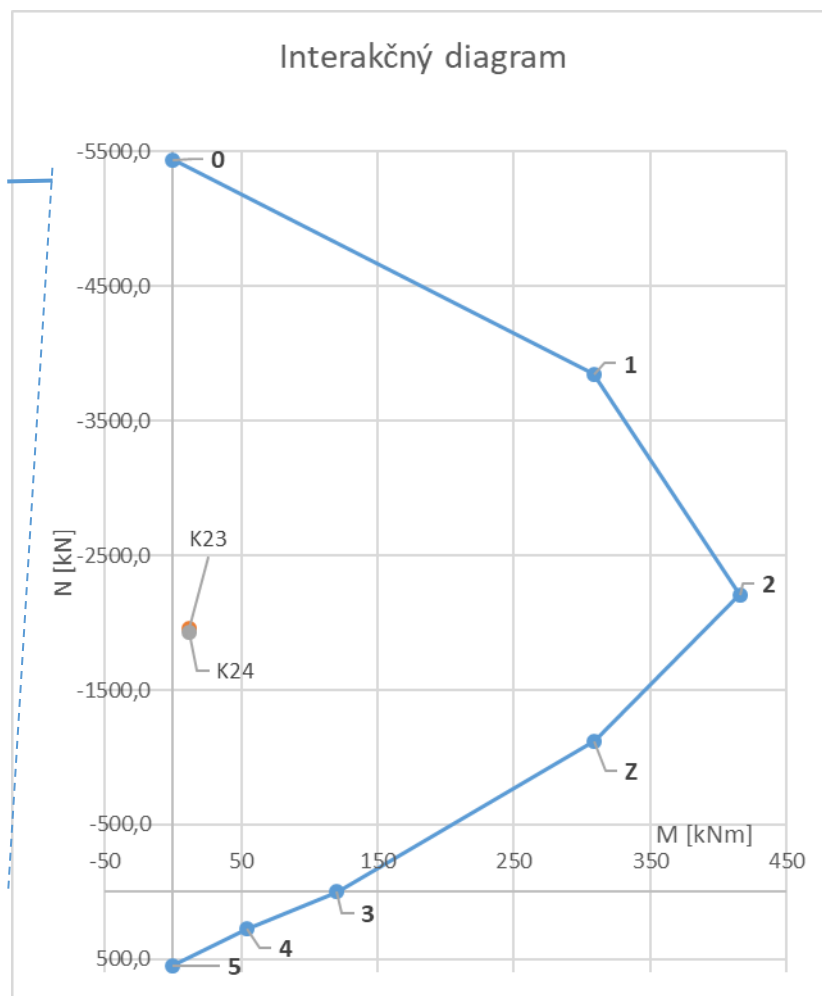
Tab. 9.1-18 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 500/30 = 16,667$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

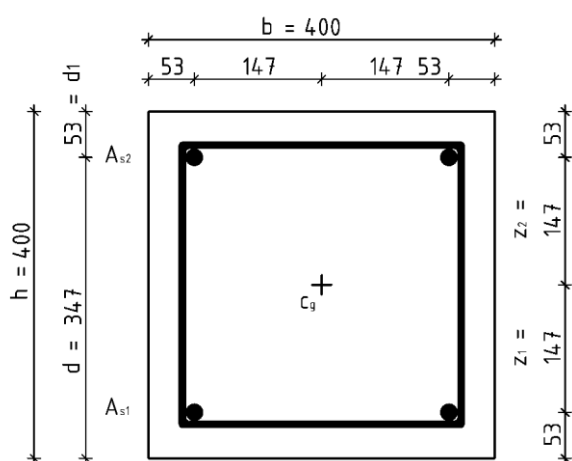
Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K23, K24. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-15 - Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3

9.1.2.13. Výpočet bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – vonkajší stĺp – S4

Vzhľadom na to, že v prípade posudzovania kolmo na rám sa prierez posudzuje v kolmom smere u štvorcových stĺpov je únosnosť prierezu v oboch smeroch rovnaká ($b = h$) a z toho dôvodu uvediem iba zhrnutie tabuľkových výsledkov z kapitoly 9.1.2.7 pretože výsledky sú totožné.



$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,4 - 0,053 = 0,347 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,347 = 0,214 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

- Päta – K25 - max $N_{Ed} = -1235,04 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 80,581 \text{ kNm}$
- Hlava - K26 - max $N_{Ed} = -1216,50 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 89,512 \text{ kNm}$

Bod	$N_{Rd} [\text{kN}]$	$M_{Rd} [\text{kNm}]$
0	-3639,8	0
1	-2494,0	176,07
2	-1369,9	237,01
Z	-895,3	196,75
3	0	90,76
4	273,2	40,16
5	546,4	0

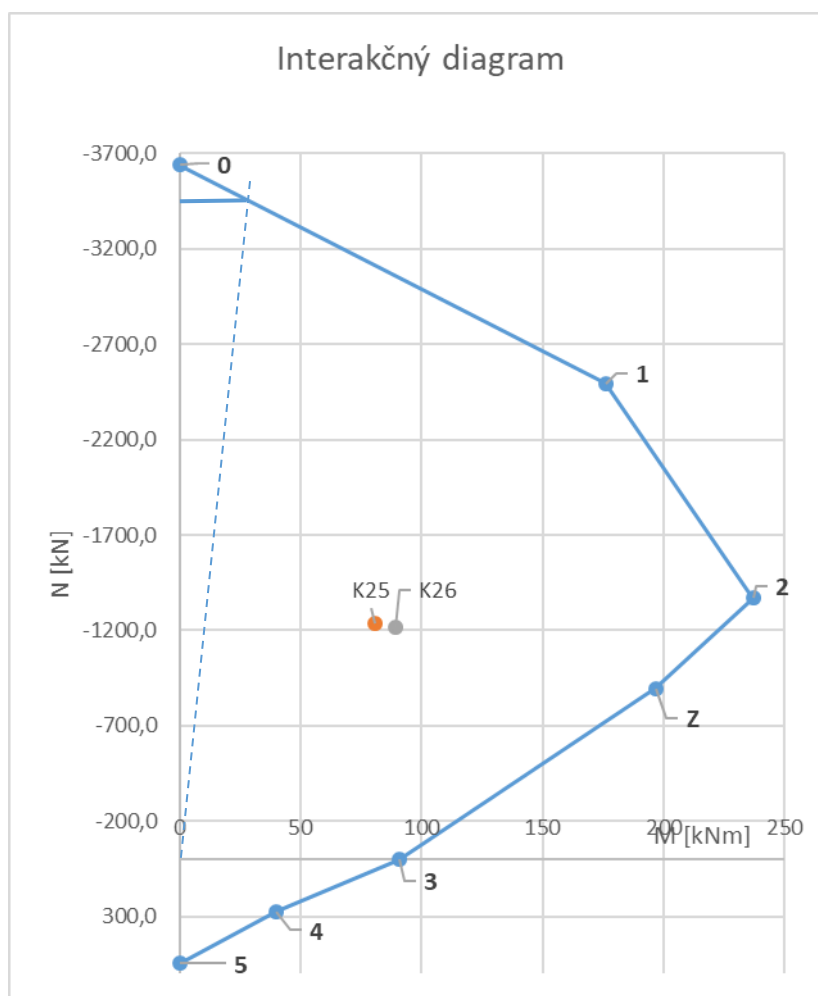
Tab. 9.1-19 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 400/30 = 13,333$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

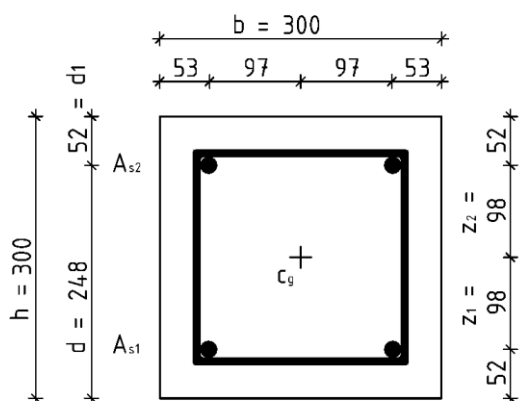
Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K25, K26. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-16 - Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4

9.1.2.14. Výpočet bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – vonkajší stĺp – S5

Vzhľadom na to, že v prípade posudzovania kolmo na rám sa prierez posudzuje v kolmom smere u štvorcových stĺpov je únosnosť prierezu v oboch smeroch rovnaká ($b = h$) a z toho dôvodu uvediem iba zhrnutie tabuľkových výsledkov z kapitoly 9.1.2.8 pretože výsledky sú totožné.



$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,18/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,052 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,052 = 0,248 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,248 = 0,153 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,052 = 0,137 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

- Päta – K27 - max $N_{Ed} = -578,11 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 33,703 \text{ kNm}$
- Hlava - K28 - max $N_{Ed} = -567,68 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 37,110 \text{ kNm}$

Bod	$N_{Rd} [\text{kN}]$	$M_{Rd} [\text{kNm}]$
0	-2156,3	0
1	-1411,7	82,16
2	-734,3	108,58
3	-658,8	96,98
4	0	51,03
5	221,3	21,69
5	442,6	0

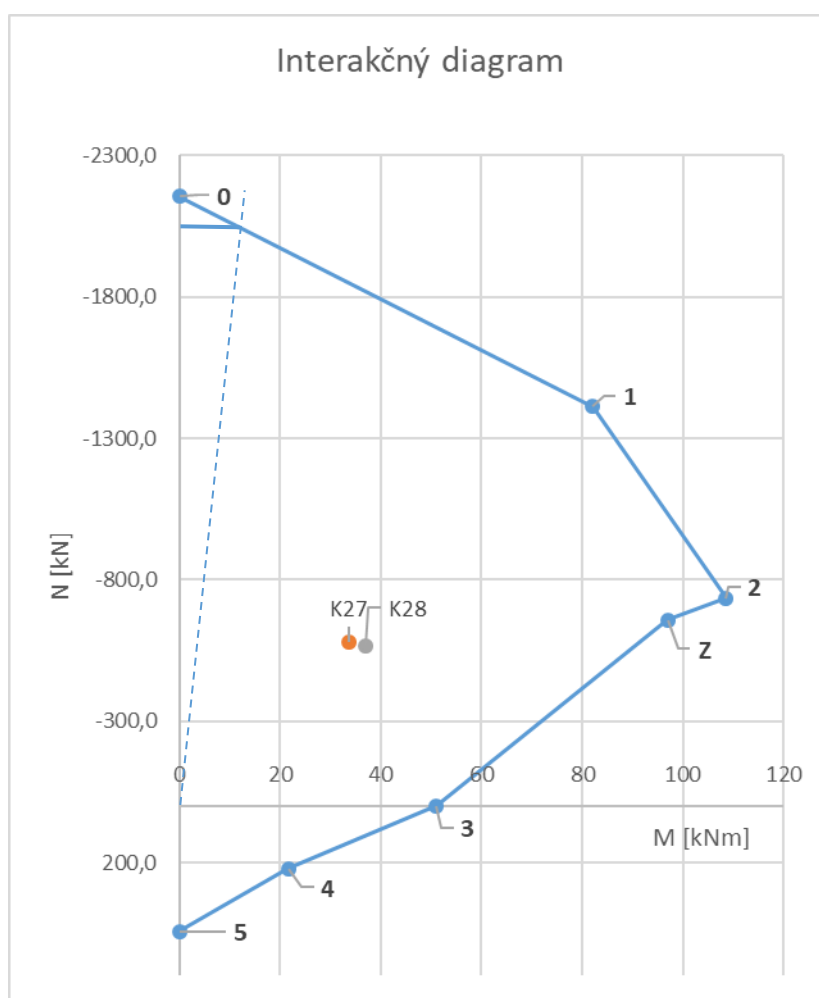
Tab. 9.1-20 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 300/30 = 10$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlú $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K27, K28. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.

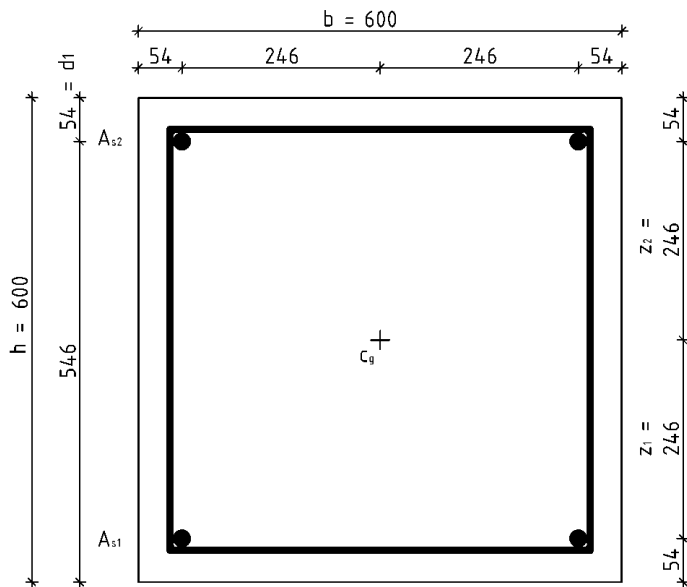


Obr. 9.1-17 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5

9.1.2.15. Výpočet bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – vnútorný stĺp – S6

Vzhľadom na to, že v prípade posudzovania kolmo na rám sa prierez posudzuje v kolmom smere u štvorcových stĺpov je únosnosť prierezu v oboch smeroch rovnaká ($b = h$) a z toho dôvodu uvediem iba zhrnutie tabuľkových výsledkov z kapitoly 9.1.2.9 pretože výsledky sú totožné.

Prierez vo výpočte účinkov II. rádu kolmo na rám v kapitole 9.1.1.5 vyšiel bez započítania účinkov II. rádu.



$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,22/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,054 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,054 = 0,546 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,546 = 0,337 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,054 = 0,137 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

○ Päta – K29 - max $N_{Ed} = -3931,31 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 24,079 \text{ kNm}$

○ Hlava - K30 - max $N_{Ed} = -3889,60 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 23,84 \text{ kNm}$

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-7732,2	0
1	-5572,2	509,03
2	-3233,3	697,03
2	-1368,2	475,60
3	0	178,22
4	330,6	81,32
5	661,1	0

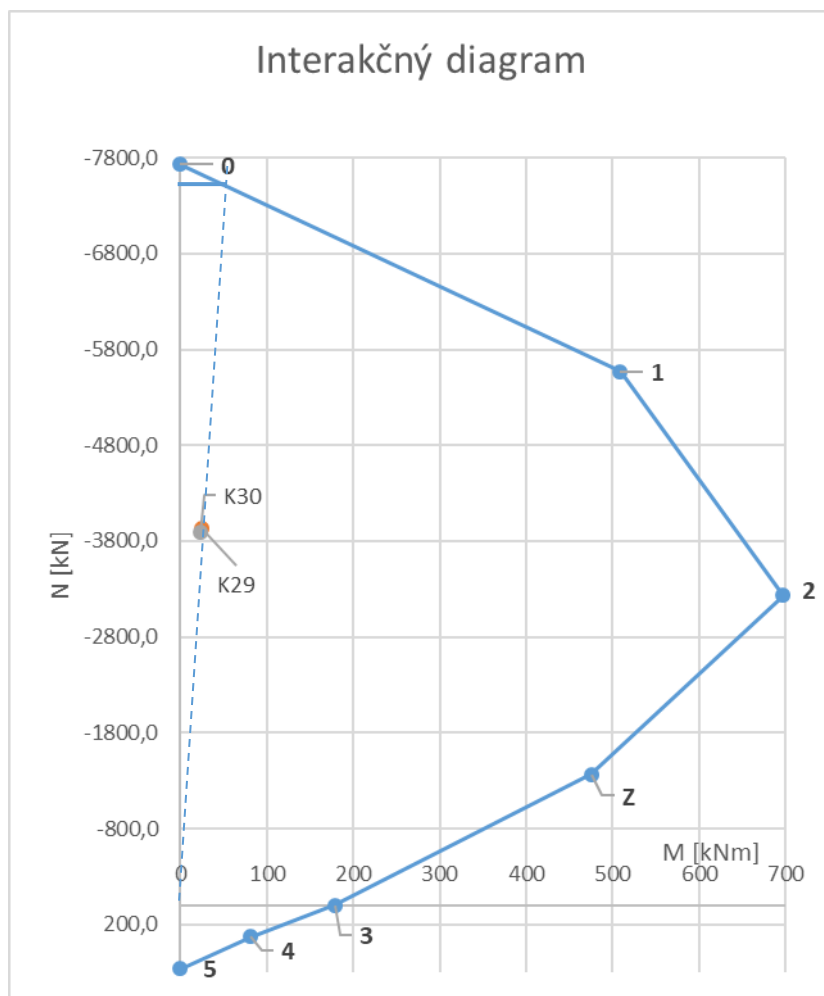
Tab. 9.1-21- Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejaviť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 600/30 = 20$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

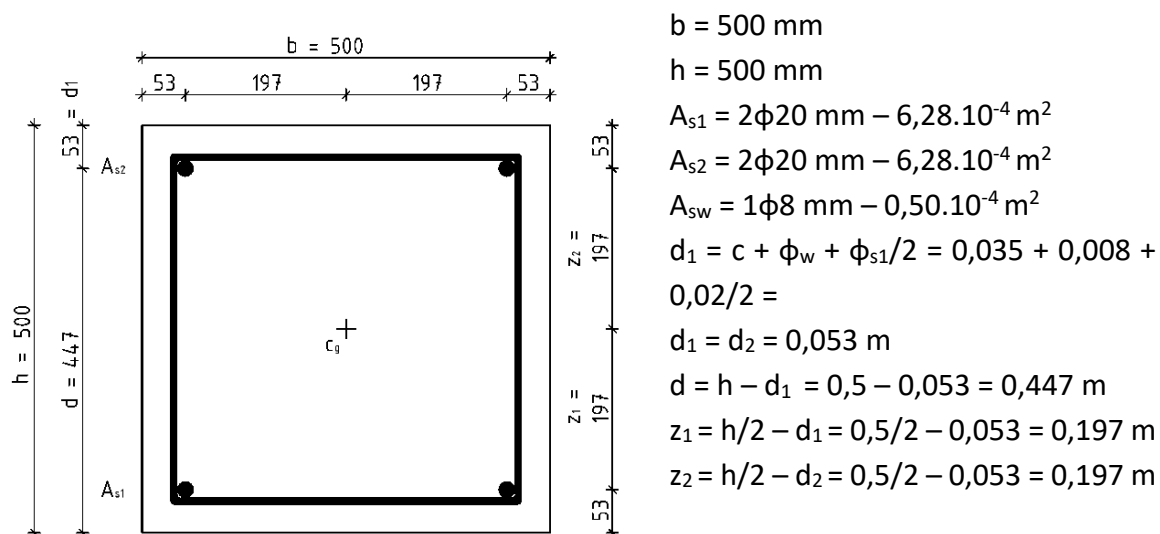
Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K29, K30. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-18 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6

9.1.2.16. Výpočet bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – vnútorný stĺp – S7

Vzhľadom na to, že v prípade posudzovania kolmo na rám sa prierez posudzuje v kolmom smere u štvorcových stĺpov je únosnosť prierezu v oboch smeroch rovnaká ($b = h$) a z toho dôvodu uvediem iba zhrnutie tabuľkových výsledkov z kapitoly 9.1.2.10 pretože výsledky sú totožné.



$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,447 = 0,276 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\circ \text{ Päta} - K31 - \max N_{Ed} = -2526,56 \text{ kN}; \text{ odp. } M_{Ed} = 44,773 \text{ kNm}$$

$$\circ \text{ Hlava} - K32 - \max N_{Ed} = -2597,59 \text{ kN}; \text{ odp. } M_{Ed} = 44,520 \text{ kNm}$$

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-5439,8	0
1	-3849,2	308,43
2	-2205,9	415,81
Z	-1119,1	309,13
3	0	120,17
4	273,2	53,82
5	546,4	0

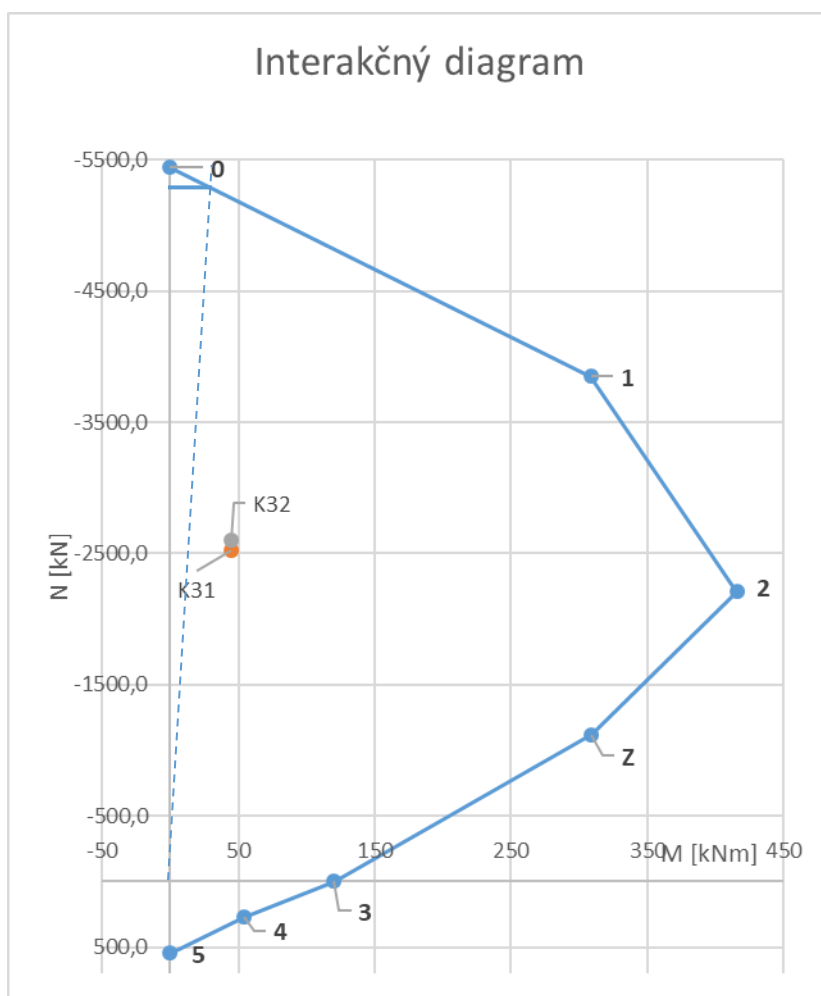
Tab. 9.1-22 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 500/30 = 16,667$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlu $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

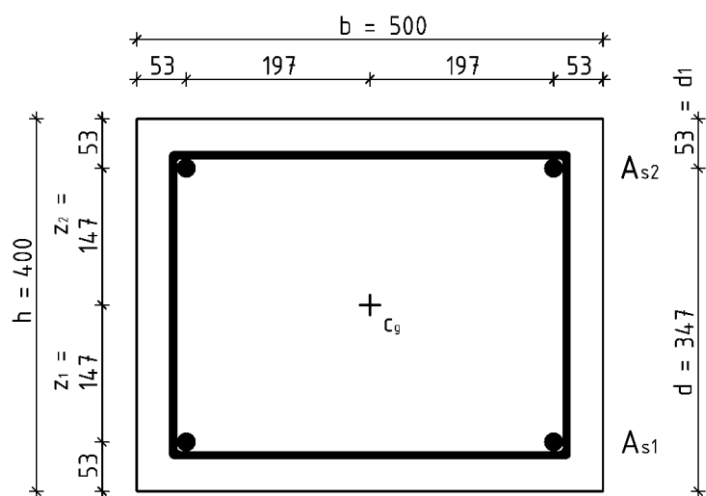
Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K31, K32. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-19 – Interakčný diagram –kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7

9.1.2.17. Výpočet bodů interakčního diagramu – kolmo na rám – vnitřní stěp – S8



$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 1\phi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c + \phi_w + \phi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,4 - 0,053 = 0,347 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,347 = 0,214 \text{ m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s1} = f_{yd}$$

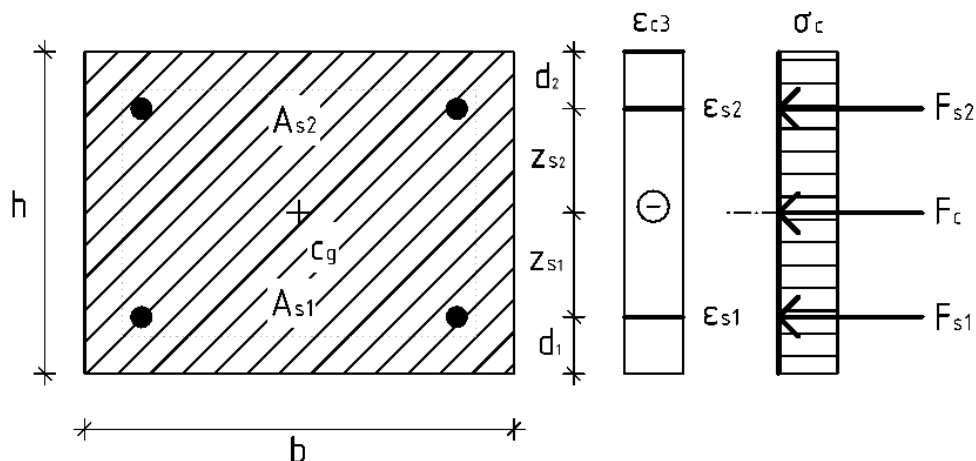
$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,639$$

$$x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_1 = 2,639 \cdot 0,053 = 0,140 \text{ m}$$

$$x \geq x_{bal,2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$

- Päta – K33 - max $N_{Ed} = -1351,47 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 25,359 \text{ kNm}$
- Hlava - K34 - max $N_{Ed} = -1328,3 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 52,699 \text{ kNm}$

• Bod 0:



$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} \cdot E_s = 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 350 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

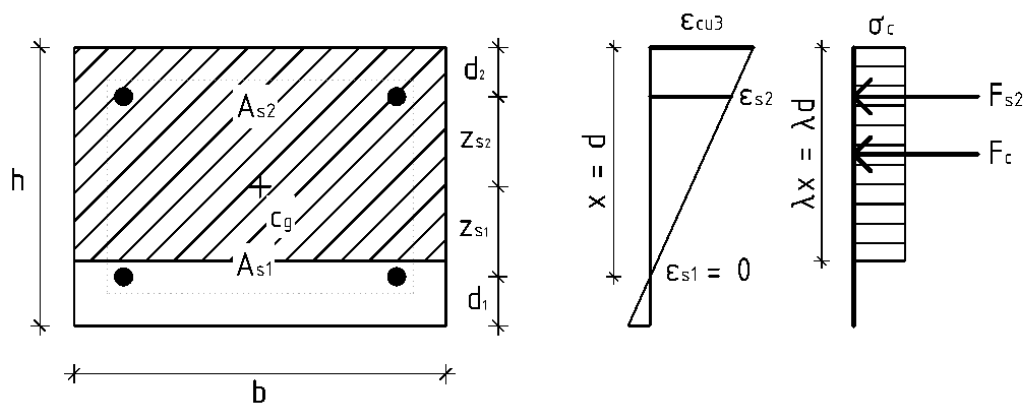
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 350 \cdot 10^3 = 219,9 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 = 4000 \text{ kN}$$

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(4000 + 219,9 + 219,9) = -4439,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

• **Bod 1:**



$$\varepsilon_{s1} = 0; F_{s1} = 0 \text{ kN}; x = d; x > \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

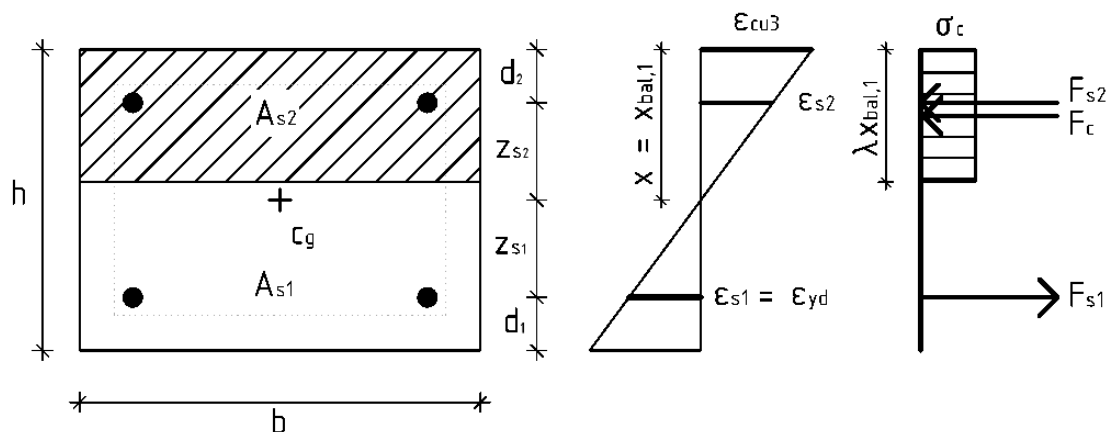
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot d \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,347 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2776 \text{ kN}$$

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s2}) = -(2776 + 273,18) = -3049,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot d)/2 + F_{s2} \cdot z_2 = 2776 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,347)/2 + 273,18 \cdot 0,147 = 210,05 \text{ kNm}$$

• **Bod 2:**



$$x = x_{bal,1}; x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

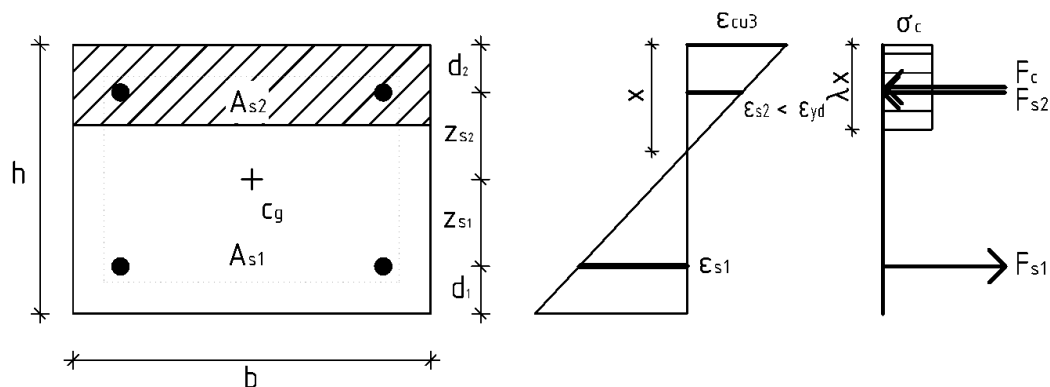
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x_{bal,1} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,214 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1712,40 \text{ kN}$$

$$N_{Rd2} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -1712,4 + 273,18 - 273,18 = -1712,4 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,1})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 1712,4 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,214)/2 + 273,18 \cdot 0,147 + 273,18 \cdot 0,147 = 276,18 \text{ kNm}$$

• **Bod 3:**



$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \rightarrow$ řešením této rovnice je jeden reálný koreň

$$0,5 \cdot 0,8 \cdot x^2 \cdot 20 \cdot 10^3 + 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot x - 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,053 - 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot x = 0$$

$$\rightarrow x = 0,045 \text{ m}$$

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}; \sigma_{s1} = f_{yd}; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

$$\epsilon_{s1} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (d - x) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,045) \cdot (0,347 - 0,045) =$$

$$= 23,755 \text{ ‰} > \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\epsilon_{s2} = (\epsilon_{cu3}/x) \cdot (x - d_2) = (3,5 \cdot 10^{-3}/0,045) \cdot (0,045 - 0,053) =$$

$$= -0,663 \text{ ‰} < \epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

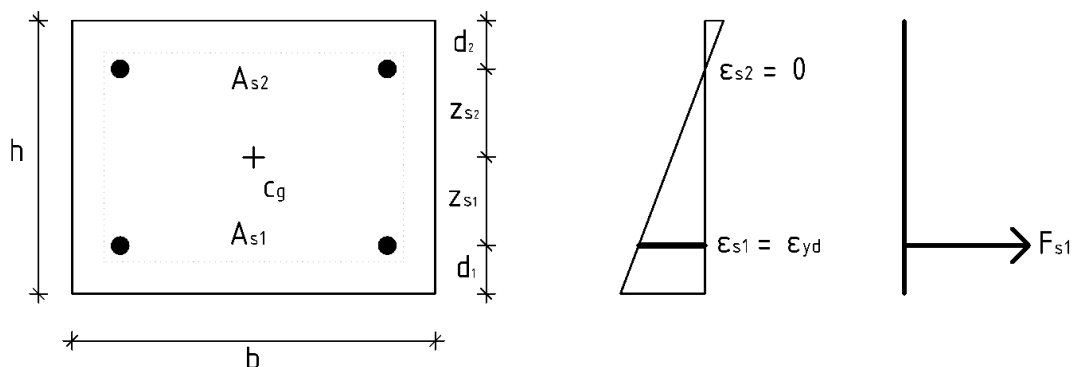
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot (-0,663 \cdot 10^{-3}) \cdot 200 \cdot 10^6 = -83,30 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,045 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 356,48 \text{ kN}$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot x) / 2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 356,48 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,045) / 2 + 273,18 \cdot 0,147 - 83,30 \cdot 0,147 = \mathbf{92,86 \text{ kNm}}$$

• **Bod 4:**



$$\sigma_{s1} = f_{yd}; \varepsilon_{s2} = 0 \rightarrow F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

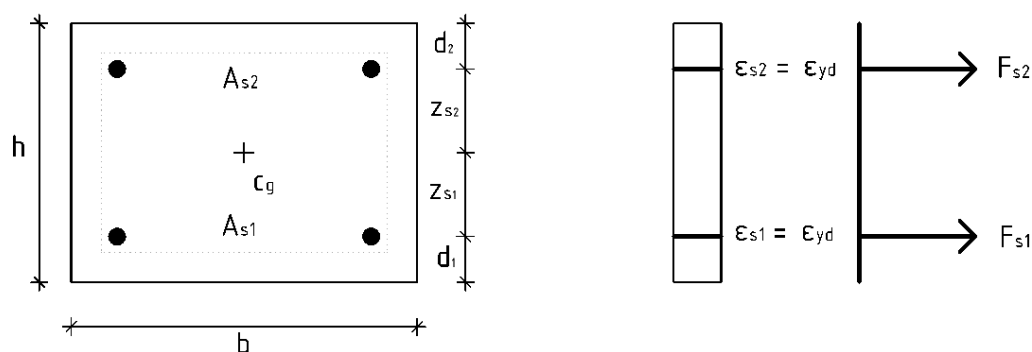
$$F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 273,18 = \mathbf{273,18 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,18 \cdot 0,147 = \mathbf{40,16 \text{ kNm}}$$

• **Bod 5:**



$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

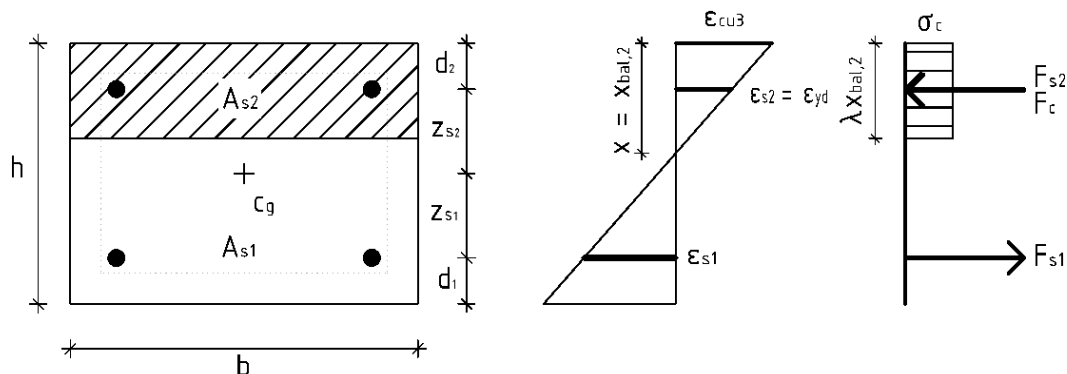
$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 273,18 + 273,18 = \mathbf{546,4 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 273,18 \cdot 0,147 - 273,18 \cdot 0,147 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

• **Bod Z:**

$$X = X_{bal,2}; \epsilon_{s2} = \epsilon_{yd}; \sigma_{s2} = f_{yd}$$



$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 6,28 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot X_{bal,2} \cdot \lambda \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,140 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1119,082 \text{ kN}$$

$$N_{RdZ} = -F_c + F_{s1} - F_{s2} = -1119,082 + 273,18 - 273,18 = -1119,082 \text{ kN}$$

$$M_{RdZ} = F_c \cdot (h - \lambda \cdot X_{bal,2})/2 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 1119,082 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,140)/2 + 273,18 \cdot 0,147 + 273,18 \cdot 0,147 = 225,86 \text{ kNm}$$

Ďalšie body 1',2',3',4',Z' (označené s čiarkou) vznikajú pre namáhanie prierezu momentom opačného znamienka. V prípade symetrického prierezu sú hodnoty momentovej únosnosti v absolútnej hodnote rovnaké ako pre prípady 1,2,3,4,Z (označené bez čiarky).

Bod	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
0	-4439,8	0
1	-3049,2	210,05
2	-1712,4	276,18
Z	-1119,1	225,86
3	0	92,86
4	273,2	40,16
5	546,4	0

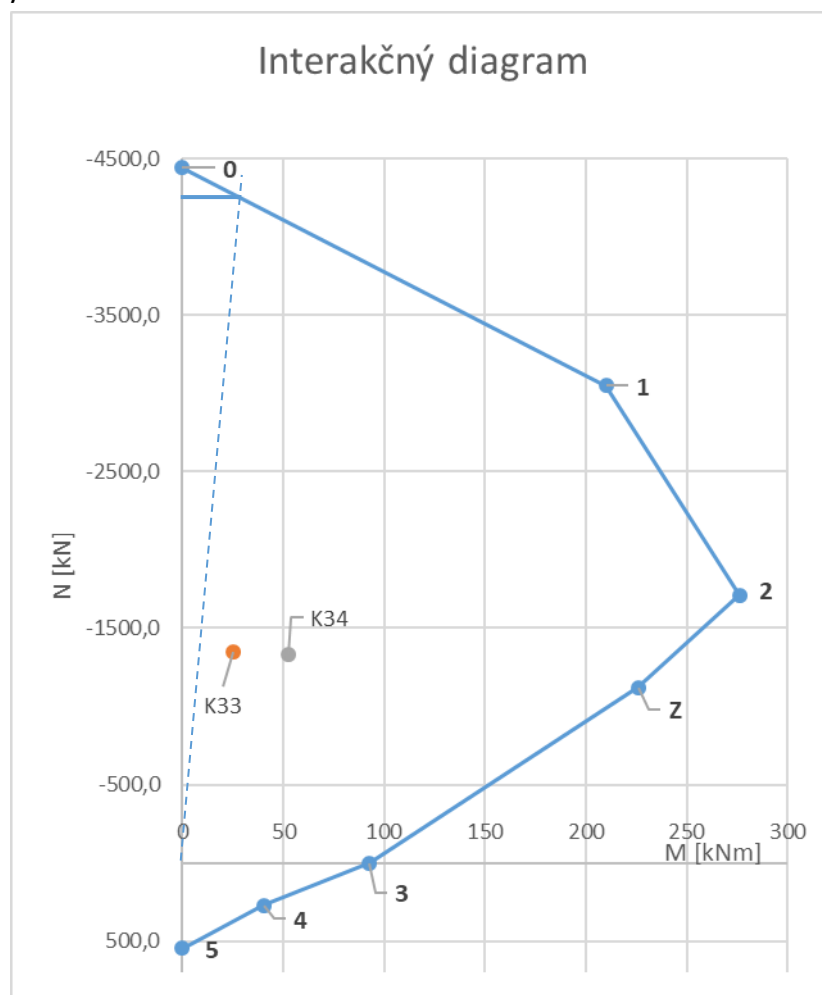
Tab. 9.1-23 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8

Obmedzenie tlakového namáhania

Pri plnom využití betónového prierezu (prípád porušenia pri rovnomernom pretvorení betónu) sa môže prejavíť vplyv nehomogenity prierezu. Táto okolnosť je vyjadrená uvažovaním minimálnej výstrednosti tlakovej sily normálovej sily hodnotou $e_0 = h/30 = 400/30 = 13,33$ mm. V interakčnom diagrame je uvažovanie výstrednosti e_0 graficky znázornené čiarkovanou čiarou vychádzajúcou z počiatku, s odklonom od spojnice bodu 0 s počiatkom rovným uhlom $\arctg(e_0)$. Dôjde k urezaniu (obmedzeniu) špičky interakčného diagramu v oblasti dostredného tlaku.

Posúdenie kombinácií

Do interakčného diagramu sú vložené účinky od jednotlivých kombinácií K33, K34. Zakreslené hodnoty ležia vnútri diagramu, to znamená, že zadaný prierez vyhovuje pre všetky stavy.



Obr. 9.1-20 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8

9.1.2.18. Kotvenie výstuže stĺpov – S5

$$4\phi 18 - A_s = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- *medzné napätie v súdržnosti :*

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu
behom betonáže. Pre dobré podmienky $\eta_1 = 1,0$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- *základná kotevná dĺžka :*

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{434,78}{3,0} = 652,17 \text{ mm}$$

- *navrhová kotevná dĺžka :*

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \phi_{sl} = 0,30 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,018 = 0,194 \text{ m}$$

$$c_d = \min(a/2; c_l; c) = \min(0,194/2; 0,035; 0,035) = (0,097; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,018)}{0,018} = 0,858$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,858$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$\alpha_6 = (\rho_l/25)^{0,5} \leq 1,5$$

ρ_l je percento stykovanej výstuže – 100 %

$$\alpha_6 = (100/25)^{0,5} = 2 \leq 1,5 \rightarrow \alpha_6 = 1,5$$

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,858 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 652,17 = 839,34 \text{ mm}$$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 850 mm

$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 839,34; 10 \cdot 18; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max(251,8; 180; 100) = 255 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 850 \text{ mm} \geq 255 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.19. Kotvenie výstuže stĺpov – S3,S4,S7,S8

$$4\phi 20 - A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- medzné napätie v súdržnosti :

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu
behom betonáže. Pre dobré podmienky $\eta_1 = 1,0$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- základná kotevná dĺžka :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,78}{3,0} = 724,63 \text{ mm}$$

- návrhová kotevná dĺžka :

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \phi_{sl} = 0,40 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,020 = 0,290 \text{ m}$$

$$c_d = \min(a/2; c_l; c) = \min(0,290/2; 0,035; 0,035) = (0,145; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,020)}{0,020} = 0,888$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,888$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$\alpha_6 = (\rho_l/25)^{0,5} \leq 1,5$$

ρ_l je percento stykovanej výstuže – 100 %

$$\alpha_6 = (100/25)^{0,5} = 2 \leq 1,5 \rightarrow \alpha_6 = 1,5$$

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,888 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 724,63 = 965,21 \text{ mm}$$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 1000 mm

$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 965,21; 10 \cdot 20; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max(289,56; 200; 100) = 290 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 1000 \text{ mm} \geq 290 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.1.2.20. Kotvenie výstuže stĺpov – S6

$$4\phi 22 - A_s = 15,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- *medzné napätie v súdržnosti :*

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu
behom betonáže. Pre dobré podmienky $\eta_1 = 1,0$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- *základná kotevná dĺžka :*

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{3,0} = 797,1 \text{ mm}$$

- *návrhová kotevná dĺžka :*

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \phi_{sl} = 0,60 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,022 = 0,486 \text{ m}$$

$$c_d = \min(a/2; c_l; c) = \min(0,486/2; 0,035; 0,035) = (0,243; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,022)}{0,022} = 0,911$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,886$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$\alpha_6 = (\rho_l/25)^{0,5} \leq 1,5$$

ρ_l je percento stykovanej výstuže – 100 %

$$\alpha_6 = (100/25)^{0,5} = 2 \leq 1,5 \rightarrow \alpha_6 = 1,5$$

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,911 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 797,1 = 1089,24 \text{ mm}$$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 1100 mm

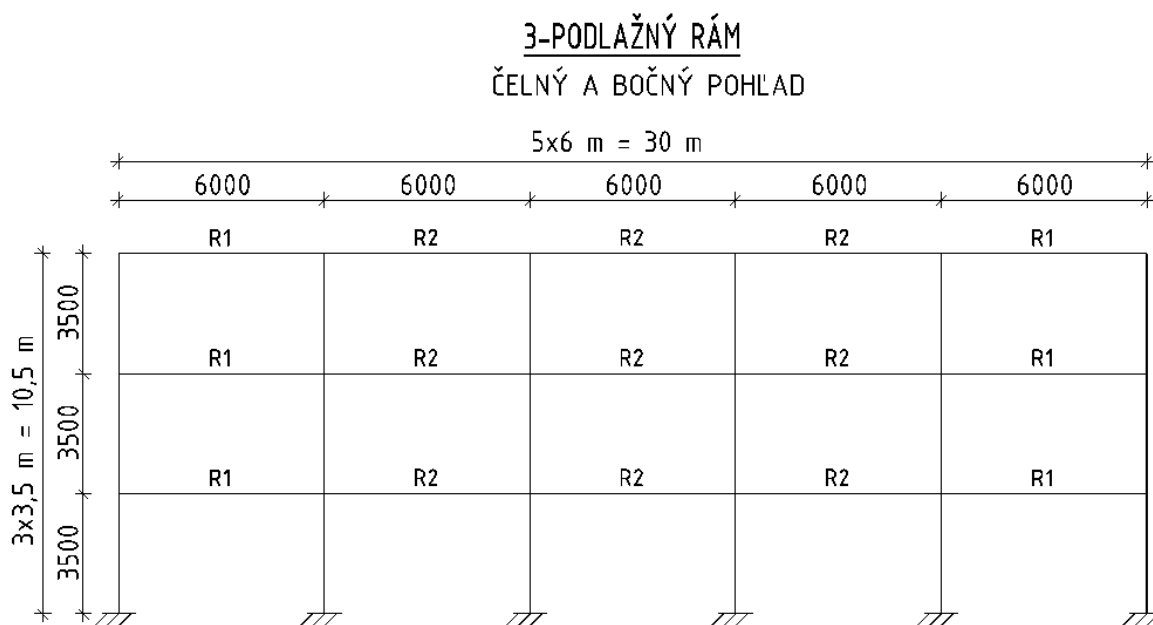
$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 1089,24; 10 \cdot 22; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max(326,77; 220; 100) = 330 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 1100 \text{ mm} \geq 330 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2. Posúdenie priečlí

9.2.1. Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám



Obr. 9.2-1 Schematický rez 3-podlažného rámu s označením priečlí

9.2.1.1. Krytie výstuže

- Nominálna hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy :

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

kde sa hodnota c_{min} ako väčšia z hodnôt :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

kde je

$c_{min,b}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k požiadavkám súdržnosti
$c_{min,dur}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k podmienkam prostredia (pokiaľ ho ovplyvňujú)
$\Delta c_{dur,y}$	prídavná hodnota z hľadiska spoľahlivosti
$\Delta c_{dur,st}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití nehrdzavejúcej oceli
$\Delta c_{dur,add}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití dodatočnej ochrany (napríklad povlak výstuže)

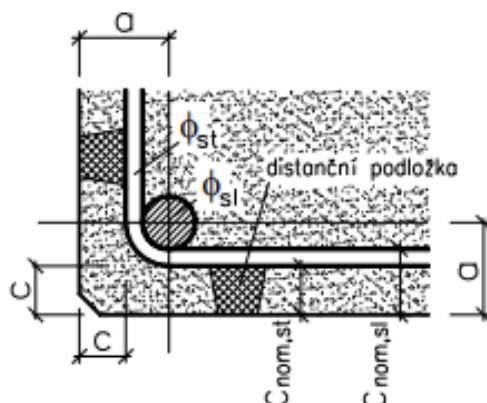
- Stanovenie $c_{min,b}$ (požiadavka súdržnosti) :

$$c_{min,b} \geq \emptyset \text{ alebo } \emptyset_n \text{ pri } d_g < 32 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} \geq (\emptyset + 5 \text{ mm}) \text{ alebo } (\emptyset_n + 5 \text{ mm}) \text{ pri } d_g \geq 32 \text{ mm}$$

kde je

- \varnothing priemer výstužného prútu
 \varnothing_n náhradný priemer skupinovej vložky
 d_g najväčší menovitý rozmer zrna kameniva



Obr. 9.2-2 – Krytie výstuže

- Stanovenie $c_{min,dur}$ – požiadavka z hľadiska trvanlivosti podľa stupňa vplyvu prostredia a triedy konštrukcie v mm :

Trieda konštrukcie	Stupeň prostredia						
	XC0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tab. 9.2-1 – Stanovenie $c_{min,dur}$

- Stanovenie hodnoty $\Delta c_{dur,y}$ - $\Delta c_{dur,st}$ - $\Delta c_{dur,add}$:

Doporučené hodnoty : $\Delta c_{dur,y} = 0$ (hľadisko spoľahlivosti)

$\Delta c_{dur,st} = 0$ (pri nepoužívaní nehrdzavejúcej oceli)

$\Delta c_{dur,add} = 0$ (ak sa nevyhotoví dodatočná ochrana výstuže proti korózií)

- Doporučené hrúbky nominálnej krycej vrstvy pri betonáži na nerovnej ploche :
 zväčšenie c_{min} minimálne o 5 mm
 $c_{nom} \geq 40$ mm pre betonáž na upravený podklad
 $c_{nom} \geq 75$ mm pre betonáž na neupravenej zemine
- Doporučené hrúbky minimálnej krycej vrstvy pri možnom obruse :
 zväčšenie o 5,10,15 mm pre triedu XM1,XM2,XM3
- Možná návrhová odchýlka Δc_{dev} od nominálnej hodnoty (prídavok k minimálnej hodnote) podľa kvality prevedenia :

Doporučená hodnota pre Δc_{dev} pre bežnú úroveň prevedenia a kontroly je 10 mm (podľa NA je možné ju zmenšiť o 5 mm u konštrukcií pozemných stavieb, pokiaľ je realizovaná riadna a na dodávateľovi nezávislá kontrola pri dodržaní zaistenia polohy výstuže). Pri uplatnení systému zaistenia kvality vrátane kontroly betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$ (odporúčenie podľa NA). Pri použití veľmi citlivých prístrojov pre meranie betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $5 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$.

- Výpočet pre konštrukciu rámov :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max (20 \text{ mm}; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

→ navrhujem kryciu betónovú vrstvu **c = 35 mm**

9.2.1.2. Materiálové charakteristiky

BETÓN C 30/37 –

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

VÝSTUŽ B500B -

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

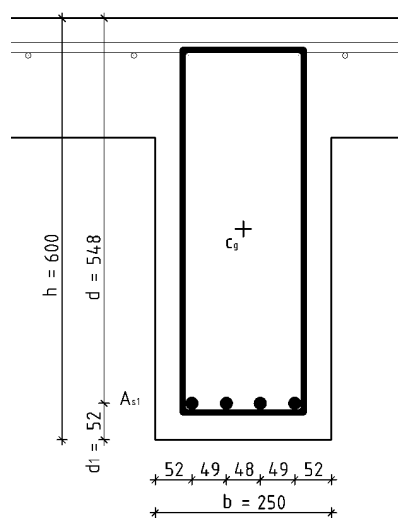
$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 434,78/200 \cdot 10^3 = 2,17 \text{ ‰}$$

9.2.1.3. Prierezové charakteristiky

Predpokladaná hrúbka dosky je 170 mm a hlavná nosná výstuž umiestnená kolmo na priečlu má predpokladaný priemer výstuže $\phi 14 \text{ mm}$.

• **Priečla R1 - v strede poľa**



$$b = 250 \text{ mm}$$

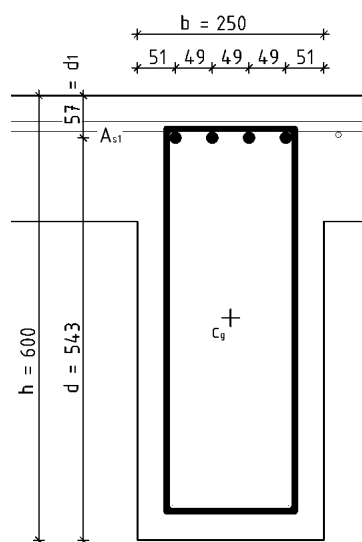
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 18 = 10,179 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = 52 \text{ mm}$$

$$d = 548 \text{ mm}$$

• **Priečla R1 - ľavá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

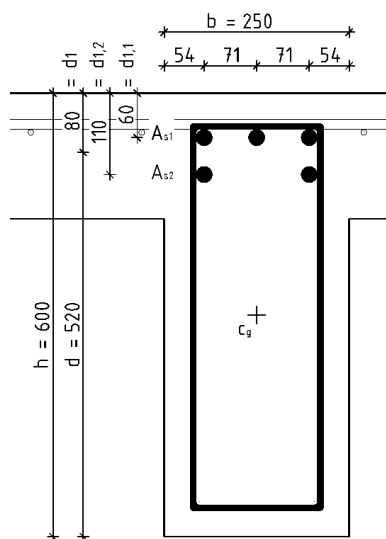
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = 57 \text{ mm}$$

$$d = 543 \text{ mm}$$

• **Priečla R1 – pravá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

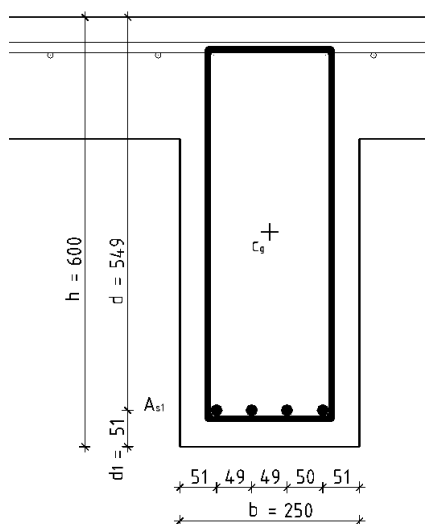
$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

• **Priečla R2 – v strede poľa**



$$b = 250 \text{ mm}$$

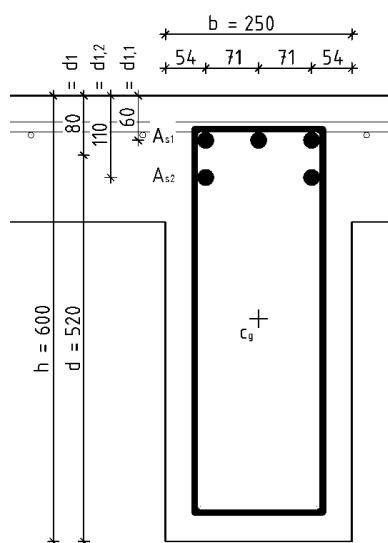
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = 51 \text{ mm}$$

$$d = 549 \text{ mm}$$

• **Priečla R2 – ľavá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

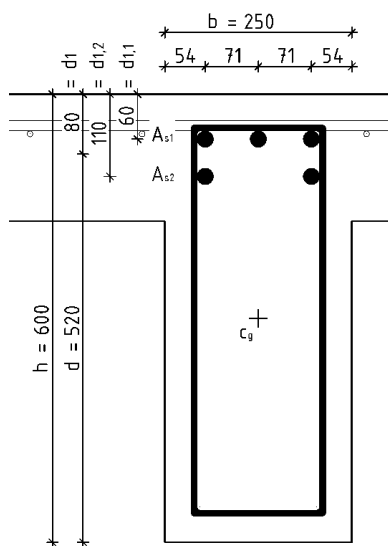
$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

• **Priečla R2 – pravá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

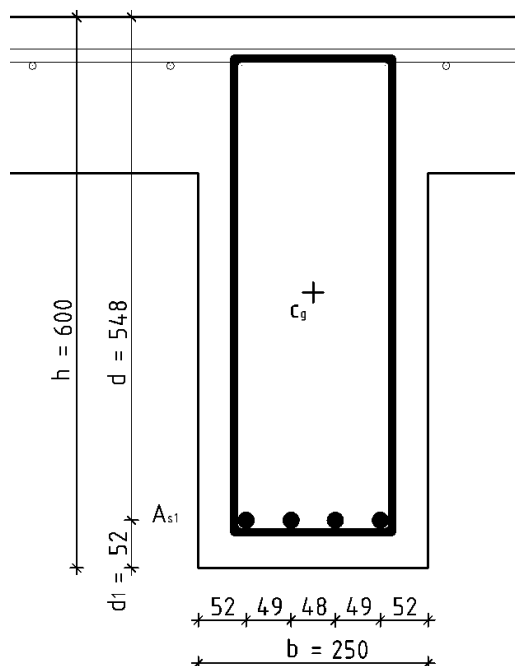
$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

9.2.1.4. Priečla R1 - v strede poľa

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 4\phi 18$$

$$c_{st} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{sl} = 35 + 8 = 41 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 18 = 10,179 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

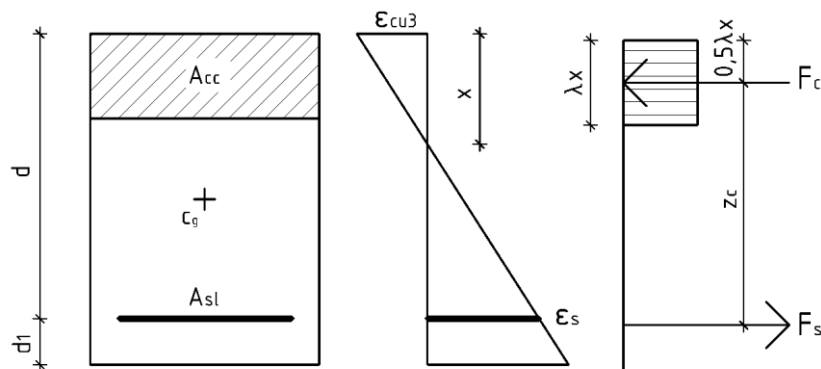
$$M_{Ed} = 175,84 \text{ kNm}$$

- *poloha ťažiska výstuže : d_1*
 $d_1 = c_{st} + \phi_{st} + \phi_{sl}/2 = 35 + 8 + 18/2 = 52 \text{ mm}$
- *účinná výška : d*
 $d = h - d_1 = 600 - 52 = 548 \text{ mm}$
- *odhad ramena vnútorných síl : z_c*
 $z_c \approx 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 0,548 = 0,5206 \text{ m}$
- *nutná plocha výstuže z momentovej podmienky rovnováhy : $A_{s,req}$*

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z_c} = \frac{175,84}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,5206} = 7,769 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ **navrhujem $4\phi 18 - A_{s,skut} = 10,179 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**
- *posúdenie prierezu : $F_{cc} = F_s$*

$$F_{cc} = F_s \rightarrow A_{cc} \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}}$$
- *tlačená plocha betónu : A_{cc}*



$$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{10,179 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{20} = 0,022 \text{ m}^2$$

- *poloha neutrálnej osi : x*

$$x = \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{10,179 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,111 \text{ m}$$

- *kontrola pretvorenia výstuže : ε_s*

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,111} \cdot (0,548 - 0,111) = 13,84 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 13,84 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,174 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- *rameno vnútorných síl : z_c*

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,548 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,111 = 0,504 \text{ m}$$

- *moment na medzi únosnosti : M_{Rd}*

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 10,179 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 0,504 = 222,935 \text{ kNm}$$

- *podmienka únosnosti : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$*

$$M_{Ed} = 175,84 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 222,935 \text{ kNm} \rightarrow \text{prierez vyhovuje}$$

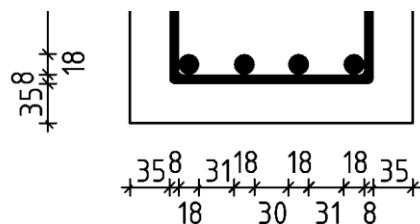
- *kontrola miery vystuženia : $A_{s,min}$; $A_{s,max}$*

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (2,9/500) \cdot 0,25 \cdot 0,548 = 2,066 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 10,179 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \rightarrow 2,066 \cdot 10^{-4} < 10,179 \cdot 10^{-4} < 60 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



$$a_{sl} = (b - 2 \cdot c_{st} - n_{st} \cdot \phi_{st} - n_{sl} \cdot \phi_{sl}) / (n_{sl} - 1) =$$

$$= (0,25 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,008 - 4 \cdot 0,018) / (4 - 1) =$$

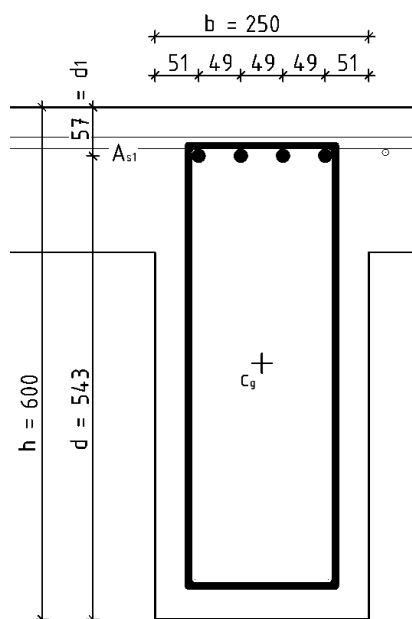
$$= 0,031 \text{ m}$$

$$a_{s,max} = \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{1,2 \cdot 0,018; 16 + 5; 20\} = 0,022 \text{ m}$$

$$a_{sl} > a_{s,max} \rightarrow 0,031 > 0,022 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.1.5. *Priečla R1 – ľavá podpora*



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 4\phi 16$$

$$c_{st} = 41 \text{ mm}$$

$$c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 18 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

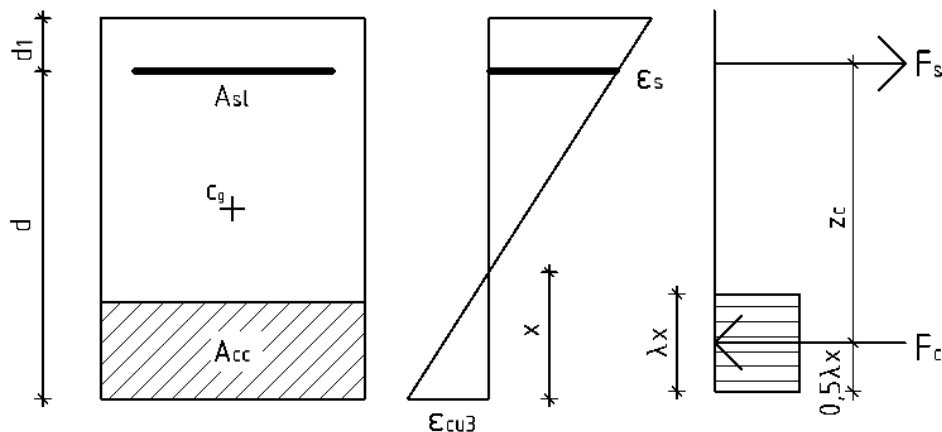
$$M_{Ed} = 102,93 \text{ kNm}$$

- *poloha ťažiska výstuže : d_1*
 $d_1 = c + \phi_{\text{doska}} + \phi_{\text{sl}}/2 = 35 + 14 + 16/2 = 57 \text{ mm}$
- *účinná výška : d*
 $d = h - d_1 = 600 - 57 = 543 \text{ mm}$
- *odhad ramena vnútorných síl : z_c*
 $z_c \approx 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 0,543 = 0,516 \text{ m}$
- *nutná plocha výstuže z momentovej podmienky rovnováhy : $A_{s, \text{req}}$*

$$A_{s, \text{req}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{f_{\text{yd}} \cdot z_c} = \frac{102,93}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,516} = 4,565 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ navrhujem $4\phi 16 - A_{s, \text{skut}} = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- *posúdenie prierezu : $F_{\text{cc}} = F_s$*

$$F_{\text{cc}} = F_s \rightarrow A_{\text{cc}} \cdot f_{\text{cd}} = A_s \cdot f_{\text{yd}} \rightarrow A_{\text{cc}} = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{f_{\text{cd}}}$$



- *tlačená plocha betónu : A_{cc}*

$$A_{\text{cc}} = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{f_{\text{cd}}} = \frac{8,042 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{20} = 0,017 \text{ m}^2$$
- *poloha neutrálnej osi : x*

$$x = \frac{A_{\text{sl}} \cdot f_{\text{yd}}}{b \cdot \lambda \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{8,042 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,087 \text{ m}$$
- *kontrola pretvorenia výstuže : ϵ_s*

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{\text{cu3}}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,087} \cdot (0,543 - 0,087) = 13,24 \text{ ‰}$$

$\epsilon_s = 13,24 \text{ ‰} > \epsilon_{\text{yd}} = 2,174 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$
- *rameno vnútorných síl : z_c*

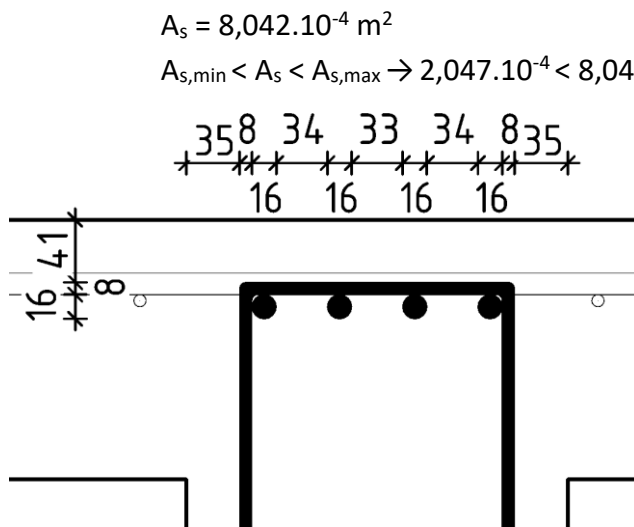
$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,543 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,087 = 0,508 \text{ m}$$
- *moment na medzi únosnosti : M_{Rd}*

$$M_{\text{Rd}} = A_s \cdot f_{\text{yd}} \cdot z_c = 8,042 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,508 = 177,645 \text{ kNm}$$
- *podmienka únosnosti : $M_{\text{Ed}} \leq M_{\text{Rd}}$*

$M_{\text{Ed}} = 102,93 \text{ kNm} \leq M_{\text{Rd}} = 177,645 \text{ kNm} \rightarrow \text{prierez vyhovuje}$
- *kontrola miery vystuženia : $A_{s, \text{min}}; A_{s, \text{max}}$*

$$A_{s, \text{min}} = 0,26 \cdot (f_{\text{ctm}}/f_{\text{yk}}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (2,9/500) \cdot 0,25 \cdot 0,543 = 2,047 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s, \text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



$$A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} < A_s < A_{s,\max} \rightarrow 2,047 \cdot 10^{-4} < 8,042 \cdot 10^{-4} < 60 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$a_{sl} = (b - 2 \cdot c_{st} - n_{st} \cdot \phi_{st} - n_{sl} \cdot \phi_{sl}) / (n_{sl} - 1) =$$

$$= (0,25 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,008 - 4 \cdot 0,016) / (4 - 1) =$$

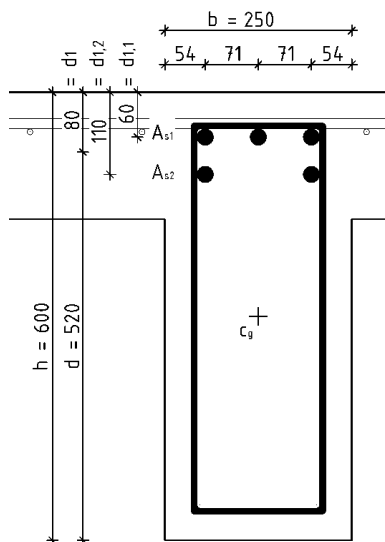
$$= 0,033 \text{ m}$$

$$a_{s,\max} = \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{1,2 \cdot 0,018; 16 + 5; 20\} = 0,022 \text{ m}$$

$$a_{sl} > a_{s,\max} \rightarrow 0,033 > 0,022 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.1.6. Priečla R1 – pravá podpora



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 5\phi 22$$

$$c_{st} = 41 \text{ mm}$$

$$c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 309,29 \text{ kNm}$$

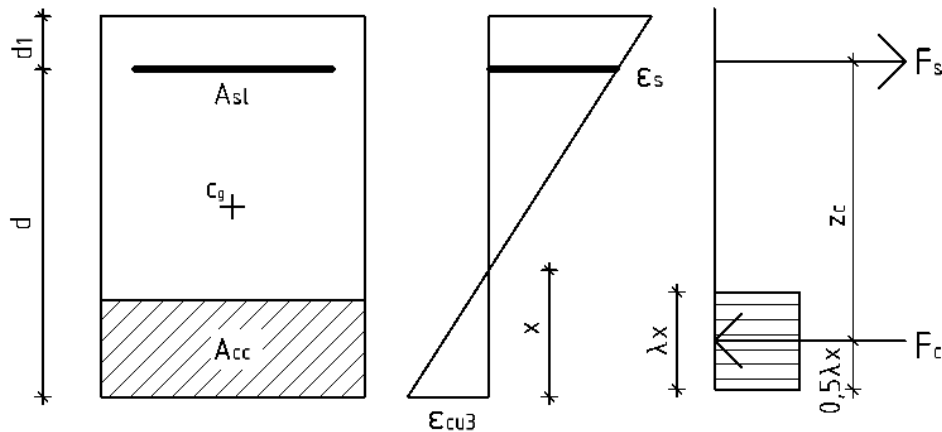
- *poloha ťažiska výstuže A_{s1} : $d_{1,1}$*
 $d_{1,1} = c + \phi_{doska} + \phi_{sl}/2 = 35 + 14 + 22/2 = 60 \text{ mm}$
- *poloha ťažiska výstuže A_{s2} : $d_{1,2}$*
 $d_{1,2} = d_{1,1} + \phi_{sl} + s_s = 60 + 22 + 28 = 110 \text{ mm}$
- *poloha ťažiska výstuže A_s : d_1*
 $d_1 = (n_{As1} \cdot d_{1,1} + n_{As2} \cdot d_{1,2}) / (n_{As}) = (3 \cdot 60 + 2 \cdot 110) / 5 = 80 \text{ mm}$
- *účinná výška : d*
 $d = h - d_1 = 600 - 80 = 520 \text{ mm}$
- *odhad ramena vnútorných síl : z_c*
 $z_c \approx 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 0,520 = 0,494 \text{ m}$
- *nutná plocha výstuže z momentovej podmienky rovnováhy : $A_{s,req}$*

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z_c} = \frac{302,29}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,494} = 14,400 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ **navrhujem 5 ϕ 22 – $A_{s,skut} = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

- posúdenie prierezu : $F_{cc} = F_s$

$$F_{cc} = F_s \rightarrow A_{cc} \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}}$$



- **tlačená plocha betónu : A_{cc}**

$$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{20} = 0,041 \text{ m}^2$$

- **poloha neutrálnej osi : x**

$$x = \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,207 \text{ m}$$

- **kontrola pretvorenia výstuže : ε_s**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,207} \cdot (0,520 - 0,207) = 5,31 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 5,31 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,174 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- **rameno vnútorných síl : z_c**

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,520 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,207 = 0,437 \text{ m}$$

- **moment na medzi únosnosti : M_{Rd}**

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,437 = 361,426 \text{ kNm}$$

- **podmienka únosnosti : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$**

$$M_{Ed} = 309,29 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 361,426 \text{ kNm} \rightarrow \text{prierez vyhovuje}$$

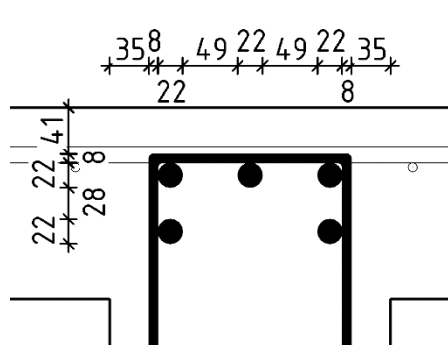
- **kontrola miery vystuženia : $A_{s,min}$; $A_{s,max}$**

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (2,9/500) \cdot 0,25 \cdot 0,520 = 1,960 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \rightarrow 1,960 \cdot 10^{-4} < 19,007 \cdot 10^{-4} < 60 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



$$a_{sl} = (b - 2 \cdot c_{st} - n_{st} \cdot \phi_{st} - n_{sl} \cdot \phi_{sl}) / (n_{sl} - 1) =$$

$$= (0,25 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,008 - 3 \cdot 0,022) / (3 - 1) =$$

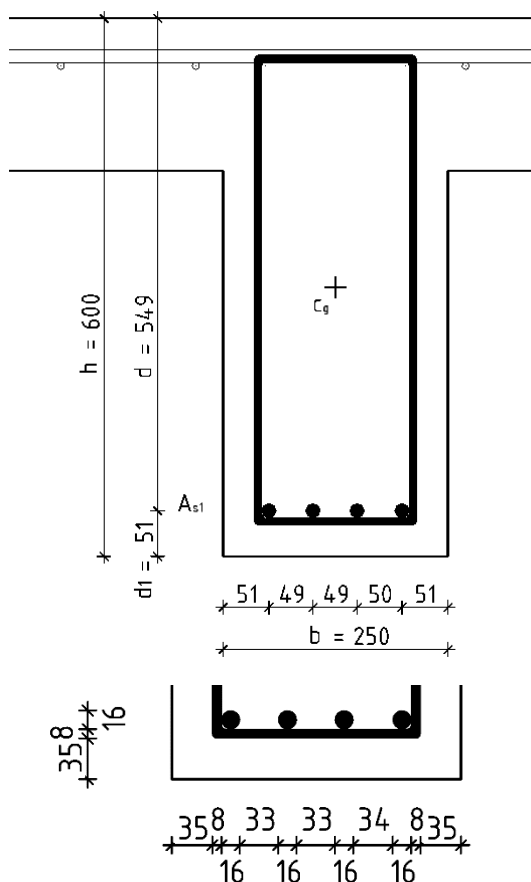
$$= 0,049 \text{ m}$$

$$a_{s,max} = \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{1,2 \cdot 0,018; 16 + 5; 20\} = 0,022 \text{ m}$$

$$a_{sl} > a_{s,max} \rightarrow 0,049 > 0,022 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.1.7. Priečla R2 - stred poľa



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 4\phi 16$$

$$c_{st} = 35 \text{ mm}$$

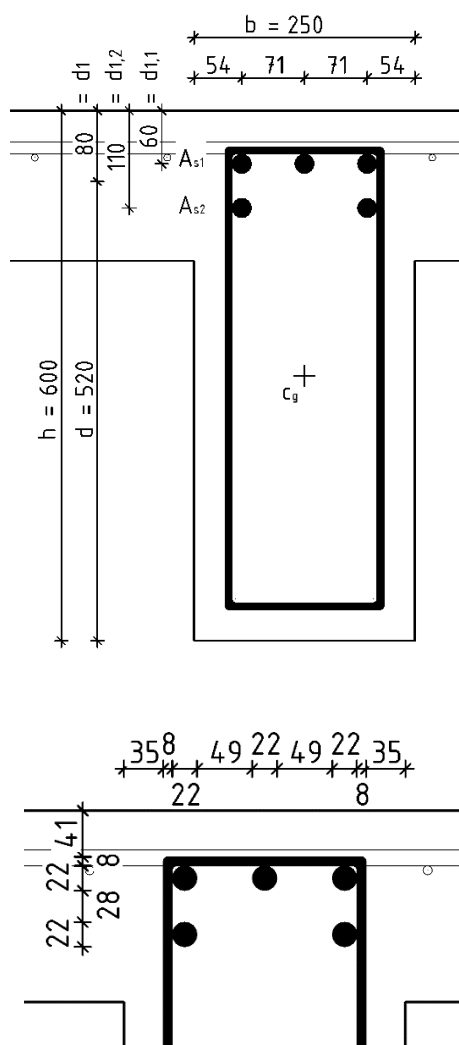
$$c_{sl} = 35 + 8 = 41 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 126,29 \text{ kNm}$$

Priečla R2 – stred poľa

$d_1 [m]$	0,051
$d [m]$	0,549
$\approx z_c [m]$	0,522
$A_{s,req} [10^{-4} m^2]$	5,569
ks / ϕ	4φ16
$A_s [10^{-4} m^2]$	8,042
$A_{cc} [m^2]$	0,017
$x [m]$	0,087
$\epsilon_s [\text{‰}]$	18,48
$\epsilon_{yd} [\text{‰}]$	2,17
$\epsilon_s > \epsilon_{yd}$	✓
$z_c [m]$	0,514
$M_{Rd} [kNm]$	179,743
$M_{Ed} [kNm]$	126,29
$M_{Ed} < M_{Rd}$	✓
$A_{s,min} [10^{-4} m^2]$	2,070
$A_{s,max} [10^{-4} m^2]$	60
$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$	✓
$a_{sl} [m]$	0,033
$a_{s,max} [m]$	0,021
$a_{sl} > a_{s,max}$	✓

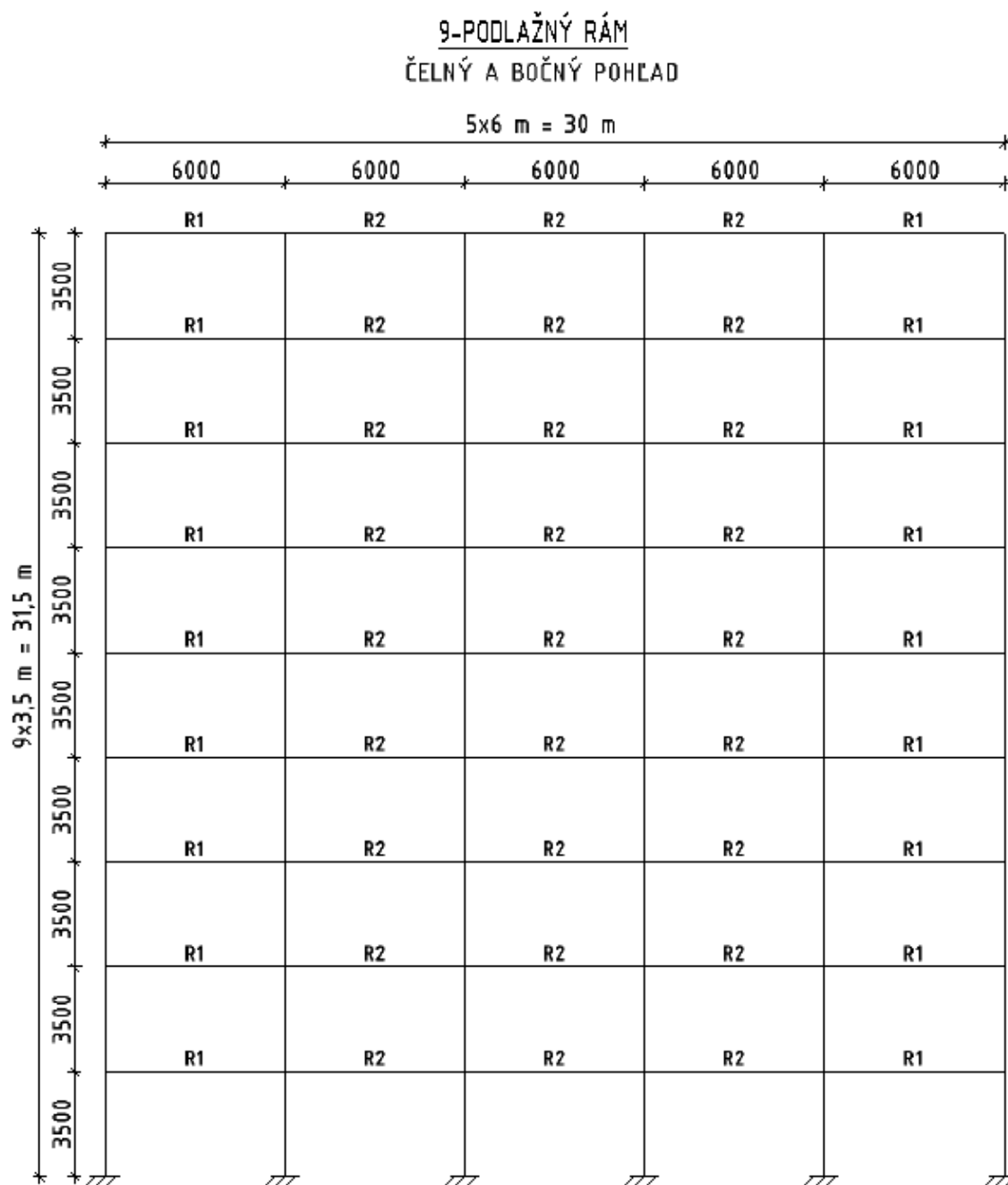
Tab. 9.2-2 – Dimenzovanie na ohyb -
3-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa

9.2.1.8. Priečla R2 – ľavá podpora $b = 250 \text{ mm}$ $h = 600 \text{ mm}$ $\phi_{st} = 2\phi 8$ $\phi_{sl} = 5\phi 22$ $c_{st} = 41 \text{ mm}$ $c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$ $M_{Ed} = 263,82 \text{ kNm}$ **Priečla R2 – ľavá podpora**

$d_{1,1} [m]$	0,060
$d_{1,2} [m]$	0,110
$d_1 [m]$	0,080
$d [m]$	0,520
$\approx z_c [m]$	0,494
$A_{s,req} [10^{-4}m^2]$	12,283
ks/ϕ	5$\phi 22$
$A_s [10^{-4}m^2]$	19,007
$A_{s1} [10^{-4}m^2]$	11,404
ks/ϕ	3$\phi 22$
$A_{s2} [10^{-4}m^2]$	7,603
ks/ϕ	2$\phi 22$
$A_{cc} [m^2]$	0,041
$x [m]$	0,207
$\epsilon_s [\text{‰}]$	5,31
$\epsilon_{yd} [\text{‰}]$	2,17
$\epsilon_s > \epsilon_{yd}$	✓
$z_c [m]$	0,437
$M_{Rd} [kNm]$	361,426
$M_{Ed} [kNm]$	263,82
$M_{Ed} < M_{Rd}$	✓
$A_{s,min} [10^{-4}m^2]$	1,960
$A_{s,max} [10^{-4}m^2]$	60
$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$	✓
$a_{sl} [m]$	0,049
$a_{s,max} [m]$	0,021
$a_{sl} > a_{s,max}$	✓

Tab. 9.2-3– Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora

9.2.2. Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám



Obr. 9.2-3 Schematický rez 9-podlažného rámu s označením priečlí

9.2.2.1. Krytie výstuže

- Nominálna hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy :

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

kde sa hodnota c_{min} ako väčšia z hodnôt :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

kde je

$c_{min,b}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k požiadavkám súdržnosti
$c_{min,dur}$	minimálna krycia vrstva s prihliadnutím k podmienkam prostredia (pokiaľ ho ovplyvňujú)
$\Delta c_{dur,y}$	prídavná hodnota z hľadiska spoľahlivosti
$\Delta c_{dur,st}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití nehrdzavejúcej oceli
$\Delta c_{dur,add}$	redukcia minimálnej krycej vrstvy pri použití dodatočnej ochrany (napríklad povlak výstuže)

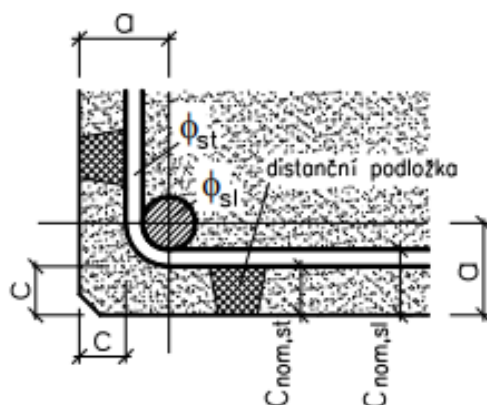
- Stanovenie $c_{min,b}$ (požiadavka súdržnosti) :

$$c_{min,b} \geq \emptyset \text{ alebo } \emptyset_n \text{ pri } d_g < 32 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} \geq (\emptyset + 5 \text{ mm}) \text{ alebo } (\emptyset_n + 5 \text{ mm}) \text{ pri } d_g \geq 32 \text{ mm}$$

kde je

\emptyset	priemer výstužného prútu
\emptyset_n	náhradný priemer skupinovej vložky
d_g	najväčší menovitý rozmer zrna kameniva



Obr. 9.2-4 – Krytie výstuže

- Stanovenie $c_{min,dur}$ – požiadavka z hľadiska trvanlivosti podľa stupňa vplyvu prostredia a triedy konštrukcie v mm :

Trieda konštrukcie	Stupeň prostredia						
	XC0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tab. 9.2-5 – Stanovenie $c_{min,dur}$

- Stanovenie hodnoty $\Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$:
Doporučené hodnoty : $\Delta c_{dur,y} = 0$ (hľadisko spoľahlivosti)
 $\Delta c_{dur,st} = 0$ (pri nepoužívaní nehrdzavejúcej oceli)
 $\Delta c_{dur,add} = 0$ (ak sa nevyhotoví dodatočná ochrana výstuže proti korózií)
- Doporučené hrúbky nominálnej krycej vrstvy pri betonáži na nerovnej ploche :
zväčšenie c_{min} minimálne o 5 mm
 $c_{nom} \geq 40$ mm pre betonáž na upravený podklad
 $c_{nom} \geq 75$ mm pre betonáž na neupravenej zemine
- Doporučené hrúbky minimálnej krycej vrstvy pri možnom obruse :
zväčšenie o 5,10,15 mm pre triedu XM1,XM2,XM3
- Možná návrhová odchýlka Δc_{dev} od nominálnej hodnoty (prídavok k minimálnej hodnote) podľa kvality prevedenia :
Doporučená hodnota pre Δc_{dev} pre bežnú úroveň prevedenia a kontroly je 10 mm (podľa NA je možné ju zmenšiť o 5 mm u konštrukcií pozemných stavieb, pokiaľ je realizovaná riadna a na dodávateľovi nezávislá kontrola pri dodržaní zaistenia polohy výstuže). Pri uplatnení systému zaistenia kvality vrátane kontroly betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$ (odporúčenie podľa NA). Pri použití veľmi citlivých prístrojov pre meranie betónovej krycej vrstvy je možné ju uvažovať v intervale $5 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$.

- Výpočet pre konštrukciu rámov :

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max (20 \text{ mm}; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

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

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

→ navrhujem kryciu betónovú vrstvu **c = 35 mm**

9.2.2.2. Materiálové charakteristiky

BETÓN C 30/37 –

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

VÝSTUŽ B500B –

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

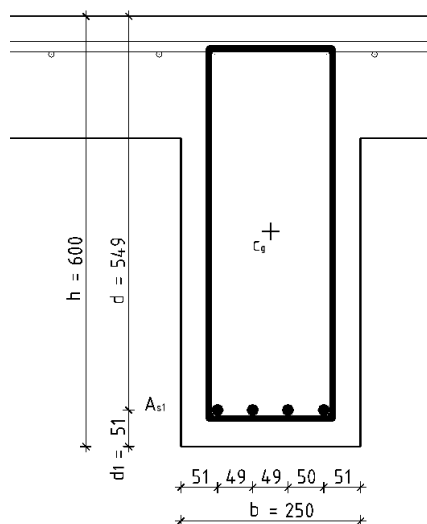
$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 434,78/200 \cdot 10^3 = 2,17 \text{ ‰}$$

9.2.2.3. Prierezové charakteristiky

Predpokladaná hrúbka dosky je 170 mm a hlavná nosná výstuž umiestnená kolmo na priechu má predpokladaný priemer výstuže $\phi 14$ mm.

• **Priečla R1 - v strede poľa**



$$b = 250 \text{ mm}$$

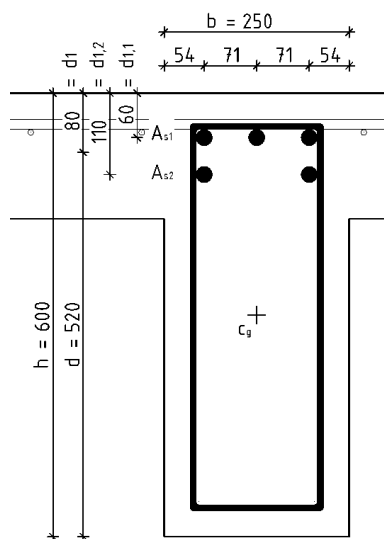
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = 51 \text{ mm}$$

$$d = 549 \text{ mm}$$

- Priečla R1 - ľavá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

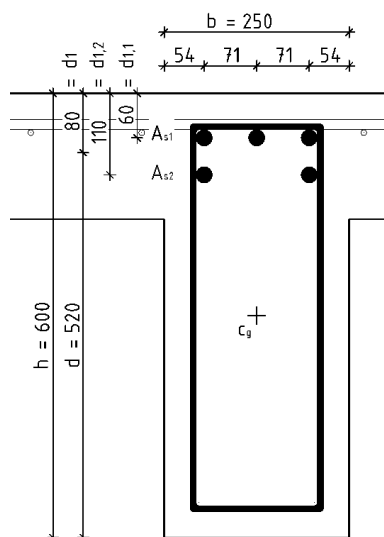
$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

- Priečla R1 – pravá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

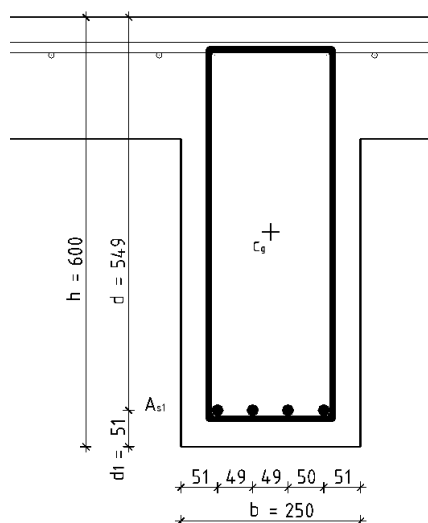
$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

• **Priečla R2 – v strede poľa**



$$b = 250 \text{ mm}$$

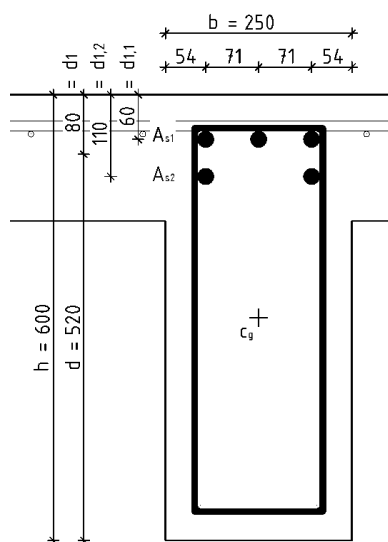
$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = 51 \text{ mm}$$

$$d = 549 \text{ mm}$$

• **Priečla R2 – ľavá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

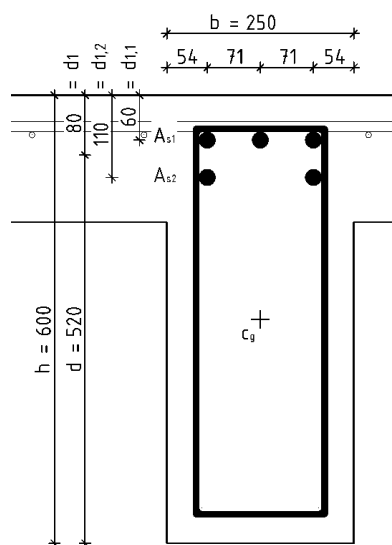
$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

• **Priečla R2 – pravá podpora**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

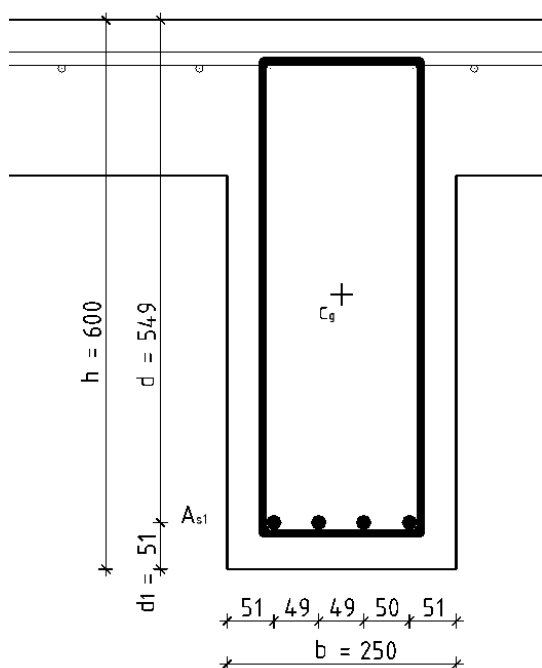
$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

9.2.2.4. Priečla R1 – ľavá podpora



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 4\phi 16$$

$$c_{st} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{sl} = 35 + 8 = 41 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 4\phi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$M_{Ed} = 112,81 \text{ kNm}$$

- *poloha ťažiska výstuže : d_1*

$$d_1 = c_{st} + \phi_{st} + \phi_{sl}/2 = 35 + 8 + 16/2 = 51 \text{ mm}$$

- *účinná výška : d*

$$d = h - d_1 = 600 - 51 = 549 \text{ mm}$$

- *odhad ramena vnútorných síl : z_c*

$$z_c \approx 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 549 = 521,6 \text{ mm}$$

- *nutná plocha výstuže z momentovej podmienky rovnováhy : $A_{s,req}$*

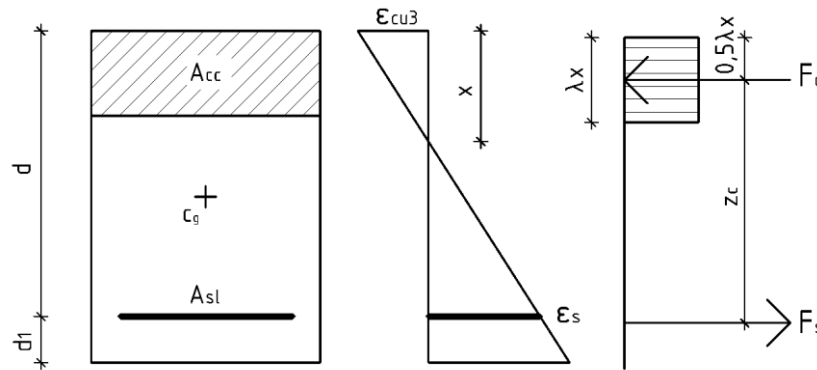
$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z_c} = \frac{112,81}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,5216} = 4,975 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ **navrhujem 4φ16 – $A_{s,skut} = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

- posúdenie prierezu : $F_{cc} = F_s$

$$F_{cc} = F_s \rightarrow A_{cc} \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}}$$

- tlačená plocha betónu : A_{cc}



$$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{8,042 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{20} = 0,017 \text{ m}^2$$

- poloha neutrálnej osi : x

$$x = \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{8,042 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,087 \text{ m}$$

- kontrola pretvorenia výstuže : ε_s

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,087} \cdot (0,549 - 0,087) = 18,48 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 18,48 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,174 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- rameno vnútorných síl : z_c

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,549 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,087 = 0,514 \text{ m}$$

- moment na medzi únosnosti : M_{Rd}

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 8,042 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,514 = 179,743 \text{ kNm}$$

- podmienka únosnosti : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

$$M_{Ed} = 112,81 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 179,743 \text{ kNm} \rightarrow \text{prierez vyhovuje}$$

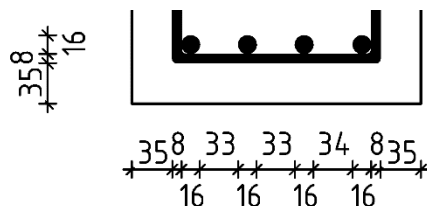
- kontrola miery vystuženia : $A_{s,min}; A_{s,max}$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (2,9/500) \cdot 0,25 \cdot 0,549 = 2,070 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

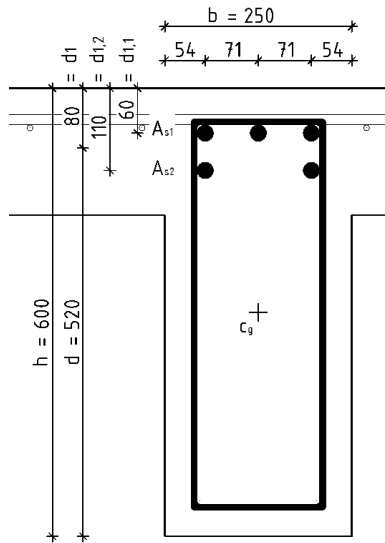
$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \rightarrow 2,070 \cdot 10^{-4} < 8,042 \cdot 10^{-4} < 60 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



$$\begin{aligned} a_{sl} &= (b - 2 \cdot c_{st} - n_{st} \cdot \phi_{st} - n_{sl} \cdot \phi_{sl}) / (n_{sl} - 1) = \\ &= (0,25 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,008 - 4 \cdot 0,016) / (4 - 1) = \\ &= 0,033 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{s,max} &= \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ &= \max\{1,2 \cdot 0,018; 16 + 5; 20\} = 0,022 \text{ m} \end{aligned}$$

$$a_{sl} > a_{s,max} \rightarrow 0,033 > 0,022 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.2.5. Priechla R1 – ľavá podpora

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 5\phi 22$$

$$c_{st} = 41 \text{ mm}$$

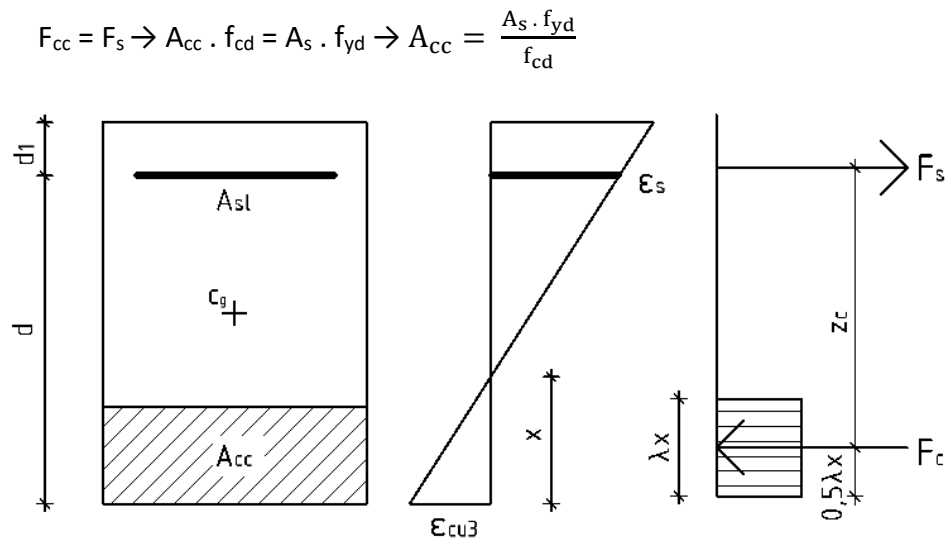
$$c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 246,65 \text{ kNm}$$

- *poloha ťažiska výstuže A_{s1} : $d_{1,1}$*
 $d_{1,1} = c + \phi_{doska} + \phi_{sl}/2 = 35 + 14 + 22/2 = 60 \text{ mm}$
- *poloha ťažiska výstuže A_{s2} : $d_{1,2}$*
 $d_{1,2} = d_{1,1} + \phi_{sl} + s_s = 60 + 22 + 28 = 110 \text{ mm}$
- *poloha ťažiska výstuže A_s : d_1*
 $d_1 = (n_{As1} \cdot d_{1,1} + n_{As2} \cdot d_{1,2}) / (n_{As}) = (3 \cdot 60 + 2 \cdot 110) / 5 = 80 \text{ mm}$
- *účinná výška : d*
 $d = h - d_1 = 600 - 80 = 520 \text{ mm}$
- *odhad ramena vnútorných síl : z_c*
 $z_c \approx 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 0,520 = 0,494 \text{ m}$
- *nutná plocha výstuže z momentovej podmienky rovnováhy : $A_{s,req}$*

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z_c} = \frac{246,65}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,494} = 11,484 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ navrhujem $5\phi 22 - A_{s,skut} = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- *posúdenie prierezu : $F_{cc} = F_s$*



- *tlačená plocha betónu : A_{cc}*

$$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{20} = 0,041 \text{ m}^2$$

- *poloha neutrálnej osi : x*

$$x = \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,207 \text{ m}$$

- *kontrola pretvorenia výstuže : ε_s*

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,207} \cdot (0,520 - 0,207) = 5,31 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 5,31 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,174 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- *rameno vnútorných síl : z_c*

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,520 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,207 = 0,437 \text{ m}$$

- *moment na medzi únosnosti : M_{Rd}*

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,437 = 361,426 \text{ kNm}$$

- *podmienka únosnosti : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$*

$$M_{Ed} = 246,65 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 361,426 \text{ kNm} \rightarrow \text{prierez vyhovuje}$$

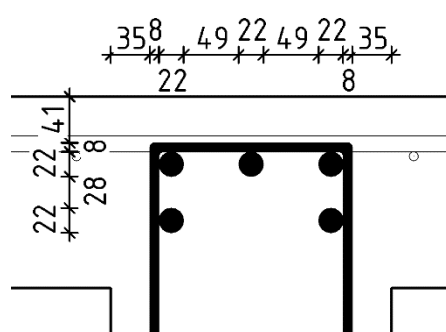
- *kontrola miery vystuženia : $A_{s,min}$; $A_{s,max}$*

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (2,9/500) \cdot 0,25 \cdot 0,520 = 1,960 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \rightarrow 1,960 \cdot 10^{-4} < 19,007 \cdot 10^{-4} < 60 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



$$a_{sl} = (b - 2 \cdot c_{st} - n_{st} \cdot \phi_{st} - n_{sl} \cdot \phi_{sl}) / (n_{sl} - 1) =$$

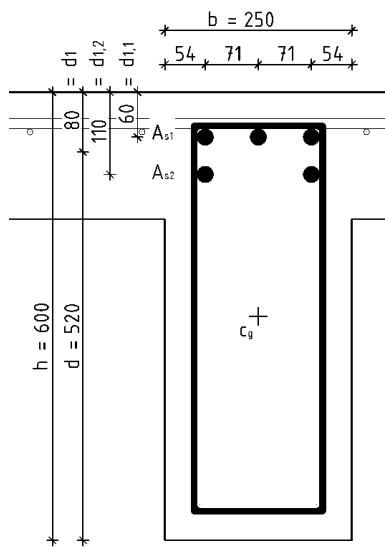
$$= (0,25 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,008 - 3 \cdot 0,022) / (3 - 1) =$$

$$= 0,049 \text{ m}$$

$$a_{s,max} = \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{1,2 \cdot 0,018; 16 + 5; 20\} = 0,022 \text{ m}$$

$$a_{sl} > a_{s,max} \rightarrow 0,049 > 0,022 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.2.6. Priečla R1 – pravá podpora

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\phi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\phi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\phi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d = 520 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 5\phi 22$$

$$c_{st} = 41 \text{ mm}$$

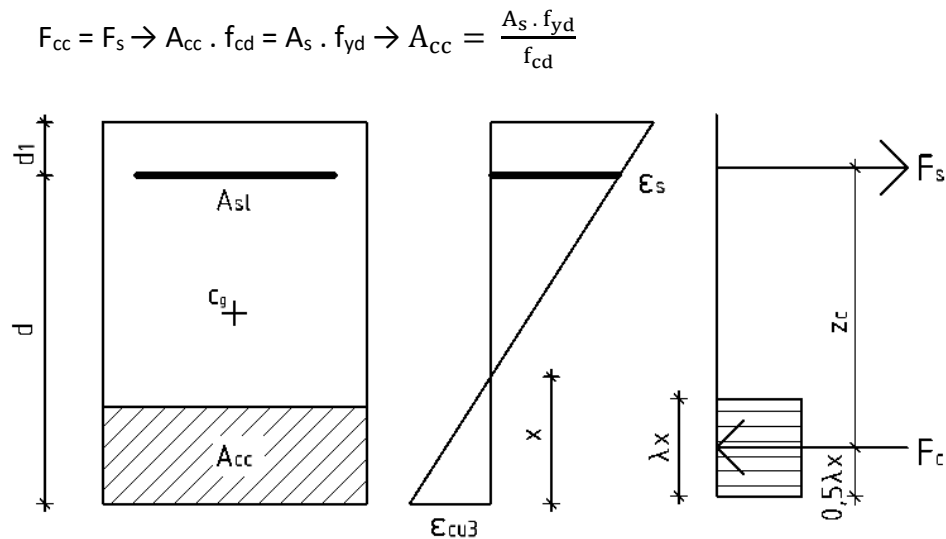
$$c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 278,65 \text{ kNm}$$

- *poloha ťažiska výstuže A_{s1} : $d_{1,1}$*
 $d_{1,1} = c + \phi_{doska} + \phi_{sl}/2 = 35 + 14 + 22/2 = 60 \text{ mm}$
- *poloha ťažiska výstuže A_{s2} : $d_{1,2}$*
 $d_{1,2} = d_{1,1} + \phi_{sl} + s_s = 60 + 22 + 28 = 110 \text{ mm}$
- *poloha ťažiska výstuže A_s : d_1*
 $d_1 = (n_{As1} \cdot d_{1,1} + n_{As2} \cdot d_{1,2}) / (n_{As}) = (3 \cdot 60 + 2 \cdot 110) / 5 = 80 \text{ mm}$
- *účinná výška : d*
 $d = h - d_1 = 600 - 80 = 520 \text{ mm}$
- *odhad ramena vnútorných síl : z_c*
 $z_c \approx 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 0,520 = 0,494 \text{ m}$
- *nutná plocha výstuže z momentovej podmienky rovnováhy : $A_{s,req}$*

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z_c} = \frac{278,65}{434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,494} = 12,974 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ navrhujem $5\phi 22 - A_{s,skut} = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- *posúdenie prierezu : $F_{cc} = F_s$*



- *tlačená plocha betónu : A_{cc}*

$$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{20} = 0,041 \text{ m}^2$$

- *poloha neutrálnej osi : x*

$$x = \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,207 \text{ m}$$

- *kontrola pretvorenia výstuže : ε_s*

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,207} \cdot (0,520 - 0,207) = 5,31 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 5,31 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,174 \text{ ‰} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- *rameno vnútorných síl : z_c*

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,520 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,207 = 0,437 \text{ m}$$

- *moment na medzi únosnosti : M_{Rd}*

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 19,007 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,437 = 361,426 \text{ kNm}$$

- *podmienka únosnosti : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$*

$$M_{Ed} = 278,65 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 361,426 \text{ kNm} \rightarrow \text{prierez vyhovuje}$$

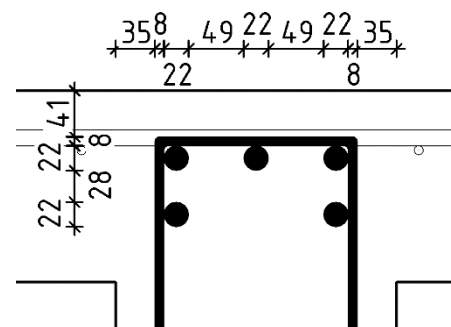
- *kontrola miery vystuženia : $A_{s,min}$; $A_{s,max}$*

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot (2,9/500) \cdot 0,25 \cdot 0,520 = 1,960 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \rightarrow 1,960 \cdot 10^{-4} < 19,007 \cdot 10^{-4} < 60 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



$$a_{sl} = (b - 2 \cdot c_{st} \cdot n_{st} \cdot \phi_{st} - n_{sl} \cdot \phi_{sl}) / (n_{sl} - 1) =$$

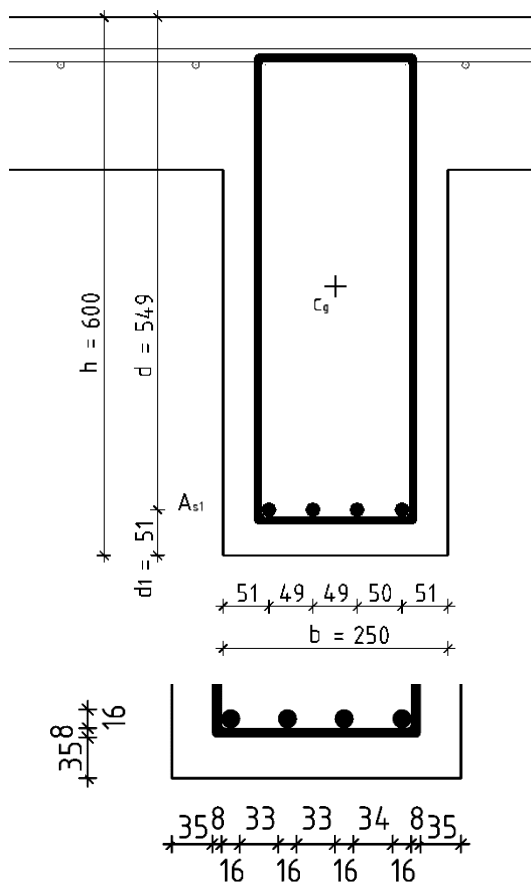
$$= (0,25 - 2 \cdot 0,035 - 2 \cdot 0,008 - 3 \cdot 0,022) / (3 - 1) =$$

$$= 0,049 \text{ m}$$

$$a_{s,max} = \max\{1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{1,2 \cdot 0,018; 16 + 5; 20\} = 0,022 \text{ m}$$

$$a_{sl} > a_{s,max} \rightarrow 0,049 > 0,022 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.2.7. Priečla R2 – stred poľa

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 4\phi 16$$

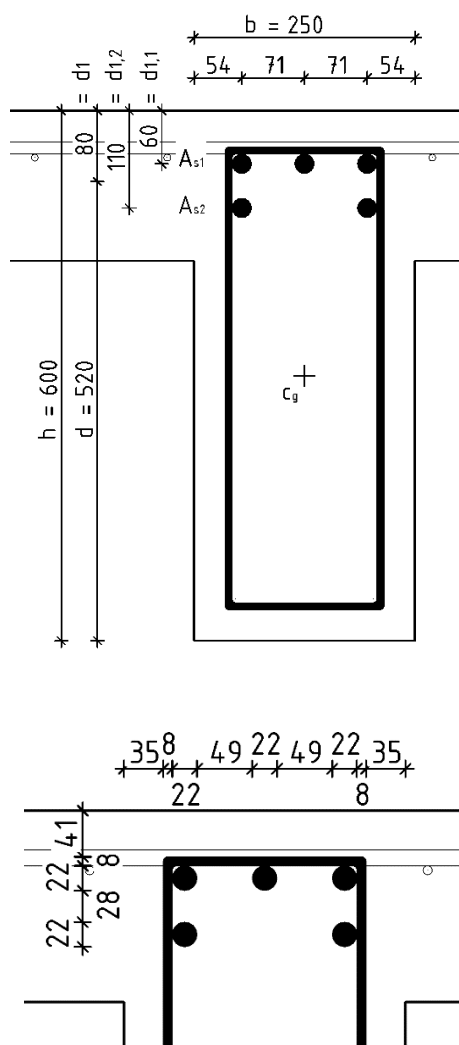
$$c_{st} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{sl} = 35 + 8 = 41 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 102,77 \text{ kNm}$$

Priečla R2 – stred poľa	
$d_1 [m]$	0,051
$d [m]$	0,549
$\approx z_c [m]$	0,522
$A_{s,req} [10^{-4}m^2]$	4,532
ks/ϕ	4φ16
$A_s [10^{-4}m^2]$	8,042
$A_{cc} [m^2]$	0,017
$x [m]$	0,087
$\epsilon_s [\text{‰}]$	18,48
$\epsilon_{yd} [\text{‰}]$	2,17
$\epsilon_s > \epsilon_{yd}$	✓
$z_c [m]$	0,514
$M_{Rd} [kNm]$	179,743
$M_{Ed} [kNm]$	102,77
$M_{Ed} < M_{Rd}$	✓
$A_{s,min} [10^{-4}m^2]$	2,070
$A_{s,max} [10^{-4}m^2]$	60
$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$	✓
$a_{sl} [m]$	0,033
$a_{s,max} [m]$	0,021
$a_{sl} > a_{s,max}$	✓

Tab. 9.2-6 – Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa

9.2.2.8. Priečla R2 – ľavá podpora

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 5\phi 22$$

$$c_{st} = 41 \text{ mm}$$

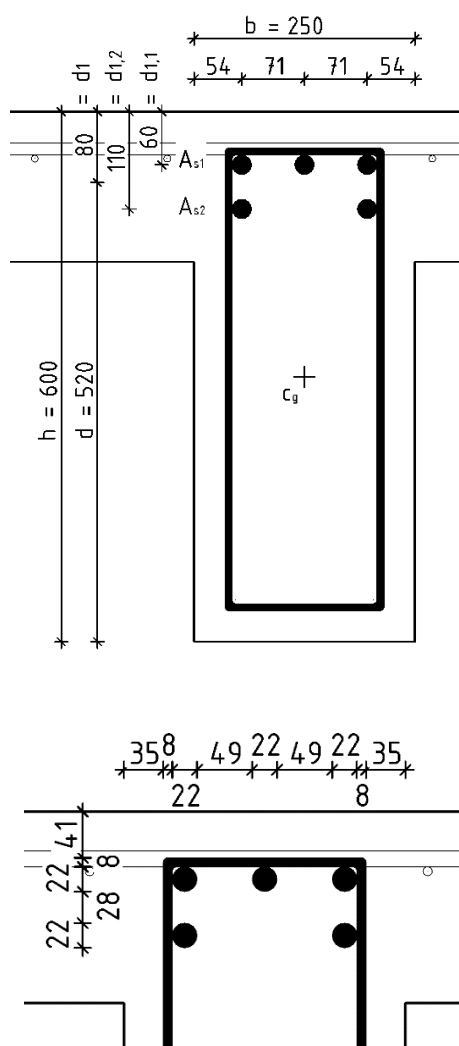
$$c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 273,09 \text{ kNm}$$

Priečla R2 – stred poľa

$d_{1,1} [m]$	0,060
$d_{1,2} [m]$	0,110
$d_1 [m]$	0,080
$d [m]$	0,520
$\approx z_c [m]$	0,494
$A_{s,req} [10^{-4}m^2]$	12,715
ks/ϕ	5$\phi 22$
$A_s [10^{-4}m^2]$	19,007
$A_{s1} [10^{-4}m^2]$	11,404
ks/ϕ	3$\phi 22$
$A_{s2} [10^{-4}m^2]$	7,603
ks/ϕ	2$\phi 22$
$A_{cc} [m^2]$	0,041
$x [m]$	0,207
$\epsilon_s [\text{‰}]$	5,31
$\epsilon_{yd} [\text{‰}]$	2,17
$\epsilon_s > \epsilon_{yd}$	✓
$z_c [m]$	0,437
$M_{Rd} [kNm]$	361,426
$M_{Ed} [kNm]$	273,09
$M_{Ed} < M_{Rd}$	✓
$A_{s,min} [10^{-4}m^2]$	1,960
$A_{s,max} [10^{-4}m^2]$	60
$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$	✓
$a_{sl} [m]$	0,049
$a_{s,max} [m]$	0,021
$a_{sl} > a_{s,max}$	✓

Tab. 9.2-7 – Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora

9.2.2.9. Priečla R2 – pravá podpora

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 2\phi 8$$

$$\phi_{sl} = 5\phi 22$$

$$c_{st} = 41 \text{ mm}$$

$$c_{sl} = 41 + 8 = 49 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 248,16 \text{ kNm}$$

Priečla R2 – stred poľa

$d_{1,1} [m]$	0,060
$d_{1,2} [m]$	0,110
$d_1 [m]$	0,080
$d [m]$	0,520
$\approx z_c [m]$	0,494
$A_{s,req} [10^{-4} m^2]$	12,681
ks/ϕ	5$\phi 22$
$A_s [10^{-4} m^2]$	19,007
$A_{s1} [10^{-4} m^2]$	11,404
ks/ϕ	3$\phi 22$
$A_{s2} [10^{-4} m^2]$	7,603
ks/ϕ	2$\phi 22$
$A_{cc} [m^2]$	0,041
$x [m]$	0,207
$\epsilon_s [\text{‰}]$	5,65
$\epsilon_{yd} [\text{‰}]$	2,17
$\epsilon_s > \epsilon_{yd}$	✓
$z_c [m]$	0,437
$M_{Rd} [kNm]$	361,426
$M_{Ed} [kNm]$	272,37
$M_{Ed} < M_{Rd}$	✓
$A_{s,min} [10^{-4} m^2]$	1,960
$A_{s,max} [10^{-4} m^2]$	60
$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$	✓
$a_{sl} [m]$	0,049
$a_{s,max} [m]$	0,021
$a_{sl} > a_{s,max}$	✓

Tab. 9.2-8 – Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora

9.2.3. Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám

9.2.3.1. Priečla R1 – ľavá podpora

$V_{Ed,max} = 211,39 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,543 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,3/2 = 0,15 \text{ m}$

• **Nutnosť šmykovej výstuže :**

$V_{Rd,c} \leq V_{Ed(x)} \rightarrow$ vyžaduje sa návrh šmykovej výstuže

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa návrh šmykovej výstuže \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

kde $V_{Ed(x)}$ je posúvajúca sila v ľubovoľnom mieste nosníka

- *návrhová šmyková únosnosť betónu a pozdĺžnej výstuže* : $C_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

kde

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

- vplyv normálovej sily :

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot \sigma_{cp} = 0 \rightarrow \sigma_{cp} = 0 \text{ bez vplyvu normálovej sily}$$

- súčiniteľ výšky :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{543}} = 1,02 \leq 2,00$$

- šmyková plocha :

$$b_w \cdot d = 0,25 \cdot 0,543 = 0,13575 \text{ m}^2$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 10,18 \cdot 10^{-4}/0,13575 = 0,00750$$

kde A_{sl} je plocha ťahovej výstuže, ktorá je zakotvená na l_{bd} (kotevnú dĺžku). V tomto prípade je v podpore zakotvená všetká výstuž $A_{sl} = 4\phi 18 = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

- minimálne šmykové napätie :

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,02^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,197 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,02 \cdot (100 \cdot 0,00750 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 0,13575 = 46,867 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 46,867 \text{ kN} \geq (0,197 + 0) \cdot 0,13575 = 25,658 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd,c} = 46,867 \text{ kN}$$

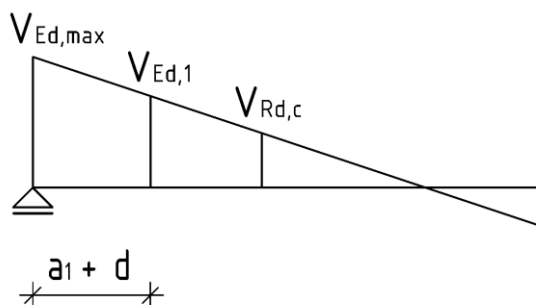
$$\frac{V_{Ed,max}}{\frac{l}{2}} = \frac{V_{Ed,1}}{\frac{l}{2} - (a_1 + d)}$$

$$\rightarrow V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed,max}}{\frac{l}{2}} \cdot \left[\frac{l}{2} - (a_1 + d) \right]$$

$$V_{Ed,1} = \frac{211,39}{\frac{6,0}{2}} \cdot \left[\frac{6,0}{2} - (0,15 + 0,543) \right]$$

$$V_{Ed,1} = 162,559 \text{ kN}$$

návrh šmykovej výstuže konštrukčná šmyk. výstuž



$$V_{Rd,c} = 46,867 \text{ kN} \leq V_{Ed,1} = 162,559 \text{ kN} \rightarrow \text{nutné navrhnuť šmykovú výstuž}$$

- **Návrh šmykovej výstuže :**

- únosnosť v šmyku : V_{Rd}

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$$

- $$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cotg(\theta) + \tg(\theta)}$$

kde

$\alpha_{cw} = 1,0$ – súčiniteľ, ktorým sa zohľadňuje stav napätia v tlačnom píase

$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$ – redukčný súčiniteľ pevnosti betónu pri porušení šmykom

$z = 0,489$ m

$\theta = 21,8^\circ$

$\cotg(\theta) = 2,50$

$\tg(\theta) = 0,40$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,489 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 10^3}{2,5 + 0,4} = 444,9 \text{ kN} \geq V_{Ed,max} = 211,39 \text{ kN}$$

- $$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg(\theta)$$

kde

A_{sw} - prierezová plocha šmykovej výstuže – plocha všetkých vetví jedného strmeňa

Strmienok 2 ϕ 8; $s = 0,200$ m $\rightarrow A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4}$ m²

f_{ywd} – návrhová medza kltu šmykovej výstuže – $f_{ywd} = f_{yd} = 434,78$ MPa

$$V_{Rd,s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,200} \cdot 0,489 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 2,5 = 267,03 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 162,559 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min (444,9 \text{ kN}; 267,03 \text{ kN}) = 267,03 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 162,559 \text{ kN} \rightarrow \text{návrh vyhovuje}$$

- **Konštrukčné zásady :**

- osová vzdialenosť strmeňov :

$$s = 0,200 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,543 = 0,407 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- osová vzdialenosť vetví strmeňov :

$$s_t = b - 2 \cdot c_{st} - \phi_{st} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 0,008 = 0,172 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,543 = 0,407 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 0,2} = 0,002011 \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.3.2. Priečla R1 – pravá podpora

$V_{Ed,max} = 277,67$ kN – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25$ m; $h = 0,60$ m; $l = 6,0$ m; $d = 0,520$ m; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,5/2 = 0,25$ m

- **Nutnosť šmykovej výstuže :**

$V_{Rd,c} \leq V_{Ed(x)} \rightarrow$ vyžaduje sa návrh šmykovej výstuže

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa návrh šmykovej výstuže \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

kde $V_{Ed(x)}$ je posúvajúca sila v ľubovoľnom mieste nosníka

- *návrhová šmyková únosnosť betónu a pozdĺžnej výstuže* : $C_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

kde

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

- vplyv normálovej sily :

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot \sigma_{cp} = 0 \rightarrow \sigma_{cp} = 0 \text{ bez vplyvu normálovej sily}$$

- súčiniteľ výšky :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{520}} = 1,02 \leq 2,00$$

- šmyková plocha :

$$b_w \cdot d = 0,25 \cdot 0,520 = 0,130 \text{ m}^2$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 10,18 \cdot 10^{-4}/0,130 = 0,00783$$

kde A_{sl} je plocha ťahovej výstuže, ktorá je zakotvená na l_{bd} (kotevnú dĺžku). V tomto prípade je v podpore zakotvená všetka výstuž $A_{sl} = 4\phi 18 = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

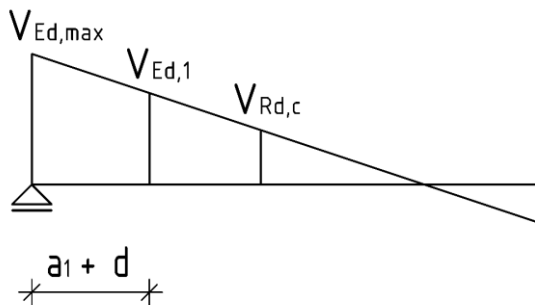
- minimálne šmykové napätie :

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,02^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,197 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,02 \cdot (100 \cdot 0,00783 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 0,130 = 45,553 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 45,553 \text{ kN} \geq (0,197 + 0) \cdot 0,130 = 25,658 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd,c} = 45,553 \text{ kN}$$

návrh šmykovej výstuže konštrukčná šmyk.
výstuže výstuž



$$\frac{V_{Ed,max}}{\frac{1}{2}} = \frac{V_{Ed,1}}{\frac{1}{2} - (a_1 + d)}$$

$$\rightarrow V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed,max}}{\frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{1}{2} - (a_1 + d) \right]$$

$$V_{Ed,1} = \frac{277,67}{\frac{6,0}{2}} \cdot \left[\frac{6,0}{2} - (0,25 + 0,520) \right]$$

$$V_{Ed,1} = 206,401 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 45,553 \text{ kN} \leq V_{Ed,1} = 206,401 \text{ kN} \rightarrow \text{nutné navrhnuť šmykovú výstuž}$$

• **Návrh šmykovej výstuže :**

- *únosnosť v šmyku* : V_{Rd}

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$$

$$\blacksquare V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cotg(\theta) + \tg(\theta)}$$

kde

$\alpha_{cw} = 1,0$ – súčiniteľ, ktorým sa zohľadňuje stav napätia v tlačnom pásce

$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$ – redukčný súčiniteľ pevnosti betónu pri porušení šmykom

$$z = 0,468 \text{ m}$$

$$\theta = 21,8^\circ$$

$$\cotg(\theta) = 2,50$$

$$\tg(\theta) = 0,40$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,468 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 10^3}{2,5+0,4} = 426 \text{ kN} \geq V_{Ed,max} = 277,67 \text{ kN}$$

$$\blacksquare V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg(\theta)$$

kde

A_{sw} - prierezová plocha šmykovej výstuže – plocha všetkých vetví jedného strmeňa

Strmienok 2 ϕ 8; s = 0,200 m $\rightarrow A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

f_{ywd} – návrhová medza kltu šmykovej výstuže – $f_{ywd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,200} \cdot 0,468 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 2,5 = 255,72 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 206,401 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(426 \text{ kN}; 255,72 \text{ kN}) = 255,72 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 206,401 \text{ kN} \rightarrow \text{návrh vyhovuje}$$

• **Konštrukčné zásady :**

- osová vzdialenosť strmeňov :

$$s = 0,200 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,520 = 0,390 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

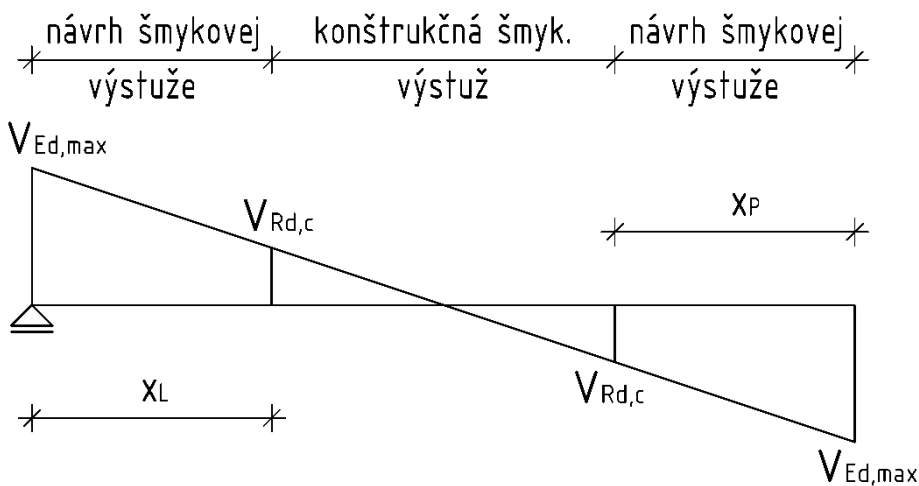
- osová vzdialenosť vetví strmeňov :

$$s_t = b - 2 \cdot c_{st} - \phi_{st} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 0,008 = 0,172 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,520 = 0,390 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 0,2} = 0,002011 \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.3.3. Priečla R1 – stred poľa – konštrukčná šmyková výstuž



$$X_L = \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{2}}{V_{Ed,max,L}} \cdot V_{Rd,c,L} = \frac{6,0}{2} - \frac{\frac{6,0}{2}}{211,39} \cdot 46,867 = 2,33 \text{ m}$$

$$X_P = \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{2}}{V_{Ed,max,P}} \cdot V_{Rd,c,P} = \frac{6,0}{2} - \frac{\frac{6,0}{2}}{277,67} \cdot 45,553 = 2,51 \text{ m}$$

• **Konštrukčné zásady :**

Strmienok 2 ϕ 8; s = 0,350 m \rightarrow $A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

- osová vzdialenosť strmeňov :

$$s = 0,350 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,548 = 0,411 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 0,35} = 0,001149 \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.3.4. Priečla R2 – ľavá podpora

$V_{Ed,max} = 247,39 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,520 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,5/2 = 0,25 \text{ m}$

Priečla R2 – ľavá podpora	
$V_{Rd,c} [\text{kN}]$	42,113
$C_{Rd,c}$	0,12
$k_l \cdot \sigma_{cp}$	0
k	1,02
$b_w \cdot d [\text{m}^2]$	0,130
ρ_l	0,00619
$V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	✓
$(v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	25,658
$V_{Ed,1} [\text{kN}]$	183,893
$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$	✗
Návrh šmykovej výstuže	
$V_{Rd} = \min (V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$	255,7
$V_{Rd} \geq V_{Ed,1}$	✓
$V_{Rd,max} [\text{kN}]$	426,0
$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$	✓
α_{cw}	1,0
v_1	0,528
$z [\text{m}]$	0,468
$\theta [^\circ]$	21,8
$\cotg(\theta)$	2,50
$tg(\theta)$	0,40
$V_{Rd,s} [\text{kN}]$	255,72
$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$	✓
ks/ϕ	2ϕ8
$s [\text{m}]$	0,2
$A_{sw} [.10^{-4} \text{ m}^2]$	1,01

Konštrukčné zásady	
$0,75 \cdot d [m]$	0,390
$s \leq 0,75 \cdot d$	✓
$s_t [m]$	0,172
$s_t \leq 0,75 \cdot d$	✓
ρ_w	0,002011
$\rho_{w,min}$	0,000876
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	✓

Tab. 9.2-9 – Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora

9.2.3.5. Priečla R2 – pravá podpora

$V_{Ed,max} = 242,79 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,520 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,5/2 = 0,25 \text{ m}$

Priečla R2 – pravá podpora	
$V_{Rd,c} [kN]$	42,113
$C_{Rd,c}$	0,12
$k_l \cdot \sigma_{cp}$	0
k	1,02
$b_w \cdot d [m^2]$	0,130
ρ_l	0,00619
$V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	✓
$(v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	25,658
$V_{Ed,1} [kN]$	180,474
$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$	X
Návrh šmykovej výstuže	
$V_{Rd} = \min (V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$	255,7
$V_{Rd} \geq V_{Ed,1}$	✓
$V_{Rd,max} [kN]$	426,0
$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$	✓
α_{cw}	1,0
v_1	0,528
$z [m]$	0,468
$\theta [^\circ]$	21,8
$\cotg(\theta)$	2,50
$tg(\theta)$	0,40
$V_{Rd,s} [kN]$	255,72
$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$	✓
ks/φ	2φ8

$s [m]$	0,2
$A_{sw} [.10^{-4} m^2]$	1,01
Konstrukčné zásady	
$0,75 \cdot d [m]$	0,390
$s \leq 0,75 \cdot d$	✓
$s_t [m]$	0,172
$s_t \leq 0,75 \cdot d$	✓
ρ_w	0,002011
$\rho_{w,min}$	0,000876
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	✓

Tab. 9.2-10 – Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora

9.2.3.6. Priečla R2 – stred poľa – konštrukčná výstuž

Priečla R2 – stred poľa	
$x_L [m]$	2,49
$x_P [m]$	2,48
ks/ϕ	2 ϕ 8
$s [m]$	0,35
$A_{sw} [.10^{-4} m^2]$	1,01
$d [m]$	0,549
$0,75 \cdot d [m]$	0,411
$s \leq 0,75 \cdot d$	✓
ρ_w	0,001149
$\rho_{w,min}$	0,000876
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	✓

Tab. 9.2-11 – Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa

9.2.4. Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám**9.2.4.1. Priečla R1 – ľavá podpora**

$V_{Ed,max} = 208,95 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,520 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,5/2 = 0,25 \text{ m}$

• Nutnosť šmykovej výstuže :

$V_{Rd,c} \leq V_{Ed(x)} \rightarrow$ vyžaduje sa návrh šmykovej výstuže

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa návrh šmykovej výstuže \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

kde $V_{Ed(x)}$ je posúvajúca sila v ľubovoľnom mieste nosníka

- návrhová šmyková únosnosť betónu a pozdĺžnej výstuže : $C_{rd,c}$

$V_{Rd,c} = [C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$

kde

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

- vplyv normálovej sily :

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot \sigma_{cp} = 0 \rightarrow \sigma_{cp} = 0 \text{ bez vplyvu normálovej sily}$$

- súčiniteľ výšky :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{520}} = 1,02 \leq 2,00$$

- šmyková plocha :

$$b_w \cdot d = 0,25 \cdot 0,520 = 0,130 \text{ m}^2$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 8,04 \cdot 10^{-4}/0,130 = 0,00619$$

kde A_{sl} je plocha ťahovej výstuže, ktorá je zakotvená na l_{bd} (kotevnú dĺžku). V tomto prípade je v podpore zakotvená všetka výstuž $A_{sl} = 4\phi 16 = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

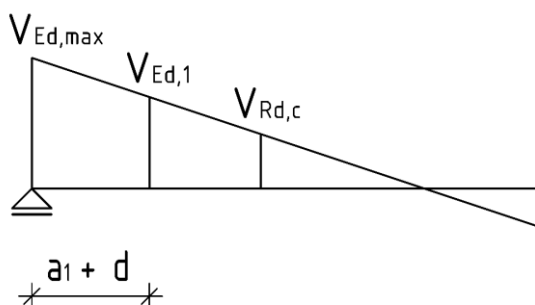
- minimálne šmykové napätie :

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,02^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,197 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,02 \cdot (100 \cdot 0,00619 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 0,130 = 42,113 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 42,113 \text{ kN} \geq (0,197 + 0) \cdot 0,130 = 25,658 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd,c} = 42,113 \text{ kN}$$

návrh šmykovej výstuže konštrukčná šmyk.
výstuže výstuže



$$\frac{V_{Ed,max}}{\frac{1}{2}} = \frac{V_{Ed,1}}{\frac{1}{2} - (a_1 + d)}$$

$$\rightarrow V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed,max}}{\frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{1}{2} - (a_1 + d) \right]$$

$$V_{Ed,1} = \frac{208,95}{\frac{6,0}{2}} \cdot \left[\frac{6,0}{2} - (0,25 + 0,520) \right]$$

$$V_{Ed,1} = 155,32 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 42,113 \text{ kN} \leq V_{Ed,1} = 155,32 \text{ kN} \rightarrow \text{nutné navrhnuť šmykovú výstuž}$$

• Návrh šmykovej výstuže :

- únosnosť v šmyku : V_{Rd}

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$$

$$\blacksquare V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cotg(\theta) + \tg(\theta)}$$

kde

$\alpha_{cw} = 1,0$ – súčiniteľ, ktorým sa zohľadňuje stav napätia v tlačennom píase

$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$ – redukčný súčiniteľ pevnosti betónu pri porušení šmykom

$$z = 0,468 \text{ m}$$

$$\theta = 21,8^\circ$$

$$\cotg(\theta) = 2,50$$

$$\operatorname{tg}(\theta) = 0,40$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,468 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 10^3}{2,5 + 0,4} = 426,0 \text{ kN} \geq V_{Ed,max} = 208,95 \text{ kN}$$

$$\blacksquare V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg(\theta)$$

kde

A_{sw} - prierezová plocha šmykovej výstuže – plocha všetkých vetví jedného strmeňa

Strmienok 2 ϕ 8; s = 0,200 m $\rightarrow A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

f_{ywd} – návrhová medza kltu šmykovej výstuže – $f_{ywd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,200} \cdot 0,468 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 2,5 = 255,72 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 155,32 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(426,0 \text{ kN}; 255,72 \text{ kN}) = 255,72 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 155,32 \text{ kN} \rightarrow \text{návrh vyhovuje}$$

• **Konštrukčné zásady :**

- osová vzdialenosť strmeňov :

$$s = 0,200 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,520 = 0,390 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- osová vzdialenosť vetví strmeňov :

$$s_t = b - 2 \cdot c_{st} - \phi_{st} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 0,008 = 0,172 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,520 = 0,390 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 0,2} = 0,002011 \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.4.2. Priečla R1 – pravá podpora

$V_{Ed,max} = 220,45 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,520 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,6/2 = 0,30 \text{ m}$

• **Nutnosť šmykovej výstuže :**

$V_{Rd,c} \leq V_{Ed(x)} \rightarrow$ vyžaduje sa návrh šmykovej výstuže

$V_{Rd,c} > V_{Ed(x)} \rightarrow$ nevyžaduje sa návrh šmykovej výstuže \rightarrow konštrukčná šmyková výstuž

kde $V_{Ed(x)}$ je posúvajúca sila v ľubovoľnom mieste nosníka

- *návrhová šmyková únosnosť betónu a pozdĺžnej výstuže : $C_{rd,c}$*

$$V_{Rd,c} = [C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

kde

$$C_{rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

- vplyv normálovej sily :

$$k_l \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot \sigma_{cp} = 0 \rightarrow \sigma_{cp} = 0 \text{ bez vplyvu normálovej sily}$$

- súčiniteľ výšky :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{520}} = 1,02 \leq 2,00$$

- šmyková plocha :

$$b_w \cdot d = 0,25 \cdot 0,520 = 0,130 \text{ m}^2$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) = 8,04 \cdot 10^{-4}/0,130 = 0,00619$$

kde A_{sl} je plocha ťahovej výstuže, ktorá je zakotvená na l_{bd} (kotevnú dĺžku). V tomto prípade je v podpore zakotvená všetká výstuž $A_{sl} = 4\phi 16 = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

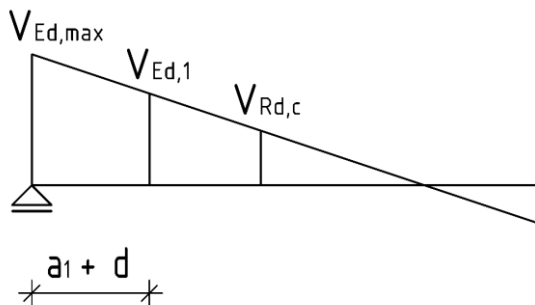
- minimálne šmykové napätie :

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,02^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,197 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,02 \cdot (100 \cdot 0,00619 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 0,130 = 42,113 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 42,113 \text{ kN} \geq (0,197 + 0) \cdot 0,130 = 25,658 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd,c} = 42,113 \text{ kN}$$

návrh šmykovej výstuže konštrukčná šmyk.
výstuže výstuž



$$\frac{V_{Ed,max}}{\frac{1}{2}} = \frac{V_{Ed,1}}{\frac{1}{2} - (a_1 + d)}$$

$$\rightarrow V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed,max}}{\frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{1}{2} - (a_1 + d) \right]$$

$$V_{Ed,1} = \frac{220,45}{\frac{6,0}{2}} \cdot \left[\frac{6,0}{2} - (0,30 + 0,520) \right]$$

$$V_{Ed,1} = 180,475 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 42,113 \text{ kN} \leq V_{Ed,1} = 180,475 \text{ kN} \rightarrow \text{nutné navrhnuť šmykovú výstuž}$$

• Návrh šmykovej výstuže :

- únosnosť v šmyku : V_{Rd}

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$$

$$\blacksquare V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cotg(\theta) + \tg(\theta)}$$

kde

$\alpha_{cw} = 1,0$ – súčiniteľ, ktorým sa zohľadňuje stav napätia v tlačnom pásce

$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$ – redukčný súčiniteľ pevnosti betónu pri porušení šmykom

$$z = 0,468 \text{ m}$$

$$\theta = 21,8^\circ$$

$$\cotg(\theta) = 2,50$$

$$\tg(\theta) = 0,40$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,468 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 10^3}{2,5 + 0,4} = 426 \text{ kN} \geq V_{Ed,max} = 220,45 \text{ kN}$$

$$\blacksquare V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg(\theta)$$

kde

A_{sw} - prierezová plocha šmykovej výstuže – plocha všetkých vetví jedného strmeňa

Strmienok $2\phi 8$; $s = 0,200 \text{ m} \rightarrow A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

f_{ywd} – návrhová medza kltu šmykovej výstuže – $f_{ywd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,200} \cdot 0,468 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 2,5 = 255,72 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 180,475 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min (426 \text{ kN}; 255,72 \text{ kN}) = 255,72 \text{ kN} \geq V_{Ed,1} = 180,475 \text{ kN} \rightarrow \text{návrh vyhovuje}$$

• **Konštrukčné zásady :**

- osová vzdialenosť strmeňov :

$$s = 0,200 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,520 = 0,390 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

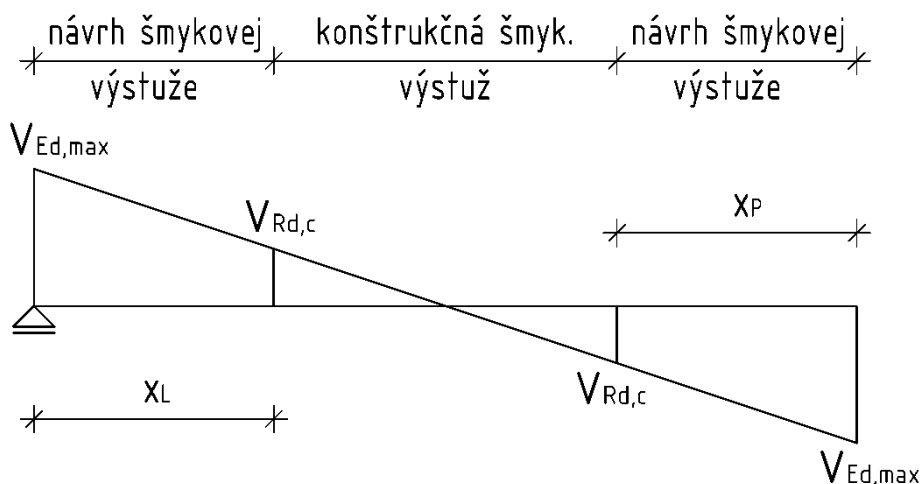
- osová vzdialenosť vetví strmeňov :

$$s_t = b - 2 \cdot c_{st} - \phi_{st} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 0,008 = 0,172 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,520 = 0,390 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 0,2} = 0,002011 \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.4.3. Priečla R1 - stred poľa - konštrukčná šmyková výstuž



$$X_L = \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{2}}{V_{Ed,max,L}} \cdot V_{Rd,c,L} = \frac{6,0}{2} - \frac{\frac{6,0}{2}}{208,95} \cdot 42,113 = 2,40 \text{ m}$$

$$X_P = \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{2}}{V_{Ed,max,P}} \cdot V_{Rd,c,P} = \frac{6,0}{2} - \frac{\frac{6,0}{2}}{220,45} \cdot 42,113 = 2,43 \text{ m}$$

• **Konštrukčné zásady :**

Strmienok 2 ϕ 8; $s = 0,350 \text{ m} \rightarrow A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

- osová vzdialenosť strmeňov :

$$s = 0,350 \text{ m} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,549 = 0,411 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- stupeň vystuženia :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 0,35} = 0,001149 \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.4.4. Priečla R2 – ľavá podpora

$V_{Ed,max} = 214,88 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,520 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,6/2 = 0,30 \text{ m}$

Priečla R2 – ľavá podpora	
$V_{Rd,c} [\text{kN}]$	42,113
$C_{Rd,c}$	0,12
$k_l \cdot \sigma_{cp}$	0
k	1,02
$b_w \cdot d [\text{m}^2]$	0,130
ρ_l	0,00619
$V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	✓
$(v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	25,658
$V_{Ed,1} [\text{kN}]$	156,146
$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$	✗
Návrh šmykovej výstuže	
$V_{Rd} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$	255,7
$V_{Rd} \geq V_{Ed,1}$	✓
$V_{Rd,max} [\text{kN}]$	426,0
$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$	✓
α_{cw}	1,0
v_1	0,528
$z [\text{m}]$	0,468
$\theta [^\circ]$	21,8
$\cotg(\theta)$	2,50
$tg(\theta)$	0,40
$V_{Rd,s} [\text{kN}]$	255,72
$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$	✓
ks/ϕ	2φ8
$s [\text{m}]$	0,2
$A_{sw} [\cdot 10^{-4} \text{ m}^2]$	1,01
Konštrukčné zásady	
$0,75 \cdot d [\text{m}]$	0,390
$s \leq 0,75 \cdot d$	✓
$s_t [\text{m}]$	0,172
$s_t \leq 0,75 \cdot d$	✓
ρ_w	0,002011
$\rho_{w,min}$	0,000876
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	✓

Tab. 9.2-12 – Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora

9.2.4.5. Priečla R2 – pravá podpora

$V_{Ed,max} = 214,64 \text{ kN}$ – zakotvené 4 prúty

$b = 0,25 \text{ m}$; $h = 0,60 \text{ m}$; $l = 6,0 \text{ m}$; $d = 0,520 \text{ m}$; $a_1 = h_{s1}/2 = 0,6/2 = 0,30 \text{ m}$

Priečla R2 – pravá podpora	
$V_{Rd,c} [\text{kN}]$	42,113
$C_{Rd,c}$	0,12
$k_l \cdot \sigma_{cp}$	0
k	1,02
$b_w \cdot d [\text{m}^2]$	0,130
ρ_l	0,00619
$V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	✓
$(v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	25,658
$V_{Ed,1} [\text{kN}]$	175,719
$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$	✗
Návrh šmykovej výstuže	
$V_{Rd} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$	255,7
$V_{Rd} \geq V_{Ed,1}$	✓
$V_{Rd,max} [\text{kN}]$	426,0
$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$	✓
α_{cw}	1,0
v_1	0,528
$z [\text{m}]$	0,468
$\theta [^\circ]$	21,8
$\cotg(\theta)$	2,50
$tg(\theta)$	0,40
$V_{Rd,s} [\text{kN}]$	255,72
$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,1}$	✓
ks/ϕ	2ϕ8
$s [\text{m}]$	0,2
$A_{sw} [\cdot 10^{-4} \text{ m}^2]$	1,01
Konštrukčné zásady	
$0,75 \cdot d [\text{m}]$	0,390
$s \leq 0,75 \cdot d$	✓
$s_t [\text{m}]$	0,172
$s_t \leq 0,75 \cdot d$	✓
ρ_w	0,002011
$\rho_{w,min}$	0,000876
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	✓

Tab. 9.2-13 – Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora

9.2.4.6. Priečla R2 – stred poľa – konštrukčná výstuž

Priečla R2 – stred poľa	
$x_L [m]$	2,49
$x_P [m]$	2,48
ks/ϕ	2ϕ8
$s [m]$	0,35
$A_{sw} [\cdot 10^{-4} m^2]$	1,01
$d [m]$	0,549
$0,75 \cdot d [m]$	0,411
$s \leq 0,75 \cdot d$	✓
ρ_w	0,001149
$\rho_{w,min}$	0,000876
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	✓

Tab. 9.2-14 – Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa

9.2.5. Kotvenie výstuže 3-podlažný rám**9.2.5.1. Priečla R1 – kotvenie spodnej výstuže v podpore**

Do podpory je zakotvených $4\phi 18 - A_s = 10,179 \cdot 10^{-4} m^2$

Z dôvodu kotvenia výstuže v spojitkej podpore (rámový styčník) je uvažované kotvenie na väčšiu z hodnôt $l_{bd,min}$.

$$l_{bd,min} = \max (10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max (10 \cdot 18; 100 \text{ mm}) = (180; 100) = 180 \text{ mm}$$

9.2.5.2. Priečla R1 – kotvenie hornej výstuže – ľavá podpora

$$4\phi 16 - A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} m^2$$

- medzné napätie v súdržnosti :

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu behom betonáže. Pre zlé podmienky $\eta_1 = 0,7$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,09 \text{ MPa}$$

- základná kotevná dĺžka :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,09} = 832,11 \text{ mm}$$

- *návrhová kotevná dĺžka :*

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

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 3 \cdot \phi_{sl} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 3 \cdot 0,016 = 0,132 \text{ m}$$

$$c_d = \min(a/2; c_l; c) = \min(0,132/2; 0,035; 0,035) = (0,066; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,016)}{0,016} = 0,822$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,822$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,822 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 832,11 = 683,99 \text{ mm}$$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 700 mm

$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 683,99; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max(205,19; 160; 100) = 205,2 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 690 \text{ mm} \geq 205,2 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.5.3. Priečla R1 – kotvenie hornej výstuže – pravá podpora

$$5\phi 22 - A_s = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- *medzné napätie v súdržnosti :*

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu
behom betonáže. Pre zlé podmienky $\eta_1 = 0,7$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,09 \text{ MPa}$$

- *základná kotevná dĺžka :*

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,09} = 1144,46 \text{ mm}$$

- *návrhová kotevná dĺžka :*

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

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 4 \cdot \phi_{sl} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 4 \cdot 0,022 = 0,092 \text{ m}$$

$$c_d = \min (a/2; c_1; c) = \min (0,092/2; 0,035; 0,035) = (0,046; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,022)}{0,022} = 0,911$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,911$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,911 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1144,46 = 1043,02 \text{ mm}$$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 1050 mm

$$l_{bd,min} = \max (0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max (0,3 \cdot 1043,22; 10 \cdot 22; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max (312,91; 220; 100) = 313 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 1050 \text{ mm} \geq 313 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.5.4. Priečla R2 – kotvenie spodnej výstuže v podpore

Do podpory je zakotvených $4\phi 16 - A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Z dôvodu kotvenia výstuže v spojitkej podpore (rámový styčník) je uvažované kotvenie na väčšiu z hodnôt $l_{bd,min}$.

$$l_{bd,min} = \max (10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max (10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = (160; 100) = 160 \text{ mm}$$

9.2.5.5. Priečla R2 – kotvenie hornej výstuže – pravá a ľavá podpora

$$5\phi 22 - A_s = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- medzné napätie v súdržnosti :

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu behom betonáže. Pre zlé podmienky $\eta_1 = 0,7$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,09 \text{ MPa}$$

- základná kotevná dĺžka :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,09} = 1144,46 \text{ mm}$$

- návrhová kotevná dĺžka :

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

kde

$$\alpha_1 = 1,0 \text{ pre priamy prút}$$

$$\alpha_2 \quad a = b_w - 2 \cdot c - 4 \cdot \phi_{sl} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 4 \cdot 0,022 = 0,092 \text{ m}$$

$$c_d = \min(a/2; c_l; c) = \min(0,092/2; 0,035; 0,035) = (0,046; 0,035; 0,035)$$

$$c_d = 0,035 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,022)}{0,022} = 0,911$$

$$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,911$$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,911 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1144,46 = 1043,02 \text{ mm}$$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 1050 mm

$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 1043,22; 10 \cdot 22; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd,min} = \max(312,91; 220; 100) = 313 \text{ mm}$$

$$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 1050 \text{ mm} \geq 313 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.2.6. Kotvenie výstuže – 9-podlažný rám

9.2.6.1. Priečla R1,R2 – kotvenie spodnej výstuže v podpore

Do podpory je zakotvených $4\phi 16 - A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Z dôvodu kotvenia výstuže v spojitkej podpore (rámový styčník) je uvažované kotvenie na väčšiu z hodnôt $l_{bd,min}$.

$$l_{bd,min} = \max(10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = (160; 100) = 160 \text{ mm}$$

9.2.6.2. Priečla R1,R2 – kotvenie hornej výstuže – pravá a ľavá podpora

$$5\phi 22 - A_s = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- *medzné napätie v súdržnosti :*

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

kde

η_1 súčiniteľ závislý na kvalite podmienok v súdržnosti a polohe prútu
behom betonáže. Pre zlé podmienky $\eta_1 = 0,7$

η_2 súčiniteľ závislý na priemere prútu : $\eta_2 = 1,0$ pre $\phi \leq 32 \text{ mm}$

f_{ctd} návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa z tabuľky 3.1 ČSN EN 1992-1-1 pre betón C30/37}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,09 \text{ MPa}$$

- *základná kotevná dĺžka :*

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,09} = 1144,46 \text{ mm}$$

- *navrhová kotevná dĺžka :*

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

kde

$\alpha_1 = 1,0$ pre priamy prút

α_2 $a = b_w - 2 \cdot c - 4 \cdot \phi_{sl} = 0,25 - 2 \cdot 0,035 - 4 \cdot 0,022 = 0,092 \text{ m}$

$c_d = \min(a/2; c_i; c) = \min(0,092/2; 0,035; 0,035) = (0,046; 0,035; 0,035)$

$c_d = 0,035 \text{ mm}$

$\alpha_2 = 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - \phi)}{\phi} = 1 - \frac{0,15 \cdot (0,035 - 0,022)}{0,022} = 0,911$

$0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0 \rightarrow \alpha_2 = 0,911$

$\alpha_3 = 1,0$ výstuž nie je ovinutá

$\alpha_4 = 1,0$ bez privarených priečných prútov

$\alpha_5 = 1,0$ vplyv priečného tlaku nie je uvažovaný

$l_{bd,sup} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 0,911 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1144,46 = 1043,02 \text{ mm}$

→ navrhujem kotevnú dĺžku 1050 mm

$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 1043,22; 10 \cdot 22; 100 \text{ mm})$

$l_{bd,min} = \max(312,91; 220; 100) = 313 \text{ mm}$

$l_{bd,sup} \geq l_{bd,min} \rightarrow 1050 \text{ mm} \geq 313 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$

10. Účinok seizmicity

V nasledujúcich kapitolách bude uvedené porovnanie účinkov nízkej a vysokej seizmicity na jednotlivé rámy nadimenzované na účinky MSÚ.

Napriek tomu, že v seizmickej kombinácii sa vylučuje klimatické zaťaženie a premenné zaťaženie v šachovitom tvare sú účinky na konštrukciu väčšie ako pri posúdení na MSÚ. Normálové sily v stĺpoch sa znižujú práve kvôli vylúčeniu niektorých premenných zaťažení avšak ohybové momenty a posúvajúce sily narastajú, či už na stĺpoch alebo na priečlach. O zvýšení účinkov pojednáva najmä vysoká seizmicita (návrhové zrýchlenie $a = 3,54 \text{ m}^2/\text{s}$), pri nízkej seizmicite, s ktorou sa počíta na území Českej republiky (návrhové zrýchlenie $a = 0,59 \text{ m}^2/\text{s}$), výsledné účinky na konštrukcii vychádzajú nižšie ako pri MSÚ z dôvodu vylúčenia niektorých premenných zaťažení.

10.1. Účinok na stĺpy

10.1.1. 3-podlažný rám – nízka seizmicita

Označenie	Miesto	$N \text{ [kN]}$	$V \text{ [kN]}$	$M \text{ [kNm]}$
S1	Päta	-375,34	-17,92	26,95
	Hlava	-367,62	-17,92	-35,78
S2	Päta	-884,24	42,82	-88,0
	Hlava	-867,07	42,82	61,90

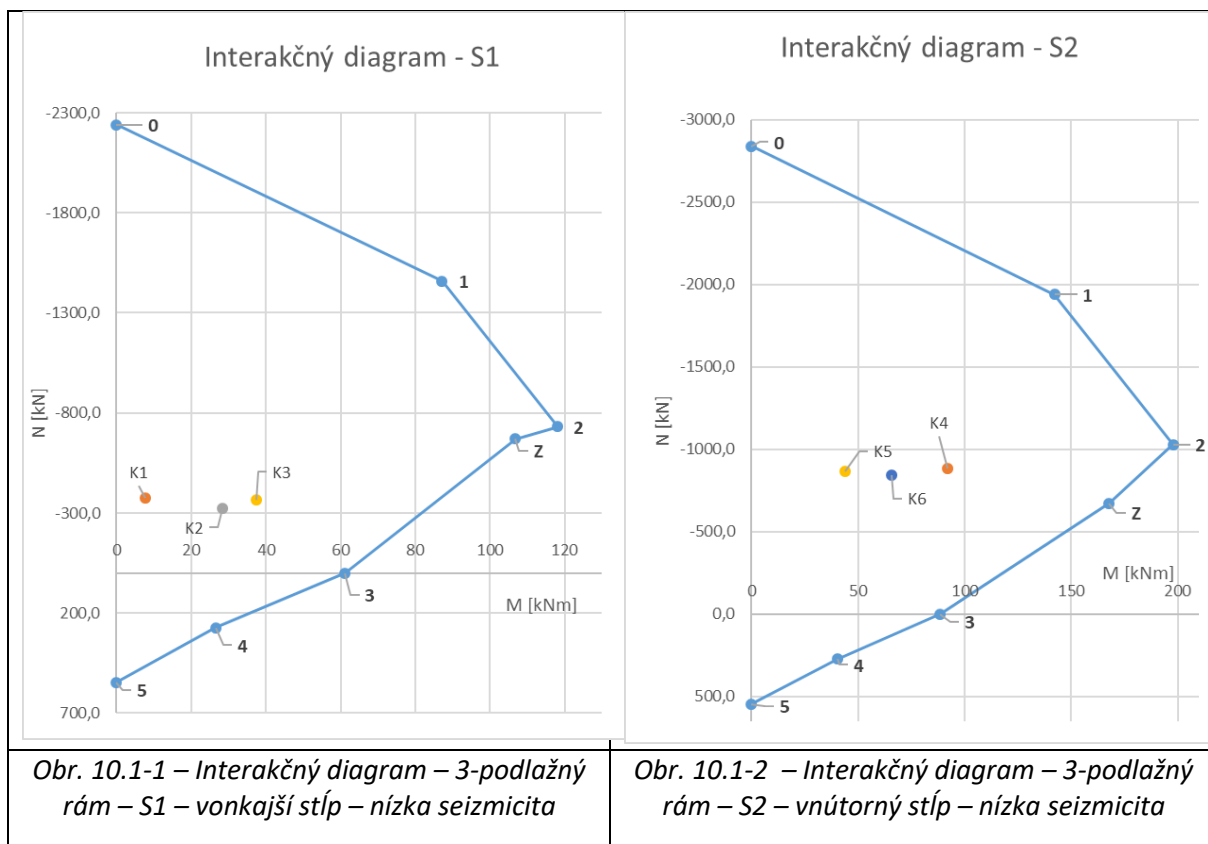
Tab. 10.1-1 – Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám – nízka seizmicita

- **Vonkajší stĺp – S1**

- Päta – K1 - max $N_{Ed} = -375,24 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 6,10 \text{ kNm}$
K2 - max $M_{Ed} = 26,95 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -321,30 \text{ kN}$
- Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -367,62 \text{ kN}$; max. $M_{Ed} = 35,78 \text{ kNm}$

- **Vnútorý stĺp – S2**

- Päta – K4 - max $N_{Ed} = -884,24 \text{ kN}$; max. $M_{Ed} = 88,0 \text{ kNm}$
- Hlava - K5 - max $N_{Ed} = -867,07 \text{ kN}$; odp. $M_{Ed} = 40,22 \text{ kNm}$
K6 - max $M_{Ed} = 61,90 \text{ kNm}$; odp. $N_{Ed} = -842,42 \text{ kN}$

10.1.1.1. Stĺp S1,S2**10.1.1.2. Záver**

Na obrázku interakčných diagramov pre stĺpy S1,S2 je možné vidieť, že dané prierezy vyhovujú na účinok nízkej seizmicity (všetky body kombinácií pre dané stĺpy spadajú do vnútra obrazca).

10.1.2. 9-podlažný rám – nízka seizmicita

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S3	Päta	-1364,75	-47,33	95,79
	Hlava	-1343,29	-47,33	-69,95
S4	Päta	-852,79	-47,87	79,23
	Hlava	-839,05	-47,87	-88,38
S5	Päta	-383,90	-26,08	42,60
	Hlava	-376,18	-26,08	-48,67
S6	Päta	-2573,50	-55,58	152,23
	Hlava	-2542,60	-55,58	43,34
S7	Päta	-1709,88	-46,92	80,86
	Hlava	-1688,42	-46,92	84,40
S8	Päta	-865,85	-29,97	-54,39
	Hlava	-848,69	-29,97	62,25

Tab. 10.1-2 – Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám – nízka seizmicita

- **Vonkajší stĺp – S3**

- Päta – K1 - max $N_{Ed} = -1364,75$ kN; odp. $M_{Ed} = 46,92$ kNm
K2 - max $M_{Ed} = 95,79$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1051,17$ kN
- Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -1343,29$ kN; max. $M_{Ed} = 69,95$ kNm

- **Vonkajší stĺp – S4**

- Päta – K4 - max $N_{Ed} = -852,79$ kN; odp. $M_{Ed} = 6,49$ kNm
K5 - max $M_{Ed} = 79,23$ kNm; odp. $N_{Ed} = -689,48$ kN
- Hlava - K6 - max $N_{Ed} = -839,05$ kN; max. $M_{Ed} = 88,38$ kNm

- **Vonkajší stĺp – S5**

- Päta – K7 - max $N_{Ed} = -383,90$ kN; max. $M_{Ed} = 14,30$ kNm
K8 - max $M_{Ed} = 42,60$ kNm; odp. $N_{Ed} = -341,27$ kN
- Hlava - K9 - max $N_{Ed} = -367,18$ kN; max. $M_{Ed} = 48,67$ kNm

- **Vnútorý stĺp – S6**

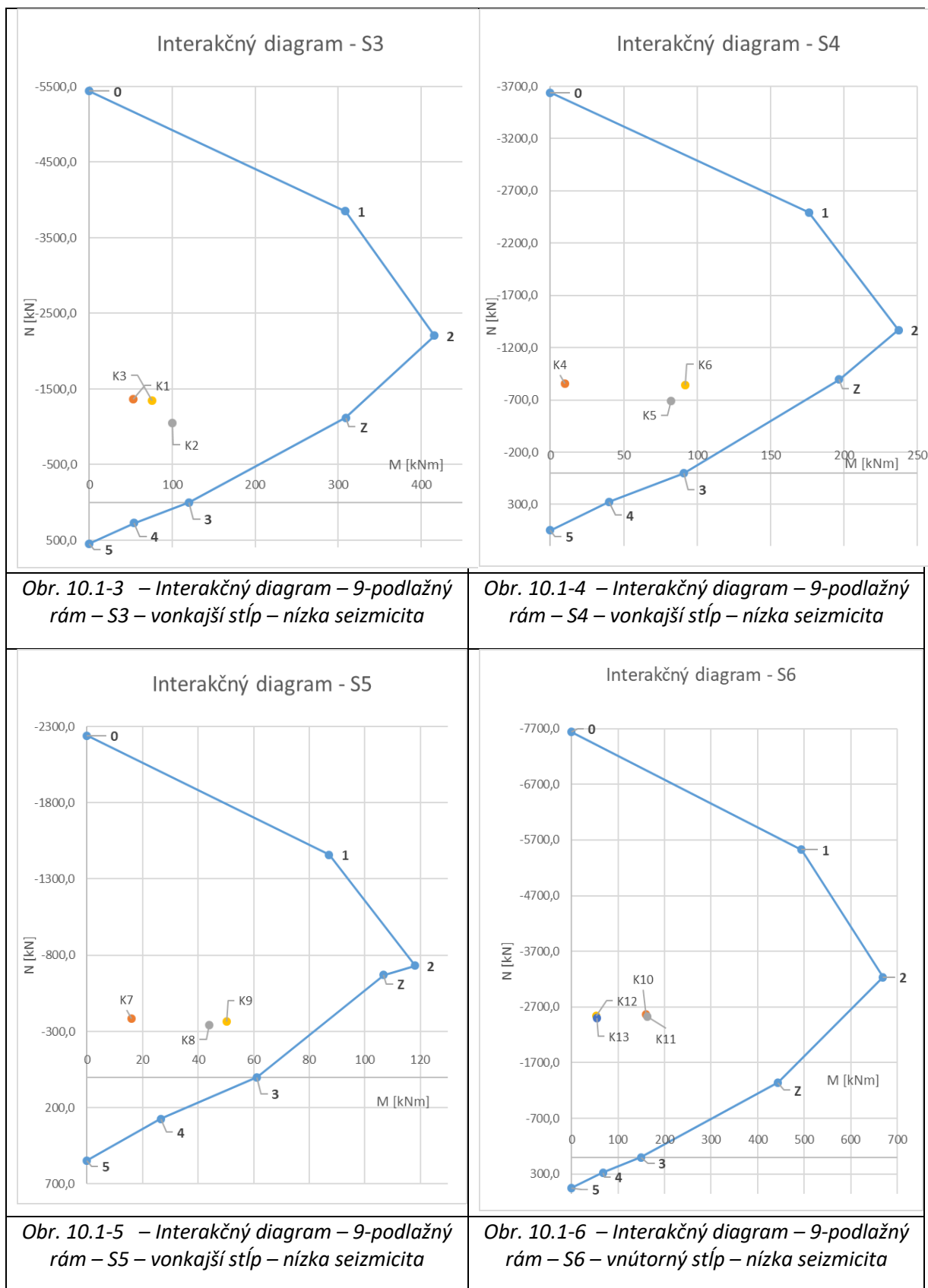
- Päta – K10 - max $N_{Ed} = -2573,50$ kN; odp. $M_{Ed} = 149,12$ kNm
K11 - max $M_{Ed} = 152,23$ kNm; odp. $N_{Ed} = -2529,68$ kN
- Hlava - K12 - max $N_{Ed} = -2542,60$ kN; odp. $M_{Ed} = 42,51$ kNm
K13 - max $M_{Ed} = 43,34$ kNm; odp. $N_{Ed} = -2498,78$ kN

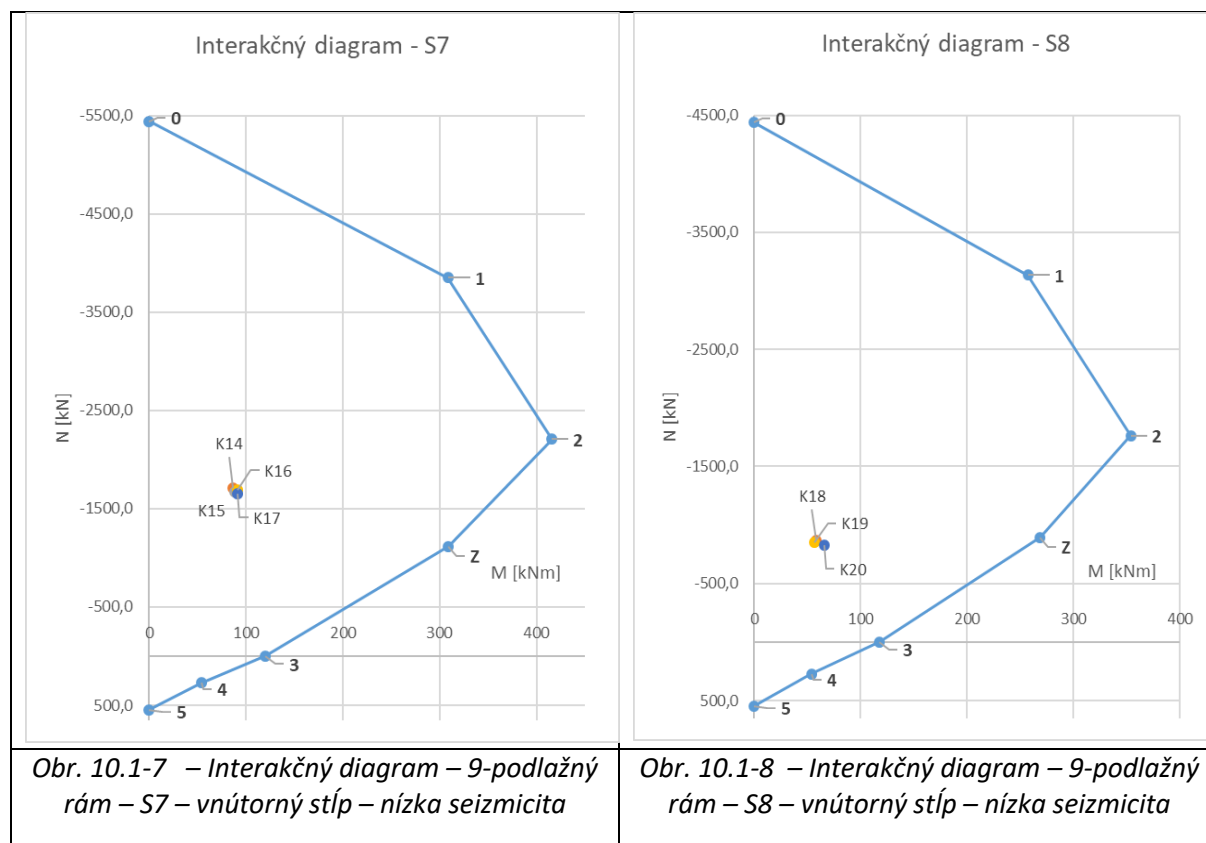
- **Vnútorý stĺp – S7**

- Päta – K14 - max $N_{Ed} = -1709,88$ kN; odp. $M_{Ed} = 79,02$ kNm
K15 - max $M_{Ed} = 80,86$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1671,18$ kN
- Hlava - K16 - max $N_{Ed} = -1688,42$ kN; odp. $M_{Ed} = 83,59$ kNm
K17 - max $M_{Ed} = 84,40$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1649,72$ kN

- **Vnútorý stĺp – S8**

- Päta – K18 - max $N_{Ed} = -865,85$ kN; max. $M_{Ed} = 54,39$ kNm
- Hlava - K19 - max $N_{Ed} = -848,69$ kN; odp. $M_{Ed} = 53,29$ kNm
K20 - max $M_{Ed} = 62,25$ kNm; odp. $N_{Ed} = -824,33$ kN

10.1.2.1. Stĺp S3, S4, S5, S6, S7, S8



10.1.2.2. Záver

Na obrázku interakčných diagramov pre stĺpy S3, S4, S5, S6, S7, S8 je možné vidieť, že dané prierezy vyhovujú na účinok nízkej seizmicity (všetky body kombinácií pre dané stĺpy spadajú do vnútra obrazca).

10.1.3. 3-podlažný rám – vysoká seizmicita

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S1	Päta	-507,74	61,67	107,90
	Hlava	-500,01	61,67	-108,26
S2	Päta	-944,63	230,85	-495,15
	Hlava	-927,46	230,85	312,09

Tab. 10.1-3 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám – vysoká seizmicita

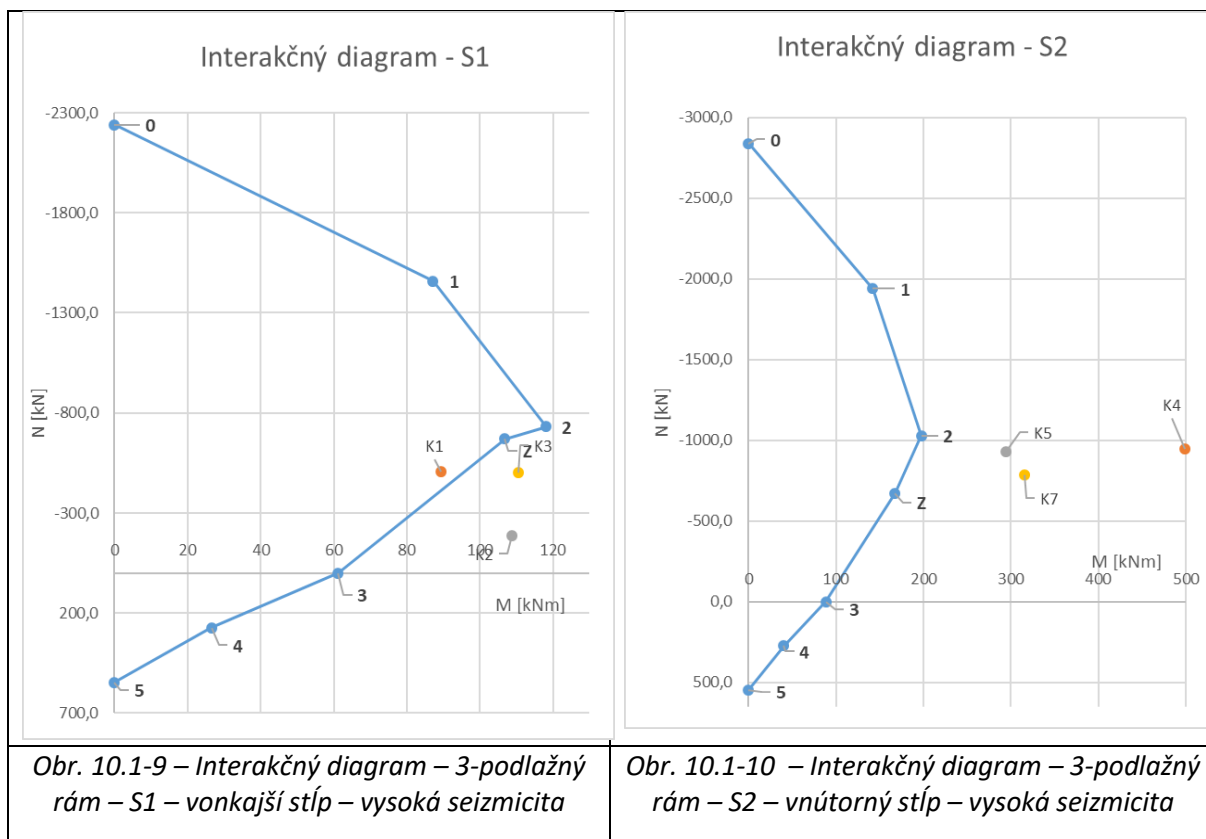
• Vonkajší stĺp – S1

- Päta – K1 - max N_{Ed} = -507,74 kN; odp. M_{Ed} = 87,05 kNm
K2 - max M_{Ed} = 107,90 kNm; odp. N_{Ed} = -188,90 kN
- Hlava - K3 - max N_{Ed} = -500,01 kN; max. M_{Ed} = 108,26 kNm

• Vnútorný stĺp – S2

- Päta – K4 - max N_{Ed} = -944,63 kN; max. M_{Ed} = 495,15 kNm
- Hlava - K5 - max N_{Ed} = -927,46 kN; odp. M_{Ed} = 290,40 kNm
K6 - max M_{Ed} = 312,09 kNm; odp. N_{Ed} = -782,03 kN

10.1.3.1. Stĺp S1, S2



10.1.3.2. Záver

Na obrázku interakčných diagramov pre stĺpy S1, S2 je možné vidieť, že dané prierezy nevyhovujú na účinok vysokej seizmicity (body kombinácií pre dané stĺpy nespadajú do vnútra obrazca).

10.1.4. 9-podlažný rám – vysoká seizmicita

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S3	Päta	-2133,04	-177,80	445,41
	Hlava	-2111,58	-177,80	-177,42
S4	Päta	-1252,90	-153,25	275,46
	Hlava	-1239,16	-153,25	-279,39
S5	Päta	-488,34	-68,75	111,96
	Hlava	-480,52	-68,75	-128,74
S6	Päta	-2680,86	-326,32	890,55
	Hlava	-2649,96	-326,32	253,68
S7	Päta	-1804,71	-276,11	472,56
	Hlava	-1783,25	-276,11	495,98
S8	Päta	-925,54	187,86	-313,11
	Hlava	-908,37	187,86	345,32

Tab. 10.1-4 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám – vysoká seizmicita

- **Vonkajší stĺp – S3**

- Päta – K1 - max $N_{Ed} = -2133,04$ kN; odp. $M_{Ed} = 396,54$ kNm
K2 - max $M_{Ed} = 445,41$ kNm; odp. $N_{Ed} = -282,88$ kN
- Hlava - K3 - max $N_{Ed} = -2111,58$ kN; max. $M_{Ed} = 177,42$ kNm

- **Vonkajší stĺp – S4**

- Päta – K4 - max $N_{Ed} = -1252,90$ kN; odp. $M_{Ed} = 171,74$ kNm
K5 - max $M_{Ed} = 257,46$ kNm; odp. $N_{Ed} = -289,37$ kN
- Hlava - K6 - max $N_{Ed} = -1239,16$ kN; max. $M_{Ed} = 279,39$ kNm

- **Vonkajší stĺp – S5**

- Päta – K7 - max $N_{Ed} = -488,34$ kN; max. $M_{Ed} = 55,06$ kNm
K8 - max $M_{Ed} = 111,96$ kNm; odp. $N_{Ed} = -236,83$ kN
- Hlava - K9 - max $N_{Ed} = -480,62$ kN; max. $M_{Ed} = 128,74$ kNm

- **Vnútorý stĺp – S6**

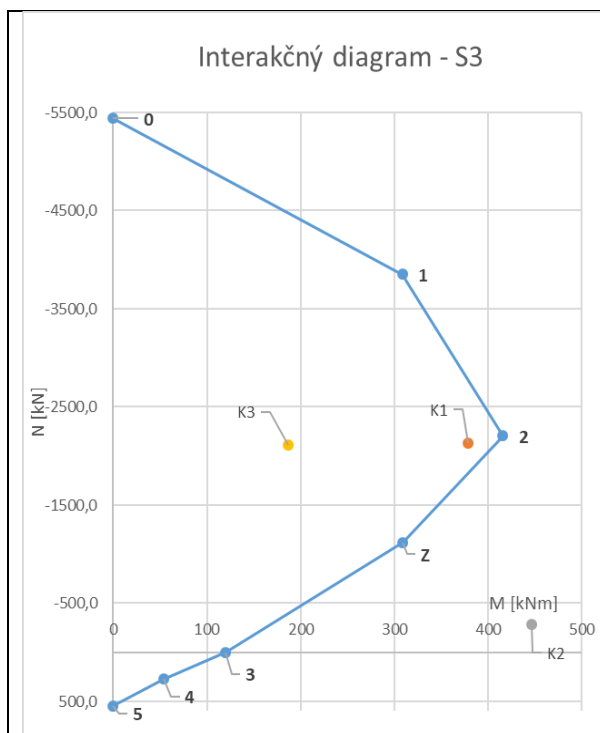
- Päta – K10 - max $N_{Ed} = -2680,86$ kN; odp. $M_{Ed} = 887,44$ kNm
K11 - max $M_{Ed} = 890,55$ kNm; odp. $N_{Ed} = -2422,32$ kN
- Hlava - K12 - max $N_{Ed} = -2649,96$ kN; odp. $M_{Ed} = 252,85$ kNm
K13 - max $M_{Ed} = 253,68$ kNm; odp. $N_{Ed} = -2391,42$ kN

- **Vnútorý stĺp – S7**

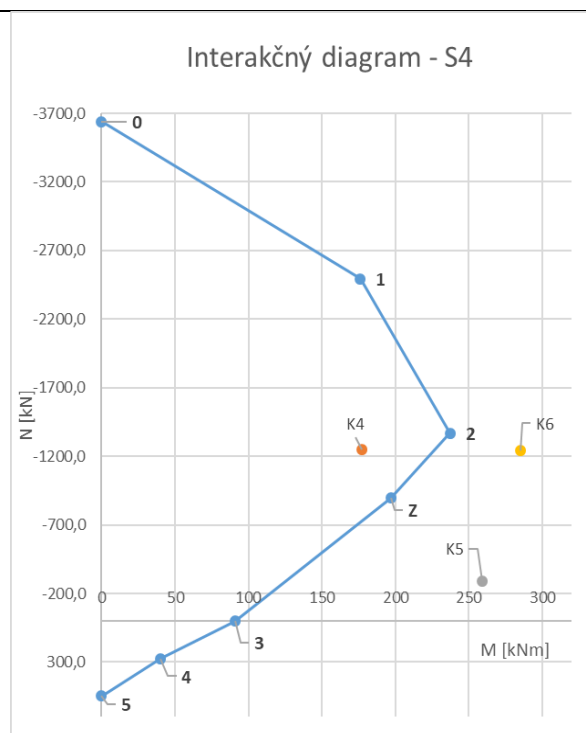
- Päta – K14 - max $N_{Ed} = -1804,71$ kN; odp. $M_{Ed} = 470,72$ kNm
K15 - max $M_{Ed} = 472,56$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1576,36$ kN
- Hlava - K16 - max $N_{Ed} = -1783,25$ kN; odp. $M_{Ed} = 495,16$ kNm
K17 - max $M_{Ed} = 495,98$ kNm; odp. $N_{Ed} = -1554,90$ kN

- **Vnútorý stĺp – S8**

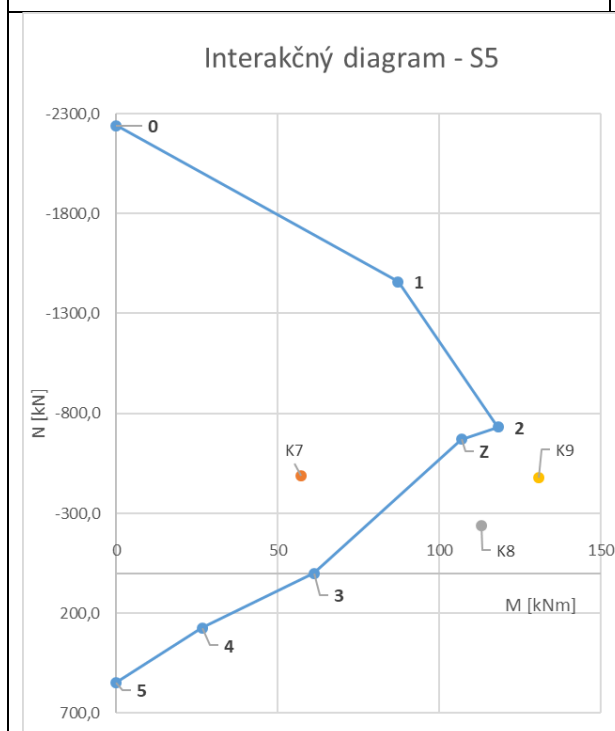
- Päta – K18 - max $N_{Ed} = -925,54$ kN; max. $M_{Ed} = 313,11$ kNm
- Hlava - K19 - max $N_{Ed} = -908,37$ kN; odp. $M_{Ed} = 336,35$ kNm
K20 - max $M_{Ed} = 345,32$ kNm; odp. $N_{Ed} = -764,64$ kN

10.1.4.1. Stĺpy S3, S4, S5, S6, S7, S8

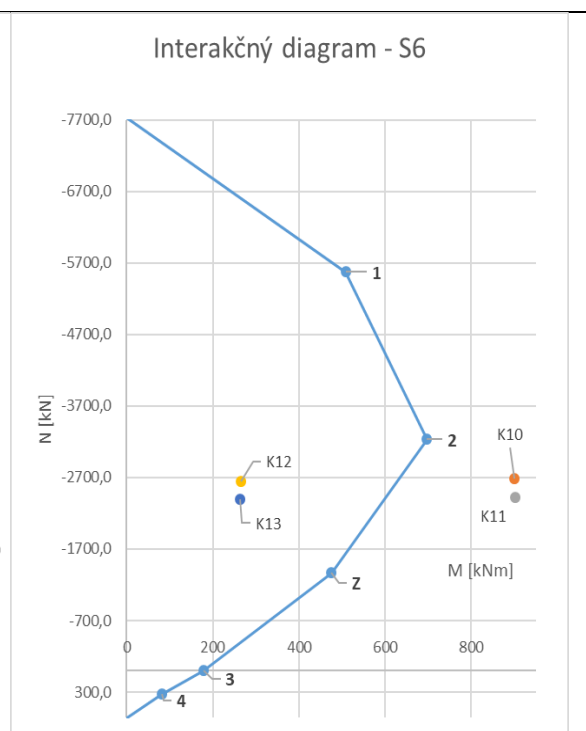
Obr. 10.1-11 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S3 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita



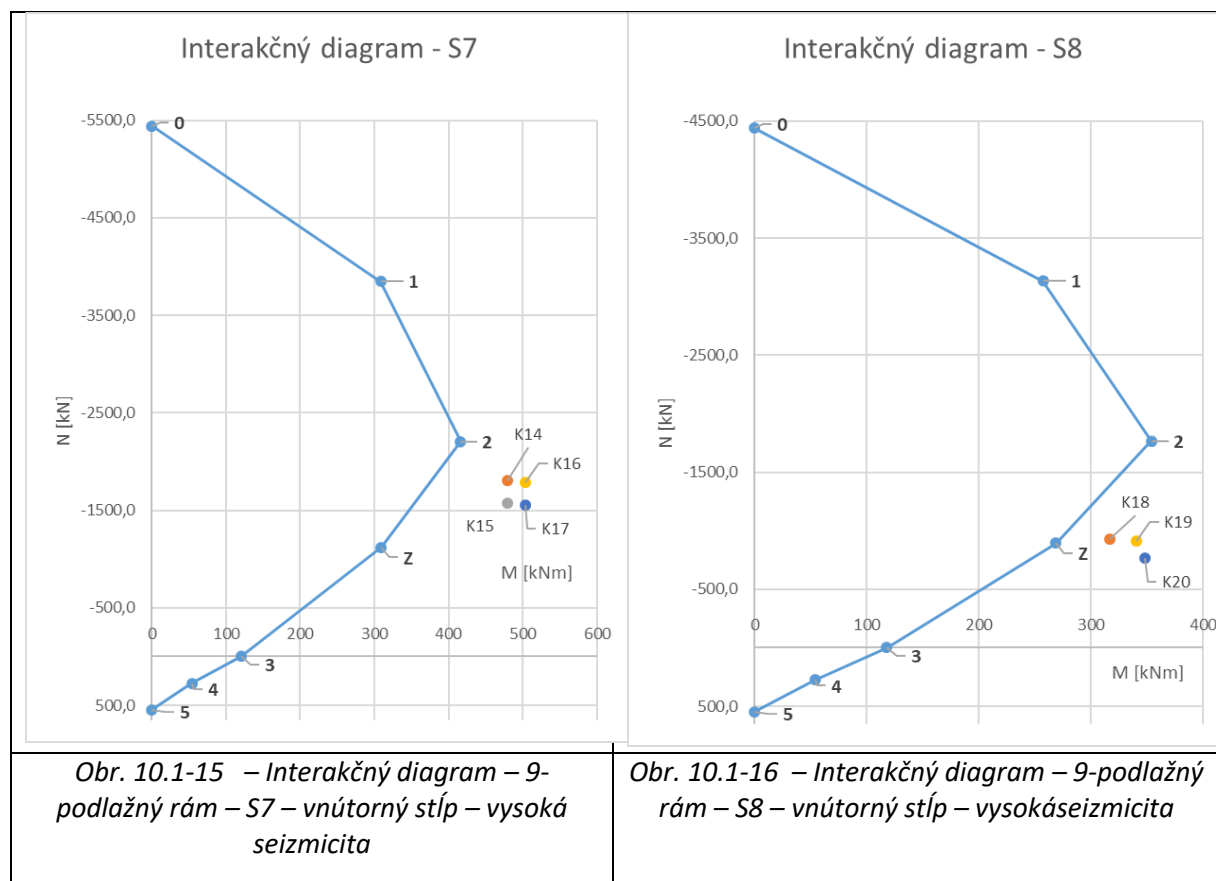
Obr. 10.1-12 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S4 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita



Obr. 10.1-13 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S5 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita



Obr. 10.1-14 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S6 – vnútorný stĺp – vysoká seizmicita



10.1.4.2. Záver

Na obrázku interakčných diagramov pre stĺpy S3, S4, S5, S6, S7, S8 je možné vidieť, že dané prierezy nevyhovujú na účinok vysokej seizmicity (body kombinácií pre dané stĺpy nespádajú do vnútra obrazca).

10.2. Účinok na priečle

10.2.1. 3-podlažný rám – nízka seizmicita

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
R1	Vľavo	-	121,42	-81,89
	Stred	-	-	92,25
	Vpravo	-	-157,34	-202,36
R2	Vľavo	-	146,48	-188,31
	Stred	-	-	64,84
	Vpravo	-	-143,81	-179,12

Tab. 10.2-1 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám - nízka seizmicita

10.2.1.1. Priečla R1, R2

Priečla R1				
<i>Rez</i>	<i>Výstuž</i>	<i>M_{Rd} [kNm]</i>	<i>M_{Ed,NS} [kNm]</i>	
Vľavo	4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ²	177,645	81,89	✓ vyhovuje
Stred	4φ18 – A _s = 10,179.10 ⁻⁴ m ²	222,935	92,25	✓ vyhovuje
Vpravo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	202,36	✓ vyhovuje

Tab. 10.2-2 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R1 – nízka seizmicita

Priečla R2				
<i>Rez</i>	<i>Výstuž</i>	<i>M_{Rd} [kNm]</i>	<i>M_{Ed,NS} [kNm]</i>	
Vľavo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	188,31	✓ vyhovuje
Stred	4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ²	179,743	64,84	✓ vyhovuje
Vpravo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	179,12	✓ vyhovuje

Tab. 10.2-3 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R2 – nízka seizmicita

10.2.1.2. Záver

Z porovnaní zhrnutých v tabuľkách je možné vidieť že prierezy priečlí R1, R2 vyhovujú na účinky vyvolané nízkou seizmicitou.

10.2.2. 9- podlažný rám – nízka seizmicita

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
R1	Vľavo	-	146,91	-108,75
	Stred	-	-	69,72
	Vpravo	-	-154,65	-204,24
R2	Vľavo	-	151,40	-200,78
	Stred	-	-	63,24
	Vpravo	-	-151,19	-200,08

Tab. 10.2-4 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám - nízka seizmicita

10.2.2.1. Priečla R1, R2

Priečla R1				
<i>Rez</i>	<i>Výstuž</i>	<i>M_{Rd} [kNm]</i>	<i>M_{Ed,NS} [kNm]</i>	
Vľavo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	108,75	✓ vyhovuje
Stred	4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ²	179,743	69,72	✓ vyhovuje
Vpravo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	204,24	✓ vyhovuje

Tab. 10.2-5 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R1 – nízka seizmicita

Priečla R2				
<i>Rez</i>	<i>Výstuž</i>	<i>M_{Rd} [kNm]</i>	<i>M_{Ed,NS} [kNm]</i>	
Vľavo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	200,78	✓ vyhovuje
Stred	4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ²	179,743	63,24	✓ vyhovuje
Vpravo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	200,08	✓ vyhovuje

Tab. 10.2-6 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R2 – nízka seizmicita

10.2.2.2. Záver

Z porovnaní zhrnutých v tabuľkách je možné vidieť že prierezy priečlí R1, R2 vyhovujú na účinky vyvolané nízkou seizmicitou.

10.2.3. 3-podlažný rám – vysoká seizmicita

<i>Označenie</i>	<i>Miesto</i>	<i>N [kN]</i>	<i>V [kN]</i>	<i>M [kNm]</i>
R1	Vľavo	-	182,89	-235,13
	Stred	-	-	101,79
	Vpravo	-	-218,80	-417,91
R2	Vľavo	-	236,19	-460,30
	Stred	-	-	64,91
	Vpravo	-	-223,52	-445,40

Tab. 10.2-7 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám - vysoká seizmicita

10.2.3.1. Priečla R1, R2

Priečla R1				
<i>Rez</i>	<i>Výstuž</i>	<i>M_{Rd} [kNm]</i>	<i>M_{Ed,VS} [kNm]</i>	
Vľavo	4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ²	177,645	235,13	X nevyhovuje
Stred	4φ18 – A _s = 10,179.10 ⁻⁴ m ²	222,935	101,79	✓ vyhovuje
Vpravo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	417,91	X nevyhovuje

Tab. 10.2-8 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R1 – vysoká seizmicita

Priečla R2				
<i>Rez</i>	<i>Výstuž</i>	<i>M_{Rd} [kNm]</i>	<i>M_{Ed,VS} [kNm]</i>	
Vľavo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	460,30	X nevyhovuje
Stred	4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ²	179,743	64,91	✓ vyhovuje
Vpravo	5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ²	361,426	445,40	X nevyhovuje

Tab. 10.2-9 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R2 – vysoká seizmicita

10.2.3.2. Záver

Z porovnaní zhrnutých v tabuľkách je možné vidieť že prierezy priečlí R1, R2 nevyhovujú na účinky vyvolané nízkou seizmicitou.

10.2.4. 9-podlažný rám – vysoká seizmicita

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
R1	Vľavo	-	264,24	-532,14
	Stred	-	-	70,33
	Vpravo	-	-271,98	-555,84
R2	Vľavo	-	271,25	-560,50
	Stred	-	-	63,40
	Vpravo	-	-271,04	-559,46

Tab. 10.2-10 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám - vysoká seizmicita

10.2.4.1. Priečla R1, R2

Priečla R1				
Rez	Výstuž	M_{Rd} [kNm]	$M_{Ed,VS}$ [kNm]	
Vľavo	$5\phi 22 - A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	361,426	532,14	X nevyhovuje
Stred	$4\phi 16 - A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	179,743	70,33	✓ vyhovuje
Vpravo	$5\phi 22 - A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	361,426	555,84	X nevyhovuje

Tab. 10.2-11 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R1 – vysoká seizmicita

Priečla R2				
Rez	Výstuž	M_{Rd} [kNm]	$M_{Ed,VS}$ [kNm]	
Vľavo	$5\phi 22 - A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	361,426	560,50	X nevyhovuje
Stred	$4\phi 16 - A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	179,743	63,40	✓ vyhovuje
Vpravo	$5\phi 22 - A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	361,426	559,46	X nevyhovuje

Tab. 10.2-12 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R2 – vysoká seizmicita

10.2.4.2. Záver

Z porovnaní zhrnutých v tabuľkách je možné vidieť že prierezy priečlí R1, R2 nevyhovujú na účinky vyvolané nízkou seizmicitou.

10.2.5. Zhrnutie

Pri porovnaní účinkov nízkej a vysokej seizmicity s účinkami medzného stavu únosnosti (MSÚ – kombinácie 6.10a a 6.10b) je možné vidieť potvrdenie predpokladu o tom, že nízka seizmicita (na území Českej republiky) spôsobuje menšie účinky ako MSÚ, v ktorom sa počíta s klimatickým zaťažením a to znamená, že všetky prierezy na oboch rámoch na účinky nízkej seizmicity vyhovujú. Kdežto v účinkoch vyvolaných vyšokou seizmicitou už je viditeľný výrazný vzrast ohybových momentov a posúvajúcich síl, či už na stĺpoch alebo na priečlach v oboch konštrukciách rámov, na ktoré nevyhoveli ani jeden prierez v oboch rámoch.

Vzhľadom na to, že konštrukcie na účinky vysokej seizmicity nevyhoveli je nutné navrhnúť sanačný (stužujúci) systém, ktorý zmenší účinky a dané prierezy následnej vyhovujú.

Voľba sanačného (stužujúceho) systému vychádza z kapitoly 4. Vyšetrovanie seizmických parametrov ŽB rámu excentrickým stužením s vertikálnymi spojkami [1], [2].

11. Ocel'ové excentrické stuženie – sanačný seizmický systém

11.1. Požiadavky pre posúdenie prvkov konštrukcie na MSÚ

Všetky prvky konštrukcie (nosné aj nenosné časti) musia byť posúdené na návrhovú seizmickú situáciu, vzhľadom k tomu, že kolaps nenosného prvku by mohol ohroziť osoby alebo ovplyvniť únosnosť nosných prvkov a to ako z pohľadu navýšenia účinkov na nosný prvok, tak aj z pohľadu možného mechanického porušenia nosných častí.

Posúdenie konštrukcie na medzný stav únosnosti pri návrhovom seizmickom zaťažení zahrňuje podmienky týkajúce sa odolnosti, duktility, rovnováhy, stability základov a seizmických stykov.

- **Podmienka odolnosti :**

- túto podmienku musia splňovať všetky časti konštrukcie, vrátane spojov
- je daná vzťahom :

$$E_d \leq R_d$$

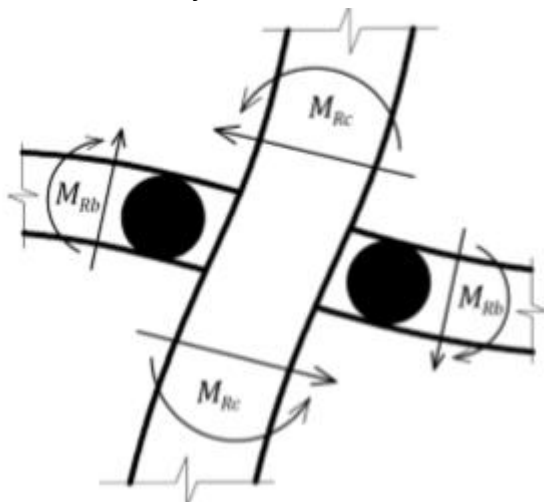
kde

E_d návrhová hodnota účinkov seizmického zaťaženia pri návrhovej seizmickej situácii vrátane účinkov 2. rádu (P- Δ efekt)

R_d návrhová odolnosť prvku, ktorá je daná pravidla pre použitý materiál a je špecifikovaná príslušnými Eurokódmi a prípadnými dodatkami v EC8

- **Podmienka celkovej a lokálnej duktility :**

- musí byť overené, či prvky konštrukcie ale aj celá konštrukcia má primeranú duktilitu, ktorú projekt predpokladal pri návrhu
- musia byť splnené špecifické požiadavky na materiál
- u viacpodlažných budov s rámovým pôsobením musí byť zabránené vytvoreniu plastického mechanizmu v mäkkom podlaží, táto požiadavka musí byť overená na základe nasledujúceho obrázku a vzťahu



$$\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \Sigma M_{Rb}$$

kde

ΣM_{Rc} je súčet ohybovej pevnosti stĺpov vytvárajúcich styk

ΣM_{Rb} je súčet plastických momentov na konci nosníkov (prievlakov) pripojených do stĺpov

Obr. 11.1-1 – Podmienka odolnosti stĺpov

11.1.1. Zvláštne pravidlá pre betónové pozemné stavby

11.1.1.1. Koncepcia navrhovania pre kapacitu rozptylu energie a triedy duktility

Navrhovanie betónových stavieb odolných proti zemetraseniu musí konštrukcií zaistiť príslušnú kapacitu pre rozptyl energie bez podstatného zníženia odolnosti pri horizontálnom a vertikálnom zaťažení. Prito platia požiadavky a kritéria podľa kapitoly 3.2 Navrhovanie konštrukcií na seizmicitu podľa európskych noriem. V návrhovom seizmickom zaťažení musia byť zohľadnené príslušné odolnosti všetkých nosných prvkov.

Betónové stavby odolné proti zemetraseniu musia byť navrhnuté tak, aby bola zaistená kapacita rozptylu energie a celkové duktilné chovanie. Celkové duktilné chovanie znamená, že k plastickým deformáciám dochádza vo veľkej časti konštrukcie v rôznych jej prvkoch a vo všetkých podlažiach. Preto pretvárne tvary porúch (napríklad ohyb) majú s dostatočnou spoľahlivosťou predchádzať tvarom krehkých porúch (napríklad šmyk).

11.1.1.2. Pravidlo kapacitného návrhu

Vznik krehkého lomu alebo iných nežiadúcich mechanizmov porušenia (napríklad sústredenie plastických kĺbov v stĺpoch jedného podlažia viacpodlažnej budovy, šmykové porušenie nosných prvkov, porucha stykov nosník-stĺp, splastizovanie základov) musí byť zabránené tým, že sa z podmienok rovnováhy stanovia účinky návrhového zaťaženia vo vybraných oblastiach za predpokladu, že v týchto oblastiach došlo k vzniku plastických kĺbov a k ich možnému navýšeniu pevnosti.

11.1.1.3. Podmienka lokálnej duktility

Aby bolo dosiahnuté požadovanej celkovej duktility konštrukcie, musia potenciálne oblasti pre vytvorenie plastických kĺbov, ktoré budú definované neskôr pre každý typ prvku stavby, mať veľkú plastickú kapacitu v pootáčaní.

11.1.1.4. Kritéria pre navrhovanie rámov s excentrickým stužením

Rámy s excentrickým stužením sú navrhnuté tak, aby vo vybraných nosných prvkoch vznikali takzvané spojovacie články, ktoré sú schopné rozptylovať energiu vytvorením plastického ohybového alebo šmykového mechanizmu. V spojovacích článkoch musí dôjsť k prekročeniu medze klzu skôr ako v ktoromkoľvek inom nosnom prvku. Zásadnou úlohou u týchto typov konštrukcií je práve návrh spojovacieho článku.

- ***Seizmické spojovacie články :***

Spojovacie články by mali byť navrhnuté ako jednostenné (predpoklad I profil) bez ďalších výstužných dosiek a bez otvorov alebo prestupov.

Seizmické spojovacie články sa delia na nasledujúce 3 kategórie podľa typu vývoja plastického mechanizmu :

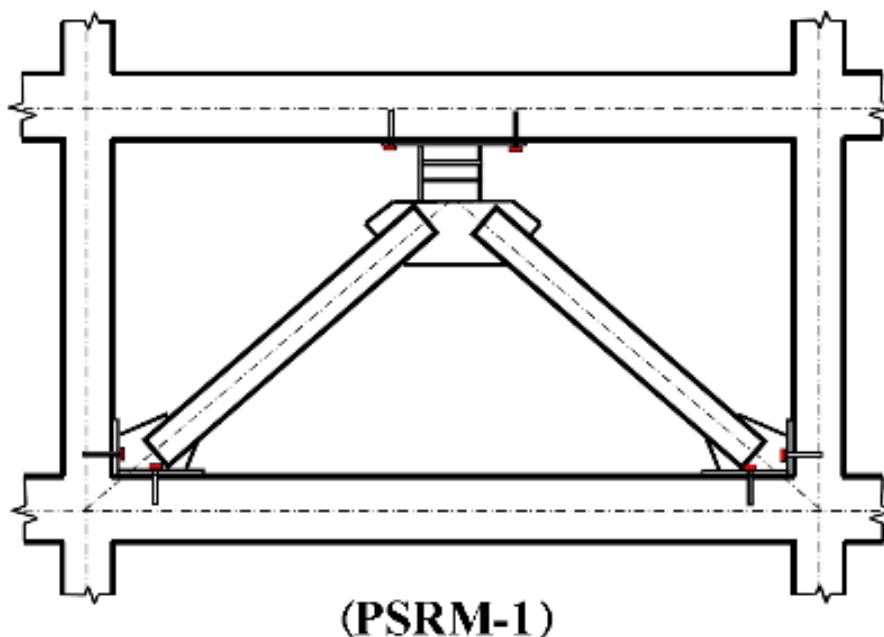
- krátke články – disipujú energiu prevažne splastizovaním v šmyku
- dlhé články – disipujú energiu prevažne splastizovaním v ohybe

- stredné články – plastický mechanizmus zahrňuje ohyb aj šmyk

11.2. Analýza stužidla

Zvolené excentrické stuženie bolo skúmané v 3 rôznych umiestneniach na danom ráme a následne boli porovnané zmeny účinkov vysokej seizmicity na konštrukcii rámov aby vznikli čo najmenšie rozdiely medzi účinkami od MSÚ a účinkami vysokej seizmicity.

11.2.1. Geometria excentrického stužidla



Obr. 11.2-1 – Geometria excentrického stužidla

Jedná sa o prípad kedy spojovací článok a stužidlá sú priamo spojené so ŽB prvkami prostredníctvom oceľových dosiek pomocou skrutiek a epoxidovej injektáže → uvažované ako tuhé spojenie.

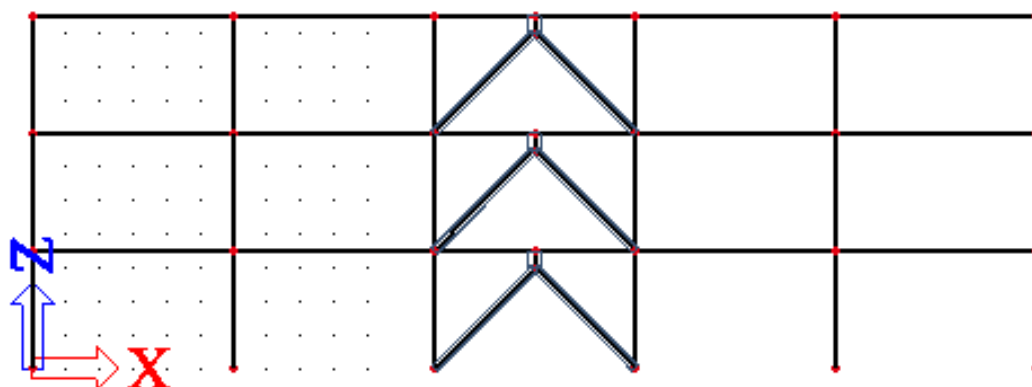
11.2.1.1. 3-podlažný rám

Podlažie	Typ prvku	Prierez
1-3	Stužidlo	2UNP240
1-3	Spojovací článok	IPE400
	Dĺžka článku	e = 500 mm

Tab. 11.2-1 – Detaily excentrického stužidla – 3-podlažný rám

- Varianta 1 :**

Stužidlo v stredovej časti rámu



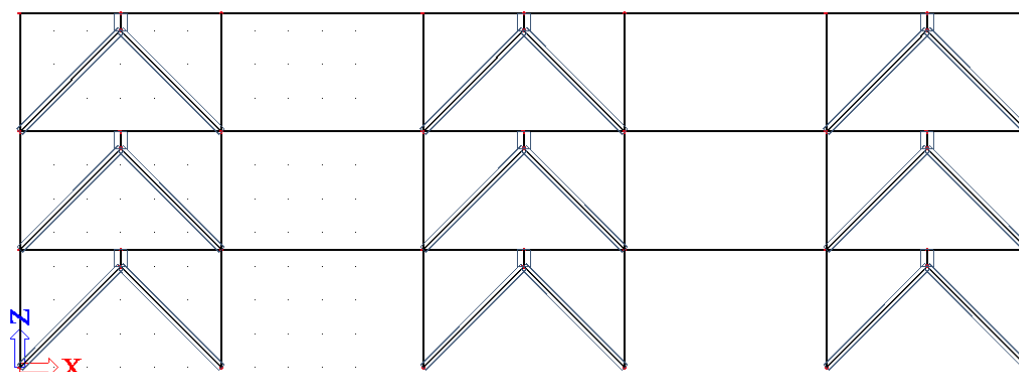
Obr. 11.2-2 – Geometria excentrického stužidla – 3-podlažný rám – varianta 1

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S1	Päta	-397,62	29,53	45,84
	Hlava	-389,89	29,53	-53,00
S2	Päta	-906,62	88,86	-182,12
	Hlava	-889,46	88,86	124,83
S2' - v mieste stužidla	Päta	-1347,22	110,21	-200,38
	Hlava	-1330,05	110,21	164,80
R1	Vľavo	-	134,18	-111,63
	Stred	-	-	91,93
	Vpravo	-	-170,30	-244,82
R2	Vľavo	-	168,35	-247,95
	Stred	-	-	70,02
	Vpravo	-	-159,00	-211,30

Tab. 11.2-2 – Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 3-podlažný rám – varianta 1

- Varianta 2 :**

Stužidlo v okrajových a stredných častiach rámu



Obr. 11.2-3 - Geometria excentrického stužidla – 3-podlažný rám – varianta 2

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S1	Päta	-562,65	10,79	18,56
	Hlava	-554,70	10,79	-19,21
S2	Päta	-1025,16	-55,16	100,13
	Hlava	-1007,99	-55,16	-92,25
R1	Vľavo	-	80,50	89,77
	Stred	-	103,43	39,76/-106,67
	Vpravo	-	-113,61	-113,68
R2	Vľavo	-	141,42	-162,02
	Stred	-	-	39,52/-90,40
	Vpravo	-	-141,51	-114,71

Tab. 11.2-3 - Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 3-podlažný rám – varianta 2

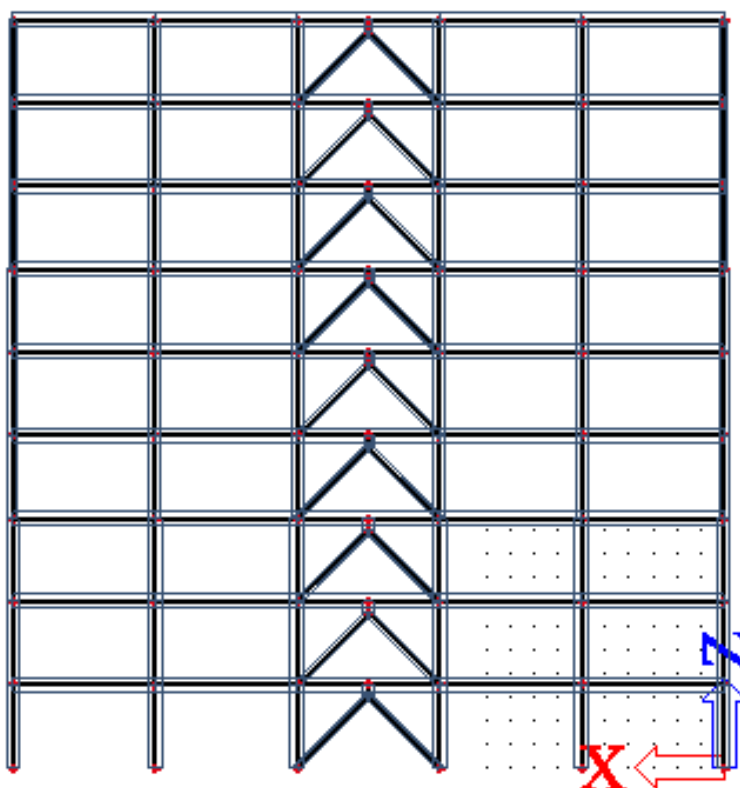
11.2.1.2. 9-podlažný rám

Podlažie	Typ prvku	Prierez
1-9	Stužidlo	2UNP280
1-3	Spojovací článok	IPE450
	Dĺžka článku	$e = 500$ mm
4-6	Spojovací článok	IPE400
	Dĺžka článku	$e = 500$ mm
7-9	Spojovací článok	IPE360
	Dĺžka článku	$e = 500$ mm

Tab. 11.2-4 – Detaily excentrického stužidla – 9-podlažný rám

- Varianta 1 :**

Stužidlo v stredovej časti rámu



Obr. 11.2-4 - Geometria excentrického stužidla – 9-podlažný rám – varianta 1

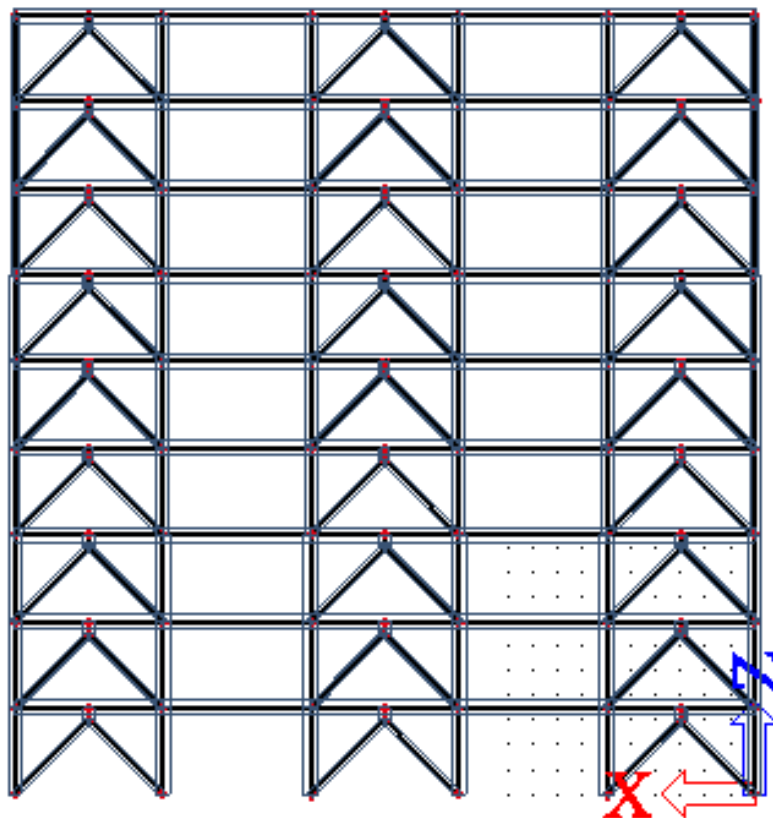
Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S3	Päta	-1788,94	-132,68	309,33
	Hlava	-1767,48	-132,68	155,27
S4	Päta	-1091,85	96,38	-162,70
	Hlava	-1078,12	96,38	174,78
S5	Päta	-459,31	51,74	-84,55
	Hlava	-451,59	51,74	96,54
S6	Päta	-2864,02	-239,49	-611,86
	Hlava	-2833,11	-239,49	226,72
S7	Päta	-1952,55	165,83	-285,53
	Hlava	-1931,09	165,83	295,18
S8	Päta	-1005,84	-142,27	240,35
	Hlava	-988,67	-142,27	-257,70
S6' - v mieste stužidla	Päta	-6609,34	-279,32	656,39
	Hlava	-6578,53	-279,32	321,54
S7' - v mieste stužidla	Päta	-3276,36	-187,43	321,32
	Hlava	-3254,90	-187,43	-335,07

S8' - v mieste stužidla	Päta	-985,03	-144,11	244,91
	Hlava	-967,86	-144,11	-259,57
R1	Vľavo	-	-208,89	-336,91
	Stred	-	-	69,57
	Vpravo	-	216,16	-388,77
R2	Vľavo	-	-222,27	-413,66
	Stred	-	-	68,76
	Vpravo	-	-217,16	-392,50

Tab. 11.2-5 - Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 9-podlažný rám – varianta 1

- Varianta 2 :**

Stužidlo v okrajových a stredných častiach rámu



Obr. 11.2-5 - Geometria excentrického stužidla – 9-podlažný rám – varianta 2

Označenie	Miesto	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
S3	Päta	-3765,35	77,81	-178,80
	Hlava	-3743,89	77,81	93,72
S4	Päta	-1951,77	35,93	-63,63
	Hlava	-1938,04	35,93	62,20
S5	Päta	-575,62	14,11	-23,92
	Hlava	-567,89	14,11	25,48
S6	Päta	-4183,72	170,73	-380,64
	Hlava	-4152,81	170,73	217,05
S7	Päta	-2194,17	114,70	-196,34
	Hlava	-2172,71	114,70	205,05
S8	Päta	-812,06	100,45	-171,77
	Hlava	-794,89	100,45	179,84
R1	Vľavo	-	-138,19	-148,63
	Stred	-	163,75	107,65/-218,31
	Vpravo	-	161,00	-189,70
R2	Vľavo	-	-178,83	-277,35
	Stred	-	-51,99	68,89
	Vpravo	-	177,66	-274,44

Tab. 11.2-6 - Vnútorne sily s excentrickým stúžidlom – 9-podlažný rám – varianta 2

11.2.1. Porovnanie

S2 – Päta stípu						
	N [kN]	%	V [kN]	%	M [kNm]	%
3-podl. rám – MSÚ	-1667,35		29,87		-57,15	
3-podl. rám - NS	-884,24	-53%	42,82	+69%	-88,0	+65%
3-podl. rám - VS	-944,63	-57%	230,85	+129%	-495,15	+115%
3-pod. rám – stuženie – Var.1	-1347,22	-24%	110,21	+73%	-200,38	+71%
3-pod. rám – stuženie – Var.2	-1025,16	-39%	-55,16	+56%	100,13	+43%

R1 – ľavá podpora						
	N [kN]	%	V [kN]	%	M [kNm]	%
3-podl. rám – MSÚ	-		211,39		-102,93	
3-podl. rám - NS	-		121,42	-43%	-81,89	-20%
3-podl. rám - VS	-		182,89	-14%	-235,13	+59%
3-pod. rám – stuženie – Var.1	-		134,18	-36%	-111,63	+8%
3-pod. rám – stuženie – Var.2	-		80,50	-62%	89,77	-13%

R1 – stred poľa						
	N [kN]	%	V [kN]	%	M [kNm]	%
3-podl. rám – MSÚ	-		-		175,84	
3-podl. rám - NS	-		-		92,25	-48%
3-podl. rám - VS	-		-		101,79	-42%
3-pod. rám – stuženie – Var.1	-		-		91,96	-48%
3-pod. rám – stuženie – Var.2	-		103,43	+100%	39,76/ -106,67	-77%/ +100%

Tab. 11.2-7 – Porovnanie vnútorných síl a percentuálnej zemyn na vybraných prvkoch 3-podlažného rámu

S6 – Päta stípu						
	N [kN]	%	V [kN]	%	M [kNm]	%
9-podl. rám – MSÚ	-3931,31		91,30		229,11	
9-podl. rám - NS	-2573,50	-35%	55,58	-39%	152,23	-34%
9-podl. rám - VS	-2680,86	-32%	326,32	+257%	890,55	+289%
9-pod. rám – stuženie – Var.1	-6609,34	+68%	279,32	+206%	656,39	+178%
9-pod. rám – stuženie – Var.2	-4183,72	+6%	170,73	+87%	380,64	+66%

R1 – ľavá podpora						
	N [kN]	%	V [kN]	%	M [kNm]	%
9-podl. rám – MSÚ	-		208,95		-246,65	
9-podl. rám - NS	-		146,91	-30%	-108,75	-56%
9-podl. rám - VS	-		264,24	+26%	-532,14	+116%
9-pod. rám – stuženie – Var.1	-		208,89	-	-336,91	+37%
9-pod. rám – stuženie – Var.2	-		-38,19	-82%	-148,63	-40%

R1 – stred poľa						
	N [kN]	%	V [kN]	%	M [kNm]	%
9-podl. rám – MSÚ	-		-		112,81	
9-podl. rám - NS	-		-		69,72	-38%
9-podl. rám - VS	-		-		70,33	-38%
9-pod. rám – stuženie – Var.1	-		-		69,57	-38%
9-pod. rám – stuženie – Var.2	-		163,75	+100%	107,65/- 218,31	- 5%/+100%

Tab. 11.2-8 – Porovnanie vnútorných síl a percentuálnej zemyn na vybraných prvkoch 9-podlažného rámu

12. Záver

Úlohou tejto práce bola analýza a overenie účinnosti oceľového stuženia na účinky seizmického zaťaženia ako dodatočný sanačný systém konštrukcie.

Zvolené boli dva typy seizmického zaťaženia a to nízka seizmicita (vybraná ako najvyššia možná pôsobiaca v Českej republike) a vysoká seizmicita (vybratá z Grécka z Kefalónie). Aplikáciou na koštrukciu a následnou analýzou vo výpočtovom programe bol overený predpoklad, že nízka seizmicita má na konštrukciu nižšie výsledné účinky ako zaťaženie pôsobiace v medznom stave únosnosti práve z dôvodu vylúčenia klimatického zaťaženia pri seizmicite.

Vplyvom zaťaženia vysokou seizmicitou došlo k nárastu vnútorných síl na stĺpoch a priečlách, a to tak ako v prípade 3-podlažného tak aj v prípade 9-podlažného rámu, čím došlo k prekročeniu medzného stavu únosnosti prvkov, ktoré boli dimenzované na účinky štandardného zaťaženia. Z tohto dôvodu bolo nutné navrhnuť opatrenia, ktoré zvýšia tuhosť a stabilitu celej konštrukcie. Jednou z možných a bežne používaných metód, často zmieňovaných aj v odbornej literatúre [1], [2], ktoré sú aj podkladom tejto práce, je využitie dodatočných vkladných oceľových stužidiel – excentrické stuženie so zvislými článkami. Toto stuženie bolo použité v dvoch variantách, a to jedno stužidlo v prostrednom poli konštrukcie a ďalej potom 3 stužidlá v dvoch krajných poliach a v prostrednom poli.

Obe varianty majú svoje výhody aj nevýhody. Výhody 1. varianty je hlavne to, že má pri zosilenej konštrukcie bude maximálne zachovaná priestorová variabilnosť z dôvodu minimálneho zásahu do konštrukcie a minimálneho obmedzenia priestoru. Avšak podľa očakávania je vplyv na správanie konštrukcie, teda ovplyvnenie / redukcia vnútorných síl od účinkov seizmicity, nižšia ako v prípade varianty s viacerými stužidlami. Varianta 2 teda prináša tuhší systém, ktorý bude lepšie odolávať účinkom zemetrasenia, avšak z dôvodu použitia väčšieho počtu stužidiel je negatívne ovplyvnená priestorová variabilnosť objektu.

Avšak obidve použité varianty nezaistia úplnú sanáciu objektu proti účinkom vysokej seizmicity. Pri variante 1 sa síce znížia vnútorné sily v konštrukcii, ale jednotlivé stĺpy stále nevyhovujú tzn. museli by sa dodatočne stužiť. Pri variante 2 síce stĺpy už vyhovujú na účinky vysokej seizmicity, ale na jednotlivých priečlách dôjde ku zmenám účinkov vnútorných síl a to tak, že v podporách okrem záporných ohybových momentov začnú z dôvodu seizmicity vznikať aj kladné ohybové momenty a to znamená, že už vo fázi navrhovania a dimenzovania prierezov na MSÚ od štandardného zaťaženia by sa muselo predbežne uvažovať s úpravami vyztuženia, napríklad dolná výstuž by musela byť zakotvená v oblasti podpôr na kotevnú dĺžku, prípadne by musela byť pridaná ďalšia dodatočná výstuž, ktorá by prenášala kladný moment, alebo sa prípadne iným spôsobom upravila nedostatočne zakotvená výstuž. Navyiac pri oboch variantách vzniká v strede poľa, kde sa nachádza stuženie na priečly záporný ohybový moment a posúvajúce sily, na ktoré by museli byť horizontálne prvky opäť buďto predom alebo dodatočne vystužené.

Pri návrhu excentrického stuženia je kladený dôraz predovšetkým na vhodný návrh seizmických spojovacích článkov, v ktorých je predpokladaný vznik plastického mechanizmu.

Tohto chovania môže byť docielené zmenšením profilov a znížením pevnosti materiálov samotného seizmického spojovacieho článku, čím je zaručené, že k plastickým deformáciám dôjde práve v jednotlivých článkoch.

Ani jedny z uvedených nevýhôd, teda dodatočné navýšenie niektorých vnútorných síl na prierezoch a nutnosť dodatočne dovystužiť železobetónovú konštrukciu, nie sú natoľko významne a negatívne vplyvy, na rozdiel od výrazného zníženia účinkov od vysokej seizmicity, ktoré sú spôsobené dodatočným zosílením konštrukcie excentrickým stužením so zvislými článkami. Môžeme teda použitie tejto metódy zosilovania považovať za vhodný systém sanácie konštrukcií vystavených mimoriadnym účinkom seizmického zaťaženia.

13. Literatura

- [1] – Article no. 43 – The Civil Engineering Journal 4-2018; Faramarz Noruzi, Heydar Dashti Naserabadi, Hosein Nematian Jelodar, Hosein Dorvar
- [2] – Engineering Structures 23 (2001) 745-755; A. Ghobarah, H. Abou Elfath
- [3] – Koloušek V.: Dynamika stavebních konstrukcí, část 1. SNTL Praha, 1954.
- [4] – Náprstek J., Fischer C.: Non-stationary response of structures excited by random seismic processes with time variable frequency content. Jour. of Soil Dynamics and Earthquake Eng. 22, (July 2002), pp. 1143-1150.
- [5] – ČSN EN 1998-1. Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [6] - Čada, Zdeněk. Vliv technické a přírodní seizmicity na stavební konstrukce se zaměřením na konstrukce ze zdících materiálů. Brno : autor neznámý, 2013. str. 31. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavební mechaniky.
- [7] Come funzionano i sismografi. <http://lnx.sinapsi.org/>. [Online] <http://lnx.sinapsi.org/wordpress/2015/11/09/come-funzionano-i-sismografi/>.
- [8] - Máca, Jiří. Odezva konstrukcí na seizmické zatížení. 2015.
- [9] - Ammon, Charles J. An Introduction to Plate Tectonics. <http://eqseis.geosc.psu.edu/>. [Online] 7 2001. [Citace:] http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/plate_tect01.html
- [10] – EUROKÓD 8 pro zemětřesení. Salajka, Vlastislav. 2010.
- [11] – Mapa seizmických oblastí České republiky; Schenk a Schenková, Praha 2005, (ČSN EN 1998-1, 2006)
- [12] - ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování. Praha : Český normalizační institut, 2003.
- [13] – [Federal Emergency Management Agency](http://www.fema.gov) (FEMA356). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Washington DC, 2000.
- [14] - Badoux M, Jirsa JO., 1990. Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting. Journal of structural engineering, 116(1): 55–74.

14. Zoznam obrázkou

Obr. 3.1-1 Magnitúdo [6]	9
Obr. 3.1-2 Princíp seizmometra [7]	10
Obr. 3.1-3 – Seizmograf s priebehom a tvarom jednotlivých pôsobiacich vln [8]	11
Obr. 3.1-4 – Mapa zemetrasných oblastí [9]	12
Obr. 3.1-5 - Mapa seizmických oblastí ČR [11]	15
Obr. 3.2-1 – Duktilita konštrukcie	18
Obr. 3.2-2 – Zjednodušená schéma duktilného chovania konštrukcie	18
Obr. 3.2-3 – Princíp návrhu na kapacitu	19
Obr. 3.2-4 – Disipácia konštrukcie	19
Obr. 3.2-5 – Príklad spektra odozvy	21
Obr. 3.2-6 – Tvar spektra pružnej odozvy	23
Obr. 3.2-7 – Graf závislosti pružne-plastickej sily F^* na posune u^*	28
Obr. 4.1-1 – Detaily jednotlivých sanačných systémov	30
Obr. 4.2-1 – Schematický rez rámov	32
Obr. 5.1-1 – Schéma 3-podlažného rámu v pohľade	34
Obr. 5.1-2 – Schéma 3-podlažného rámu v pôdoryse	35
Obr. 5.2-1 - 3-podlažný rám – ZS1 – Vlastná tiaž	36
Obr. 5.2-2 – 3-podlažný rám – ZS2 – Ostatné stále zaťaženie	36
Obr. 5.2-3 – 3-podlažný rám – ZS3 – Úžitné zaťaženie – plné	37
Obr. 5.2-4 – 3-podlažný rám – ZS4 – Úžitné zaťaženie – šach 1	37
Obr. 5.2-5 – 3-podlažný rám – ZS5 – Úžitné zaťaženie – šach 2	38
Obr. 5.2-6 – 3-podlažný rám – ZS6 – Zaťaženie snehom	38
Obr. 5.2-7 – Referenčná výška budovy a legenda pre zvislé steny pre 3- podlažný rám .	40
Obr. 5.2-8 – Referenčné plochy 3-podlažného rámu	40
Obr. 5.2-9 – Tlak vetra na 3-podlažný rám a jednotlivé sily od vetra	41
Obr. 5.2-10 – 3-podlažný rám – ZS7 – Zaťaženie vetrom – zľava	42
Obr. 5.2-11 – 3-podlažný rám – ZS8 – Zaťaženie vetrom – sprava	42
Obr. 5.3-1 – Schéma 9-podlažného rámu v pohľade	43
Obr. 5.3-2 – Schéma 9-podlažného rámu v pôdoryse	44
Obr. 5.4-1 - 9-podlažný rám – ZS1 – Vlastná tiaž	45
Obr. 5.4-2 – 9-podlažný rám – ZS2 – Ostatné stále zaťaženie	46
Obr. 5.4-3 – 9-podlažný rám – ZS3 – Úžitné zaťaženie – plné	47
Obr. 5.4-4 – 9-podlažný rám – ZS4 – Úžitné zaťaženie – šach 1	48
Obr. 5.4-5 – 9-podlažný rám – ZS5 – Úžitné zaťaženie – šach 2	49
Obr. 5.4-6 – 9-podlažný rám – ZS6 – Zaťaženie snehom	50
Obr. 5.4-7 – Referenčná výška budovy a legenda pre zvislé steny pre 9-podlažný rám ..	53
Obr. 5.4-8 – Referenčné plochy 9-podlažného rámu	54
Obr. 5.4-9 – Tlak vetra na 3-podlažný rám a jednotlivé sily od vetra	55
Obr. 5.4-10 – 9-podlažný rám – ZS7 – Zaťaženie vetrom – zľava	56

Obr. 5.4-11 – 9-podlažný rám – ZS8 – Zaťaženie vetrom – sprava	57
Obr. 6.1-1 – 3-podlažný rám - Vlastný tvar kmitu č.1	59
Obr. 6.1-2 – 3-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.2	59
Obr. 6.1-3 – 3-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.3	60
Obr. 6.1-4 – 9-podlažný rám - Vlastný tvar kmitu č.1; Vlastný tvar kmitu č.2	61
Obr. 6.1-5 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.3; Vlastný tvar kmitu č.4	62
Obr. 6.1-6 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.5; Vlastný tvar kmitu č.6	62
Obr. 6.1-7 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.7; Vlastný tvar kmitu č.8	63
Obr. 6.1-8 – 9-podlažný rám – Vlastný tvar kmitu č.9	63
Obr. 6.1-9 – 9-podlažný rám – nízka seizmicita - vstupné parametre a vygenerovaný tvar spektra odozvy zo softwaru Scia Engineer	64
Obr. 6.1-10 – Návrhové spektrum – duktilita $q=2$; $q=4$; $q=6$	64
Obr. 6.1-11 – 3-podlažný rám – vysoká seizmicita - vstupné parametre a vygenerovaný tvar spektra odozvy zo softwaru Scia Engineer.....	65
Obr. 6.1-12 – 9-podlažný rám – ZS9 – Seizmické zaťaženie X.....	66
Obr. 8.1-1 – MSÚ – 3-podlažný rám – N – normálové sily	69
Obr. 8.1-2 – MSÚ – 3-podlažný rám – V – posúvajúce sily	69
Obr. 8.1-3 – MSÚ – 3-podlažný rám – M – ohybové momenty	70
Obr. 8.1-4 – Nízka seizmicita – 3-podlažný rám – N – normálové sily	70
Obr. 8.1-5 - Nízka seizmicita – 3-podlažný rám – V – posúvajúce sily	71
Obr. 8.1-6 - Nízka seizmicita – 3-podlažný rám – M – ohybové momenty	71
Obr. 8.1-7 - Vysoká seizmicita – 3-podlažný rám – N – normálové sily	72
Obr. 8.1-8 - Vysoká seizmicita – 3-podlažný rám – V – posúvajúce sily.....	72
Obr. 8.1-9 - Vysoká seizmicita – 3-podlažný rám – M – ohybové momenty	72
Obr. 8.2-1 - MSÚ – 9-podlažný rám – N – normálové sily.....	73
Obr. 8.2-2 - MSÚ – 9-podlažný rám – V – posúvajúce sily	74
Obr. 8.2-3 - MSÚ – 9-podlažný rám – M – ohybové momenty	74
Obr. 8.2-4 - Nízka seizmicita – 9-podlažný rám – N – normálové sily.....	76
Obr. 8.2-5 - Nízka seizmicita – 9-podlažný rám – V – posúvajúce sily	76
Obr. 8.2-6 - Nízka seizmicita – 9-podlažný rám – M – ohybové momenty	77
Obr. 8.2-7 – Vysoká seizmicita – 9-podlažný rám – N – normálové sily	78
Obr. 8.2-8 - Vysoká seizmicita – 9-podlažný rám – V – posúvajúce sily.....	78
Obr. 8.2-9 - Vysoká seizmicita – 9-podlažný rám – M – ohybové momenty	79
Obr. 9.1-1 – Schematický rez 3-podlažného rámu s označením stĺpov	81
Obr. 9.1-2 – Krytie výstuže	82
Obr. 9.1-3 – Interakčný diagram – v smere rámu – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1. 95	
Obr. 9.1-4 – Interakčný diagram – v smere rámu – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2	
102	
Obr. 9.1-5 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1	
.....	105

Obr. 9.1-6 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2	111
Obr. 9.1-7 – Schematický rez 9-podlažného rámu s označením stĺpov	113
Obr. 9.1-8 – Krytie výstuže	114
Obr. 9.1-9 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3	133
Obr. 9.1-10 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp - S4	136
Obr. 9.1-11 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5	139
Obr. 9.1-12 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6	142
Obr. 9.1-13 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7	145
Obr. 9.1-14 – Interakčný diagram – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8	148
Obr. 9.1-15 - Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3	151
Obr. 9.1-16 - Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4	153
Obr. 9.1-17 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5	155
Obr. 9.1-18 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6	158
Obr. 9.1-19 – Interakčný diagram –kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7	160
Obr. 9.1-20 – Interakčný diagram – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8	166
Obr. 9.2-1 Schematický rez 3-podlažného rámu s označením priečlí.....	170
Obr. 9.2-2 – Krytie výstuže	171
Obr. 9.2-3 Schematický rez 9-podlažného rámu s označením priečlí.....	184
Obr. 9.2-4 – Krytie výstuže	185
Obr. 10.1-1 – Interakčný diagram – 3-podlažný rám – S1 – vonkajší stĺp – nízka seizmicita	218
Obr. 10.1-2 – Interakčný diagram – 3-podlažný rám – S2 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita	218
Obr. 10.1-3 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S3 – vonkajší stĺp – nízka seizmicita	220
Obr. 10.1-4 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S4 – vonkajší stĺp – nízka seizmicita	220

Obr. 10.1-5 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S5 – vonkajší stĺp – nízka seizmicita	220
Obr. 10.1-6 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S6 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita	220
Obr. 10.1-7 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S7 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita	221
Obr. 10.1-8 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S8 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita	221
Obr. 10.1-9 – Interakčný diagram – 3-podlažný rám – S1 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita	222
Obr. 10.1-10 – Interakčný diagram – 3-podlažný rám – S2 – vnútorný stĺp – vysoká seizmicita	222
Obr. 10.1-11 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S3 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita	224
Obr. 10.1-12 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S4 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita	224
Obr. 10.1-13 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S5 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita	224
Obr. 10.1-14 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S6 – vnútorný stĺp – vysoká seizmicita	224
Obr. 10.1-15 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S7 – vnútorný stĺp – vysoká seizmicita	225
Obr. 10.1-16 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S8 – vnútorný stĺp – vysokáseizmicita	225
Obr. 11.1-1 – Podmienka odolnosti stĺpov	230
Obr. 11.2-1 – Geometria excentrického stužidla	232
Obr. 11.2-2 – Geometria excentrického stužidla – 3-podlažný rám – varianta 1	233
Obr. 11.2-3 – Geometria excentrického stužidla – 3-podlažný rám – varianta 2	234
Obr. 11.2-4 – Geometria excentrického stužidla – 9-podlažný rám – varianta 1	235
Obr. 11.2-5 – Geometria excentrického stužidla – 9-podlažný rám – varianta 2	236

15. Zoznam tabuliek

Tab. 3.1-1 – Richterova stupnica	13
Tab. 3.1-2 – EMS – 98 (Európska makroseizmická stupnica)	14
Tab. 3.2-1 – Definícia súčiniteľa a triedy významu.....	20
Tab. 3.2-2 – Charakteristika typov základových pôd	22
Tab. 4.2-1 – Konštrukčné detaily prvkov	32
Tab. 4.3-1 – Prierezy stuženia PSRM systému	33
Tab. 5.1-1 – Rozmery prierezov v 3-podlažnom ráme	35
Tab. 5.3-1 – Rozmery prierezov v 9 – podlažnom ráme	44
Tab. 6.1-1 – Tabuľka hodnôt súčiniteľa $\psi_{2,i}$	58
Tab. 6.1-2 – 3-podlažný rám - Prehľad vlastných tvarov kmitu	58
Tab. 6.1-3 – 9-podlažný rám - Prehľad vlastných tvarov kmitu	60
Tab. 8.1-1 – Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme - MSÚ.....	70
Tab. 8.1-2 - Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme – nízka seizmicita	71
Tab. 8.1-3 - Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme – vysoká seizmicita.....	73
Tab. 8.2-1 – Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme - MSÚ.....	75
Tab. 8.2-2 - Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme – nízka seizmicita	77
Tab. 8.2-3 - Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme – vysoká seizmicita.....	79
Tab. 9.1-1 – Stanovenie $c_{min,dur}$	82
Tab. 9.1-2 – Účinky II. radu v smere rámu pre 3-podlažný rám.....	86
Tab. 9.1-3 - Účinky II. radu kolmo na rám pre 3-podlažný rám	88
Tab. 9.1-4 Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1	94
Tab. 9.1-5 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2.....	101
Tab. 9.1-6 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vonkajší stĺp – S1	104
Tab. 9.1-7 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 3-podlažný rám – vnútorný stĺp – S2.....	110
Tab. 9.1-8 – Účinky II. rádu v smere rámu pre 9-podlažný rám - 1. časť	121
Tab. 9.1-9 – Účinky II. rádu v smere rámu pre 9-podlažný rám – 2. časť	122
Tab. 9.1-10- Účinky II. radu kolmo na rám pre 9-podlažný rám – 1. časť.....	125
Tab. 9.1-11 – Účinky II. rádu kolmo na rám pre 9-podlažný rám – 2.časť	126
Tab. 9.1-12 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3	132
Tab. 9.1-13 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4	135
Tab. 9.1-14 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5	138

Tab. 9.1-15 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6.....	141
Tab. 9.1-16 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7.....	144
Tab. 9.1-17 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – v smere rámu – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8.....	147
Tab. 9.1-18 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S3	150
Tab. 9.1-19 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S4	152
Tab. 9.1-20 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vonkajší stĺp – S5	154
Tab. 9.1-21- Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S6.....	157
Tab. 9.1-22 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S7.....	159
Tab. 9.1-23 - Zhrnutie bodov interakčného diagramu – kolmo na rám – 9-podlažný rám – vnútorný stĺp – S8.....	165
Tab. 9.2-1 – Stanovenie $c_{min,dur}$	171
Tab. 9.2-2 – Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa	181
Tab. 9.2-3– Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora	182
Tab. 9.2-4 – Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora	183
Tab. 9.2-5 – Stanovenie $c_{min,dur}$	186
Tab. 9.2-6 – Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa	196
Tab. 9.2-7 – Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora	197
Tab. 9.2-8 – Dimenzovanie na ohyb - 9-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora	198
Tab. 9.2-9 – Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora	204
Tab. 9.2-10 – Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora .	205
Tab. 9.2-11 – Dimenzovanie na šmyk – 3-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa	205
Tab. 9.2-12 – Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám – priečla R2 – ľavá podpora ...	210
Tab. 9.2-13 – Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám – priečla R2 – pravá podpora .	211
Tab. 9.2-14 – Dimenzovanie na šmyk – 9-podlažný rám – priečla R2 – stred poľa	212
Tab. 10.1-1 – Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám – nízka seizmicita	217
Tab. 10.1-2 – Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám – nízka seizmicita	218
Tab. 10.1-3 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám – vysoká seizmicita ...	221
Tab. 10.1-4 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám – vysoká seizmicita ...	222
Tab. 10.2-1 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám - nízka seizmicita	225
Tab. 10.2-2 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R1 – nízka seizmicita	226
Tab. 10.2-3 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R2 – nízka seizmicita	226
Tab. 10.2-4 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám - nízka seizmicita	226

Tab. 10.2-5 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R1 – nízka seizmicita.....	226
Tab. 10.2-6 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R2 – nízka seizmicita.....	227
Tab. 10.2-7 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám - vysoká seizmicita....	227
Tab. 10.2-8 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R1 – vysoká seizmicita ..	227
Tab. 10.2-9 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R2 – vysoká seizmicita .	227
Tab. 10.2-10 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám - vysoká seizmicita..	228
Tab. 10.2-11 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R1 – vysoká seizmicita	228
Tab. 10.2-12 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R2 – vysoká seizmicita	228
Tab. 11.2-1 – Detaily excentrického stužidla – 3-podlažný rám	232
Tab. 11.2-2 – Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 3-podlažný rám – varianta 1 ..	233
Tab. 11.2-3 - Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 3-podlažný rám – varianta 2 ...	234
Tab. 11.2-4 – Detaily excentrického stužidla – 9-podlažný rám	234
Tab. 11.2-5 - Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 9-podlažný rám – varianta 1 ...	236
Tab. 11.2-6 - Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 9-podlažný rám – varianta 2 ...	237
Tab. 11.2-7 – Porovnanie vnútorných síl a percentuálnej zemyn na vybraných prvkoch 3-podlažného rámu	238
Tab. 11.2-8 – Porovnanie vnútorných síl a percentuálnej zemyn na vybraných prvkoch 9-podlažného rámu	239