



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

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



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|-------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3608T001 Pozemní stavby |
| Pracoviště | Ústav betonových a zděných konstrukcí |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|-----------------|--|
| Student | Bc. Pavlína Prekopová |
| Název | Vliv seizmického zatížení na chování železobetonového rámu |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2019 |
| Datum odevzdání | 10. 1. 2020 |

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Stavební podklady, typového rámu.

Ghobarah A, Abou Elfath H., Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing, 2000.

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1998-1 (730036) Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedte statické řešení železobetonového rámu a jejich vybraných částí: zejména se zaměřte vliv seizmicity, vliv případných ztužidel na namáhání sloupů a příčlípí. Statickou analýzu proveďte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí.

Vypracujte výkres tvaru dimenzované části konstrukce a podrobné výkresy výztuže posuzovaných prvků.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cieľom práce je statická analýza železobetónovej rámovej konštrukcie zaťaženej účinkami seizmického zaťaženia. Práca sa zaoberá riešením viacpodlažného skeletu navrhovaného na bežné zaťažovacie podmienky a ďalej potom možnosťami zosilňovania na účinky seizmicity. V prvej fáze práce bola prevedená statická analýza a návrh hlavných nosných prvkov rámovej konštrukcie (stĺpy a priečle) na medzný stav únosnosti pre štandardné návrhové zaťaženie. V druhej fáze bola prevedená statická analýza konštrukcie na účinky mimoriadneho zaťaženia od nízkej a vysokej seizmicity a bolo posúdené, či aj naďalej vyhovujú hlavné nosné prvky konštrukcie. S ohľadom na to, že konštrukcia na mimoriadne účinky nevyhovela, boli navrhnuté rôzne spôsoby zosílenia konštrukcie a analýza ich vplyvu na globálne a lokálne chovanie konštrukcie a návrh ďalších opatrení pre spoľahlivosť konštrukcie. Statické analýzy boli prevedené v software Scia Engineering a RFEM Dlubal.

KLÍČOVÁ SLOVA

železobetónový rám, seizmické zaťaženie, zosilňovanie, stuženie, excentrické stuženie s vertikálnou zvislou spojkou, statická analýza, mimoriadne zaťaženie

ABSTRACT

The aim of this work is a static analysis of the reinforced concrete frame structure loaded by the effects of seismic loading. The work deals with the solution of multi-storey reinforced concrete structure designed for common loading conditions and further for possibilities of strengthening of the structure on effect of seismic loading. In the first phase of the work, the static analysis and the design of the main load-bearing elements of the frame structure (columns and main girder) were carried out for the ultimate limit state for the standard design load. In the second phase, the static analysis of the structure for the effects of accidental actions from low and high seismicity was performed and it was assessed whether the main load-bearing elements of the structure would continue to comply. Given that the structure did not satisfy the accidental actions of seismic loading, various ways of structure strengthening were designed and analyzed for their impact on the global and local behaviour of the structure. Also the designing of additional steps for structural reliability were performed. Static analyzes were performed in Scia Engineering and RFEM Dlubal software.

KEYWORDS

reinforced concrete frame, seismic load, strengthening, stiffening, eccentrically bracing with vertical link, static analysis, accidental actions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Pavlína Prekopová *Vliv seizmického zatížení na chování železobetonového rámu*. Brno, 2020. 54 s., 250 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Vliv seizmického zatížení na chování železobetonového rámu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Pavlína Prekopová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vliv seizmického zatížení na chování železobetonového rámu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Pavlína Prekopová
autor práce

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcela poďakovať vedúcemu mojej diplomovej práce doc. Ing. Milošovi Zichovi, Ph.D. za všetok čas, ktorý mi venoval pri konzultáciách, odbornú pomoc, ktoré mi uľahčili vypracovanie tejto diplomovej práce. Ďalej by som chcela poďakovať Ing. Martinovi Zlámalovi, Ph.D., bez ktorého pomoci a podpore by som túto prácu nikdy nedokončila.

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-Místecko), je však znalosť seizmických účinkov nutnosťou. Väčšinou však konštruktér vystačí so zjednodušenými postupmi výpočtu a dodržaním konštrukčných zásad.

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.

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 vertical link [1] a Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing [2]. Účelom práce je posúdenie daných ŽB rámov a vytvorenie vhodného ocelového stužidla tak aby bolo zaručené vhodné chovanie celej konštrukcie aj pri seizmickom zaťažení a zároveň aby samotná konštrukcia po stužení splňovala všetky normové požiadavky.

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.

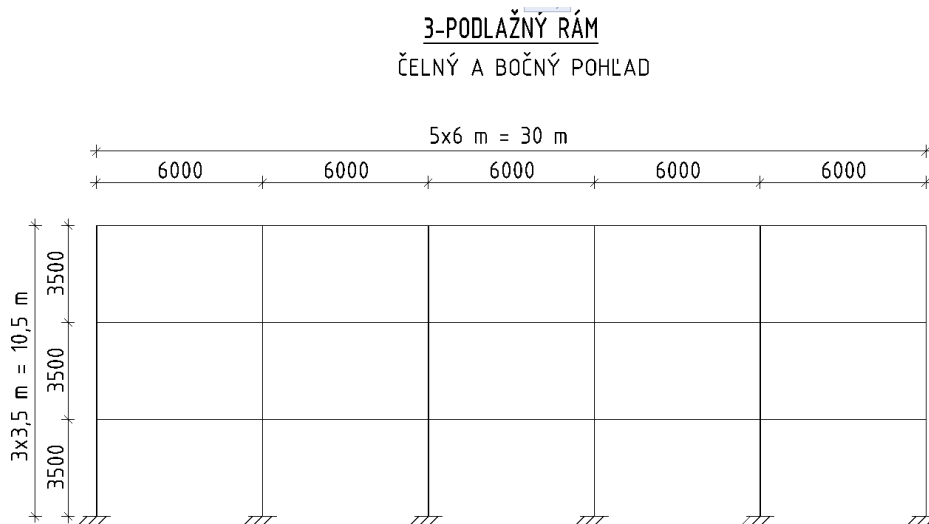
V tretej časti bude prevedená analýza, overenie a posúdenie ocelového stužidla. Na základe analýz stuženia bude stanovené odporúčenie a podmienky pre použitie a návrh daného typu stuženia.

2. ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O OBJEKTE

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 účínok 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, exporthy a výsledky iba z jedného softwaru a to Scia Engineer, hodnoty a výsledky zo softwaru Dlubal RFEM sú takmer totožné iba s minimálnymi rozdielmi. Exporthy z oboch programov pre porovnanie sú súčasťou samostatnej prílohy.

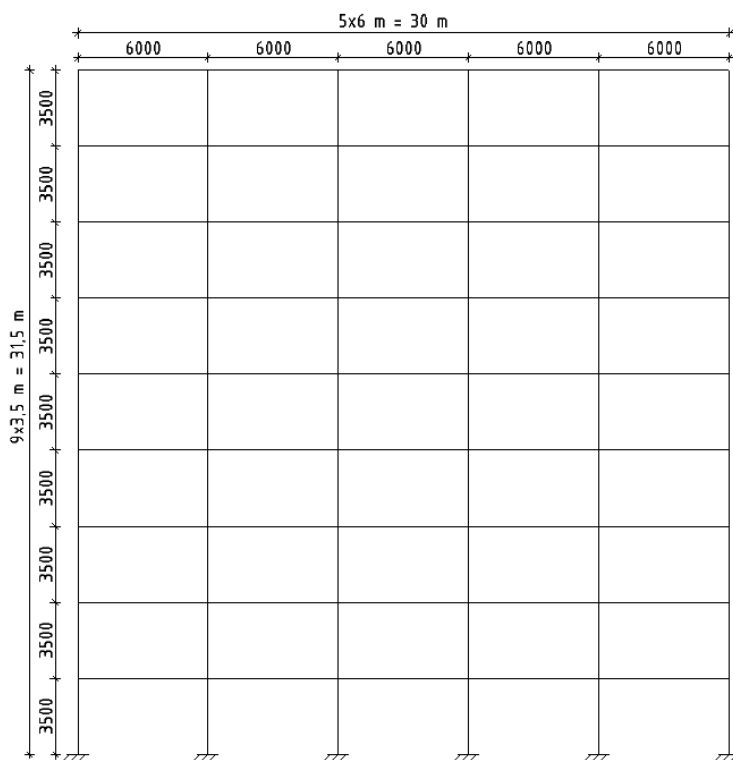
Vybranými konštrukciami pre zaťaženie seizmicitou sú dva ŽB rámy. Jeden rám má 3 poschodia o výške podlažia 3,5 m a rozpätia jednotlivých polí po 6 metroch pričom rám obsahuje 5 traktov (model 1), druhý rám má 9 podlaží o výške podlažia tak isto 3,5 m a rozpätia 6 metrov pre 5 traktov (model 2). Všetky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

Celé objekty sú prevedené zo železobetónu, hlavná nosná kostra je tvorená obojsmernými tuhými rámmi, ktoré budú po zosilnení tvorené stužidlami. 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.

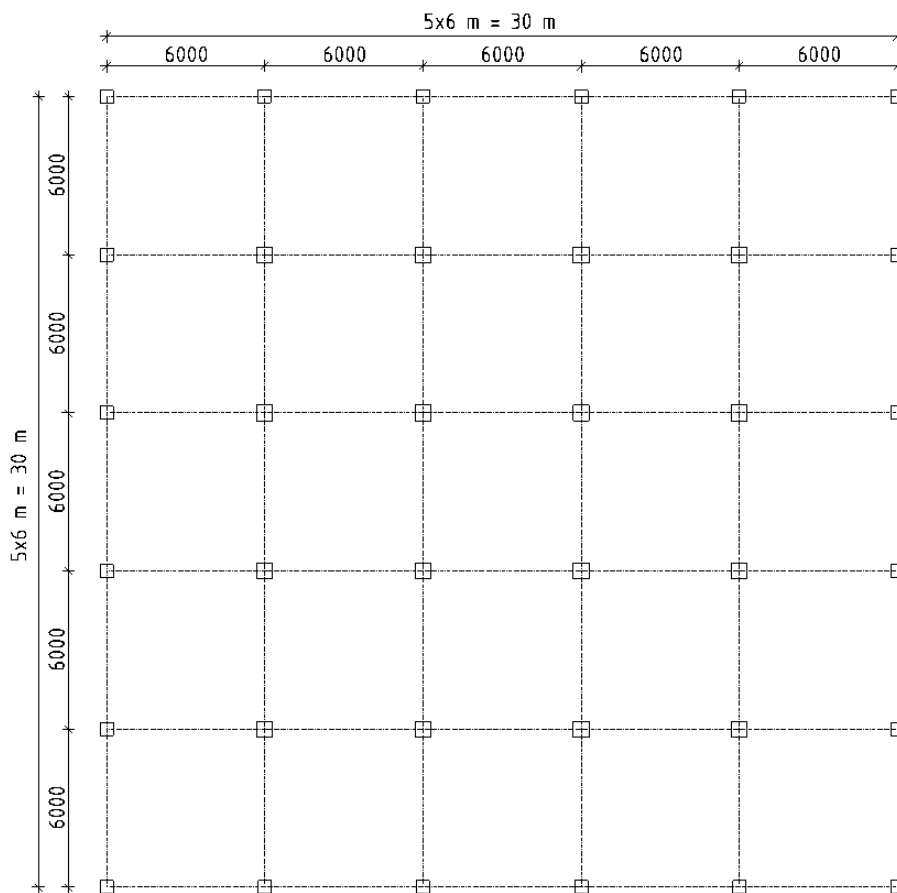


Obr. 2-1 – Schéma 3- podlažného rámu v pohľade

9-PODLAŽNÝ RÁM
ČELNÝ A BOČNÝ POHLED



Obr. 2-2 – Schéma 9-podlažného objektu v pohľade



Obr. 2-3 – Schéma 3 a 9-podlažného rámu v pôdoryse

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

Tab. 2-1 - Rozmery prierezov v 3-podlažnom ráme

| Typ rámu | Podlažie | Vonkajší stĺp | Vnútorový 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. 2-2 - Rozmery prierezov v 9 - podlažnom ráme

3. 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 – $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
 $E_s = 200 \text{ GPa}$
 $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 434,78/200 \cdot 10^3 = 2,17 \text{ ‰}$

4. ZAŤAŽENIE

4.1.3-podlažný rám

4.1.1. Zataženie stále

- ZS1 – *Vlastná tiaž* - zataženie od vlastnej tiaže je zohľadnené v globálnom výpočtovom modeli softwaru SciaEngineer a RFEM, kde sú nadefinované prierezy použitých prvkov.
- ZS2 – *Ostatné stále zataženie* – prevzaté z článku [1] použité na jednotlivé stropy a na strešnú konštrukciu - $g_{1,k} = 35 \text{ kN/m}$.

4.1.2. Zaťaženie 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] - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$.
- ZS4 – Úžitné zaťaženie - šach 1 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$
- ZS5 – Úžitné zaťaženie - šach 2 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$
- ZS6 – Zaťaženie snehom –

Zaťaženie snehom :

$$S = q_s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k =$$

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

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

- ZS7 – Zaťaženie vetrom – zľava -
- ZS8 – Zaťaženie vetrom – sprava -

Maximálny dynamický tlak :

$$q_p(z) = 823,041 \text{ N/m}^2$$

Podrobnejšie informácie sú uvedené v statickom výpočte (Príloha P3).

4.2.9-podlažný rám

4.2.1. Zaťaženie stále

- ZS1 – Vlastná tiaž - zaťaženie od vlastnej tiaže je zohľadnené v globálnom výpočtovom modeli softwaru SciaEngineer a RFEM, kde sú nadefinované prierezy použitých prvkov.
- ZS2 – Ostatné stále zaťaženie – prevzaté z článku [1] použité na jednotlivé stropy a na strešnú konštrukciu - $g_{1,k} = 35 \text{ kN/m}$.

4.2.2. Zaťaženie 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] - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$.
- ZS4 - Úžitné zaťaženie - šach 1 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$
- ZS5 - Úžitné zaťaženie - šach 2 - $q_{1,k} = 12 \text{ kN/m}$
- ZS6 - Zaťaženie snehom -

Snehová oblasť : Frýdek-Místek - IV.

Zaťaženie snehom : $s = q_s = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k =$

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

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

- ZS7 - Zaťaženie vetrom - zľava -
- ZS8 - Zaťaženie vetrom - sprava -

Výška budovy $h = 31,5 \text{ m}$ podľa normy spadá do rozdelenia zaťaženia po výške. 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 $z = h$

Maximálny dynamický tlak : $q_p(z_h) = 1189,71 \text{ N/m}^2$

Výpočet pre výšku $z = b$

Maximálny dynamický tlak : $q_p(z_b) = 1164,81 \text{ N/m}^2$

Podrobnejšie informácie sú uvedené v statickom výpočte (Príloha P3).

5. ÚČINKY SEIZMICITY

5.1. Seizmické zaťaženie

5.1.1. 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. 5.1-1 – 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

5.1.2. 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. 5.1-2 – 3-podlažný rám - Prehľad vlastných tvarov kmitu

Na konci tabuľky môžeme vidieť, že konštrukcia spĺňa 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.

5.1.3. 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] | Periódna [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. 5.1-3 – 9-podlažný rám - Prehľad vlastných tvarov kmitu

Na konci tabuľky môžeme vidieť, že konštrukcia spĺňa 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.

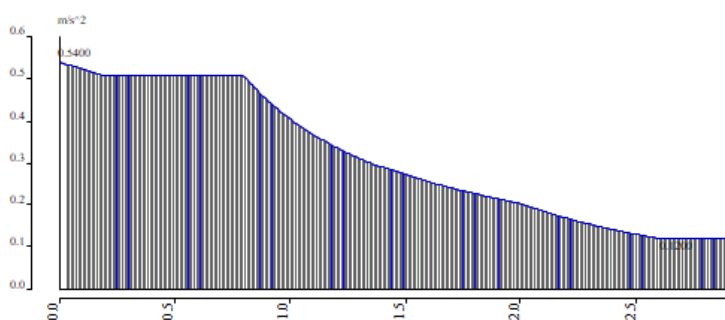
Na obrázkoch nižšie môžeme vidieť 9 rozhodujúcich vlastných tvarov kmitu, kde hmota kmitá predovšetkým v jednom z hlavných smerov a postupne sa zvyšuje počet polovln kmitu. Ostatné tvary kmitu boli značne ovplyvnené krútiacimi účinkami, preto v nich kmitá minimum hmoty.

5.1.4. 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.

5.1.4.1. Nízka seizmicita

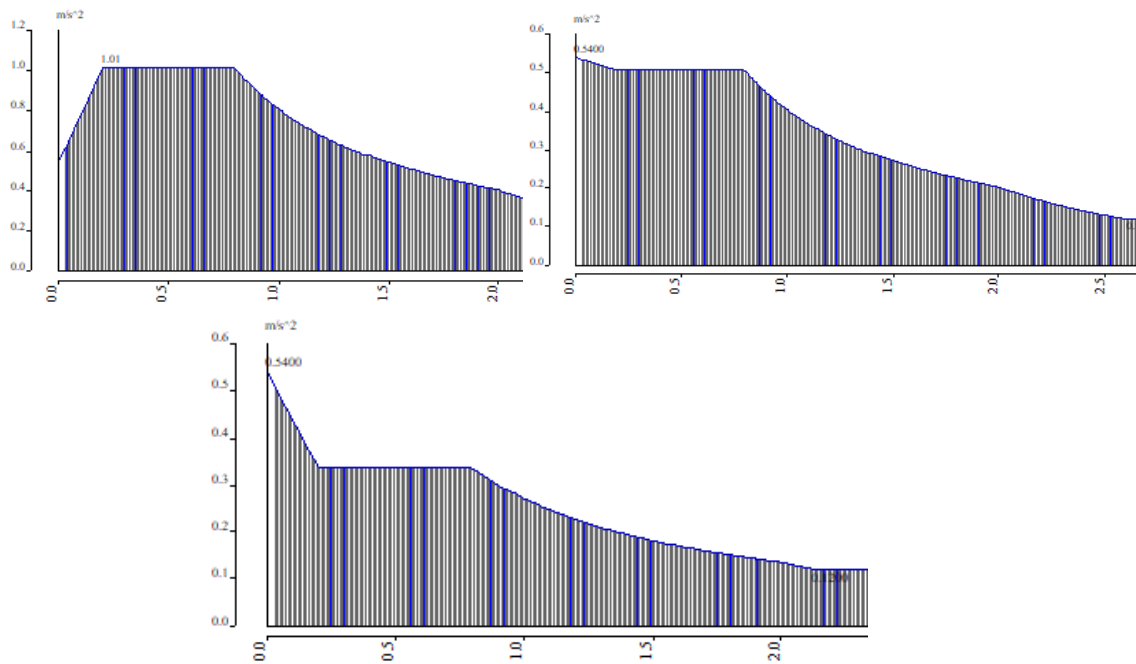
- Súčiniteľ významu : trieda významu II. – obvyklé pozemné stavby
 $\gamma_1 = 1,0$
- Návrhové zrýchlenie : okres Frýdek-Místek – oblasť 0,06.g
 $a_{gR} = 0,59 \text{ m/s}^2$
 $a = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 1,0 \cdot 0,59 = 0,59 \text{ m/s}^2$
- Súčiniteľ duktility : stredná duktilita
železobetónové rámy odolávajúce momentov
(s kombináciou centrického stuženia)
 $q = 4$
- Parametre podložia : typ podložia D – sediment z kyprej nesúdržnej
zeminy
spektrum typu 1



| | |
|---------------------------------|-----------|
| souč. zrychlení ag | 0,061 |
| ag - návrhové zrychlení [m/s... | 0,600 |
| q - součinitel duktility | 4,000 |
| beta | 0,200 |
| S, Tb, Tc, Td ručně? | Ne |
| Typ podloží | D |
| Typ spektra | typ 1 |
| Směr | Vodorovně |
| Součinitel směru | 1 |
| S - koeficient zeminy | 1,350 |
| Tb | 0,200 |
| Tc | 0,800 |
| Td | 2,000 |

Obr. 5.1-1 – 9-podlažný rám – nízka seizmicita - vstupné parametre a vygenerovaný tvar spektra odozvy zo softwaru Scia Engineer

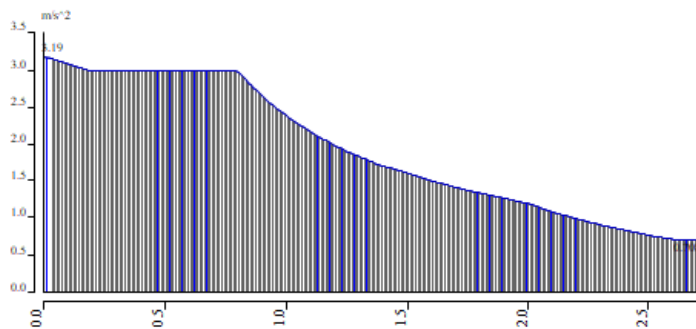
Tvar návrhové spektra je závislý predovšetkým na tuhosti (duktilite) konštrukcie a jeho tvar sa mení predovšetkým v ľavej a strednej časti, kde s rastúcou tuhosťou konštrukcie stúpa, čo znamená, že sa zvyšujú seizmické účinky na konštrukciu. Na obrázkoch nižšie sú zobrazené 3 spektrá pre rovnaké základové 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. 5.1-2 – Návrhové spektrum – duktilita $q = 2$; $q = 4$; $q = 6$

5.1.4.2. 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



| | |
|--|-----------|
| souč. zrychlení a_g | 0,361 |
| a_g - návrhové zrychlení [m/s^2] | 3,540 |
| q - součinitel duktility | 4,000 |
| beta | 0,200 |
| S, Tb, Tc, Td ručně? | Ne |
| Typ podloží | D |
| Typ spektra | typ 1 |
| Směr | Vodorovné |
| Součinitel směru | 1 |
| S - koeficient zeminy | 1,350 |
| Tb | 0,200 |
| Tc | 0,800 |
| Td | 2,000 |

Obr. 5.1-3 – 3-podlažný rám – vysoká seizmicita - vstupné parametre a vygenerovaný tvar spektra odozvy zo softwaru Scia Engineer

5.1.4.3. 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%.

Podrobnejšie informácie sú uvedené v statickom výpočte (Príloha P3).

6. KOMBINÁCIA ZAŤAŽENÍ

6.1. MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu

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

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

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

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

6.2. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu

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

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

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

6.3. 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 :

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

6.4. 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 |
| ZS8 | Vietor - P | | | | | | | | |
| ZS9 | Seizmické zaťaženie - X | - | | | Seizmické | | | | |

6.5. Kombinácia účinkov

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

7. VÝSLEDKY

7.1.3-podlažný rám

7.1.1. MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu

| 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. 7.1-1 – Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme - MSÚ

7.1.2. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – nízka seimicita

| 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. 7.1-2 - Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme – nízka seimicita

7.1.3. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – vysoká seimicita

| 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. 7.1-3 - Zhrnutie vnútorných síl na 3-podlažnom ráme – vysoká seizmicita

7.2.9-podlažný rám

7.2.1. MSÚ – kombinácia pre trvalú a dočasnú návrhovú situáciu

| Označenie | Miesto | N [kN] | V [kN] | M [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. 7.2-1 – Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme - MSÚ

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

| 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. 7.2-2 - Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme – nízka seizmicita

7.2.3. MSÚ – kombinácia zaťaženia pre seizmickú návrhovú situáciu – vysoká seizmicita

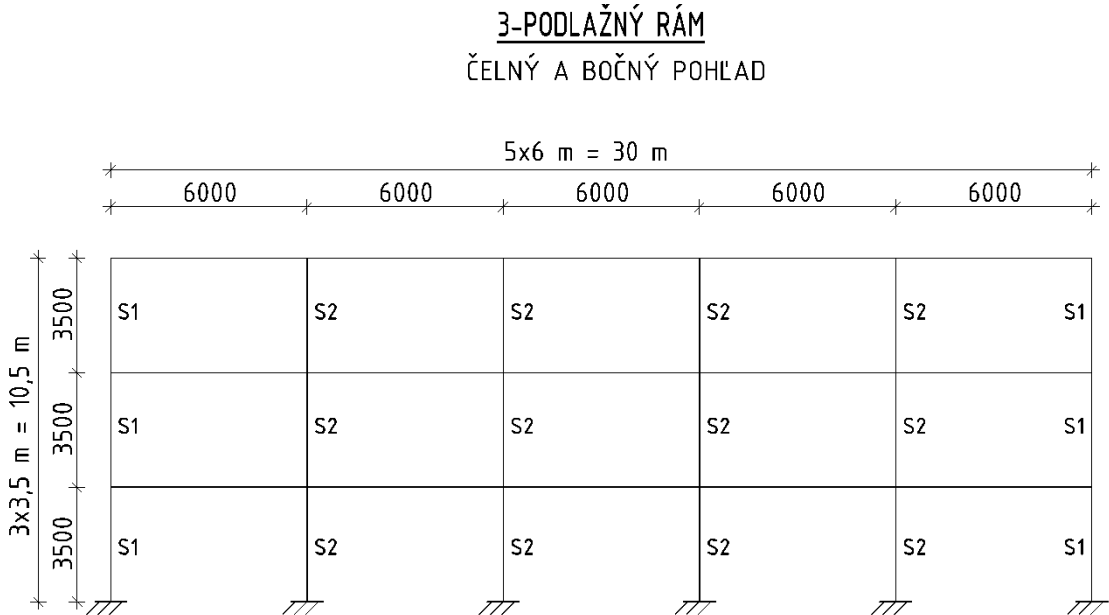
| Označenie | Miesto | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| S3 | Päta | -2133,04 | -177,80 | 445,41 |
| | Hlava | -2111,58 | -177,80 | -177,42 |
| S4 | Päta | -1252,90 | -153,25 | 275,46 |
| | Hlava | -1239,16 | -153,25 | -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 |
| 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. 7.2-3 - Zhrnutie vnútorných síl na 9-podlažnom ráme – vysoká seizmicita

8. POSÚDENIE KONŠTRUKCIE NA MSÚ

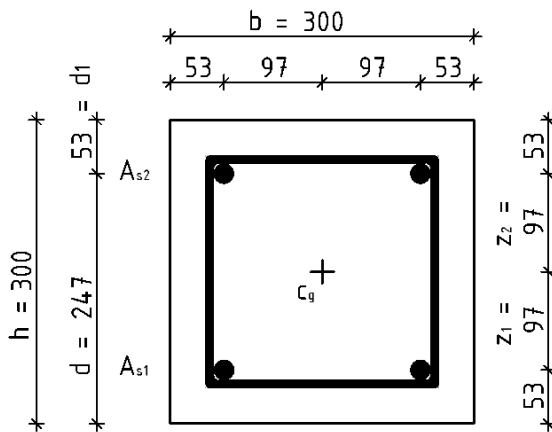
8.1. Posúdenie stĺpov

8.1.1. 3-podlažný rám



Obr. 8.1-1 – Schematický rez 3-podlažného rámu s označením stĺpov

- Vonkajší stĺp – S1



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

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

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

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

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

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

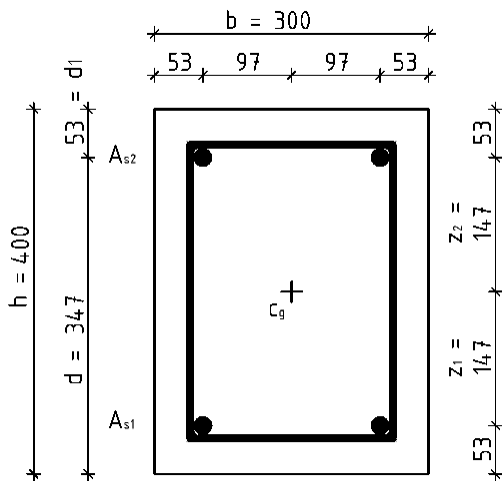
$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

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

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

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

- Vnútrotný stĺp - S2



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

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

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

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

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

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

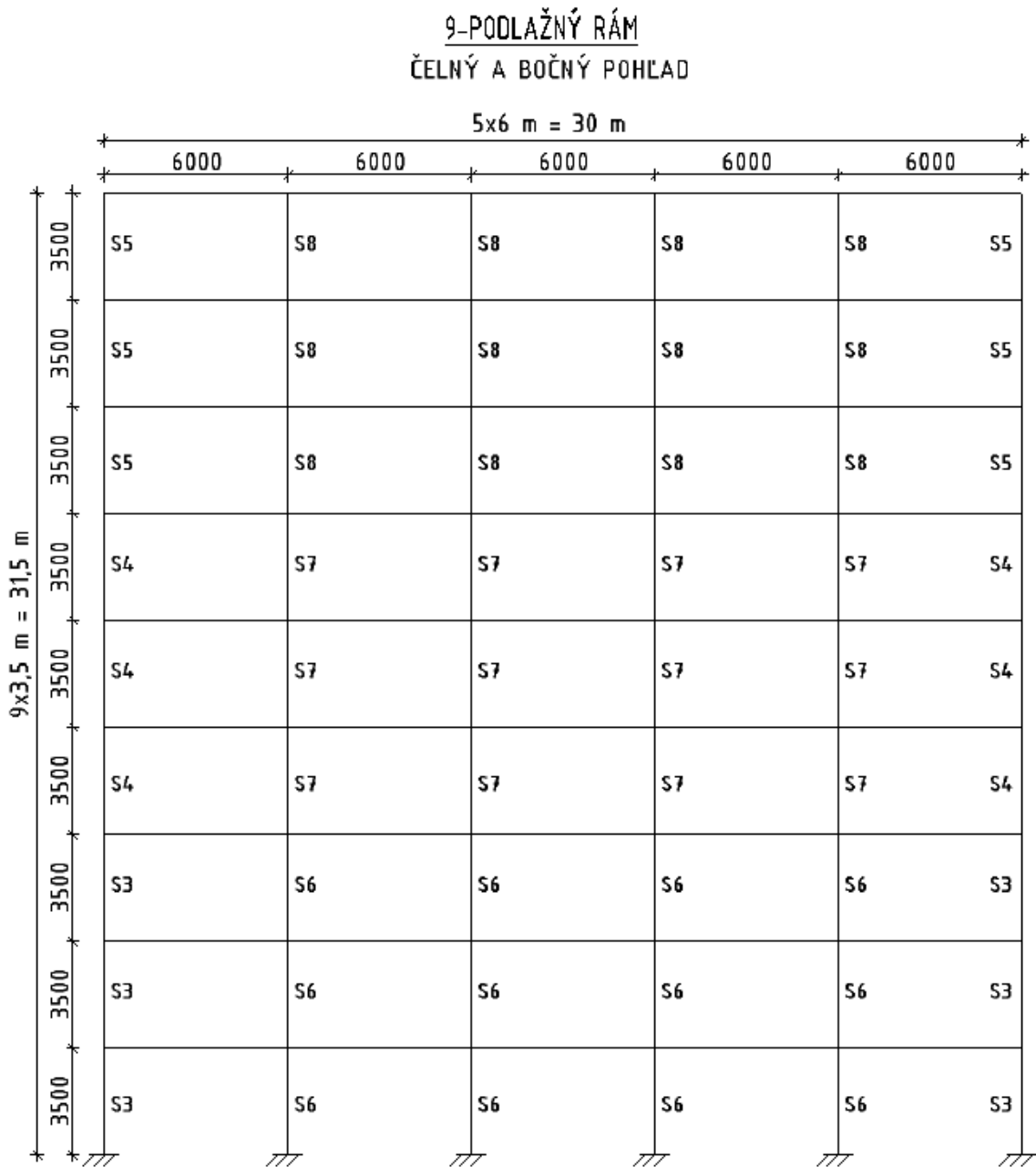
$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

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

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

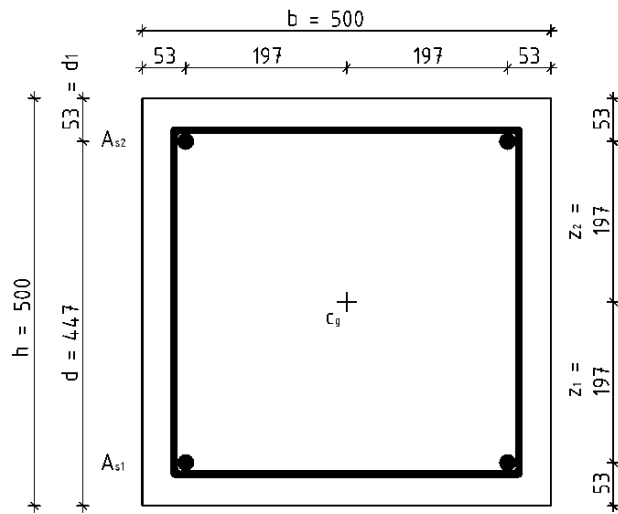
$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$$

8.1.2. 9- podlažný rám



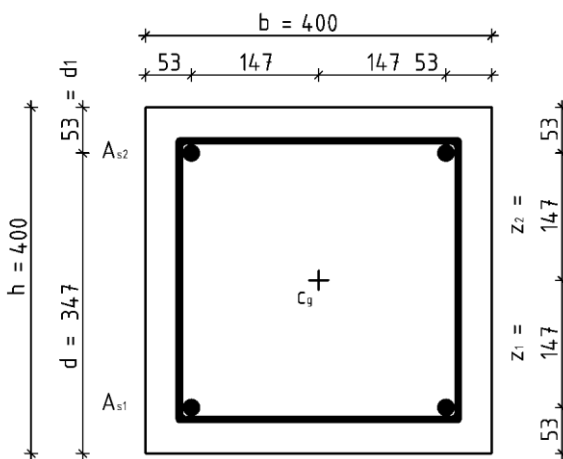
Obr. 8.1-2 – Schematický rez 9-podlažného rámu s označením stĺpov

- **Vonkajší stĺp – S3 – podlažia 1-3**



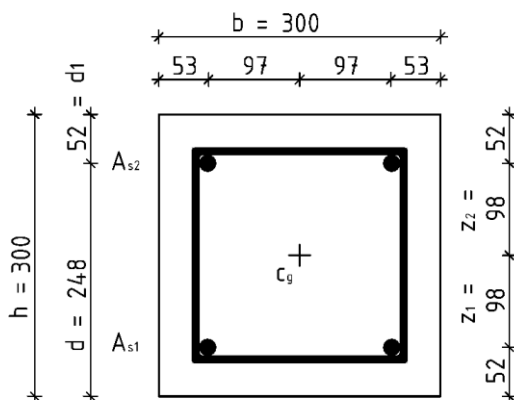
$b = 500 \text{ mm}$
 $h = 500 \text{ mm}$
 $A_{s1} = 2\varphi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{s2} = 2\varphi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{sw} = 1\varphi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $d_1 = c + \varphi_w + \varphi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 = 0,053 \text{ m}$
 $d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$
 $d = h - d_1 = 0,5 - 0,053 = 0,447 \text{ m}$
 $z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$
 $z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197 \text{ m}$

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



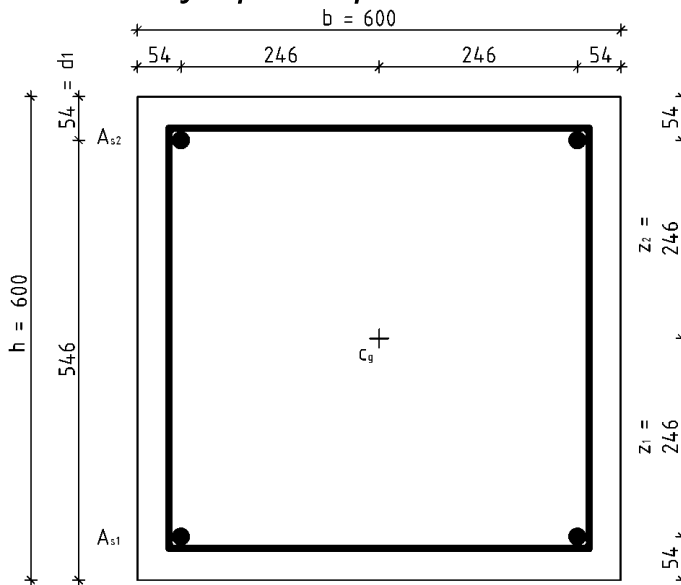
$b = 400 \text{ mm}$
 $h = 400 \text{ mm}$
 $A_{s1} = 2\varphi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{s2} = 2\varphi 20 \text{ mm} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{sw} = 1\varphi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $d_1 = c + \varphi_w + \varphi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,02/2 = 0,053 \text{ m}$
 $d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$
 $d = h - d_1 = 0,4 - 0,053 = 0,347 \text{ m}$
 $z_1 = h/2 - d_1 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$
 $z_2 = h/2 - d_2 = 0,4/2 - 0,053 = 0,147 \text{ m}$

- **Vonkajší stĺp – S5 – podlažia 7-9**



$b = 300 \text{ mm}$
 $h = 300 \text{ mm}$
 $A_{s1} = 2\varphi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{s2} = 2\varphi 18 \text{ mm} - 5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{sw} = 1\varphi 8 \text{ mm} - 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $d_1 = c + \varphi_w + \varphi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,18/2 = 0,118 \text{ m}$
 $d_1 = d_2 = 0,052 \text{ m}$
 $d = h - d_1 = 0,3 - 0,052 = 0,248 \text{ m}$
 $z_1 = h/2 - d_1 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$
 $z_2 = h/2 - d_2 = 0,3/2 - 0,052 = 0,098 \text{ m}$

- Vnútrotný stĺp – S6 – podlažia 1-3**



$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2\varphi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\varphi 22 \text{ mm} - 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

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

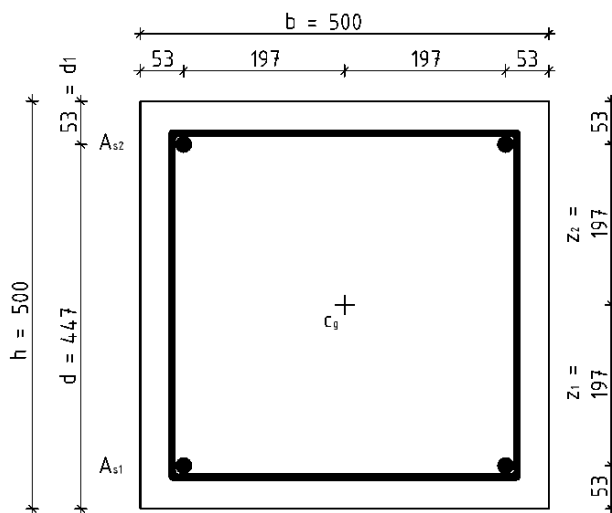
$$d_1 = c + \varphi_w + \varphi_{s1}/2 = 0,035 + 0,008 + 0,22/2 =$$

$$d_1 = d_2 = 0,054 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,054 = 0,546 \text{ m}$$

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,6/2 - 0,054 = 0,246 \text{ m}$$

- Vnútrotný stĺp – S7 – podlažia 4-6**



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

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

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

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

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

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

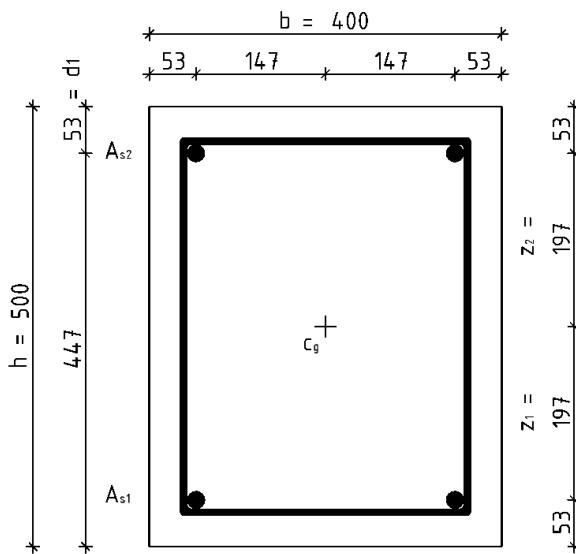
$$d_1 = d_2 = 0,053 \text{ m}$$

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

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

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

- **Vnútrotný stĺp - S8 - podlažia 7-9**



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

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

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

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

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

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

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

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

$$z_1 = h/2 - d_1 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197$$

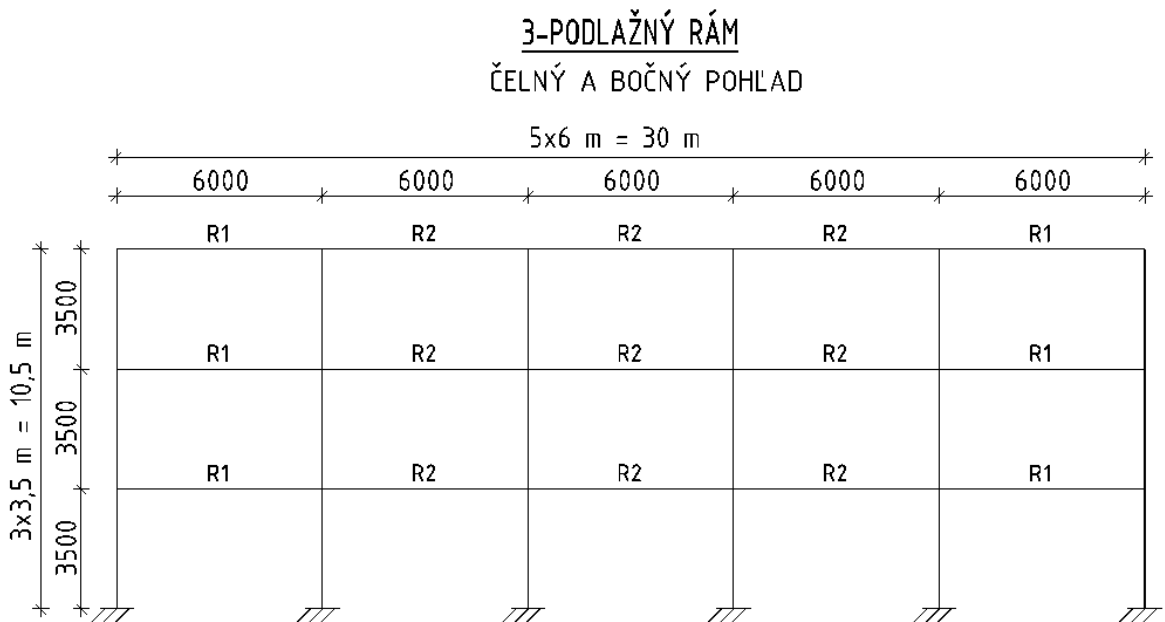
$$\text{m}$$

$$z_2 = h/2 - d_2 = 0,5/2 - 0,053 = 0,197$$

$$\text{m}$$

8.2. Posúdenie priečlív

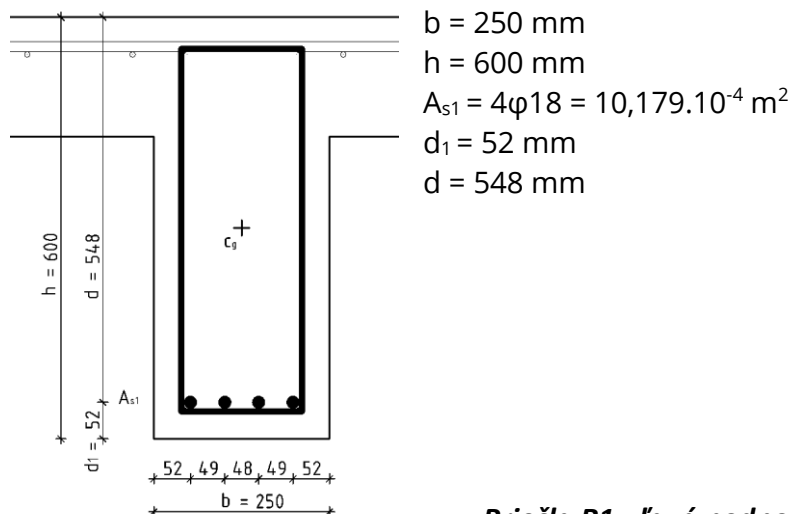
8.2.1. Dimenzovanie na ohyb - 3-podlažný rám



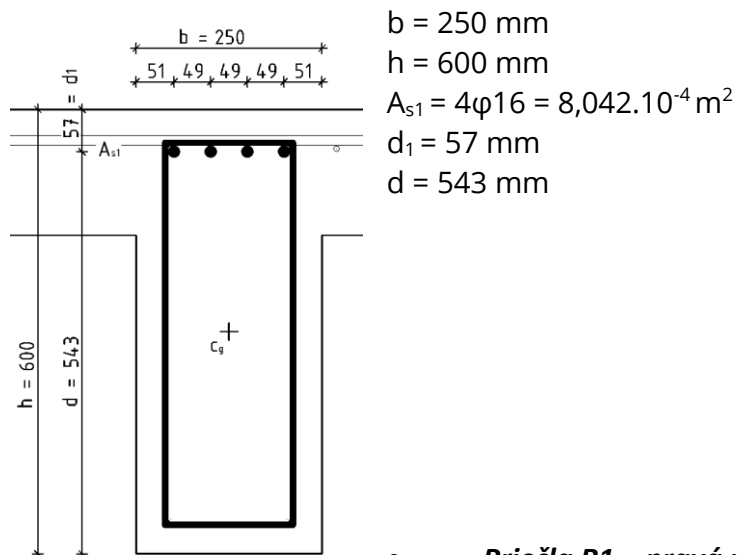
Obr. 8.2-1 Schematický rez 3-podlažného rámu s označením priečlív

8.2.1.1. Prierezové charakteristiky

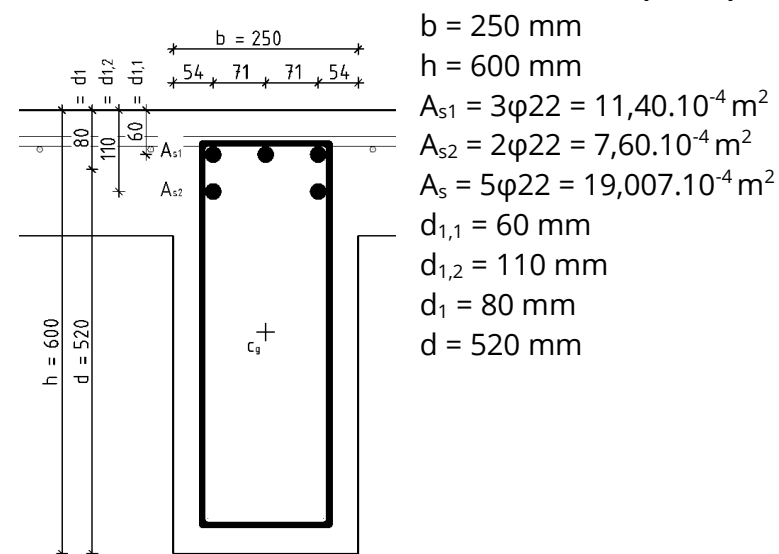
• *Priečla R1 - v strede poľa*



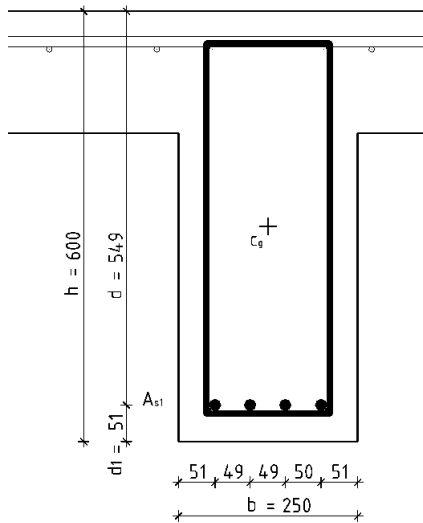
• *Priečla R1 - ľavá podpora*



• *Priečla R1 – pravá podpora*

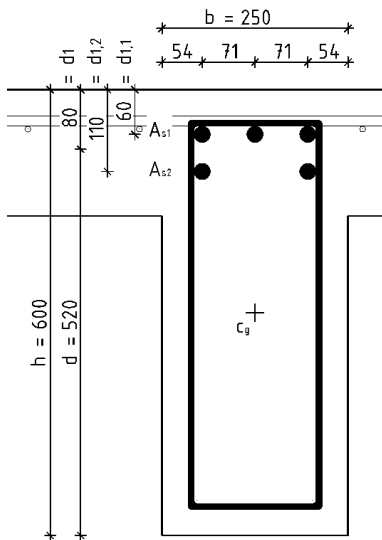


• **Priečla R2 – v strede poľa**



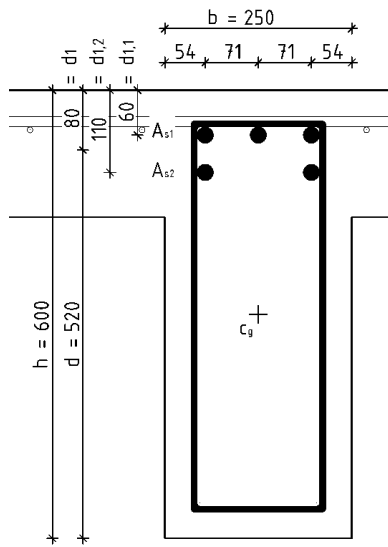
$b = 250 \text{ mm}$
 $h = 600 \text{ mm}$
 $A_{s1} = 4\phi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $d_1 = 51 \text{ mm}$
 $d = 549 \text{ mm}$

• **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**



$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 3\varphi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2\varphi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 5\varphi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_{1,1} = 60 \text{ mm}$$

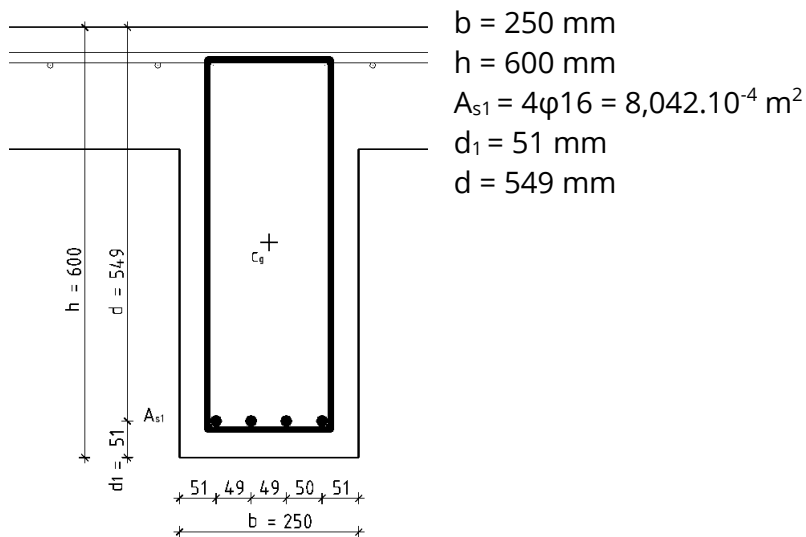
$$d_{1,2} = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

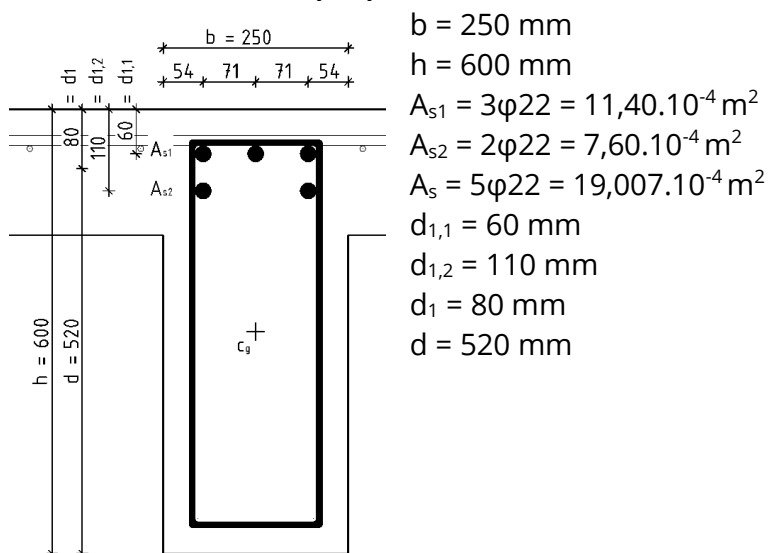
$$d = 520 \text{ mm}$$

8.2.2.1. Prierezové charakteristiky

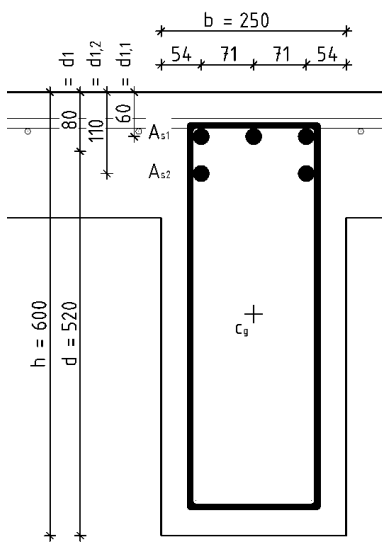
- **Priečla R1 - v strede poľa**



- **Priečla R1 - ľavá podpora**

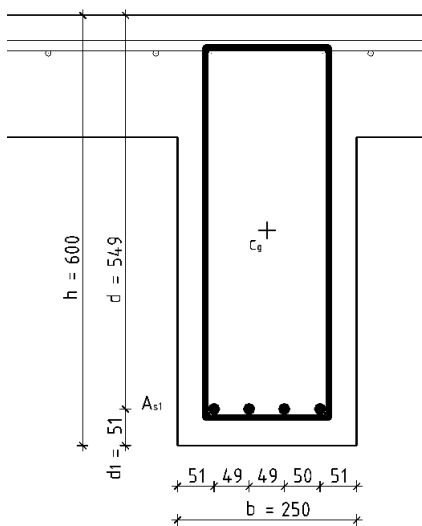


• **Priečla R1 – pravá podpora**



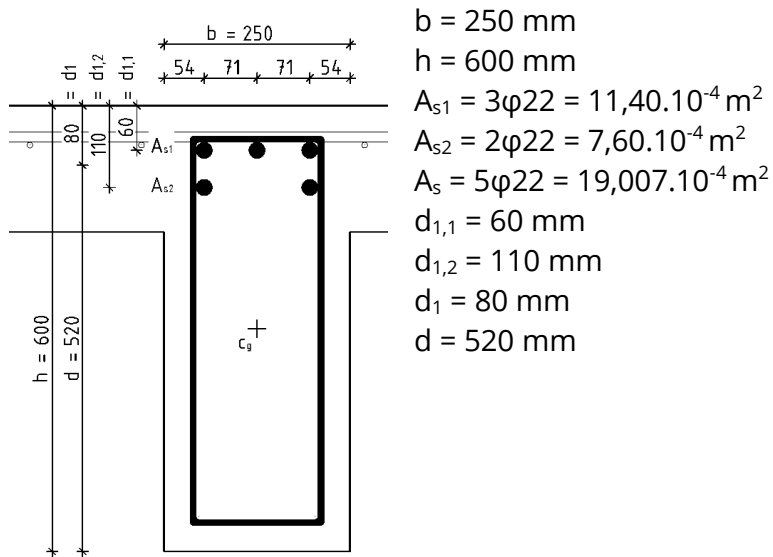
$b = 250 \text{ mm}$
 $h = 600 \text{ mm}$
 $A_{s1} = 3\varphi 22 = 11,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_{s2} = 2\varphi 22 = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $A_s = 5\varphi 22 = 19,007 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $d_{1,1} = 60 \text{ mm}$
 $d_{1,2} = 110 \text{ mm}$
 $d_1 = 80 \text{ mm}$
 $d = 520 \text{ mm}$

• **Priečla R2 – v strede poľa**

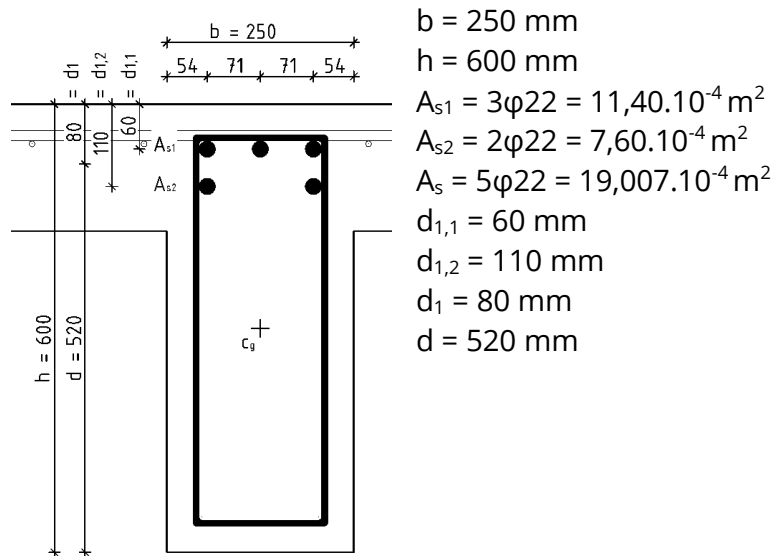


$b = 250 \text{ mm}$
 $h = 600 \text{ mm}$
 $A_{s1} = 4\varphi 16 = 8,042 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 $d_1 = 51 \text{ mm}$
 $d = 549 \text{ mm}$

• **Priečla R2 – ľavá podpora**



• **Priečla R2 – pravá podpora**



9. 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 konštrukciu vychádzajú nižšie ako pri MSÚ z dôvodu vylúčenia niektorých premenných zaťažení.

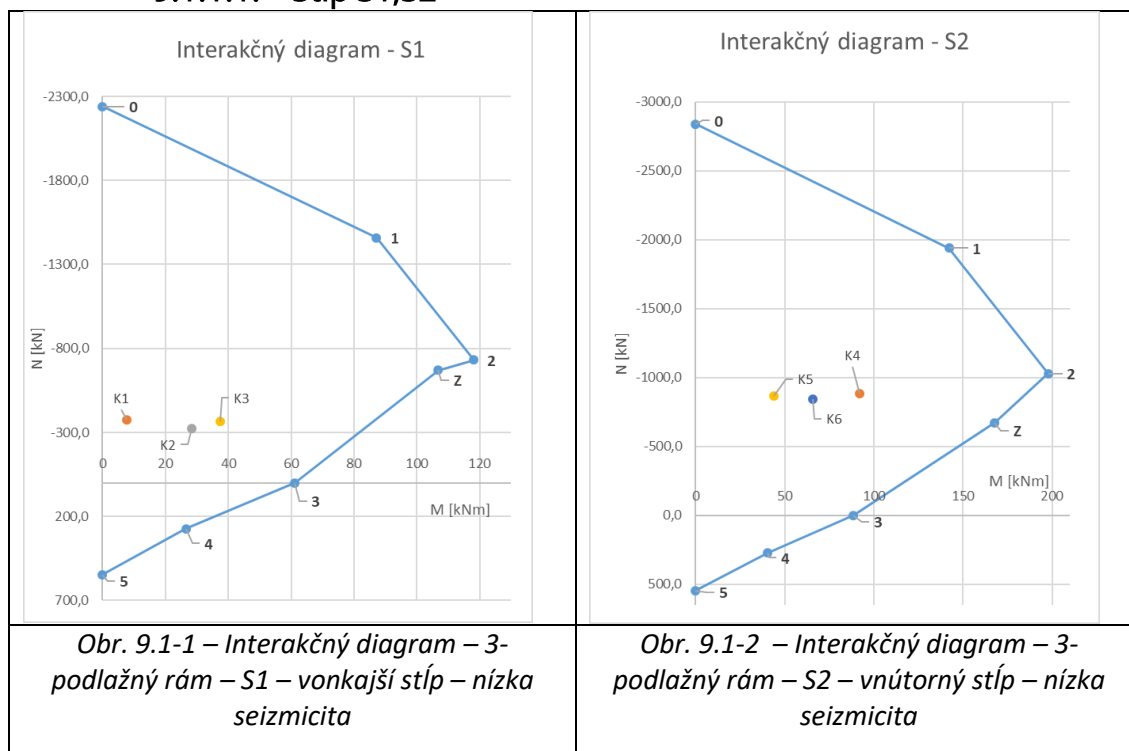
9.1. Účinok na stĺpy

9.1.1. 3-podlažný rám – nízka seizmicita

| 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 |

Tab. 9.1-1 – Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám – nízka seizmicita

9.1.1.1. Stĺp S1,S2



9.1.1.2. Záver

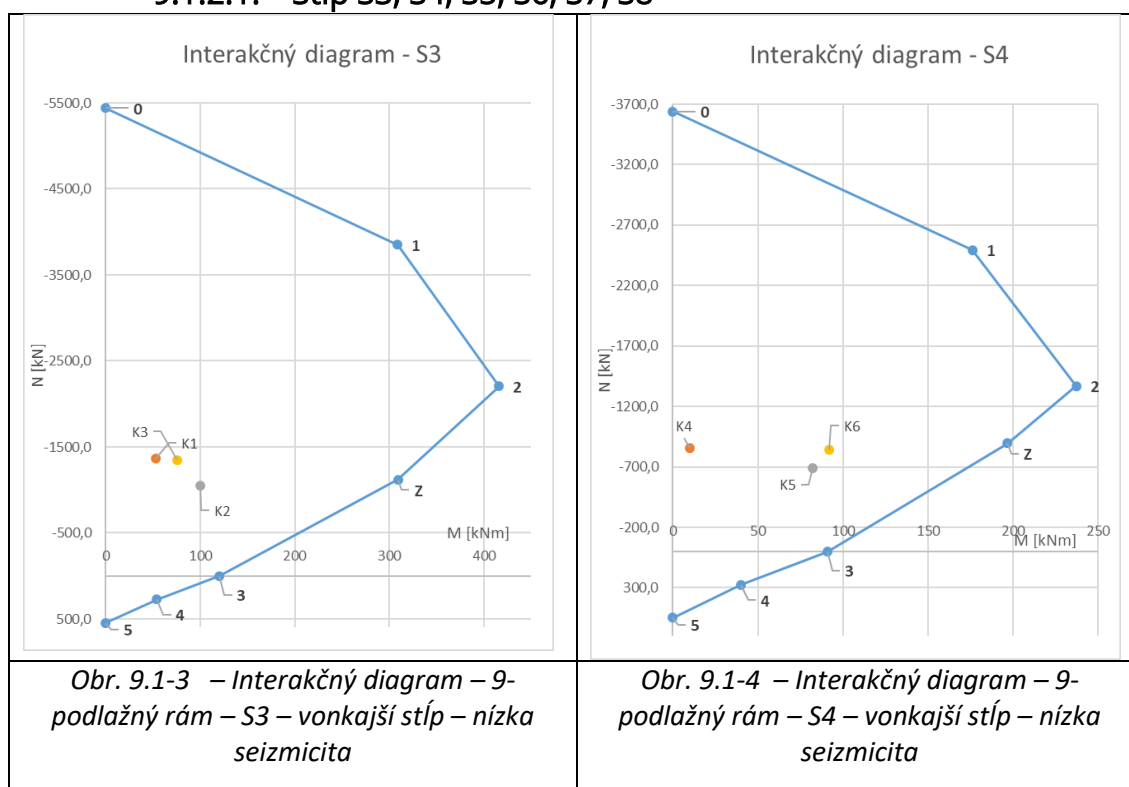
Na obrázku interakčných diagramov pre stĺpy S1,S2 je možné vidieť, že dané prierezy vyhovujú na účinok nízkej seizmicity (všetky body kombinácií pre dané stĺpy spadajú do vnútra obrazca).

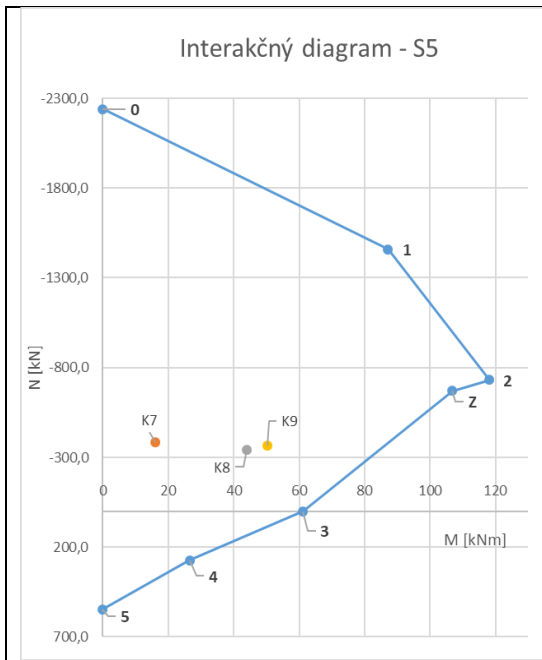
9.1.2. 9-podlažný rám – nízka seizmicita

| 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 |

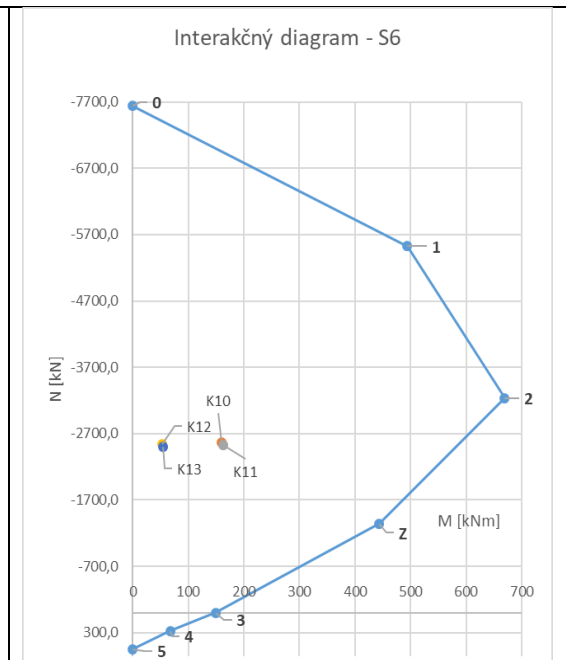
Tab. 9.1-2 – Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám – nízka seizmicita

9.1.2.1. Stĺp S3, S4, S5, S6, S7, S8

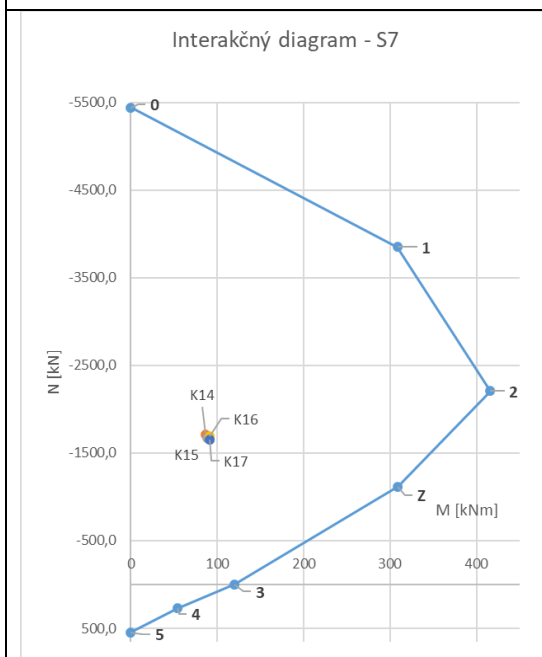




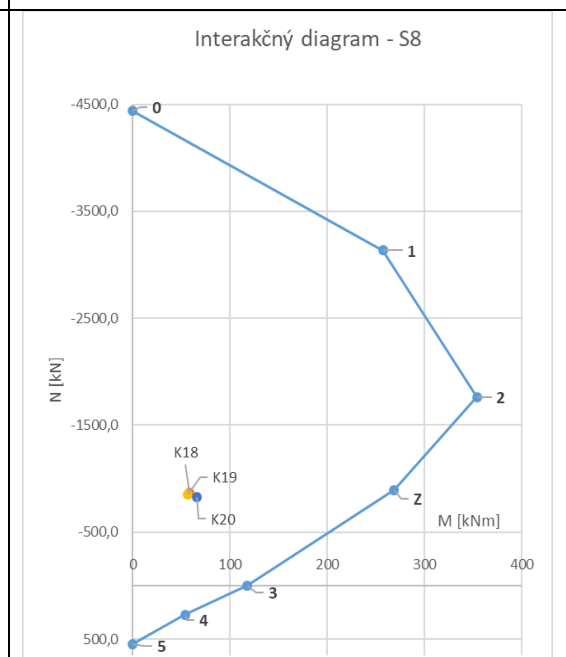
Obr. 9.1-5 – Interakčný diagram – 9-podlažný rák – S5 – vonkajší stĺp – nízka seizmicita



Obr. 9.1-6 – Interakčný diagram – 9-podlažný rák – S6 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita



Obr. 9.1-7 – Interakčný diagram – 9-podlažný rák – S7 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita



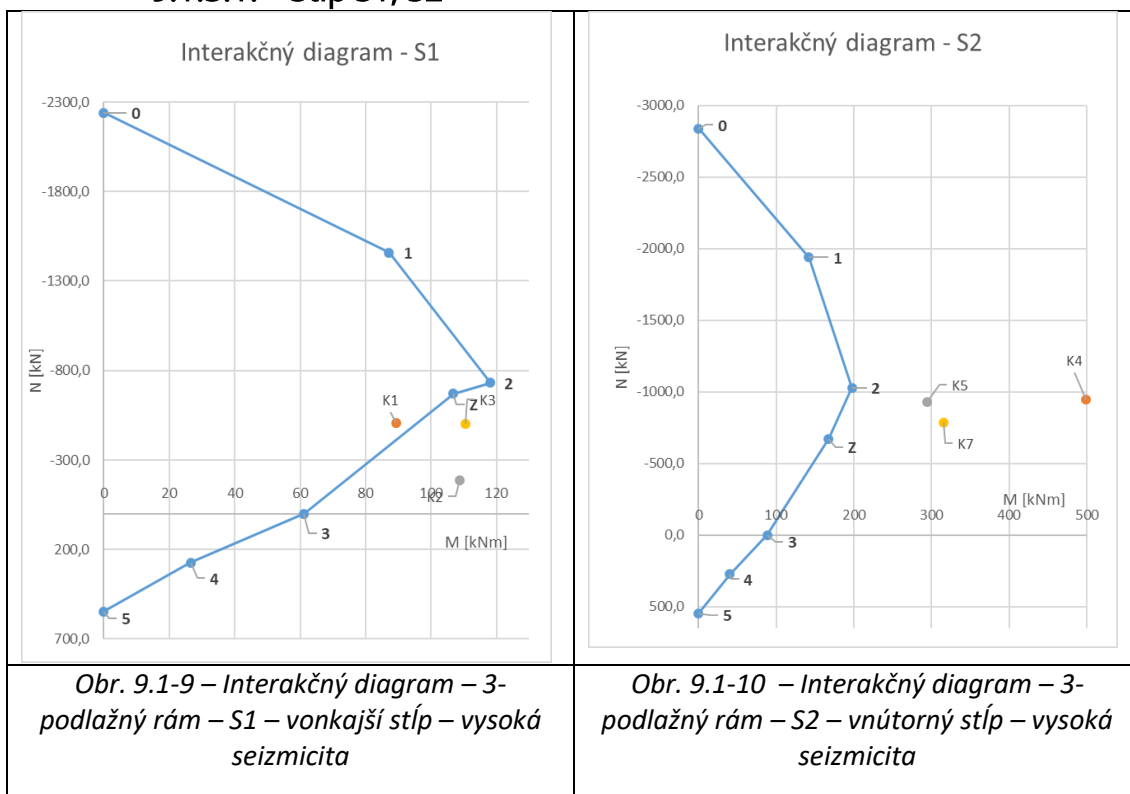
Obr. 9.1-8 – Interakčný diagram – 9-podlažný rák – S8 – vnútorný stĺp – nízka seizmicita

9.1.3. 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. 9.1-3 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám – vysoká seizmicita

9.1.3.1. Stĺp S1, S2

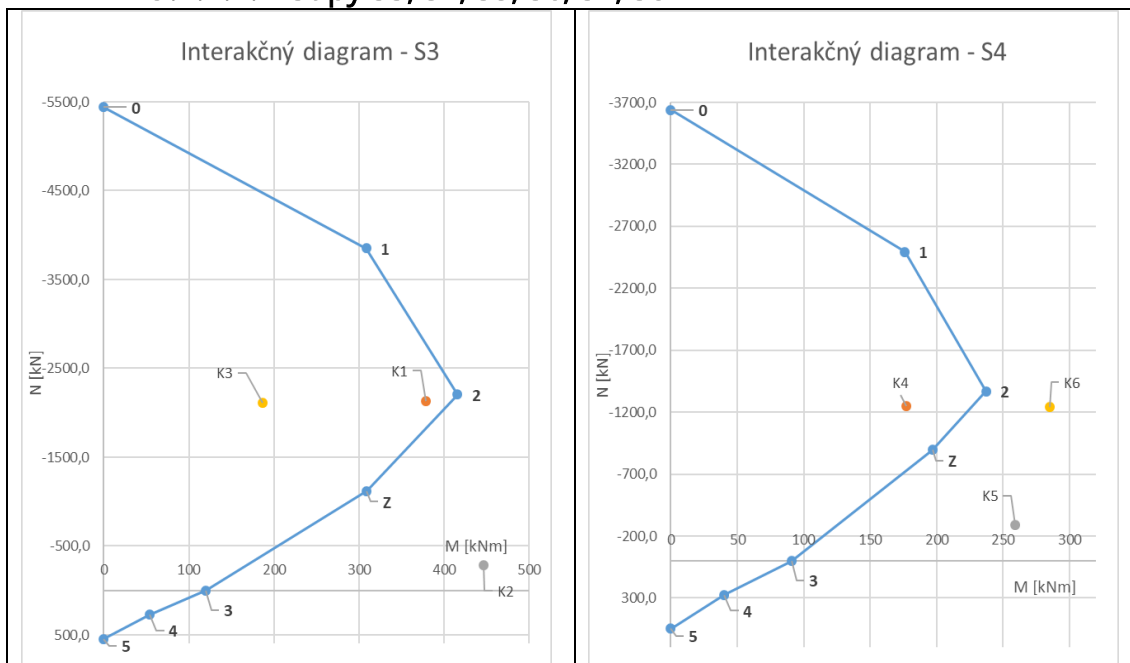


9.1.4. 9-podlažný rám – vysoká seizmicita

| 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 |

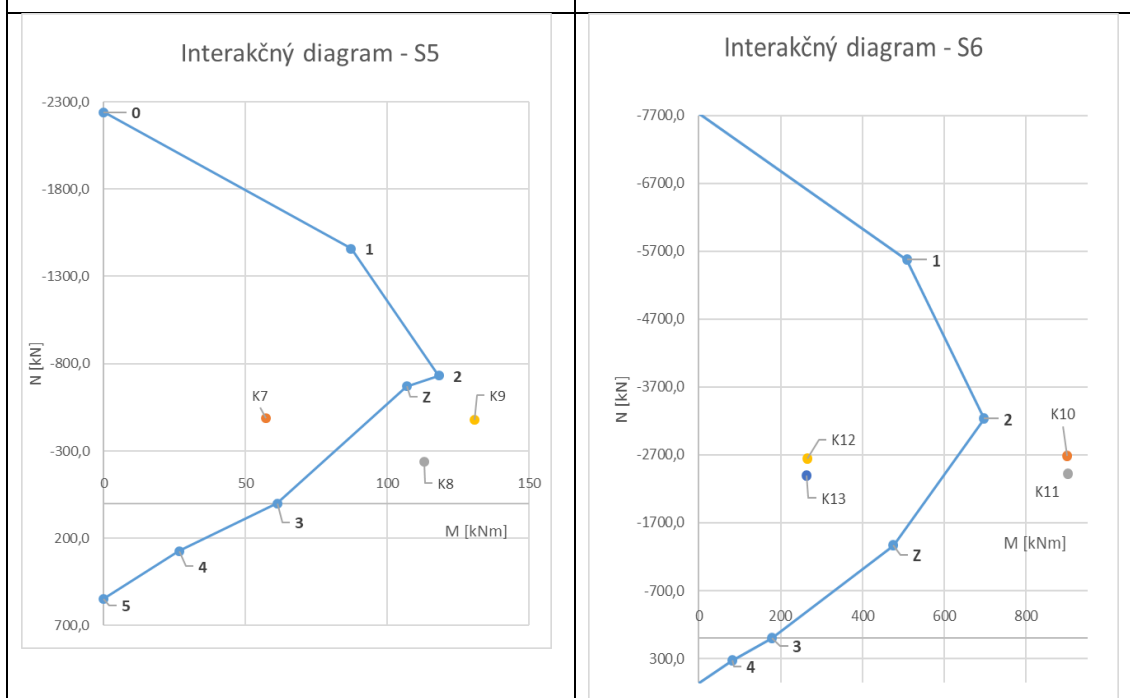
Tab. 9.1-4 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám – vysoká seizmicita

9.1.4.1. Stĺpy S3, S4, S5, S6, S7, S8



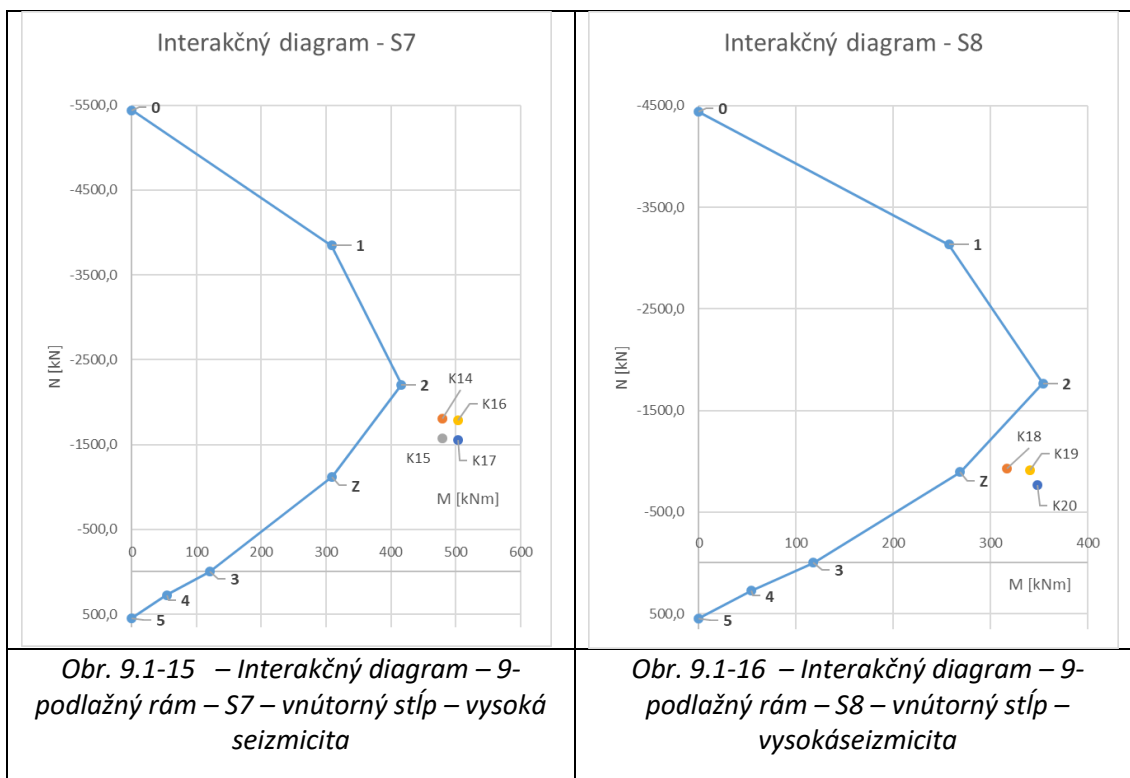
Obr. 9.1-11 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S3 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita

Obr. 9.1-12 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S4 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita



Obr. 9.1-13 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S5 – vonkajší stĺp – vysoká seizmicita

Obr. 9.1-14 – Interakčný diagram – 9-podlažný rám – S6 – vnútorný stĺp – vysoká seizmicita



9.2. Účinok na priečle

9.2.1. 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. 9.2-1 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám - nízka seizmicita

9.2.1.1. Priečla R1, R2

| Priečla R1 | | | | |
|------------|---|----------------|-------------------|------------|
| Rez | Výstuž | M_{Rd} [kNm] | $M_{Ed,NS}$ [kNm] | |
| Vľavo | 4φ16 – $A_s = 8,042 \cdot 10^{-4} m^2$ | 177,645 | 81,89 | ✓ vyhovuje |
| Stred | 4φ18 – $A_s = 10,179 \cdot 10^{-4} m^2$ | 222,935 | 92,25 | ✓ vyhovuje |
| Vpravo | 5φ22 – $A_s = 19,007 \cdot 10^{-4} m^2$ | 361,426 | 202,36 | ✓ vyhovuje |

Tab. 9.2-2 – 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. 9.2-3 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R2 – nízka seizmicita

9.2.2. 9- podlažný rám – nízka seizmicita

| <i>Označenie</i> | <i>Miesto</i> | <i>N [kN]</i> | <i>V [kN]</i> | <i>M [kNm]</i> |
|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 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. 9.2-4 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám - nízka seizmicita

9.2.2.1. 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. 9.2-5 – 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. 9.2-6 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R2 – nízka seizmicita

9.2.3. 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. 9.2-7 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 3-podlažný rám - vysoká seizmicita

9.2.3.1. 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. 9.2-8 – 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. 9.2-9 – Porovnanie účinkov – 3-podlažný rám – priečla R2 – vysoká seizmicita

9.2.4. 9-podlažný rám – vysoká seizmicita

| <i>Označenie</i> | <i>Miesto</i> | <i>N [kN]</i> | <i>V [kN]</i> | <i>M [kNm]</i> |
|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 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. 9.2-10 - Zhrnutie maximálnych účinkov na 9-podlažný rám - vysoká seizmicita

9.2.4.1. Priečla R1, R2

| Priečla R1 | | | | |
|-------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|--------------|
| <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 | 532,14 | X nevyhovuje |
| Stred | 4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ² | 179,743 | 70,33 | ✓ vyhovuje |
| Vpravo | 5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ² | 361,426 | 555,84 | X nevyhovuje |

Tab. 9.2-11 – Porovnanie účinkov – 9-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 | 560,50 | X nevyhovuje |
| Stred | 4φ16 – A _s = 8,042.10 ⁻⁴ m ² | 179,743 | 63,40 | ✓ vyhovuje |
| Vpravo | 5φ22 – A _s = 19,007.10 ⁻⁴ m ² | 361,426 | 559,46 | X nevyhovuje |

Tab. 9.2-12 – Porovnanie účinkov – 9-podlažný rám – priečla R2 – vysoká seizmicita

9.2.5. Zhrnutie

Pri porovnaní účinkov nízkej a vysokej seizmicity s účinkami medzného stavu únosnosti (MSÚ – kombinácie 6.10a a 6.10b) je možné vidieť potvrdenie

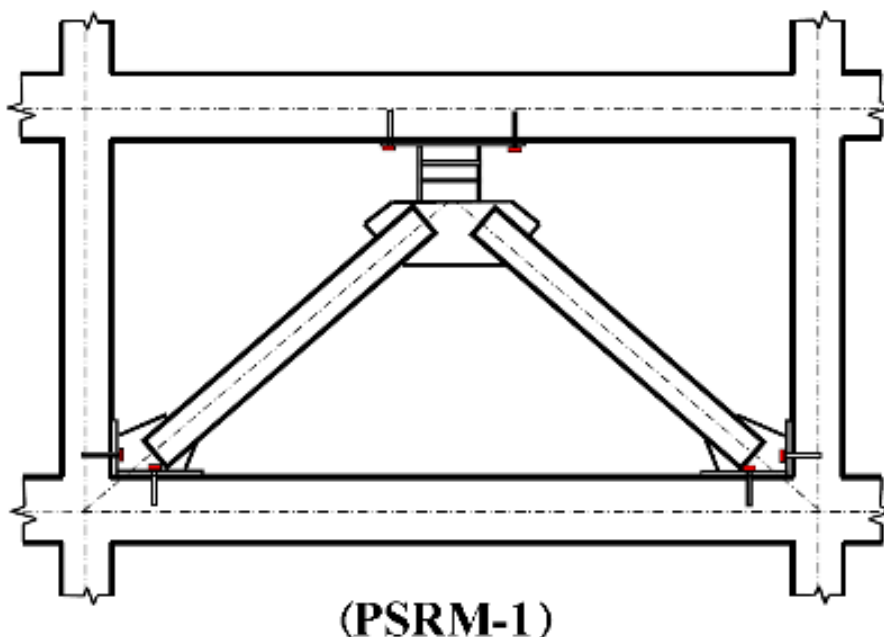
predpokladu o tom, že nízka seizmicita (na území Českej republiky) spôsobuje menšie účinky ako MSÚ, v ktorom sa počíta s klimatickým zaťažením a to znamená, že všetky prierezy na oboch rámoch na účinky nízkej seizmicity vyhovujú. Kdežto v účinkoch vyvolaných vysokou seizmicitou už je viditeľný výrazný 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 navrhnuť sanačný (stužujúci) systém, ktorý zmenší účinky a dané prierezy následnej vyhovujú.

10. OCEĽOVÉ EXCENTRICKÉ STUŽENIE – SANAČNÝ SYSTÉM

10.1. Analýza stužidla

Zvolené excentrické stuženie bolo skúmané v 3 rôznych umiestneniach na danom ráme a následne boli porovnané zmeny účinkov vysokej seizmicity na konštrukciách rámov aby vznikli čo najmenšie rozdiely medzi účinkami od MSÚ a účinkami vysokej seizmicity.

10.1.1. Geometria excentrického stužidla



Obr. 10.1-1 – Geometria excentrického stužidla

Jedná sa o prípad kedy spojovací článok a stužidlá sú priamo spojené so ŽB prvkami prostredníctvom ocelových dosiek pomocou skrutiek a epoxidovej injektáže → uvažované ako tuhé spojenie.

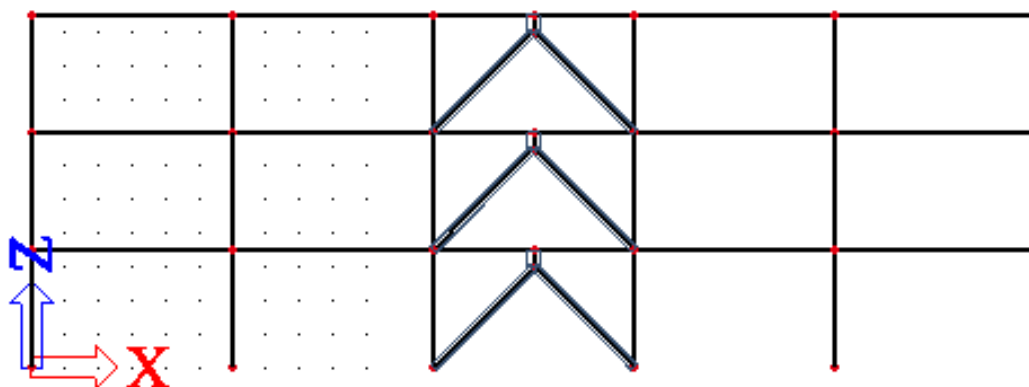
10.1.1.1. 3-podlažný rám

| Podlažie | Typ prvku | Prierez |
|----------|------------------|------------|
| 1-3 | Stužidlo | 2UNP240 |
| 1-3 | Spojovací článok | IPE400 |
| | Dĺžka článku | e = 500 mm |

Tab. 10.1-1 – Detaily excentrického stužidla – 3-podlažný rám

- **Varianta 1 :**

Stužidlo v stredovej časti rámu



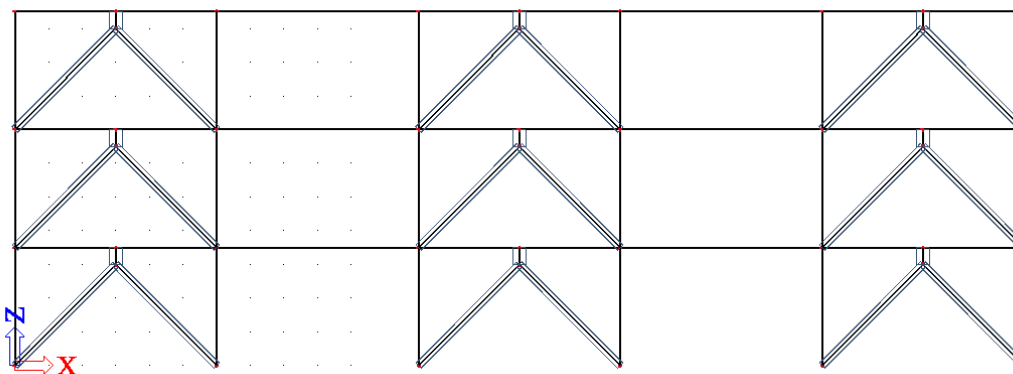
Obr. 10.1-2 – Geometria excentrického stužidla – 3-podlažný rám – varianta 1

| 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. 10.1-2 – Vnútročné sily s excentrickým stužidlom – 3-podlažný rám – varianta 1

- **Varianta 2 :**

Stužidlo v okrajových a stredných častiach rámu



Obr. 10.1-3 - 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 |

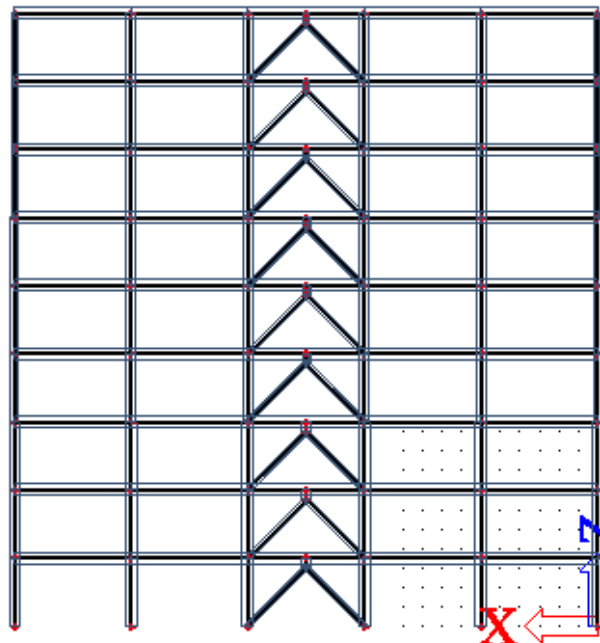
Tab. 10.1-3 - Vnútorné sily s excentrickým stužidlom – 3-podlažný rám – varianta 2

10.1.1.2. 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. 10.1-4 – Detaily excentrického stužidla – 9-podlažný rám

Varianta 1 : Stužidlo v stredovej časti rámu

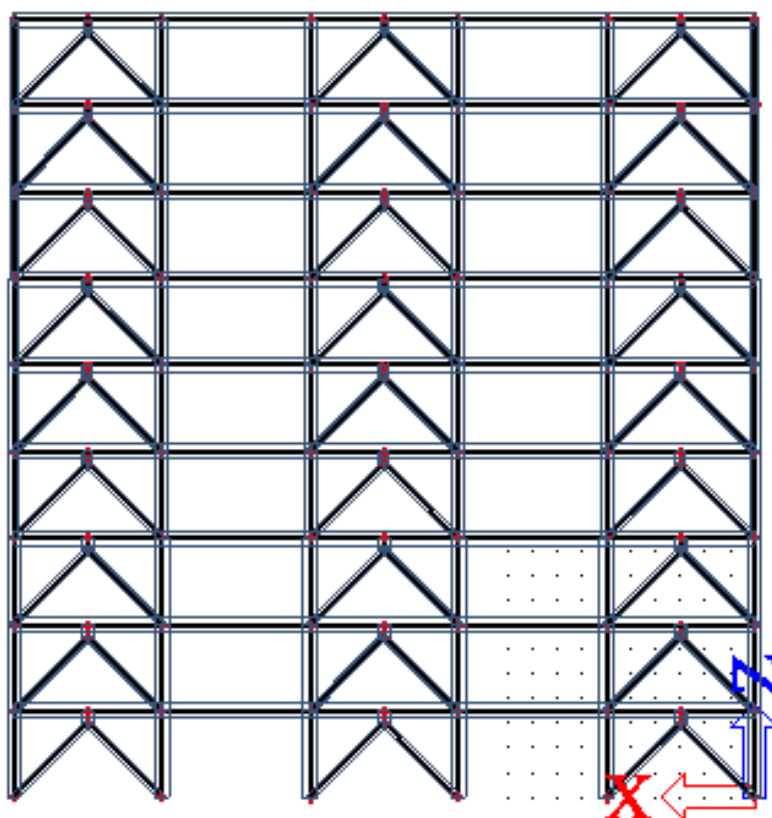


Obr. 10.1-4 - Geometria excentrického stužidla – 9-podlažný rám – varianta 1

| 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. 10.1-5 - Vnútoré sily s excentrickým stužidlom – 9-podlažný rám – varianta 1

Varianta 2 : Stužidlo v okrajových a stredných častiach rámu



Obr. 10.1-5 - 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. 10.1-6 - Vnútorne sily s excentrickým stužidlom – 9-podlažný rám – varianta 2

10.1.2. Porovnanie

| S2 – Päta stüpu | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|----------|---------------|----------|----------------|----------|
| | 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. 10.1-7 – Porovnanie vnútorných síl a percentuálnej zemyn na vybraných prvkoch 3-podlažného rámu

| S6 – Päta stĺpu | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|----------|---------------|----------|----------------|----------|
| | 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. 10.1-8 – Porovnanie vnútorných síl a percentuálnej zmeny na vybraných prvkoch 9-podlažného rámu

11. ZÁVER

Úlohou tejto práce bola analýza a overenie účinnosti ocelového 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 koštrukciu 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 navrhnúť opatrenia, ktoré zvýšia tuhosť a stabilitu celej koštrukcie. 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 ocelových stužidiel – excentrické stuženie so zvislými článkami. Toto stuženie bolo použité v dvoch variantách, a to jedno stužidlo v prostrednom poli koštrukcie 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 koštrukcie bude maximálne zachovaná priestorová variabilnosť z dôvodu minimálneho zásahu do koštrukcie a minimálneho obmedzenia priestoru. Avšak podľa očakávania je vplyv na správanie koštrukcie, 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 koštrukcii, 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. Naviac 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 budto 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 mimoriadným účinkom seizmického zaťaženia.