

Diplomová práce

(Master's Thesis)

Analýza vlivu seismicity na objekty pozemních staveb

(Analysis influence of seismicity on buildings)



**FAKULTA
APLIKOVANÝCH VĚD
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**

Instituce

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

Stavební inženýrství

Autor diplomové práce:

Bc. Jiří Gregor

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Jan Pašek Ph.D.

PLZEŇ 2019

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vlivem seismicity na objekty pozemních staveb. Tento vliv je řešený na referenční budově. Analýza vlivu seismicity byla provedena dynamickým a statickým výpočtem v softwaru Scia Engineer ve studentské verzi a dále modelováním celé konstrukce v softwaru Allplan Nemetschek ve studentské verzi. Při výpočtech a tvorbě výkresové dokumentace byly použité příslušné normy a technologické předpisy tak, aby výstupy odpovídaly stupni prováděcí dokumentace. Výstupem této práce je porovnání stavby osazeného v lokalitě, kde se nepředpokládá seizmické zatížení a též stavby v lokalitě se seizmickým zatížením.

Klíčová slova

Seismicita, zemětřesení, statika, dynamika, vlastní tvar

Abstract

The diplom thesis deals with the influence of seismicity on the buildings. This influence is solved on the reference building. Seismicity analysis was performed by dynamic and static calculation in Scia Engineer in student version and modeling of the whole structure in Allplan Nemetschek in student version. The relevant standards and technological regulations were used to calculate and create drawings so that the outputs corresponded to the degree of the implementation documentation. The outcome of this work is a comparison of the buildings installed in the locality where the seismic load is not expected and also the buildings in the locality with the seismic load.

Key words

Seismicity, earthquake, statics, dynamics, own shape

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracoval samostatně za použití zdrojů uvedených v kapitole „Zdroje“ této diplomové práce.

.....

Bc. Jiří Gregor

Poděkování

Děkuji panu Doc. Ing. Janu Paškovi Ph.D. za vedení diplomové práce a za věcné připomínky, které mi pomohly naplnit téma této diplomové práce.

OBSAH

1.	SEIZMICITA	10
1.1	Druhy seizmických zatížení.....	10
1.1.1	Přírodní seismicita:	10
1.1.2	Umělá seismicita:	11
1.2	Měření seismicity	11
1.3	Zdroje seizmických zatížení	15
1.3.1	Přírodní zdroje.....	15
1.3.2	Umělé zdroje	15
1.4	Šíření seismicity	16
1.5	Seizmické oblasti.....	16
1.6	DŮSLEDKY ZEMĚTŘESENÍ	18
2	POŽADAVKY NA KONSTRUKCE	20
2.1	Zdivo:.....	20
2.2	Beton:.....	20
2.3	Ocel:.....	21
2.4	Dřevo:	21
2.5	Všeobecné požadavky:	21
3	OCHRANA BUDOV V SEIZMICKY AKTIVNÍCH OBLASTECH.....	23
4	VÝPOČETNÍ METODY	30
5	POROVNÁNÍ BUDOV V ROZDÍLNÝCH OBLASTECH.....	35
5.1	Výpočet bez vlivu seismicity.....	36
5.2	Výpočet s uvažováním vlivu seismicity	36
5.3	Srovnání staveb z hlediska sil působících na konstrukci.....	37
5.3.1	Porovnání staveb z hlediska výsledných sil po patrech	38
5.3.2	Srovnání staveb z hlediska deformací	40
5.3.3	Srovnání staveb z hlediska momentů m_y ve stěnách 3.NP	43
5.3.4	Objekt zatížen kombinací na MSÚ – Statický výpočet.....	43
5.3.5	Srovnání staveb z hlediska průběhu smykových sil ve stěnách 1.NP	45
5.4	Ekonomický rozbor stavby z hlediska statiky stavby	51
6	ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STAVBY PORUŠENÉ ZEMĚTŘESENÍM	53
7	ZÁVĚR.....	57
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	58

9	SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE	61
10	SEZNAM PŘÍLOH	61
10.1	B1: Statický list	61
10.2	B2: Výkresy armování	61
10.3	A1: Dynamický list	61

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1 – Vertikální a horizontální seizmograf [3].....	11
Obrázek 2 – Schéma piezoelektrického akcelerometru [4].....	12
Obrázek 3 – Schéma piezoresistivního akcelerometru [5].....	13
Obrázek 4 - Piezoelektrický akcelerometr, TEDS Typ 8344 [7]	13
Obrázek 5 - Výstup z měření vibrací na mostní konstrukci. Použitý software Nextview 4 Professional [8].....	14
Obrázek 6 - Mapa seizmických oblastí České republiky [11].....	17
Obrázek 7 - Mapa výskytu zemětřesení v Evropě [13]	18
Obrázek 8 - Následky zemětřesení ve městě San Francisco v roce 1906 [13].....	19
Obrázek 9 - Grafické porovnání deformací výztuží ductility A a C [16]	22
Obrázek 10 – Schéma použití viskózních tlumičů (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)	23
Obrázek 11 – Schéma viskózního tlumiče (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)	24
Obrázek 12 – Schéma aktivních tlumičů (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.).....	24
Obrázek 13 – Kyvadlový tlumič [18].....	25
Obrázek 14 – Rozdíl v běžné založení a založení s použitím izolátorů (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)	26
Obrázek 15 – Pružná rohož CDM-RAFT [19]	27
Obrázek 16 – Pružné ložisko CDM-VHS [19].....	28
Obrázek 17 – Pružinové ložisko [19]	29
Obrázek 18 – Vzorce pro výpočet.....	32
Obrázek 19 – Vzorce pro výpočet součinitelů „ r_0 “	32
Obrázek 20 – Matice součinitele „ r “	33
Obrázek 21 – Příklad výsledného momentu m_y	33
Obrázek 22 - Matematické vyjádření funkce součinitele R_0 v závislosti na frekvencích ve vlastních tvarech.	34
Obrázek 23 – Výpočtový model v softwaru Scia Engineer (Zdroj: autor)	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 25 - Výsledné síly – Směr X (Zdroj: autor)	38
Obrázek 26 - Výsledné síly – Směr Y (Zdroj: autor)	38
Obrázek 27 - Výsledné síly – Směr X (Zdroj: autor)	39
Obrázek 28 - Výsledné síly – Směr Y (Zdroj: autor)	39
Obrázek 29 - Horizontální přemístění u_x (Zdroj: autor)	40

Obrázek 30 - Horizontální přemístění u_y (Zdroj: autor)	41
Obrázek 31 - Horizontální přemístění u_x (Zdroj: autor)	41
Obrázek 32 - Horizontální přemístění u_y (Zdroj: autor)	42
Obrázek 33 - 3.NP stěny - vnitřní síly m_y (Zdroj: autor)	43
Obrázek 34 - 3.NP stěny - vnitřní síly m_y (Zdroj: autor)	43
Obrázek 35 - 1.NP stěny - vnitřní síly n_{xy} MIN (Zdroj: autor)	45
Obrázek 36 - 1.NP stěny – Vnitřní síly n_{xy} max (Zdroj: autor)	45
Obrázek 37 - 1.NP stěny – Vnitřní síly n_{xy} min (Zdroj: autor)	46
Obrázek 38 - 1.NP stěny – Vnitřní síly n_{xy} max (Zdroj: autor)	46
Obrázek 39 - 3.NP stěny – půdorys s popisy stěn (Zdroj: autor)	47
Obrázek 40 - 3.NP stěny – Vnitřní síly n_{xy} max []	48
Obrázek 41 - 3.NP stěny – vnitřní síly n_{xy} min []	48
Obrázek 42 - 3.NP stěny – vnitřní síly n_{xy} max []	49
Obrázek 43 - 3.NP stěny – vnitřní síly n_{xy} min []	49
Obrázek 44 - Seizmická aktivita v oblasti Nový Kostel od roku 1994 do současnosti pro magnituda > 3 []	54
Obrázek 45 - Šikmá trhлина v místě okenního překladu []	54
Obrázek 46 – Fotografie stavby poškozeného seismicitou []	55
Obrázek 47 – Fotografie stavby poškozeného seismicitou []	55
Obrázek 48 – Fotografie stavby poškozeného seismicitou [Autor]	56

ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na popsání vlivu seismicity na objekty pozemních staveb. Za tímto účelem byl zvolen referenční objekt, na kterém byl tento vliv zkoumaný. Nejprve byl proveden statický výpočet, v závislosti na něm pak navržena výztuž stěn a stropů. Poté byl tento objekt vystaven seizmickému zatížení. Na závěr byly tyto objekty porovnány z hlediska statického a ekonomického.

Seismicita je obecně vlnění, které se přenáší zemským tělesem a nepříznivě působí na své okolí. Ať už v živých organismech vzbuzuje strach, nebo v neživých napětí a následné poruchy. V minulosti bylo lidstvo svědky pohrom, které způsobila právě seismicita. Některé z nich jsou uvedeny dále v diplomové práci.

V České republice máme oblasti se seismicitou, která není zdaleka tak velká jako v jiných oblastech světa, ale i přesto je nutno věnovat této problematice dostatečnou pozornost, abychom v budoucnu zabránili ztrátám na lidských životech i ztrátám materiálním.

První část diplomové práce je věnována teorii. Zde se čtenář seznámí obecně se seizmickým zatížením jako zatěžovacím stavem, který působí na budovu, metodami výpočtu staveb zatížených dynamickými účinky i technologickými opatřeními. Ve druhé části byla soustředěna pozornost výpočtům a modelování. Výpočty byly provedeny dle EC8. Modelování pak dle ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2. Veškerý použitý software byl zapůjčen prostřednictvím studentské licence. Součástí praktické části bylo provedení průzkumu v území epicentra seizmické aktivity.

Cílem této diplomové práce bylo určení odezvy stavební konstrukce na seizmické zatížení a porovnání identických staveb situovaných v seizmicky neaktivní oblasti a v seizmicky aktivní oblasti. Tato porovnání byla zpracována z hledisek statického a ekonomického.

Závěrem této práce je vyhodnocení statického i ekonomického rozdílu obou staveb.

VYSVĚTLENÍ KLÍČOVÝCH SLOV:**UMĚLÁ SEISMICITA**

Jsou vlny nebo-li vibrace vyvolány lidskou činností. Např. stavebními pracemi

ZEMĚTŘESENÍ

Jsou vlny nebo-li vibrace vyvolány zemskou činností.

EPICENTRUM

Vertikální průmět ohniska zemětřesení na povrch země.

MAGNITUDO

Veličina určující sílu zemětřesení

SEISMOGRAF

Přístroj na měření síly zemětřesení

VLASTNÍ TVAR KONSTRUKCE

Je kmitání konstrukce, které se nemění a stále se opakuje. Ve všech bodech máme maximální deformaci ve stejném čase.

DUKTILITA

Schopnost konstrukce se deformovat od napětí po mezi kluzu beze změny únosnosti

REDISTRIBUCE SIL

Roznos vnitřních sil po konstrukci.

1. SEIZMICITA

1.1 Druhy seizmických zatížení

Dle druhu vzniku rozeznáváme dva druhy seismicit. Seismicitu přírodní a umělou (technickou/indukovaná).

1.1.1 Přírodní seismicita:

Přírodní seismicitu nazýváme a známe z běžné mluvy jako zemětřesení. Tento typ je nepříznivý v tom, že nevíme přesně, kdy a jak silné vibrace bude budit. Lze tak pouze odhadovat na základě zkušeností z minulosti. Právě na základě pozorování a měření jsou v národních přílohách spektra zemětřesení, která vstupují do dynamického výpočtu budov. [1]

Zemětřesení budí dva typy vlnění. Vlny longitudinální a vlny transverzální. Vlny longitudinální kmitají shodně se směrem vlny a mohou se šířit jakýmkoliv prostředím (pevným, kapalným, plynným). Tento typ vln způsobuje nejmenší škody na objektech. Na rozdíl od longitudinálních vln, vlny transverzální jsou pro objekty nebezpečné a to hlavně z důvodu, že tyto vlny způsobují pohyb zemského povrchu. [1]

Po zemském povrchu se pohybují dva typy vlnění. Vlny, které kmitají horizontálně (*Loveho vlny*) a vlny které kmitají vertikálně (*Rayleighovy*). Povrchové vlny jsou vzhledem k pozemním stavbám nebezpečnější. Je to kvůli velkým amplitudám jejich vlnění, což má za následek pohyb zemského povrchu. [1]

Přírodní seismicita je v EC8 popsána referenčním špičkovým zrychlením a_{gR} . Tuto hodnotu můžeme snadno odečíst z mapy zemětřesných oblastí České republiky. Podle ČSN EN 1998-1 je tvar pohybu základové půdy popsán spektrem pružné odezvy. Toto spektrum lze najít v příslušné národní příloze. [11]

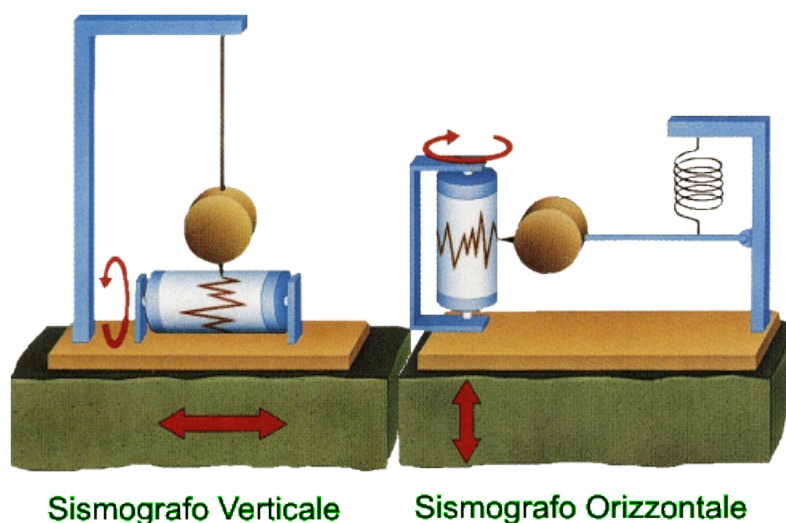
1.1.2 Umělá seismicity:

Umělá seismicity neboli technická seismicity může být vyvolávána např.: stroji, trhacími pracemi, zemními pracemi, hutněním, injektážemi apod. Při těchto pracích je nutné zhodnocení okolních budov, případně na budovy umístit akcelerometry a měřit množství a velikost vibrací v průběhu prací. V praxi to vypadá tak, že se stanoví hodnota pro zkoumaný objekt, která by neměla být překročena. V těchto případech dnešní technologie automaticky při překročení hodnot rozešle pokyn oprávněným osobám k zastavení prací a zkoumaný objekt bude blíže prozkoumán, aby se vyhodnotilo riziko pokračování ve stavebních pracích. S umělou seismicitou se můžeme setkat téměř kdekoli, kde se v blízkosti nacházejí její zdroje. [1]

1.2 Měření seismicity

Na území celého světa jsou umístěny stanice, které nepřetržitě měří seismickou aktivitu. Na území České republiky se nás týká především síť webnet. Tato síť byla vytvořena pro monitorování roje zemětřesné aktivity v západních Čechách. Tyto zemětřesné roje se projevují slabými otřesy, které jsou občas natolik znatelné, že je lidský organismus začne vnímat. Stanice této sítě webnet jsou rozmístěny tak, aby obklopovaly obec Nový Kostel na západě České republiky, kde se nachází epicentrum veškeré seismické aktivity západních Čech. [2]

Velikost zemětřesení se měří seismografy. Seismografy měří zemětřesení na základě setrvačnosti. Jejich konstrukci tvoří zavěšená kyvadla, která se při pohybu země snaží zůstat v klidové poloze a tímto způsobem se tvoří takzvaný seismogram. Z tohoto záznamu se vyčte doba začátku zemětřesení, doba jeho konce a velikosti amplitud.



Obrázek 1 – Vertikální a horizontální seismograf [3]

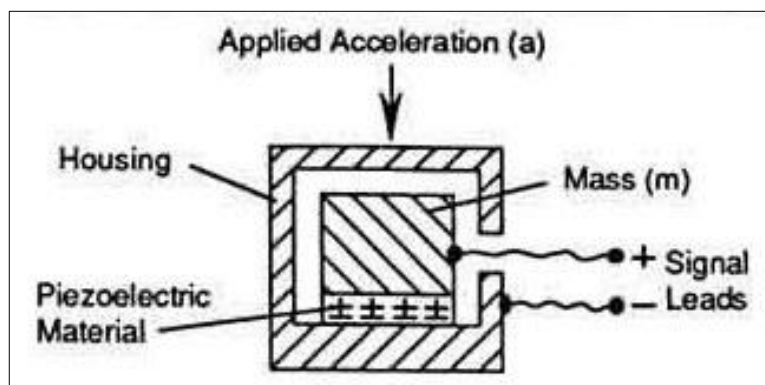
Výsledkem měření seismicity jsou hodnoty o veličině Magnitudo. Tato veličina se značí v literatuře písmenem M a reprezentuje velikost zemětřesení. Její matematické vyjádření lze zapsat rovnicí: [14]

$$M = \log(a) \quad (1)$$

Magnitudo M je základem Richterovy stupnice. Tato veličina reprezentuje maximální rychlost přemístění v ohnisku. Je třeba si však uvědomit, že velikost zemětřesení je z výše uvedeného vzorce funkcí nikoliv lineární funkce, nýbrž logaritmické. Z toho vyplývá, že zemětřesení o stupeň větší je ve skutečnosti 10x silnější než předchozí.

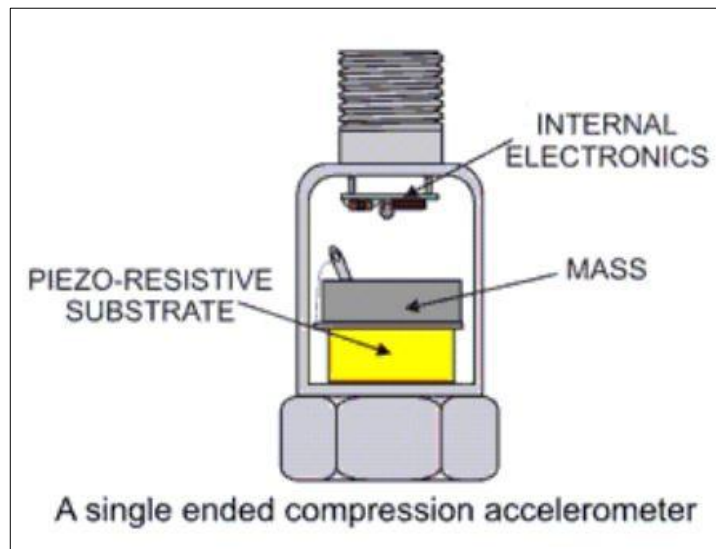
Stejně tak důležité jako měření zrychlení základové půdy, je ve stavitelství důležité měřit zrychlení samotné budovy, případně její vychýlení. K takovým měřením slouží akcelerometry. Akcelerometry měří zrychlení tak, že přeměňují zrychlení na elektrický signál. Podle způsobu měření rozlišujeme tři druhy akcelerometrů: [4]

- Piezoelektrické akcelerometry: vytvářejí informaci o zrychlení piezoelektrickým materiálem, který na základě mechanického namáhání vzniklého pohybem vytváří elektrický náboj. Tyto akcelerometry nelze použít pro měření frekvencí menších než 0,1 Hz.



Obrázek 2 – Schéma piezoelektrického akcelerometru [4]

- Piezoresistivní akcelerometry: využívají piezoresistivní materiál k měření akcelerace tak, že převádí sílu při pohybu na změnu odporu. Tyto akcelerometry jsou schopny měřit i stálou akceleraci to znamená změny frekvence od 0 Hz (<https://automatizace.hw.cz/clanek/2007012601>)



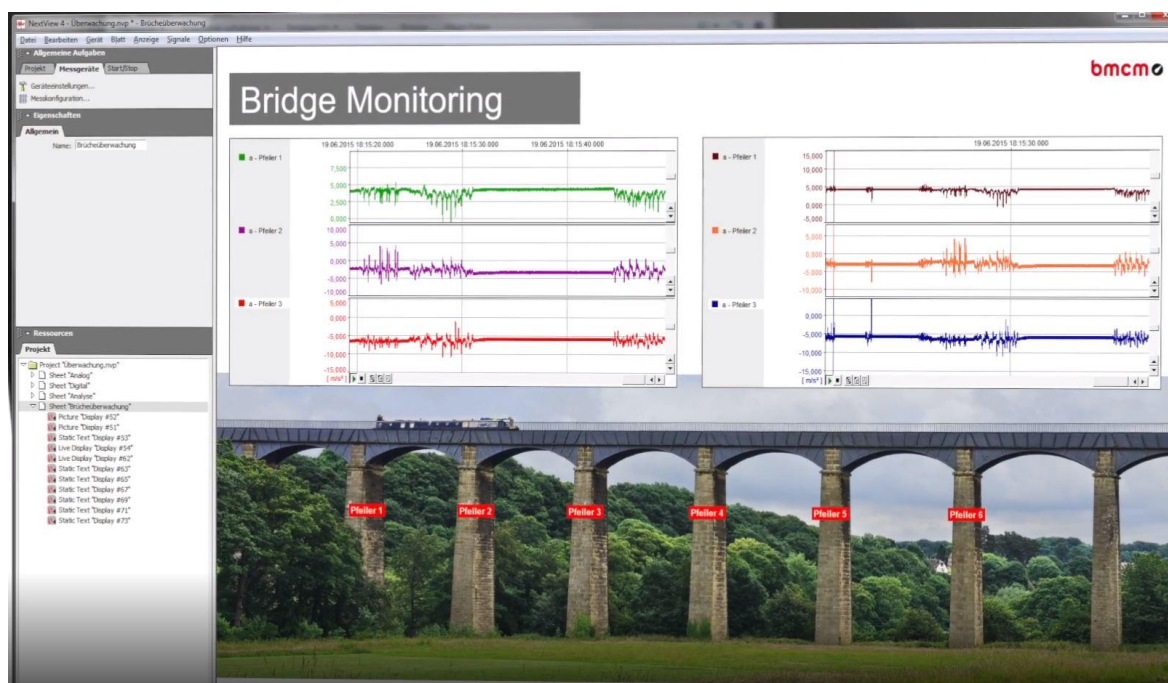
Obrázek 3 – Schéma piezoresistivního akcelerometru [5]

- Tepelné akcelerometry: Měří zrychlení na základě změny přenosu teploty při proudění vzduchu okolo senzoru. Tyto akcelerometry jsou velice odolné a levné. Jejich nevýhodami jsou: přesnost měření, použitelnost pouze pro 2D měření. [6]

Na následujících dvou obrázcích je zobrazení piezoelektrického akcelerometru v kombinaci s výstupem z kompatibilního softwaru.



Obrázek 4 - Piezoelektrický akcelerometr, TEDS Typ 8344 [7]



Obrázek 5 - Výstup z měření vibrací na mostní konstrukci. Použitý software Nextview 4 Professional [8]

1.3 Zdroje seizmických zatížení

Zdroje seizmických zatížení mohou být přírodní nebo umělé.

1.3.1 Přírodní zdroje

Mezi přírodní zdroje seismicity patří řítivá, vulkanická a tektonická zemětřesení.

- Řítivá zemětřesení jsou způsobena dutinami v zemském povrchu (jeskyně, poddolované území). Tento typ zemětřesení zasahuje pouze malou oblast okolo jeho vzniku, nicméně jeho dopady jsou ve většině případů katastrofální. [14]
- Zemětřesení vulkanická způsobuje sopečná činnost. Vulkanická zemětřesení mají malou intenzitu a vyskytují se lokálně, často v podobě zemětřesných rojů. Tento konkrétní typ zemětřesení se vyskytuje na území České republiky v západních Čechách. [14]
- Zemětřesení tektonická se nacházejí na územích porušené zemské kůry. Jejich vznik je zapříčiněn pohybem tektonických desek. Účinky tohoto typu zemětřesení mají ze všech tří typů zemětřesení nejkatastrofičtější účinky. [14]

1.3.2 Umělé zdroje

Umělé zdroje způsobeny lidskou činností a to např. od:

- Průmyslové činnosti
- Stavebních prací
- Trhacích prací
- Dopravy

Výhodou oproti oblastem s přirozenou seismicitou je, že lze dopředu stanovit velikost vyvolané seismicity i místo jejího vzniku. Předem tak lze ochránit objekty v jejím dosahu a aktivně měřit vibrace na stavbách. Díky moderním technologiím a informacím o strojích jsou dnes k dispozici přesné hodnoty frekvencí, na kterých stroje pracují. Měřením vibrací ještě v předrealizační době dospět k ideálním řešením dynamicky namáhané konstrukce jako je výběr materiálu, rozmístění ztužujících prvků atd.

1.4 Šíření seismicity

Seizmické vlny se šíří zemským tělesem. Jejich vliv na stavební objekty tedy přímo souvisí s typem podloží mezi epicentrem a konstrukcí. Platí, že čím tužší prostředí stojí vlnám v cestě, tím lépe se bez výrazného tlumení šíří. Z těchto důvodů se u staveb v blízkosti seizmické aktivity provádí speciální řešení založení. O tomto tématu více v kapitole „Požadavky na stavební konstrukce“.

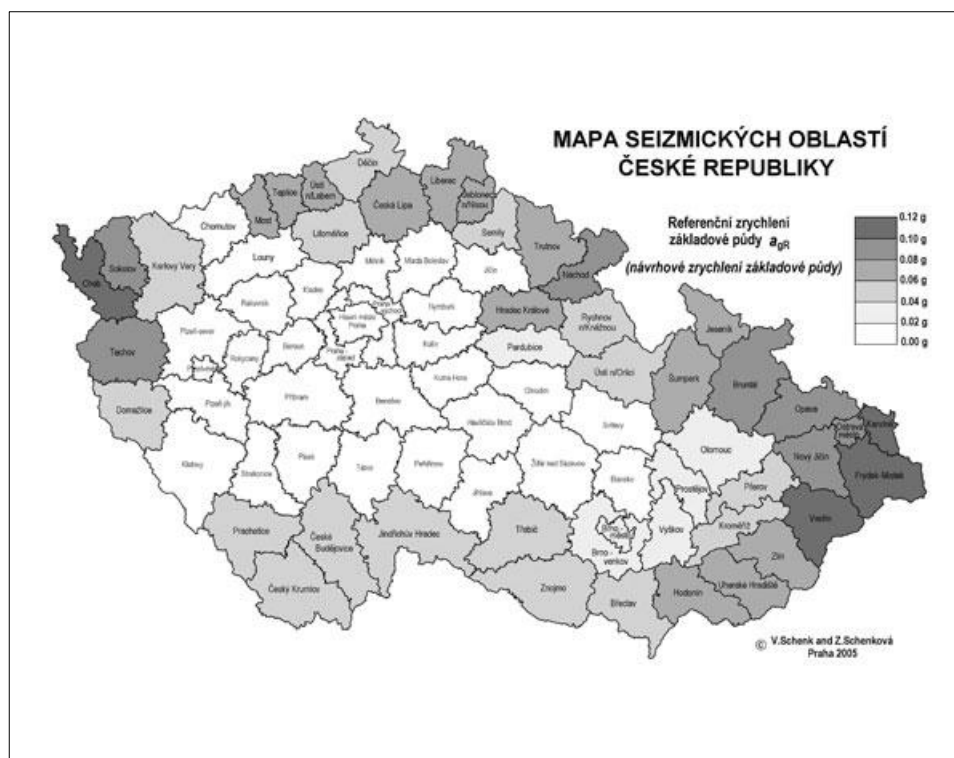
1.5 Seizmické oblasti

Nejvíce postižené oblasti seismicitou ve světě jsou Japonsko, Západ Spojených států amerických a Indonesie.

Tabulka 1 - 10 nejsilnějších změřených zemětřesení na Zemi [9]

1. Bio-Bio Chile	Mag 9,5
2. Southern Alaska	Mag 9,2
3. Off the West Coast of Northern Sumatra	Mag 9,1
4. Near the East Coast of Honshu, Japan	Mag 9,1
5. Off the East Coast of the Kamchatka Peninsula, Russia	Mag 9,0
6. 6. Offshore Bio-Bio, Chile	Mag 8,8
7. Near the Coast of Ecuador	Mag 8,8
8. Rat Islands, Aleutian Islands, Alaska	Mag 8,7
9. Eastern Xizang-India border region	Mag 8,6
10. Off the West Coast of Northern Sumatra	Mag 8,6

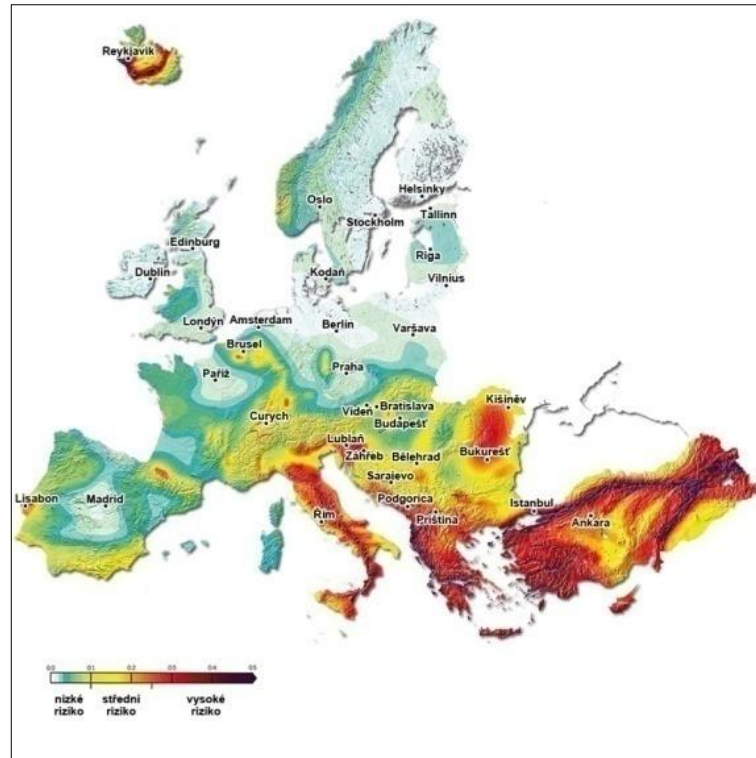
V České republice se zemětřesení vyskytuje v západních Čechách a na Ostravsku. Všechny tyto zasažené oblasti jsou označeny na mapě seismicity České republiky. Nejsilnější zemětřesení v České republice bylo naměřeno 21.12.1985 u obce Nový Kostel o magnitudu 4,6°. [10]



Obrázek 6 - Mapa seismických oblastí České republiky [11]

Velikou výhodou Eurokódu 8 [11] je jeho platnost. Platí totiž pro všechny státy Evropy. S jeho znalostí lze navrhovat objekty pozemních staveb na celém území Evropy. Z tohoto důvodu je dobré mít znalosti o seismicitě nejen na území ČR, ale i v ostatních částech Evropy.

Alpy se vytvořily před 22 miliony let, když se euroasijská deska srazila s africkou tektonickou deskou. Touto srážkou se začaly napříč Evropou šířit praskliny, které vedou pod hustě obydlenou oblastí střední Evropy. Čas od času v těchto prasklinách dojde ke kontaktu a začnou se šířit napříč Evropou silné otřesy. Příkladem může být zemětřesení 8.11.1983, kdy v belgickém městě Lutych zaznamenali vědci zemětřesení o síle 4,9 stupně Richterovy stupnice. Důsledkem zemětřesení bylo popraskání rozvodů vody a plynu a některé nízkopodlažní zděné objekty se zřítily. Nejsilnějším zaznamenaným zemětřesením v Evropě došlo 18.10.1356 ve švýcarském městě Basilej. Zemětřesení o síle 6,9^o město kompletně zničilo. [12]



Obrázek 7 - Mapa výskytu zemětřesení v Evropě [13]

1.6 DŮSLEDKY ZEMĚTŘESENÍ

Mezi hlavní důsledky patří např.:

- Sesuvy půd
- Zřícení budov
- Vlny tsunami
- Sněhové laviny

Mezi vedlejší důsledky patří:

- Vznik prasklin na budovách
- Pohyb předmětů
- Zvukové efekty
- Světelné efekty

Podle statistik páchají největší škody sesuvy půd, jako další vlny tsunami a za těmito pak zřícení budov.



Obrázek 8 - Následky zemětřesení ve městě San Francisco v roce 1906 [13]

Tabulka 2 – Tabulka znázornění zemětřesení v závislosti na počtu obětí [14]

Rok	Místo	Počet obětí	Magnitudo	Další poznámky
1556	Čína, Šan-si	830 000	~8	
2004	Indonésie, Sumatra	283 106	9,0	katastrofální tsunami
1976	China, Ťan-Šan	oficiálně 255 000	7,5	pravděpodobný počet obětí až 655 000.
1138	Sýrie, Aleppo	230 000		
856	Írán, Damghan	200 000		
1927	Čína, Čing-hai	200 000	7,9	mohutné trhliny v povrchu
1920	Čína, Gan-su	200 000	7,8	povrchové trhliny, sesuvy
893	Írán, Ardabil	150 000		
1923	Japonsko, Kanto	143 000	7,9	velký požár Tokia
1948	SSSR, Turkmenistán	110 000	7,3	
1908	Itálie, Messina	70 000 až 100 000	7,2	oběti následkem zemětřesení a tsunami
1290	China, Čih-li	100 000		
2005	Pákistán, Kašmír	80 361	7,6	
1667	Kavkaz	80 000		
1727	Írán, Tabriz	77 000		
1932	Čína, Gan-su	70 000	7,6	
1755	Portugalsko, Lisabon	70 000	8,7	velké tsunami
1970	Peru, Huascarán	66 000	7,9	svahové pohyby , záplavy
1935	Pákistán, Quetta	30 000 až 60 000	7,5	město Quetta téměř zcela zničeno
1693	Itálie, Sicílie	60 000		
1268	Malá Asie, Sicílie	60 000		
1990	západní Írán	40 000 až 50 000	7,7	sesuvy půdy
1783	Itálie, Kalábrie	50 000		

2 POŽADAVKY NA KONSTRUKCE

Hlavními požadavky na bezpečnou stavbu v seizmicky zatížené oblasti jsou požadavky na vyloučení zřícení, omezení škod a provozuschopnost u staveb sloužících k ochraně obyvatelstva.

Při posouzení na vyloučení zřícení je nutno ověřit, zda konstrukce odolá účinkům velikosti seizmického zatížení, které odpovídá pravděpodobnosti výskytu 10% v průběhu 50ti let. Navíc se musí posoudit, jestli toto zatížení nezpůsobí takové škody, které by mohly omezit provoz stavby a celkové náklady na obnovení do původního stavu, by byly neúměrné s cenou stavebního díla.

2.1 Zdivo:

Zdivo je materiál s velmi nízkou pevností v tahu. To má za příčinu jeho malou duktilitu a schopnost disipace energie. Proto se na zděné stavby v seizmických oblastech kladou požadavky. Tyto požadavky jsou dány normou ČSN EN 1998-1 EC8. Tažnost zdiva můžeme vylepšit použitím vyztuženého zdiva, nebo sevřeného zdiva. Nejznámější výztuží zdiva je výztuž Murfor. Tato výztuž je ocelová konstrukce tvaru příhrady, která se klade do ložných ploch zdiva.

Požadavky na mechanické vlastnosti zdiva jsou následující: Minimální pevnost zdícího prvku by měla být kolmo k ložné ploše 5MN/m^2 a rovnoběžně s ložnou plochou 2MN/m^2 . Doporučením použití zdiva v seizmické oblasti je použití vyztuženého nebo sevřeného zdiva.

Minimální tloušťka zděné stěny v seizmické oblasti je určena eurokódem 8 a je 240mm. V oblastech malé seismicity může být až 170mm.

2.2 Beton:

Betonovým konstrukcím namáhaným dynamickými účinky zvyšujeme duktilitu použitím výztuže typu C a správným návrhem výztuže, především ve stycích. V oblastech ve kterých lze očekávat vznik plastických kloubů je potřeba dostatečně propojit výztuž, aby mohlo docházet k redistribuci vnitřních sil.

Minimální rozměry jednotlivých konstrukčních prvků v konstrukci:

- Stěny min. tloušťka 150mm.
- Šířka trámu min. 200mm
- Min. rozměry čtvercového sloupu 250mm

2.3 Ocel:

Ocel jako materiál stavebních konstrukcí nachází v dnešní době širokou škálu využití. Je to díky jejím vlastnostem, kterými předčí ostatní materiály. Její široká škála využití je dána také tím, že jí lze snadno kombinovat s ostatními materiály. Jejími výhodami jsou, co se týče seizmických oblastí, především tažnost. Podle pracovního diagramu je jasné, že ocel vykazuje značné deformace ještě po dosažení meze kluzu.

Na co si dát pozor při konstrukci ocelových konstrukcí jsou spoje. Kotvení a spoje jsou samostatná kapitola návrhu. Jejich provedení musí splňovat mnohé nároky jako jsou: únosnost, trvanlivost, kontrolovatelnost (tento aspekt je velice důležitý, protože kotvení je často umístěno v místech se zvýšenou vlhkostí a je tak zvýšené riziko koroze materiálu). V seizmicky aktivních oblastech ještě přibývá schopnost redistribuce vnitřních sil.

Výhodou při návrhu ocelové konstrukce je vytvářet staticky neurčité sestavy. Umožnit konstrukci tvorbu plastických kloubů a disipaci energie.

2.4 Dřevo:

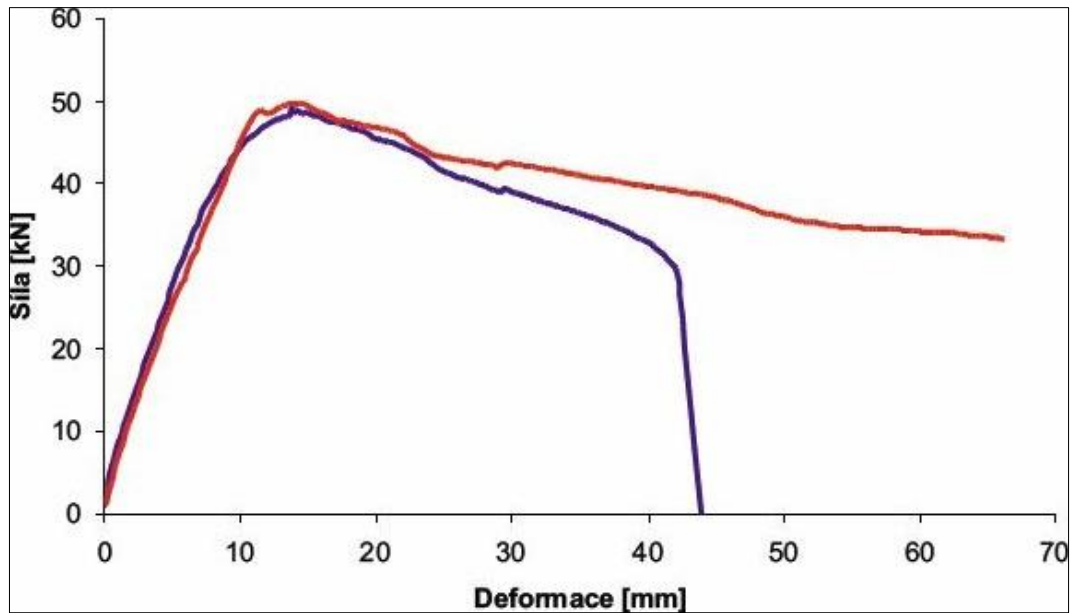
Dřevěné konstrukce jsou velice odolným materiálem při namáhání dynamickými silami. To dokazuje následně popsáný test: Tým vědců zatížil tavbu dynamickými účinky o síle 9° Richterovy stupnice a objekt bez poruchy tento stav přečkal. Opět jako u každého materiálu i u dřeva závisí jeho odolnost na tom, jak kvalitně budou spoje provedeny

2.5 Všeobecné požadavky:

Umístění stavby: neumísťovat stavbu do lokalit, kde by mohly hrozit sesuvy půd, nehomogenní podloží.

Projektování symetrických objektů – symetrie stavby hraje při návrhu stavebního objektu významnou roli a to jak symetrie půdorysná, tak symetrie po výšce stavby. Eurokód 8 rozlišuje symetrické a nesymetrické objekty a udává podmínky, kdy lze přistupovat k stavbě jako symetrické. Symetrie se váže k způsobu posouzení, tedy výpočtové metodě, kterou lze použít. [15]

Vlastnost, kterou by měl mít materiál vystaven dynamickému namáhání je duktilita. Duktilita je vlastnost konstrukce odolávat opakovanému zatížení bez výrazného poklesu pevnosti materiálu. Dokonale duktilní materiál je opakem materiálu, u kterého by došlo ke křehkému lomu. Bezpečná konstrukce v seizmicky aktivní oblasti by měla být duktilní se statickou neurčitostí. V takovém případě pokud zatížení překročí únosnost prvků, bude v konstrukci docházet ke tvorbě plastických kloubů a redistribuci zatížení.



Obrázek 9 - Grafické porovnání deformací výztuží duktility A a C [16]

3 OCHRANA BUDOV V SEIZMICKY AKTIVNÍCH OBLASTECH

Kmitání budovy působí negativně na její obyvatele. Proto se všemožnými prostředky snižuje akcelerace budovy na hodnoty, které už lidský organismus nevnímá. Cílem je snížit hodnoty zrychlení pod 0,015g. Vyšší hodnoty lidé pociťují nepříjemně až bolestivě.

Tlumení budovy může být provedeno dvěma způsoby, a to:

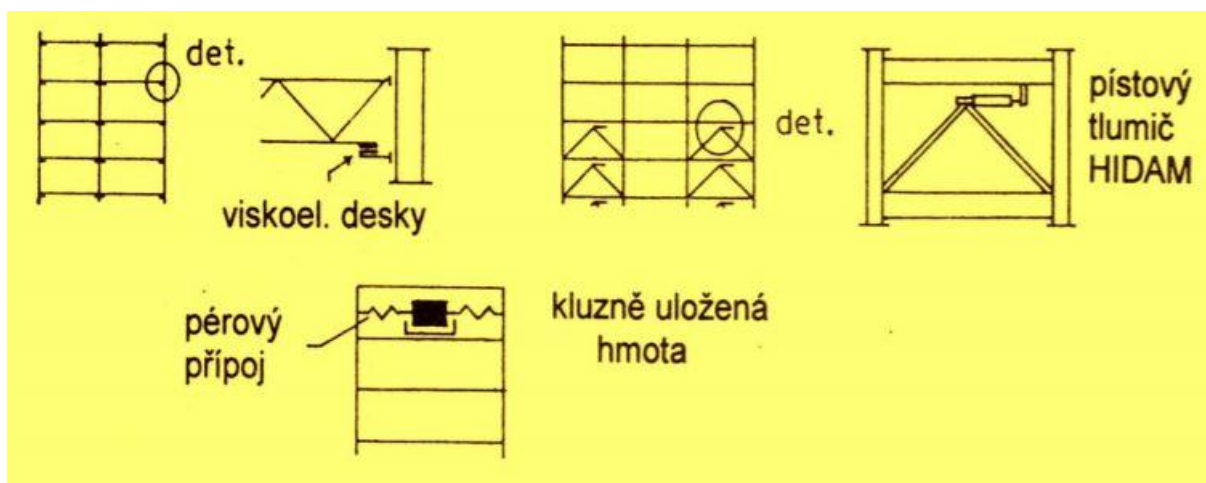
- Přirozeně
- Prostřednictvím tlumičů kmitání

Přirozené tlumení vychází z návrhu konstrukce. Umístění ztužujících prvků, symetrie, použitých materiálů a založením stavby.

Tlumení tlumiči kmitání lze rozdělit na:

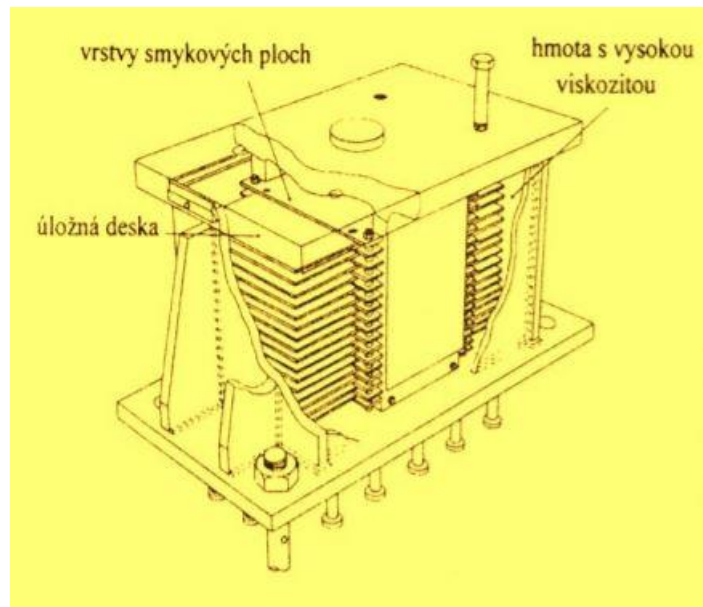
- Pasivní tlumiče
- Aktivní tlumiče

Pasivní tlumiče pracují na principu tření. Setkat se s nimi lze ve formě viskoelastických desek, pístů, nebo hmotě připojené ke konstrukci prostřednictvím pér.



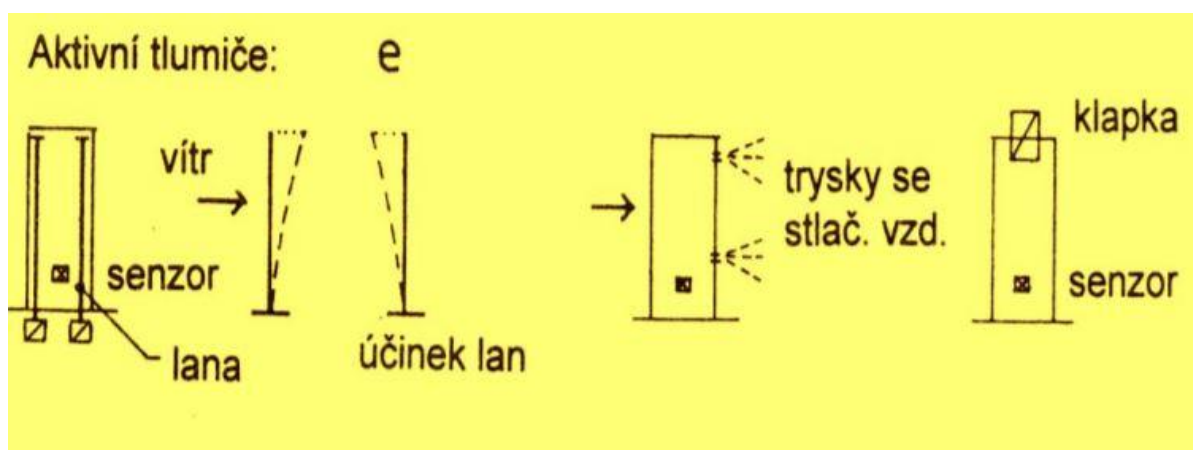
Obrázek 10 – Schéma použití viskózních tlumičů (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)

Na obrázku níže je zobrazeno schéma pasivního viskózního tlumiče. Tento tlumič byl použit např. u budovy World Trade Centre v místě styku stropních nosníků a sloupů. Při pohybu budovy dochází ke tření mezi vrstvami a vlivem vysoké viskozity, se tento pohyb eliminuje.



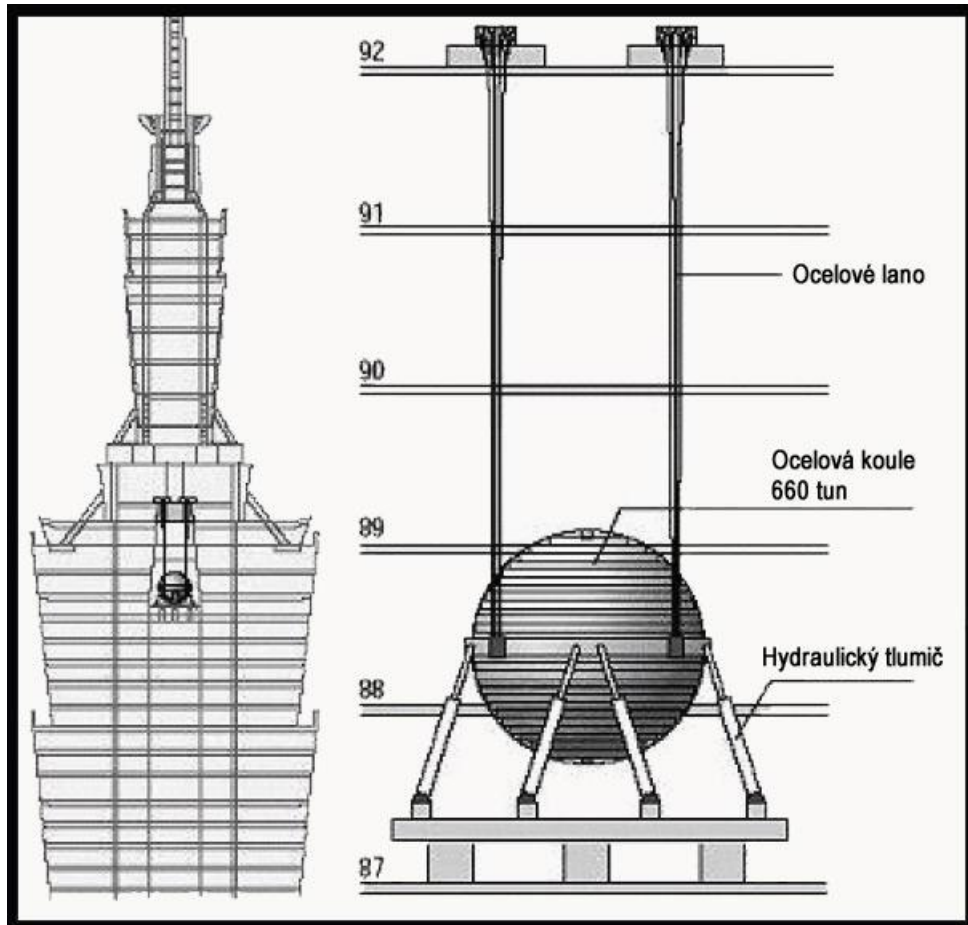
Obrázek 11 – Schéma viskózního tlumiče (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)

Aktivní tlumiče pracují na základě výsledků získaných senzory a následně příkazů získaného matematickým algoritmem. Příkladem mohou být lana natažená na výšku budovy po stranách stavby. Při vychýlení stavby ze svislé osy se lana začnou napínat a tím udrží konstrukci na správné pozici. Dalším aktivním tlumičem jsou např. trysky se stlačeným vzduchem po obvodu stavby.



Obrázek 12 – Schéma aktivních tlumičů (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)

Dalším způsobem eliminace vibrací do větru nebo zemětřesení je instalace takzvaných kyvadel. Tato kyvadla využívají princip setrvačnosti. Při vychýlení stavby ze své osy se současně začne kývat kyvadlo, které je obklopeno pneumatickými tlumiči. Ty absorbují kinetickou energii kyvadla a tím periodu celé konstrukce. Příkladem použití tohoto prvku je druhá nejvyšší budova na světě Taipei 101. [17]



Obrázek 13 – Kyvadlový tlumič [18]

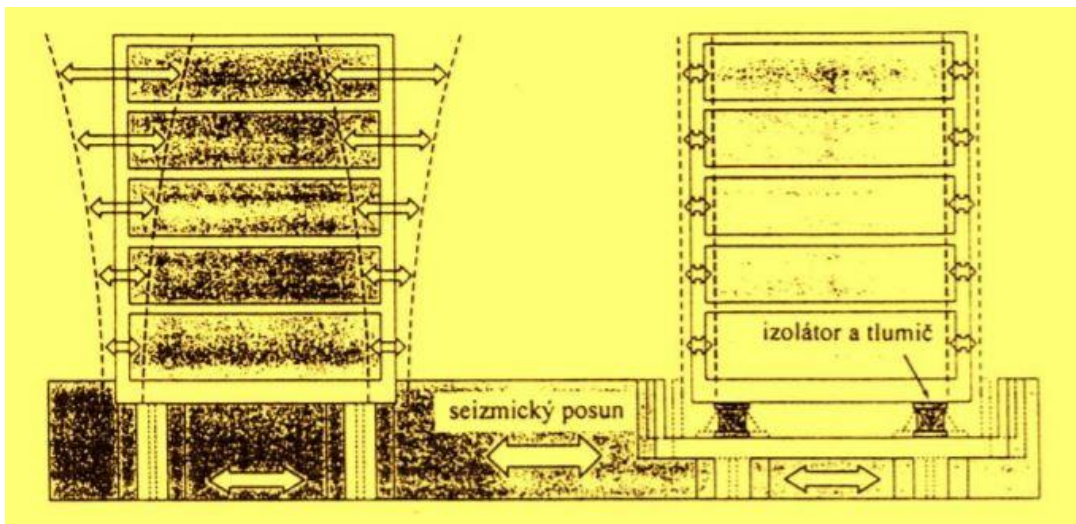
U budov založených v seismicky aktivních oblastech, ale stejně tak v oblastech se zvýšenými vibracemi od dopravní infrastruktury, je důležitá jejich interakce s podložím. Nejdokonalejším řešením by bylo vytvořit tak dokonalý izolační můstek mezi konstrukcí a zeminou, aby se konstrukce při zemětřesení pohybovala nezávisle na pohybu země. Nicméně takové řešení je pouze teoretické a v praxi se využívají různé konstrukční prvky, které alespoň zdánlivě simulují tento teoretický předpoklad.

Příklady základových izolátorů dynamického zatížení:

- Elastomerová ložiska
- Pružinová ložiska

Elastomerové rohože

Tyto konstrukční prvky svým charakterem a vlastnostmi zabraňují šíření vibrací do budov a tím napomáhají k větší akustické i pocitově lepší pohodě uvnitř staveb. Jejich použití je vhodné především v oblastech s vibracemi od dopravní infrastruktury.



Obrázek 14 – Rozdíl v běžné založení a založení s použitím izolátorů (Zdroj: Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.)

Konkrétní příklady prvků vhodných pro založení staveb v seizmické oblasti:

CDM-RAFT

Tento typ rohože se používá pro izolování základových desek především před vibracemi vyvozenými dopravní infrastrukturou. Výrobci tento typ rohože vyrábějí v různých tloušťkách a tvarech, aby se docílilo co nejlepšího řešení. Tyto rohože spolehlivě fungují do frekvencí 10Hz.



Obrázek 15 – Pružná rohož CDM-RAFT [19]

CDM-VHS

Tato ložiska jsou vyrobena z velice odolné rohože a oceli po vrstvách, které se střídají. Vzhledem k umístění ložisek do základových konstrukcí jsou ocelové desky opatřeny antikoročním ochranou, aby se zabránilo jejich degradaci vlivem koroze.



Obrázek 16 – Pružné ložisko CDM-VHS [19]

CDM-CHR-BOX

Tyto prvky jsou stlačené pružinové boxy které se používají u budov, kde je požadována přirozená frekvence 2,5 Hz až 4 Hz. Vyrábějí se na zadané zatížení, a proto už se po dobu stavby nedeformují



Obrázek 17 – Pružinové ložisko [19]

Důležitým aspektem při návrhu pružných podpor stavby je znalost statických i dynamických silových účinků působících na konstrukci.

4 VÝPOČETNÍ METODY

V této diplomové práci byl použit statický a dynamický posudek železobetonové stěnové konstrukce v programu Scia Engineer.

Metody seizmické analýzy rozeznáváme 4:

- Zjednodušená metoda spektrální odezvy
- Multimodální metoda spektrálních odpovědí
- Nelineární statická Pushover analýza
- Nelineární přímá integrace

Metoda výpočtu použita pro posouzení konstrukce v této diplomové práci na účinky seismicity byla multimodální metoda spektrálních odpovědí. Je to referenční metoda v EN 1998-1 (4.3.3.1 (2)).

V této metodě se veškeré konstrukce a zatížení převedou po patrech na hmoty o hmotnosti m . Každá tato hmota má 3 neznámé posuny. Proto když budeme mít v našem modelu 20 000 hmot, dostaneme 60 000 neznámých posuvů x, y, z , které nám tvoří vlastní tvary konstrukce.

Každý vlastní tvar je jeden statický systém, který se standartním způsobem počítá, a výsledky se následně zkombinují. Ve výsledku dostaneme obálku vnitřních sil.

Na rozdíl od zjednodušené metody nepředpokládá multimodální analýza rovnoměrné rozdělení tuhostí po stavbě. Takže dává výsledky oproti zjednodušené metodě reálné. Příkladem může být budova se skeletovým systémem v přízemí a stěnovým systémem v ostatních nadzemních podlažích. Takováto budova se bude deformovat nejvíce v přízemí a nadzemní podlaží budou fungovat jako tuhá krabice.

Základem této metody je výpočet vlastních tvarů. Tyto tvary se počítají pro elastický materiál a bez uvažování geometrické nelinearity. Vlastní tvary konstrukce musíme rozlišit podle důležitosti. To jak je který vlastní tvar důležitý závisí na tom, kolik hmoty v konkrétním vlastním tvaru kmitá. Důležité je dodat, že deformace stanovená při výpočtu vlastních tvarů, nemá jednotky.

Nelinearity se dají započítat pouze velice zjednodušeným způsobem a to redukcí tuhostí prvků. Nelineární podpory se zohlednit vůbec nedají. Náhodná excentricita musí být přidána ručně.

Použitím této metody se získají pouze maximální hodnoty zrychlení. Tlumení konstrukce se zohlední pouze globálními součiniteli. Běžně se tlumení stanovuje 5%.

Ve výsledku získáme maximální momenty a maximální osová síly. Problém by proto mohl nastat u konstrukcí, kde by byla nejnepříznivější kombinace na prvek max. moment a min. osová síla. To nám tato metoda neumožňuje. Příkladem takového prvku může být sloup namáhaný vzpěrem.

Celková hmota je součet jednotlivých hmot v jednotlivých zatěžovacích stavech a stavebních konstrukcích.

Modální síly v bodech s hmotami se spočítají následujícím způsobem:

$$F = M \cdot \vec{u} \cdot a \cdot koef \quad (2)$$

M Matice hmot

u Vektor deformací z vlastních tvarů

a Zrychlení

koef. Koeficient který se spočítá vynásobením deformací z vlastních tvarů a hmotou

Dostaneme síly do každé hmoty.

Program Scia engineer nám umožňuje výběr spektra dle krajiny, ve které se objekt vyskytuje, nebo vyskytovat bude. Tato spektra jsou součástí národních příloh a slouží k odečtu zrychlení, které na konstrukci působí.

Poté co se spočítají síly pro každou hmotu, získají se klasickým statickým výpočtem průběhy vnitřních sil. Tyto vnitřní síly se spočítají ale pro každý vlastní tvar. Pro vytvoření obálky těchto vnitřních sil existují dvě metody výpočtu:

- Metoda SRSS – nevhodné pro vlastní tvary frekvencí lišících se o méně než 10%
- Metoda CQC – metoda použita v praktické části

Prvním krokem výpočtu je výpočet součinitele „ R_0 “. Tento koeficient je závislý na tlumení (běžně 5%) a na součiniteli „ r “, který je závislý na frekvencích. Pokud jsou dvě frekvence sobě velmi blízké, je tento součinitel veliký. Jsou-li odlišné a je mezi nimi velký rozdíl, pak je tento součinitel malý. Je tedy nepřímým frekvencím.

CQC – Complete Quadratic Combination

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_{(i)} \cdot \rho_{i,j} \cdot R_{(j)}}$$

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

Cross Modal Coefficient $\rho_{i,j} = \rho_{j,i}$

$$r = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

Obrázek 18 – Vzorce pro výpočet

$$\omega = \frac{f}{2 \cdot \Pi}$$

Vztah pro úhlovou frekvenci (3)

$$\rho_{0,0} = \frac{(8 \cdot \xi \cdot (\xi + r_{0,0} \cdot \xi) \cdot \sqrt{r_{0,0}^3})}{(1-r_{0,0}^2)^2 + 4 \cdot (\xi^2 \cdot r_{0,0}) (1+r_{0,0}^2) + 4 (\xi^2 + \xi^2) \cdot r_{0,0}^2} = 1$$

$$\rho_{0,1} = \frac{(8 \cdot \xi \cdot (\xi + r_{0,1} \cdot \xi) \cdot \sqrt{r_{0,1}^3})}{(1-r_{0,1}^2)^2 + 4 \cdot (\xi^2 \cdot r_{0,1}) (1+r_{0,1}^2) + 4 (\xi^2 + \xi^2) \cdot r_{0,1}^2} = 0.027$$

$$\rho_{1,0} = \frac{(8 \cdot \xi \cdot (\xi + r_{1,0} \cdot \xi) \cdot \sqrt{r_{1,0}^3})}{(1-r_{1,0}^2)^2 + 4 \cdot (\xi^2 \cdot r_{1,0}) (1+r_{1,0}^2) + 4 (\xi^2 + \xi^2) \cdot r_{1,0}^2} = 0.027$$

$$\rho = \begin{bmatrix} 1 & 0.027 & 0.004 & 0.002 \\ 0.027 & 1 & 0.014 & 0.005 \\ 0.004 & 0.014 & 1 & 0.054 \\ 0.002 & 0.005 & 0.054 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\rho_{i,j} = \rho_{j,i}$$

Obrázek 19 – Vzorce pro výpočet součinitelů „ró“

$$r := \begin{bmatrix} \omega_0 & \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 \\ \omega_0 & \omega_0 & \omega_0 & \omega_0 \\ \omega_0 & \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 \\ \omega_1 & \omega_1 & \omega_1 & \omega_1 \\ \omega_0 & \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 \\ \omega_2 & \omega_2 & \omega_2 & \omega_2 \\ \omega_0 & \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 \\ \omega_3 & \omega_3 & \omega_3 & \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.778 & 3.942 & 5.937 \\ 0.563 & 1 & 2.217 & 3.34 \\ 0.254 & 0.451 & 1 & 1.506 \\ 0.168 & 0.299 & 0.664 & 1 \end{bmatrix}$$

Obrázek 20 – Matice součinitele „r“

Příklad výpočtu ohybového momentu M_y :

Výsledný moment se spočte součtem jednotlivých momentů M_{yx} a následnou odmocninou ze součtu. Přičemž jednotlivé momenty jsou součty řádků v matici MY.

$$MY := \begin{bmatrix} M_{y_0} \cdot \rho_{0,0} \cdot M_{y_0} & M_{y_0} \cdot \rho_{0,1} \cdot M_{y_1} & M_{y_0} \cdot \rho_{0,2} \cdot M_{y_2} & M_{y_0} \cdot \rho_{0,3} \cdot M_{y_3} \\ M_{y_1} \cdot \rho_{1,0} \cdot M_{y_0} & M_{y_1} \cdot \rho_{1,1} \cdot M_{y_1} & M_{y_1} \cdot \rho_{1,2} \cdot M_{y_2} & M_{y_1} \cdot \rho_{1,3} \cdot M_{y_3} \\ M_{y_2} \cdot \rho_{2,0} \cdot M_{y_0} & M_{y_2} \cdot \rho_{2,1} \cdot M_{y_1} & M_{y_2} \cdot \rho_{2,2} \cdot M_{y_2} & M_{y_2} \cdot \rho_{2,3} \cdot M_{y_3} \\ M_{y_3} \cdot \rho_{3,0} \cdot M_{y_0} & M_{y_3} \cdot \rho_{3,1} \cdot M_{y_1} & M_{y_3} \cdot \rho_{3,2} \cdot M_{y_2} & M_{y_3} \cdot \rho_{3,3} \cdot M_{y_3} \end{bmatrix}$$

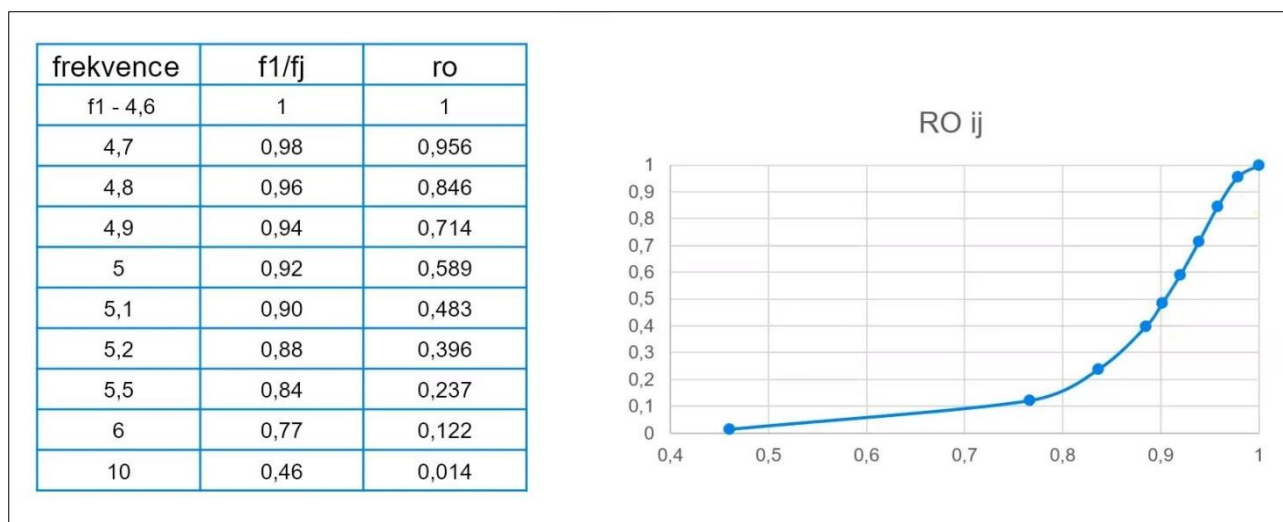
$$MY = \begin{bmatrix} 94037002571444 & 0 & 13746490303.172 & 588753972.086 \\ 13746490303.172 & 0 & 151377466704.561 & 752287890.506 \\ 588716257.778 & 0 & 743946983.489 & 1265349991.234 \end{bmatrix}$$

$MY0 := \sum MY^0 = 94051337815719.3$
 $MY1 := \sum MY^1 = 0$
 $MY2 := \sum MY^2 = 165876244898.239$
 $MY3 := \sum MY^3 = 2598013232.501$

$R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_{(i)} \cdot \rho_{i,j} \cdot R_{(j)}}$

$$MY := \sqrt{MY0 + MY1 + MY2 + MY3} = 9706689.778$$

Obrázek 21 – Příklad výsledného momentu m_y



Obrázek 22 - Matematické vyjádření funkce součinitele R_0 v závislosti na frekvencích ve vlastních tvarech.

(20)

5 POROVNÁNÍ BUDOV V ROZDÍLNÝCH OBLASTECH

Pro účely naplnění tématu diplomové práce byl zvolen objekt ze železobetonové konstrukce. Konstrukční systém je řešení jako stěnový podélný o dvou traktech.

Charakter stavby: Bytový dům

Počet podlaží: 1 podzemní podlaží, 3 nadzemní podlaží.

Použitý beton:

- Podzemní podlaží: C25/30 D_{\max} 16mm, XC2, Cl 0,4, S4 v obou výpočtových variantách.
- Nadzemní podlaží: C25/30 D_{\max} 22mm, XC1, Cl 0,4, S4 v obou výpočtových variantách.

Výztuž B500B v oblasti nezátížené seismicitou

Výztuž B500C v oblasti zatížené seismicitou.

Konstrukční řešení:

- Svislé nosné konstrukce (kromě výtahového jádra): Tl.: 200mm
- Stěny výtahového objektu: Tl. 180mm
- Stropní konstrukce: Tl. 200mm
- Přejížděcí trámy v desce 1PP:
 - 1000x450mm
 - 575x450mm
- Základové konstrukce: Bílá vana – stěny tl. 250mm, základová deska tl 300mm
- Střešní konstrukce: Železobetonová deska tl. 200mm

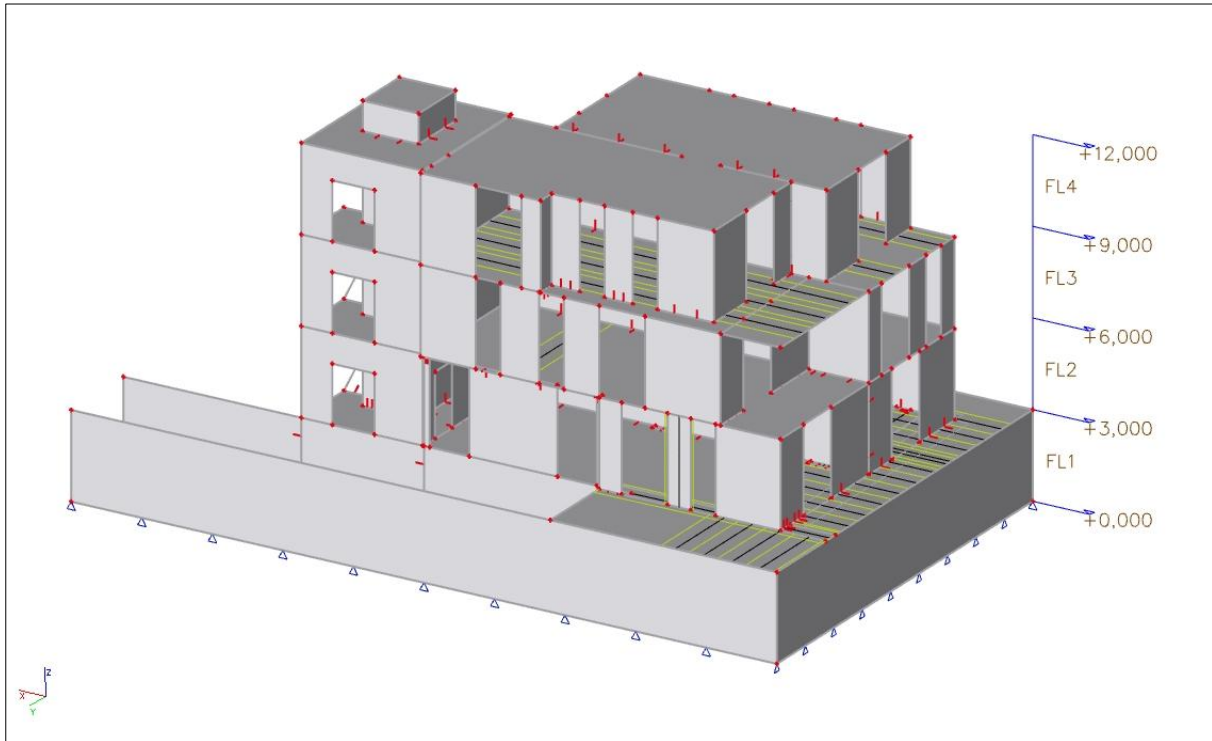
Zatížení působící na konstrukci:

- Vlastní tíha
- Stálé zatížení
- Užitná zatížení
- Sníh

- Vítr
- Seizmické zatížení

5.1 Výpočet bez vlivu seismicity

Kompletní výpočet je součástí přílohy B.1



Obrázek 23 – Výpočtový model v softwaru Scia Engineer (Zdroj: autor)

5.2 Výpočet s uvažováním vlivu seismicity

Výpočet vlivu seismicity byl proveden dle základní metody Eurokódu 8, metodou spektrálních odpovědí v softwaru Scia Engineer. Tato metoda byla zvolena na základě odstavce 4.3.3.2 v EN 1998-1

Podmínky pro použití multimodální metody spektrálních odpovědí:

- Podmínka a) $T_1 < 4 \cdot T_c$ a současně $T_1 < 2 \text{sec}$.
 - $T_1 = 0,18 \text{sec} < 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{sec}$. Tato podmínka je splněna
- Podmínka b) Kritéria pravidelnosti Tato podmínka není splněna

Vstupní hodnoty výpočtu:

- $a_{gR} = 0,12g$ (Referenční zrychlení základové půdy (návrhové zrychlení základové půdy)
- Spektrum pružné odezvy konstrukce – EC typ 2: Předpoklad zemětřesení magnitudu menším než $5,5^\circ$
- Typ základové půdy D - Sedimenty z kyprých až středně ulehlých nesoudržných zemin

Okrajové podmínky výpočtu:

- Součinitel hmoty pro stěny 1.PP, základovou desku a desku 1.PP = 1%
- Spodní stavba byla pevně uchycena podporami, protože se pohybuje při zemětřesení shodně se zeminou.

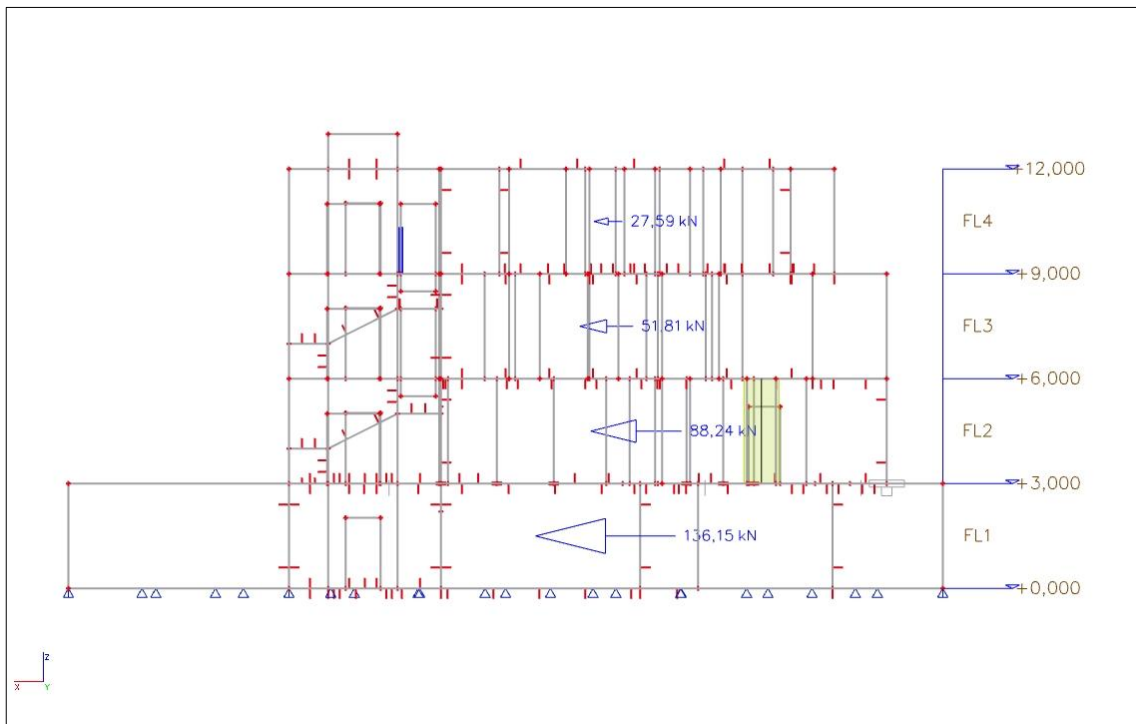
Kompletní dynamický výpočet s výstupy je součástí přílohy A.1. Výsledné hodnoty na konstrukci jsou pro MSÚ_Seismicita a zvláště, aby bylo možné přesně prozkoumat vliv seismicity, pro zatěžovací stavy: seismicita ve směru X a seismicita ve směru Y.

5.3 Srovnání staveb z hlediska sil působících na konstrukci

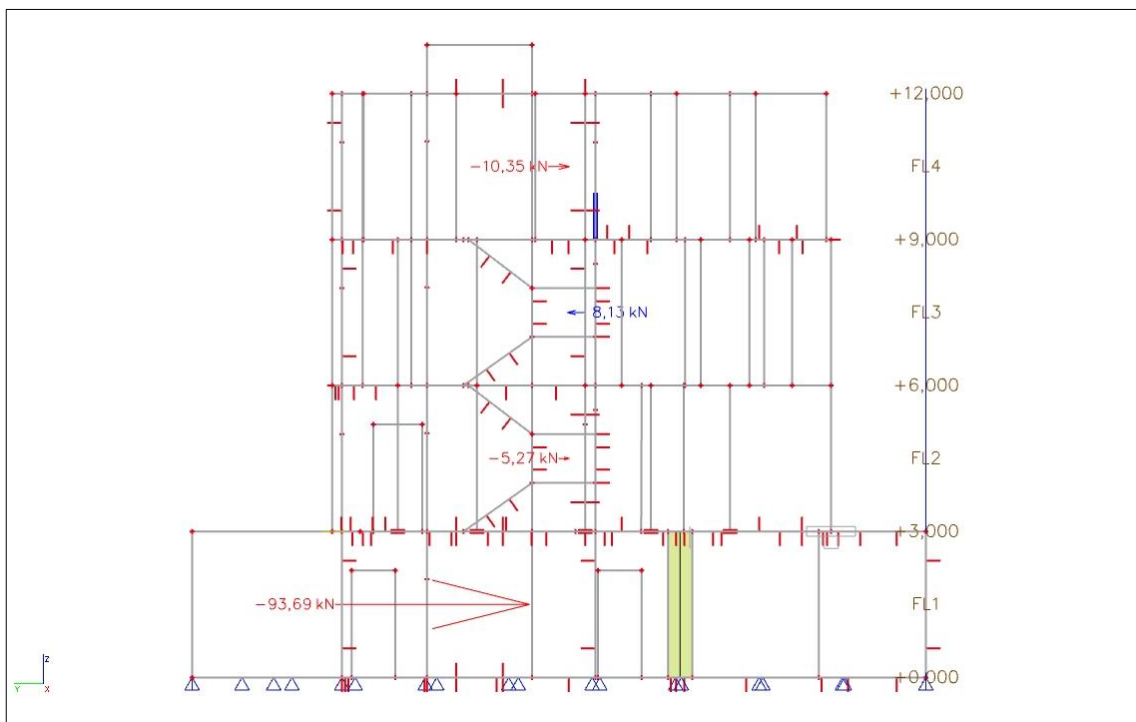
Výsledné síly umožňují pozorovat, které konstrukční prvky přebírají nejvíce zatížení a které se na ztužení stavby příliš nepodílí. Modifikátory vlastností v softwaru Scia Engineer umožňují kterýmkoliv prvkům zvýšit, nebo naopak snížit tuhost. Tímto přístupem lze u prvků, u kterých předpokládat vznik trhlin a zvýšené deformace, snížit tuhost. Tím pádem se zatížení přeneso do ostatních stěn, které se považují za primárně ztužující.

5.3.1 Porovnání staveb z hlediska výsledných sil po patrech

Objekt zatížen kombinací MSÚ – Statický výpočet

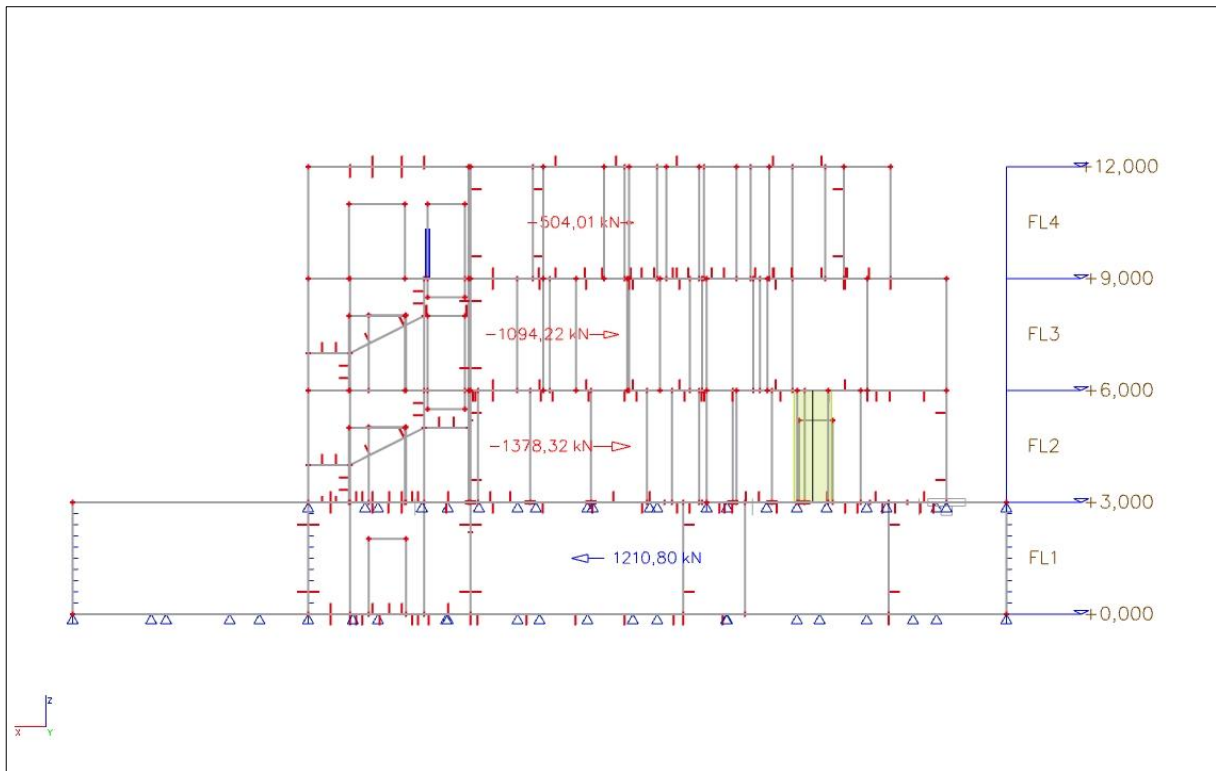


Obrázek 24 - Výsledné síly – Směr X (Zdroj: autor)

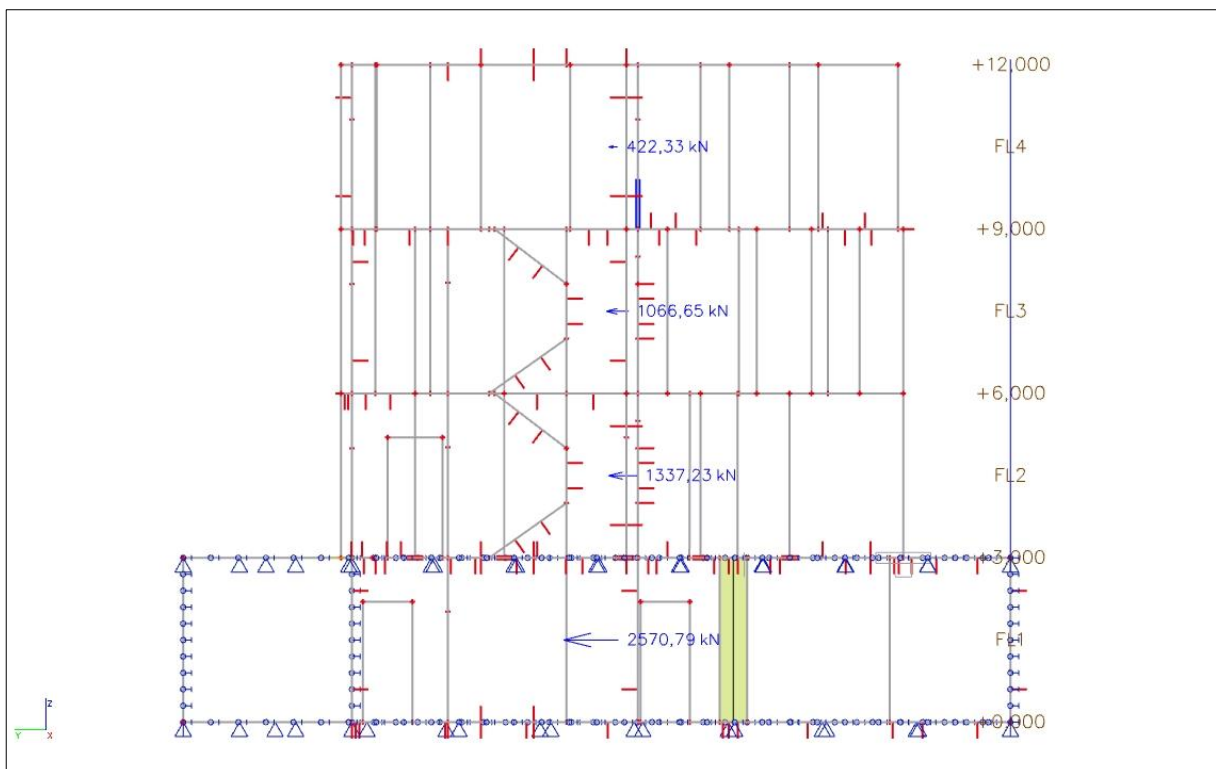


Obrázek 25 - Výsledné síly – Směr Y (Zdroj: autor)

Objekt zatížen kombinací MSÚ Seismicita – Dynamický výpočet



Obrázek 26 - Výsledné síly – Směr X (Zdroj: autor)

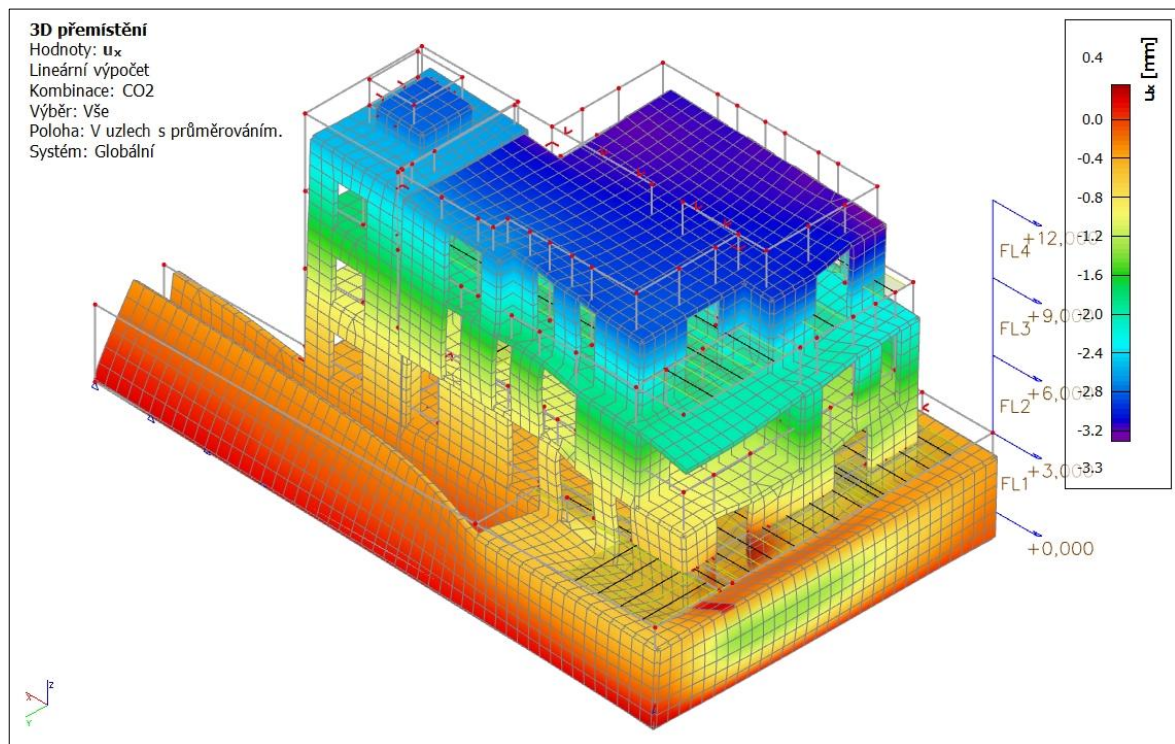


Obrázek 27 - Výsledné síly – Směr Y (Zdroj: autor)

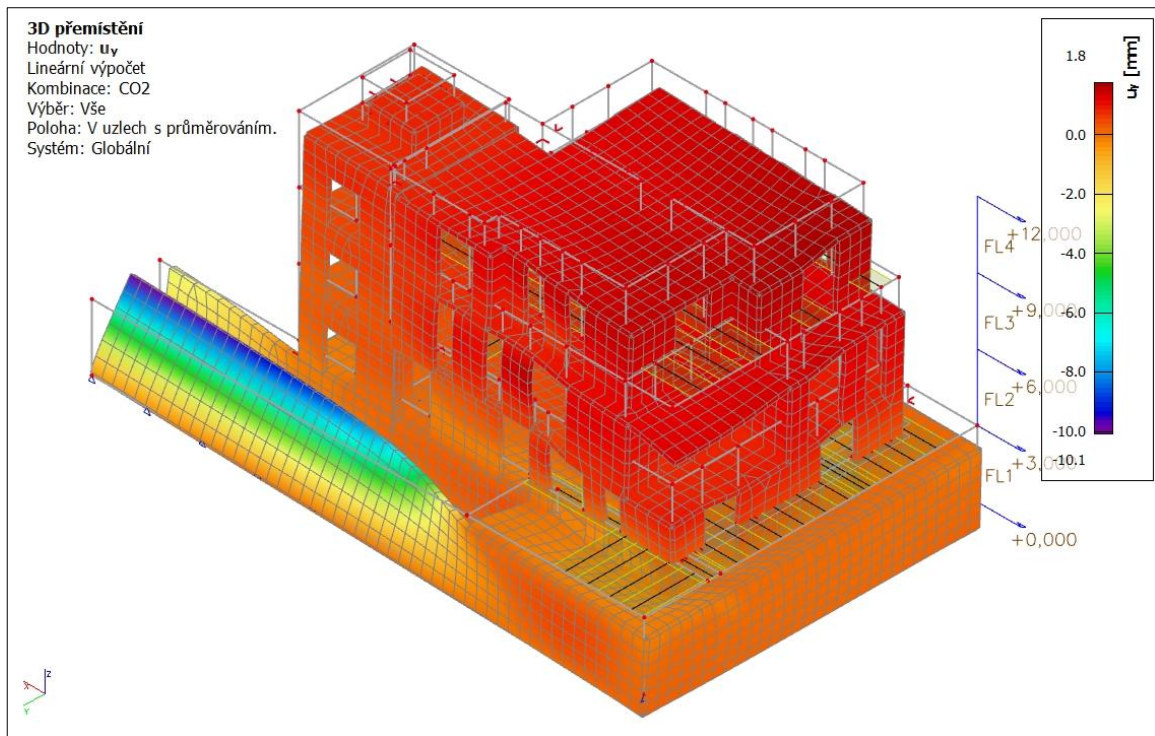
Výsledné síly po patrech se razantně liší. To opět dokazuje jak důležité je objekt v seizmicky aktivní oblasti ztužit v horizontální rovině. Další zajímavostí, kterou lze odečíst z těchto výsledku je, že směrem k vrcholu budovy horizontální zatížení klesá. To jednoduše zdůvodnit Newtonovým zákonem síly: $F = m \cdot a$. Hmotnost je největší v patě budovy a proto i síla zde musí být největší.

5.3.2 Srovnání staveb z hlediska deformací

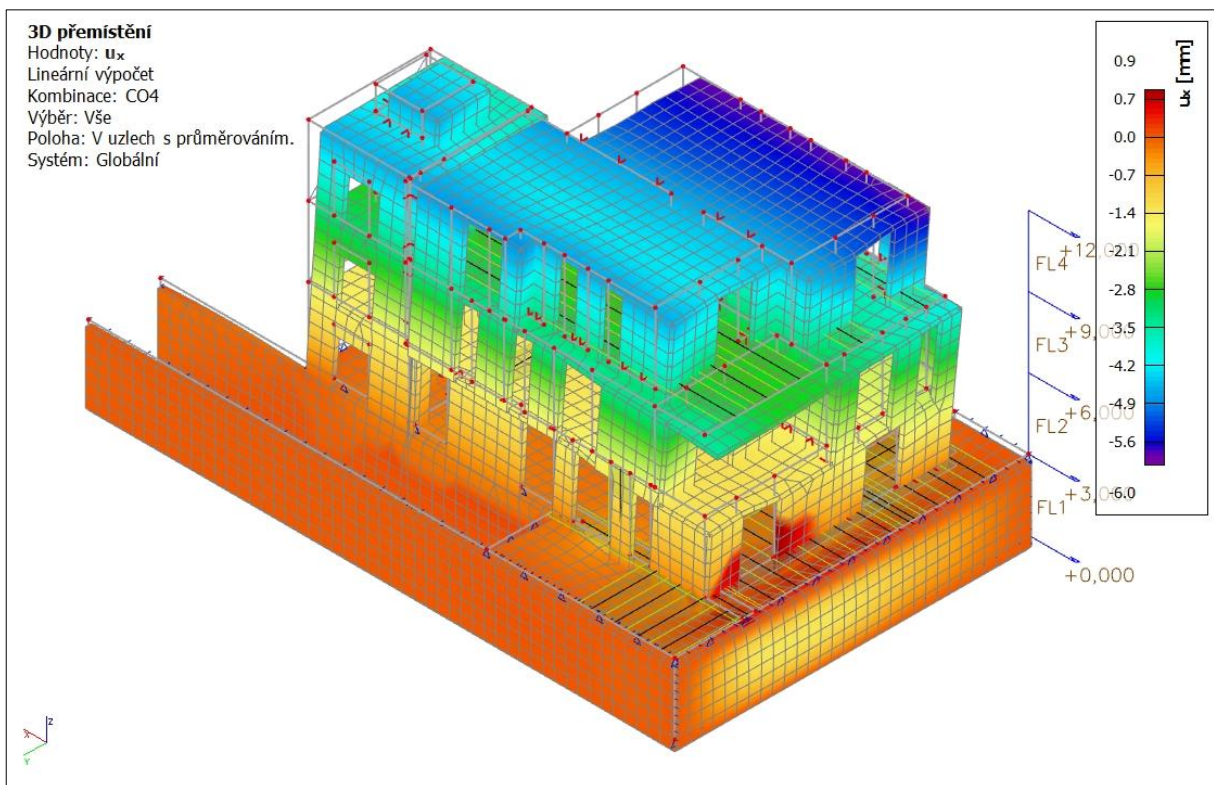
Objekt zatížen kombinací na MSP – Statický výpočet

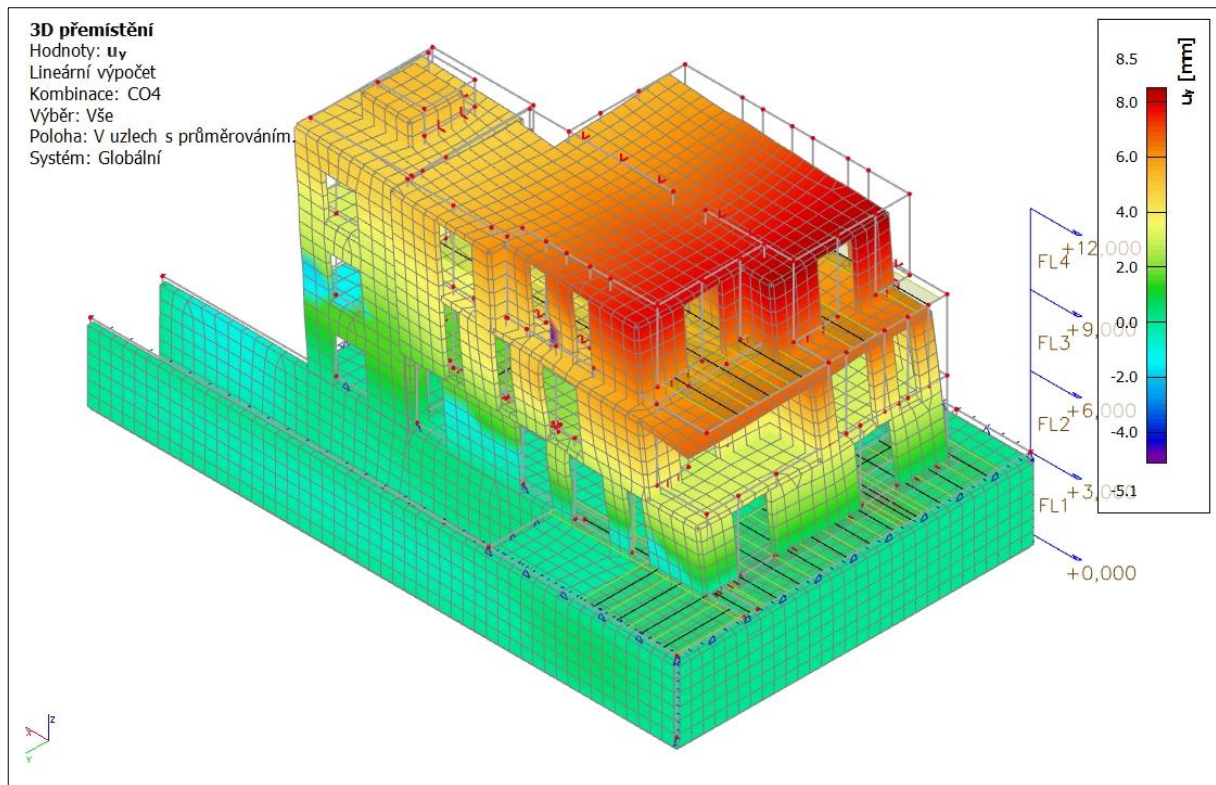


Obrázek 28 - Horizontální přemístění u_x (Zdroj: autor)

Obrázek 29 - Horizontální přemístění u_y (Zdroj: autor)

Objekt zatížen kombinací na MSP (seizmická) – Dynamický výpočet

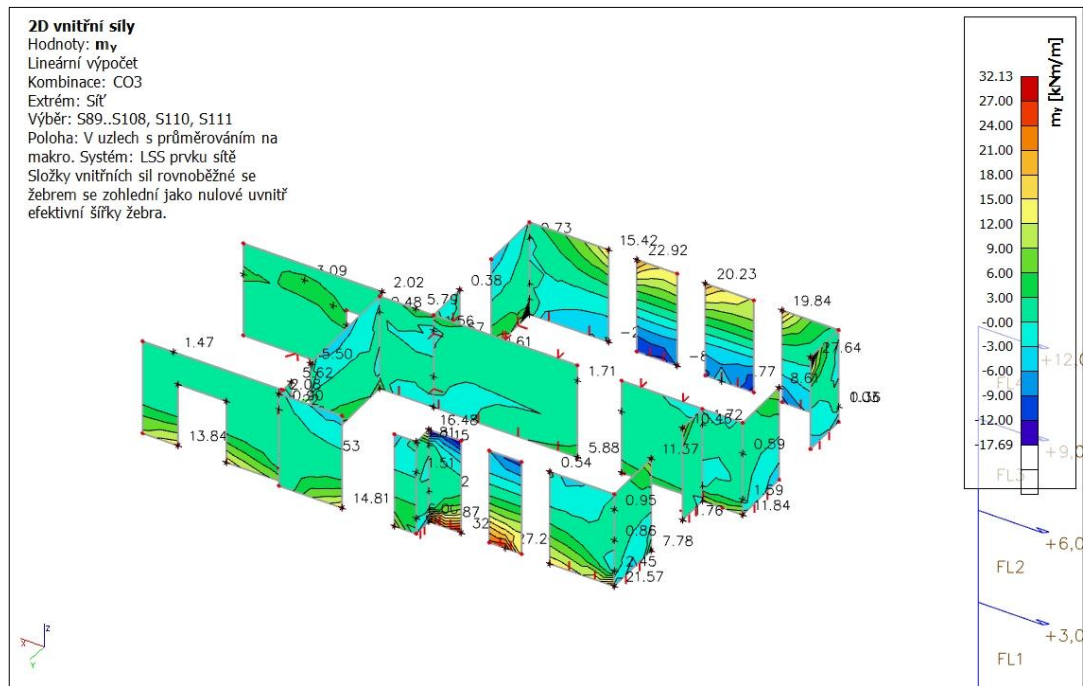
Obrázek 30 - Horizontální přemístění u_x (Zdroj: autor)

Obrázek 31 - Horizontální přemístění u_y (Zdroj: autor)

U stavby zatížené seismicitou vykazuje konstrukce větší deformace. A to ve směru X téměř 2x větší a ve směru Y až 4x větší. Deformaci konstrukce ovlivňuje nepřímo-úměrně její tuhost. Pokud bychom chtěli zmenšit deformaci konstrukce v seismické kombinaci, museli bychom buďto zvýšit třídu betonové směsi, přidat ztužující prvky, nebo zvětšit rozměry ztužujících prvků konstrukce.

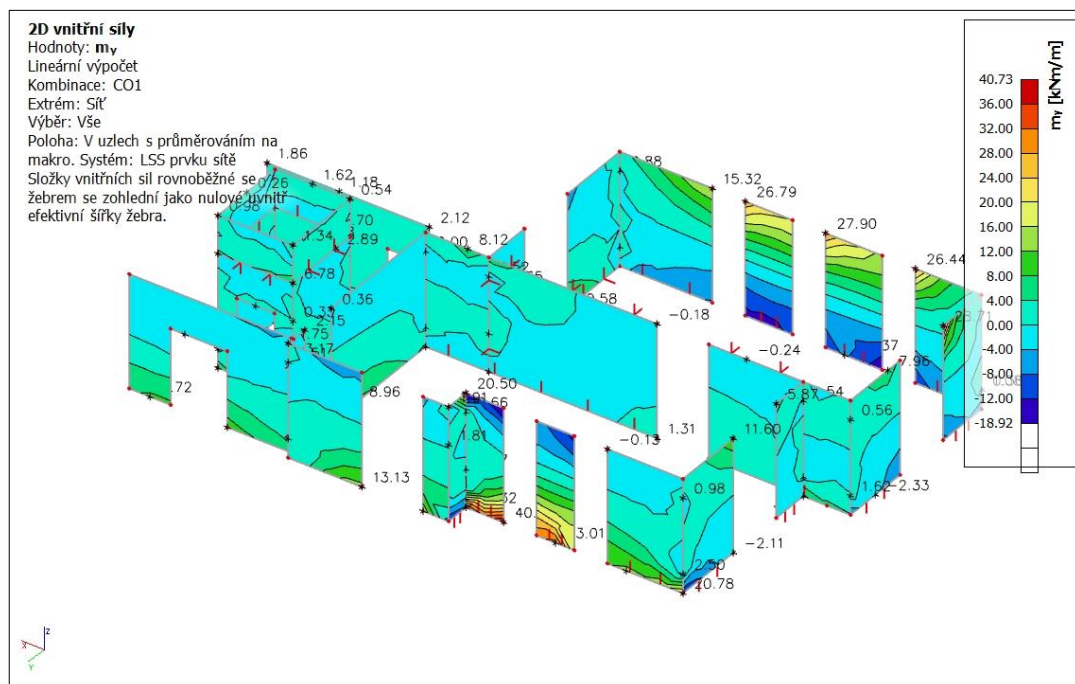
5.3.3 Srovnání staveb z hlediska momentů m_y ve stěnách 3.NP

Objekt zatížen kombinací MSÚ (seizmická) – Dynamický výpočet



Obrázek 32 - 3.NP stěny - vnitřní síly m_y (Zdroj: autor)

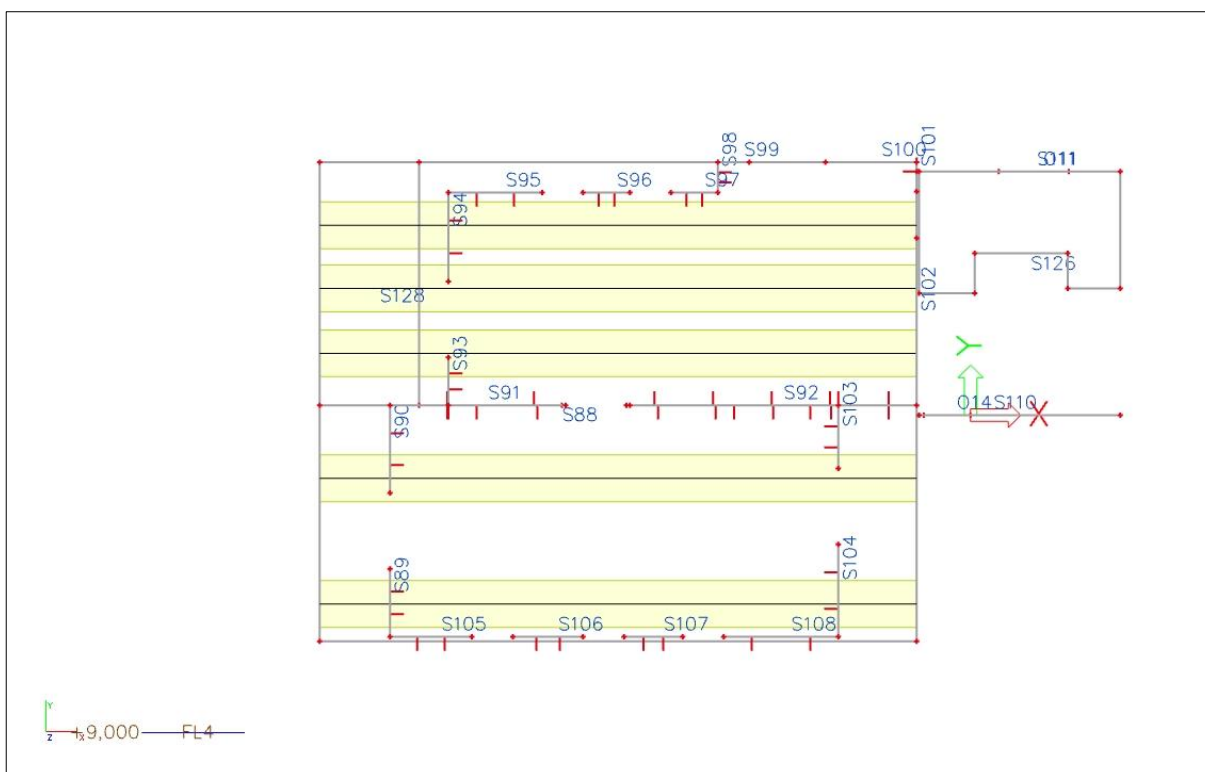
5.3.4 Objekt zatížen kombinací na MSÚ – Statický výpočet



Obrázek 33 - 3.NP stěny - vnitřní síly m_y (Zdroj: autor)

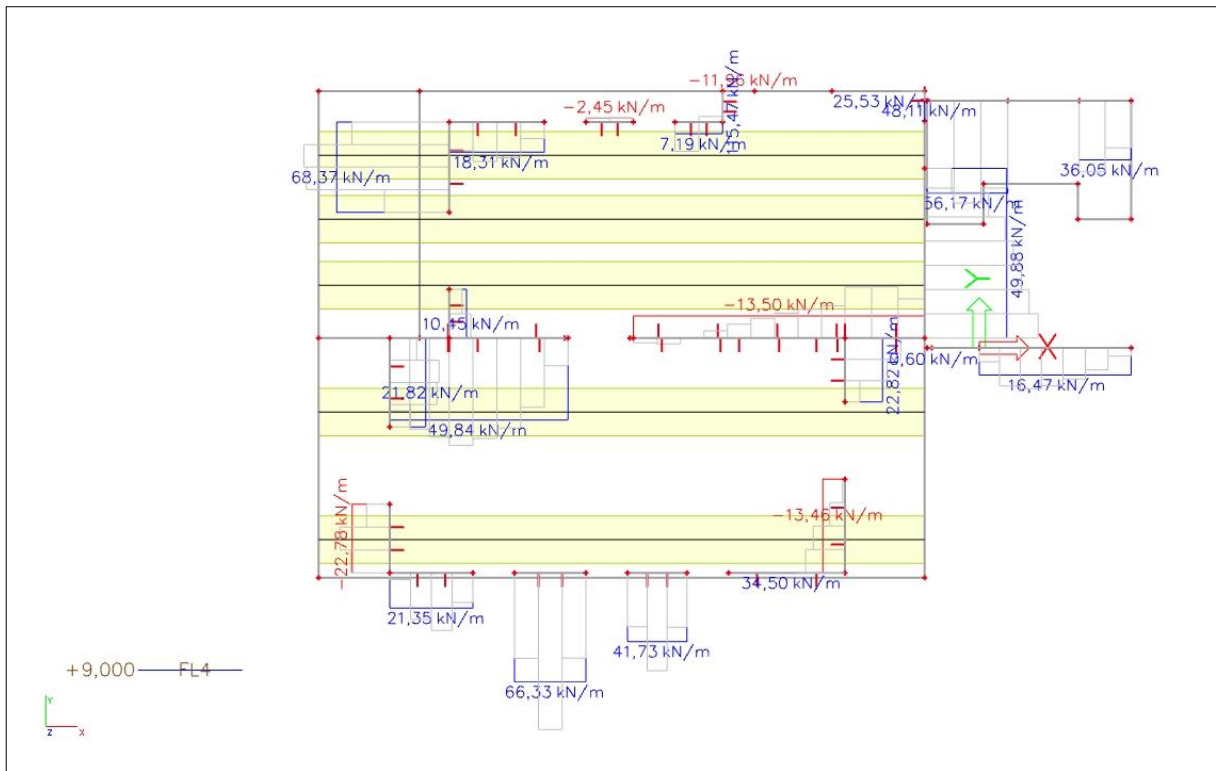
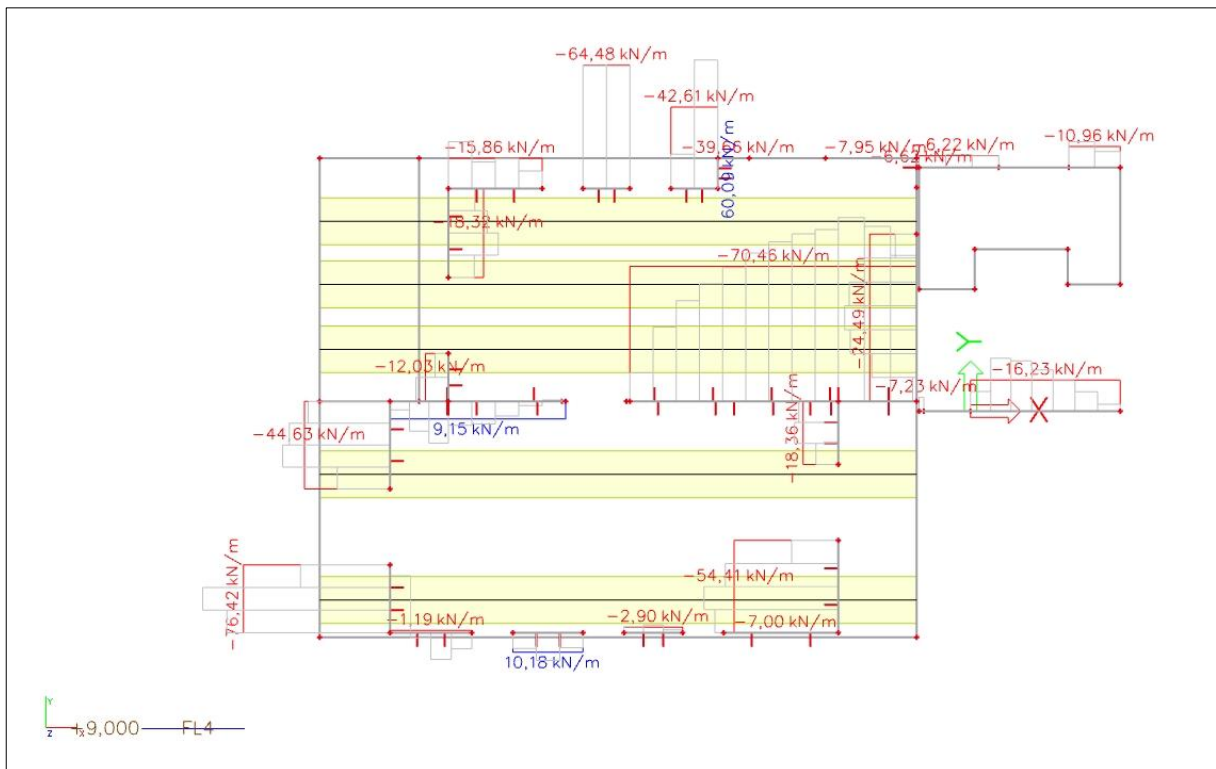
Průběhy momentů m_y ve stěnách 3.NP jsou větší ve statickém posudku. Proto nelze dimenzovat prvky nosného systému pouze z jednoho druhu posudku, ale je zapotřebí při dimenzování konkrétního konstrukčního prvku najít jeho největší zatížení $m_{y,Ed}$. To že momenty m_y jsou větší ve statickém posudku je dáno tím, že v MSÚ je horizontální zatížení přímo zadáno na plochy stěn, kdežto v MSÚ_Seismicita je horizontální zatížení umístěno do těžiště hmot. Navíc je důležité zdůraznit, že pravděpodobnost výskytu zatížení Vítr + Seismicita je natolik nízká, že v seizmické kombinaci na MSÚ jsou koeficienty pro zatěžovací stavy definované jako „Vítř“ nulové.

Výsledky po patrech pro smykové síly n_{xy} .

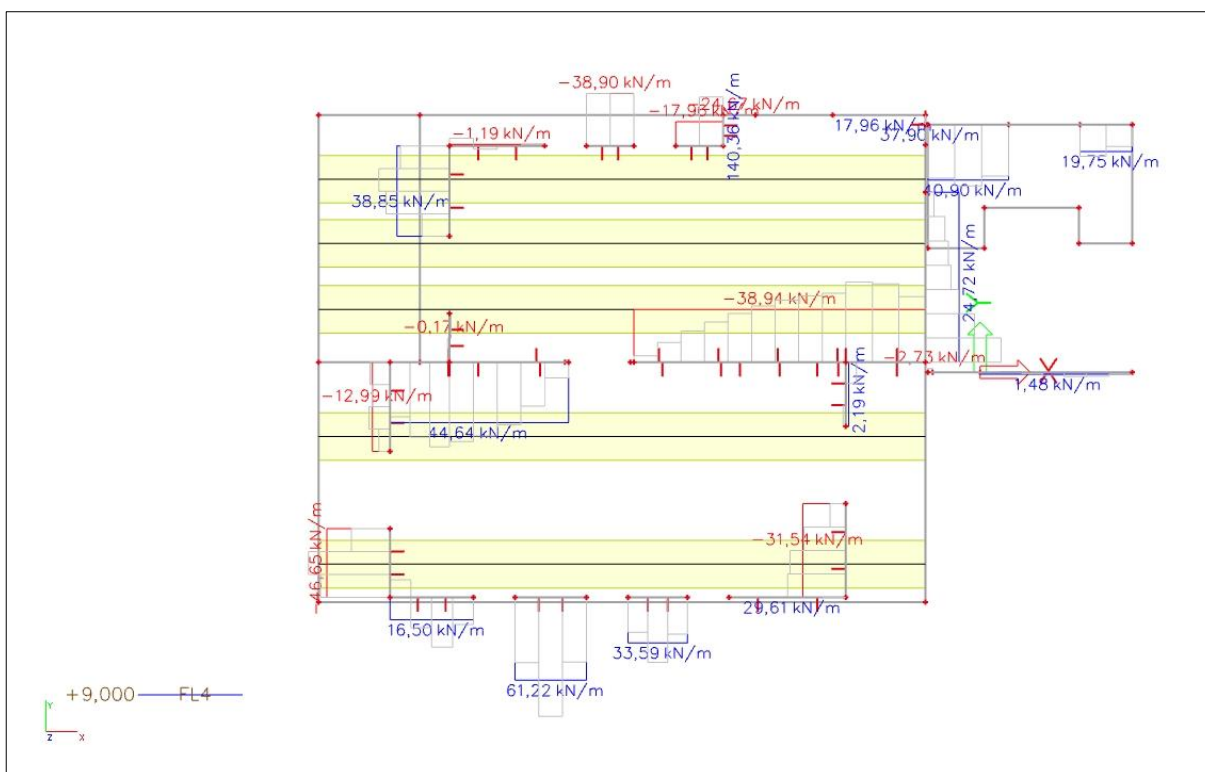
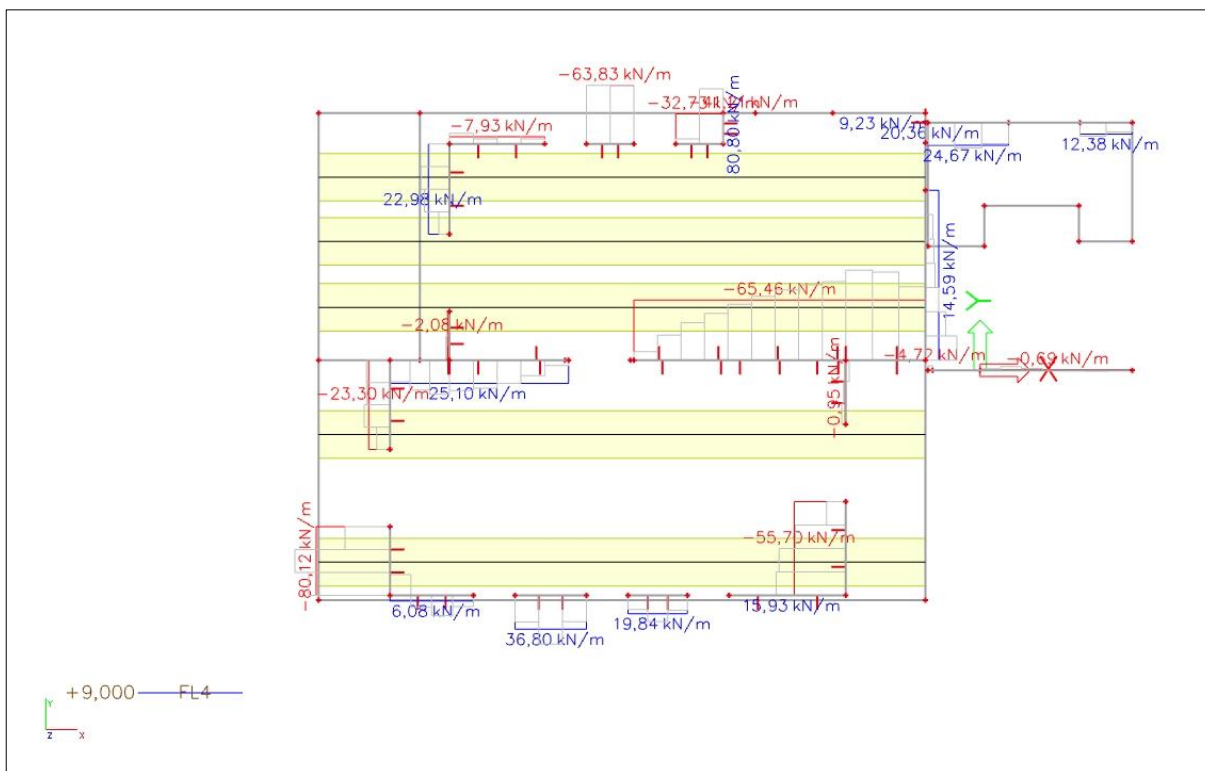


Obrázek 38 - 3.NP stěny – půdorys s popisnými stěnami (Zdroj: autor)

Objekt zatížen kombinací na MSÚ Seismicita – Dynamický výpočet

Obrázek 39 - 3.NP stěny – Vnitřní síly n_{xy} max []Obrázek 40 - 3.NP stěny – vnitřní síly n_{xy} min []

Objekt zatížen kombinací na MSÚ – Statický výpočet

Obrázek 41 - 3.NP stěny – vnitřní síly n_{xy} max []Obrázek 42 - 3.NP stěny – vnitřní síly n_{xy} min []

Stěna: S92

- MAX
 - MSÚ – -38,94 kN/m
 - MSÚ_Seizmicita – -13,5 kN/m
- MIN
 - MSÚ – -65,46 kN/m
 - MSÚ_Seizmicita – -70,46 kN/m

Stěna: S104

- MAX
 - MSÚ – -31,54 kN/m
 - MSÚ_Seizmicita – -13,46 kN/m
- MIN
 - MSÚ – -55,7 kN/m
 - MSÚ_Seizmicita – -55,41 kN/m

Na příkladě těchto dvou stěn je patrné, že použití vnitřních sil pouze z jednoho druhu výpočtu by vedlo k nesprávným vstupním hodnotám posudku.

(23)

5.4 Ekonomický rozbor stavby z hlediska statiky stavby

Pro zajímavost je níže přiložen ekonomický rozpočet stavby z hlediska použití výztuže duktility C, která není na území České republiky k dispozici a je nutno jí objednat v jiné evropské zemi a ceny za projekt.

Výztuž duktility C byla použita pouze pro nadzemní podlaží, protože podzemní podlaží se pohybují současně se zemí a tak nejsou namáhána dynamickými silami.

Tabulka 3 - Ekonomické posouzení

Výztuž B500B			Výztuž B500C		
Cena výztuže		20kč/kg	Cena výztuže		23kč/kg
Cena za uložení		5,00kč/kg	Cena za zpracování		4,23kč/kg
Množství 1NP			Cena za uložení výztuže		5,00kč/kg
	Stěny	4 205Kg	Cena za dopravu		
	Desky	3 915Kg			
	Schodiště	200Kg	1 kamion Max. únosnost		24 000Kg
2NP			Cena		27Kč/Km
	Stěny	3 670Kg	Celnice		3825Kč
	Desky	4 350Kg			
	Schodiště	205Kg	Vzdálenost		200Km
3NP			Σ		9 225 Kč
	Stěny	3 640Kg			
	Desky	1 652Kg	Množství 1NP		
Suma kg celkem		21 837Kg		Stěny	4 205Kg
				Desky	3 915Kg
Doprava zdarma				Schodiště	200Kg
			2NP		
Cena celkem bez DPH		545 925 Kč		Stěny	3 670Kg
				Desky	4 350Kg
DPH		114 644 Kč		Schodiště	205Kg
			3NP		
Cena celkem s DPH		660 569		Stěny	3 640Kg
				Desky	1 652Kg
			Suma kg celkem		21 837Kg
			Cena celkem bez DPH		708 664 Kč
			DPH		21%
					148 819 Kč
			Cena celkem s DPH		857 484 Kč

Tabulka 4 - Ekonomické posouzení

Cena statického posudku		Cena dynamického posudku	
Tvorba výpočtového modelu		Tvorba výpočtového modelu	
Tvorba výkresové dokumentace		Tvorba výkresové dokumentace	
Výkresy tvaru		Výkresy tvaru	
Výkresy výztuže		Výkresy výztuže	
Technické zprávy		Technické zprávy	
	120 000		180 000
	780 569	≤	1 037 484

V obou případech objektů bylo použito shodné množství výztuže a to přibližně 21 tun. Použití betonářské výztuže duktility C a posouzení dynamickým výpočtem prodražilo stavbu o 25%. Tento rozdíl je relativně významný, protože čím větší objekt bude, tím se i cenový rozdíl bude zvětšovat.

6 ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STAVBY PORUŠENÉ ZEMĚTŘESENÍM

Pro účely této diplomové práce jsem provedl průzkum vybraných budov v obci Nový Kostel na západě České republiky. V této obci se nachází epicentrum seizmické aktivity v západních Čechách. Z tohoto důvod byl tento výběr ideální pro průzkum vlivu seismicity na objekty pozemních staveb. Při první návštěvě jsem byl překvapen, že většina staveb není nijak poničena ani se na nich nevyskytují žádné větší praskliny. Po delším prozkoumání jsem však narazil na pár staveb, které jisté poruchy vykazovaly. Jejich zdokumentování je uvedeno v dále v článku.

Po rozhovoru s místními obyvateli jsem zjistil následující: Podle místních obyvatel jsou občasná zemětřesení velice znatelná, ale netrvají příliš dlouho. Občas někomu praskne komín, nebo se objeví nějaké praskliny na zdech. Nicméně žádné destruktivní účinky dosud zaznamenány nebyly.

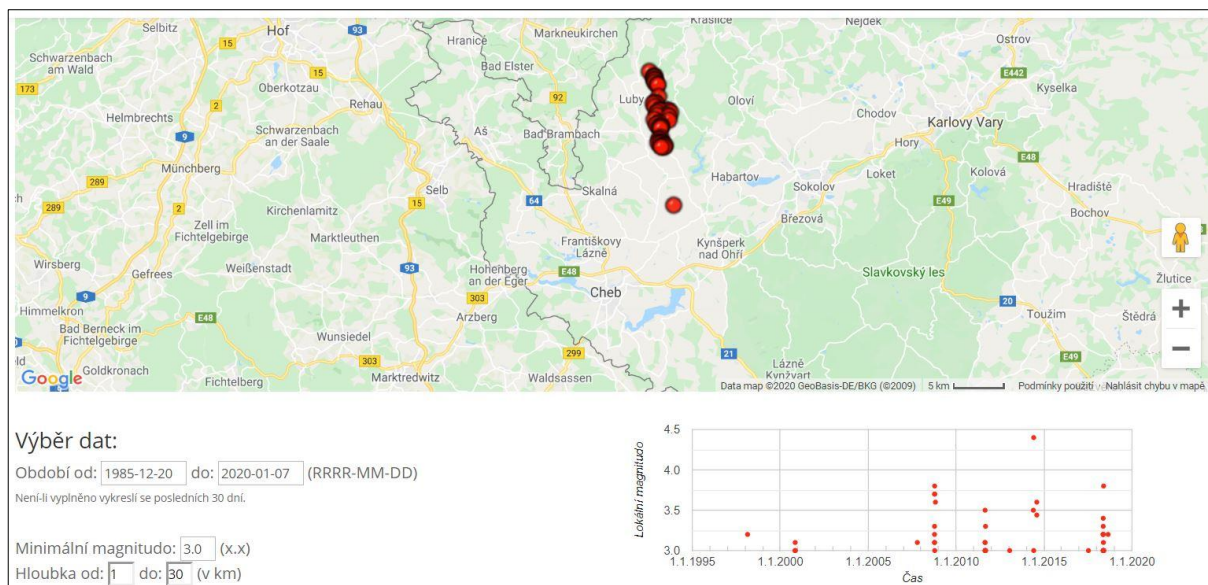
Poloha:	Obec Nový Kostel; Chebsko; Karlovarský kraj
Typ stavby:	Rodinný dům
Materiál stavby:	Zděný objekt. Zděné stěny z plných pálených cihel na maltu. Stropní konstrukce z dřevěných trámů se záklopem.
Staří stavby:	1. polovina 20. století
Metoda průzkumu:	Vizuální prohlídka, fotodokumentace, rozhovor s místními obyvateli.
Interpretace zatížení:	

- Nejsilnější zemětřesení v této oblasti bylo dne 21.12.1985.

Hodnota magnituda: 4,6

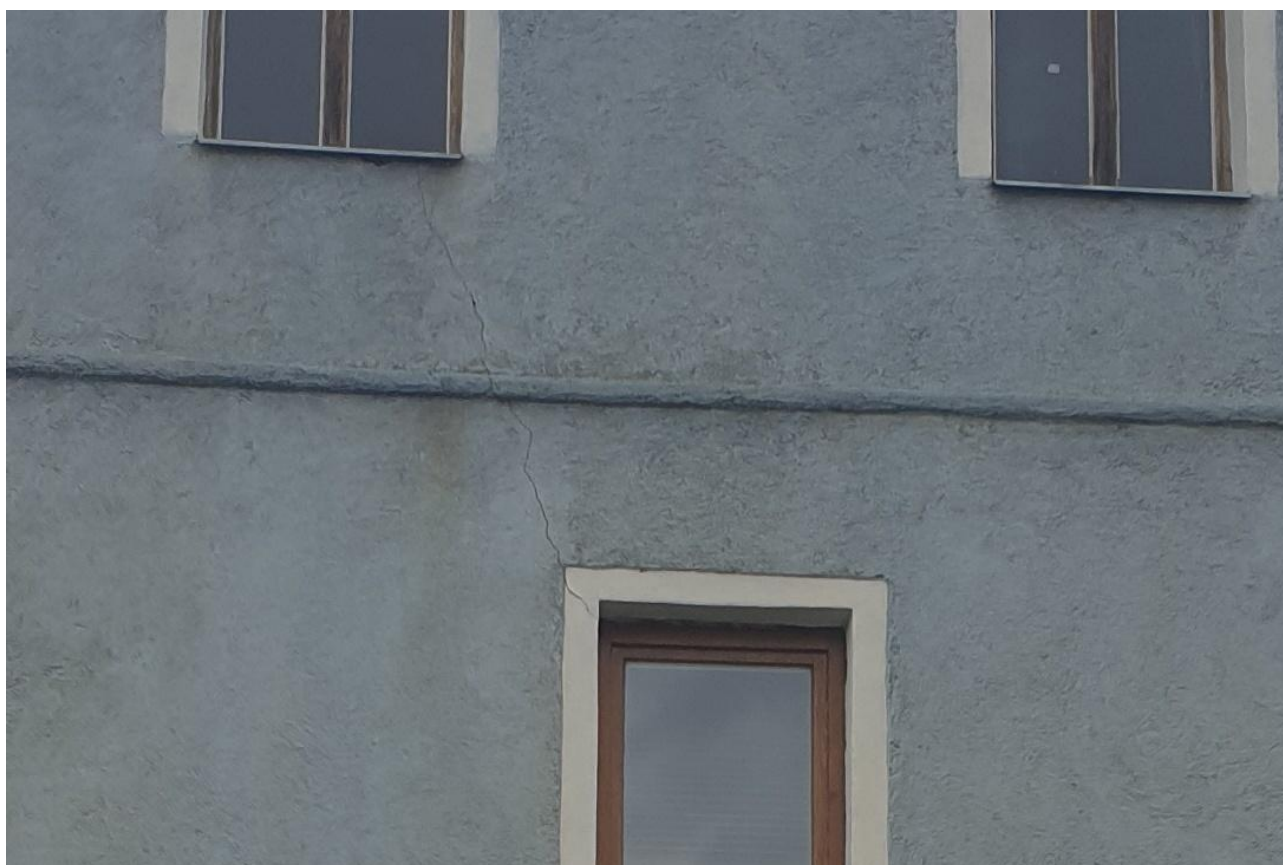
Popis poruch:

- Sít prasklin na fasádě stavby
- Prasklina v místě okenního překladu



Obrázek 43 - Seizmická aktivita v oblasti Nový Kostel od roku 1994 do současnosti pro magnituda > 3 []

Fotodokumentace:



Obrázek 44 - Šikmá trhlina v místě okenního překlady []



Obrázek 45 – Fotografie stavby poškozeného seismicitou []



Obrázek 46 – Fotografie stavby poškozeného seismicitou []



Obrázek 47 – Fotografie stavby poškozeného seismicitou [Autor]

Vzhledem k tomu, že i staré objekty, které během své životnosti musely odolávat několikrát zemětřesení nevykazují trhliny, které by vedly k havarijnímu stavu konstrukce či nějakým ekonomičtěji náročnějším opravám, lze konstatovat, že pro běžné stavební objekty, které se na území České republiky realizují, nemá zemětřesení zásadní vliv.

7 ZÁVĚR

V této diplomové práci, která je rozdělena na teoretickou a praktickou část, jsem se věnoval účinkům seismicity na stavby. V teoretické části jsem popisoval seismicitu a její vlivy na stavby. Praktická část byla věnována modelování a výpočtům.

Z dynamického výpočtu je patrné, že konstrukce vzdoruje seizmickému zatížení smykovou tuhostí stěn. Proto při návrhu takové stavby na účinky zemětřesení by se měla věnovat pozornost především smykovým (ztužujícím stěnám) a jejím umístěním v půdorysu a po výšce budovy. Zvláštní pozornost by měla být věnována konstrukčním zásadám při návrhu spojů. Provázání výztuže a trnování by měla být oproti statickému výpočtu prodloužena a zesílena.

Tato diplomová práce ukázala, že velikost zemětřesení na území České republiky, kde bylo dosud naměřeno zemětřesení o maximální síle 4,6 Magnituda, nemá nijak zásadní vliv na konstrukce. Tento závěr nelze globalizovat, protože v některých částech světa má zemětřesení zásadní vliv na stavby, což svědčí i o vývoji technologií a přístupu k návrhu staveb umístěných v těchto extrémních lokalitách. Dalším vlivem plynoucím z dynamických účinků na stavby je cena stavebního díla. Rozdíl v ceně výztuže a ceny za provedení posudků byla přibližně 25%. Dražší vyšel objekt v seizmické oblasti.

Co se týče technické seismicity, její lokalizaci a velikost lze stanovit na základě měření. Pro technickou seismicitu neexistuje mapa České republiky jako pro přírodní seismicitu a proto je vhodné před započítáním realizace investičního záměru provést průzkum dané oblasti prohlédnutím okolních staveb, případně dotázaním se místních obyvatel a jednat na základě zkušeností z minulosti.

Samozřejmým posudkem stavby umístěného do oblasti s aktivní seismicitou, by mělo být provedení dynamického posudku. V České republice máme dvě oblasti se zvýšenou přírodní seismicitou, a proto téma této diplomové práce je aktuální. „Zemětřesením na západu Čech by se měla věnovat zvýšená pozornost“. (Autor: Kukul, 2005). Není vhodné podceňovat potřebu dynamického posudku, protože v porovnání s náklady za provedení dynamického posudku, mohou být případně vzniklé škody několikanásobně vyšší.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Přírodní katastrofy a environmentální hazardy: multimediální výuková příručka [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/~herber/quake.htm>
- [2] Geofyzikální ústav Akademie věd ČR, v.v.i.: Lokální seismická síť WEBNET [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.ig.cas.cz/vyzkum-a-vyuka/observatore/lokalni-seismicka-sit-webnet/>
- [3] SCIENCE FOR PASSION [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.scienceforpassion.com/2012/06/la-fisica-della-terra-i-sismografi-e-le.html>
- [4] Automatizace.hw.cz: Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>
- [5] Automatizace.hw.cz: Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>
- [6] Automatizace.hw.cz: Principy akcelerometrů - 3. díl - Tepelné akcelerometry MEMSIC [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007040901>
- [7] Brüel & Kjær: TYPE 8344 PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER, TEDS [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/vibration/Vibration-transducers/accelerometers/8344>
- [8] NextView®4 [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.nextview.de/home-en.html>
- [9] 20 Largest Earthquakes in the World [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/20-largest-earthquakes-world?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- [10] 33 let od nejsilnějšího zemětřesení v západních Čechách za posledních sto let [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.ig.cas.cz/33-let-zemetreseni/>

[11] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings; EN 1998-1:2004/A1:2013

[12] Evropu v minulosti ničila silná zemětřesení – a další ještě přijdou [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://zoommagazin.iprima.cz/priroda/evropu-v-minulosti-nicila-silna-zemetreseni-a-dalsi-jeste-prijdou>

[13] Zemětřesení. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zem%C4%9Bt%C5%99esen%C3%AD>

[14] Přírodní katastrofy a environmentální hazardy: Statistiky katastrof způsobených zemětřesením [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/~herber/quakestatistics.htm>

[15] Seizmická zatížení pozemních staveb v Německu [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001578>

[16] ING. RÁČEK, Václav a Jan DOC. ING. KRÁTKÝ, CSC.,. Vliv tažnosti betonářské oceli na únosnost trémových prvků [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/13117-vliv-taznosti-betonarske-oceli-na-unosnost-tramovych-prvku>

[17] Ekologické bydlení: Tokio bude bojovat se zemetřesením kyvadly [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/architektura/tokio-bude-bojovat-se-zemetresenim-kyvadly>

[18] BIO SENSOR: Anti-vibrační tlumící systém [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.volkl-tennis.cz/volkl-engineering/bio-sensor/>

[19] CDM-RAFT [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://cdm.eu/solution/cdm-raft/>

[20] Seminář na seismicitu – Dipl.-Ing. Ivan Beleš

9 SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

Allplan Nemetschek – Studentská verze

Scia Engineer – Studentská verze

Microsoft office –

FIN – statický software v demoverzi

10 SEZNAM PŘÍLOH

10.1 B1: Statický list

10.2 B2: Výkresy armování

10.3 A1: Dynamický list |