

Ing. Ondřej Kika, Ph.D.

Ing. Radim Matela



Analýza zemětřesení metodou ELF

STATIKA2016



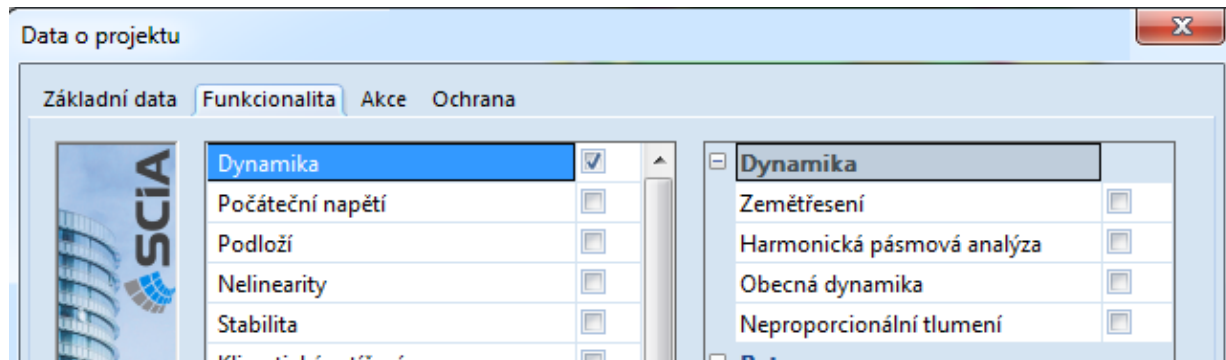
Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Obsah

- **Výpočet vlastních frekvencí**
- **Výpočet seizmických účinků na konstrukci**
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- **Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)**
- **Použití modifikátorů vlastností**
- **Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)**
- **Seizmické kombinace**
- **Výsledky po patrech a charakteristické veličiny**
- **Shrnutí, postup výpočtu**

Výpočet vlastních frekvencí



Vytvoření Skupin hmot

- Automatická generace hmot ze zatěžovacích stavů
- Ruční vkládání hmot na jednotlivé prvky modelu
- Omezení : ne pro ZS s volným zatížením

Vytvoření kombinací skupin hmot

- Možnost přiřadit hmotám proměnnou hodnotu tíhového zrychlení

Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- **Výpočet seizmických účinků na konstrukci**
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil

- Metoda statického výpočtu, kde jsou síly vyvolané zemětřesením rozloženy na konstrukci po výšce podle **ASCE 7-10 12.8** a **EN 1998-1 čl. 4.3.3.2**

Kritéria použití dle EN

- Konstrukce má základní periody vlastních kmitů T_1 ve dvou hlavních směrech menší než :

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_c \\ 2,0 \text{ s} \end{cases}$$

kde T_c je dáno v 3.2.2.2

- Konstrukce splňuje kritéria pravidelnosti po výšce dle čl. 4.2.3.3

Tabulka 3.2 – Hodnoty parametrů popisujících spektrum pružné odezvy typu 1

Typ základové půdy	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Předpoklady :

- Hmoty
- Kombinace hmot
- Patra
- Použití redukovaného modelu IRS

Poznámka

- T_1 se určí z některých prvních vlastních tvarů kmitů konstrukce

Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil

4.3.3.2.2 Smyková síla v základu

(1)P Seismická smyková síla F_b v základu pro každý vodorovný směr (v nichž je konstrukce počítána) musí být stanovena pomocí následujícího výrazu:

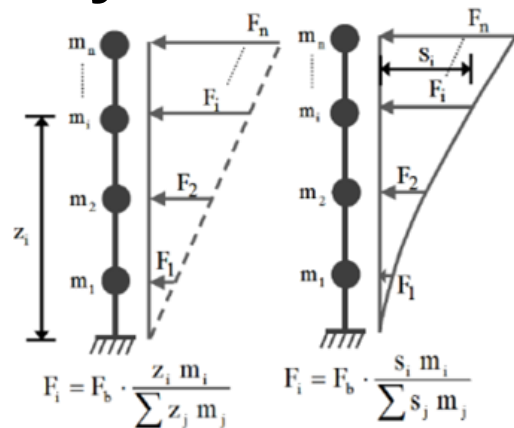
$$F_b = S_d(T_1) m \lambda \quad (4.5)$$

kde $S_d(T_1)$ je pořadnice návrhového spektra při periodě kmitu T_1 , viz 3.2.2.5;

T_1 základní perioda vlastních kmitů vodorovného pohybu stavby v uvažovaném směru;

m celková hmotnost stavby nad základovou spárou nebo nad vrchem tuhého základu, vypočtená podle 3.2.4(2)P;

λ opravný součinitel, jehož hodnota je $\lambda = 0,85$, když $T_1 \leq 2T_C$, a když má stavba více než 2 podlaží, v ostatních případech $\lambda = 1,0$.

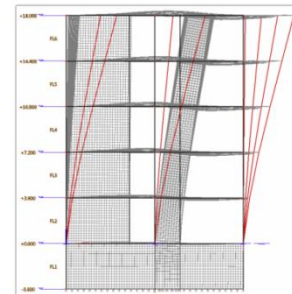
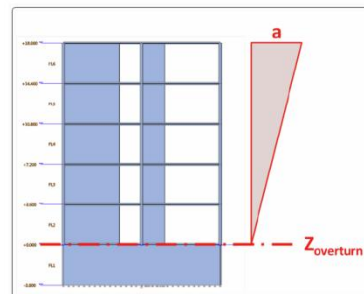


Tři možné metody výpočtu zrychlení na konstrukci

- Lineární rozdělení zrychlení
- Polynomická distribuce zrychlení (ASCE 7-10 12.8.3)
- Rozdělení zrychlení z vlastního tvaru

Poznámka

- $S_d(T_1)$ je ze základní periody, směr je dán směrem spektra



Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- **Výpočet seizmických účinků na konstrukci**
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - **Metoda spektra odezvy**
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Výpočet pomocí metody spektra odezvy

Použití

- V případě kdy nelze použít z nějakého důvodu metodu ELF (nepravidelnost podlaží, výška budovy apod.)

Požadavky

- Musí být uvažovány všechny vlastní tvary mající vliv na globální odezvu konstrukce
- Součet efektivní modální hmoty všech tvarů musí být alespoň 90%
- Musí být uvažovány všechny vlastní tvary s hmotou větší než 5% celkové efektivní hmoty

Výpočet pomocí metody spektra odezvy

Hmota ve výpočtu	Pouze spolupůsobící hmota
☒ Výsledky se znaménkem	Pouze spolupůsobící hmota
Převládající mód	Chybějící hmota v módech
	Zbytkový mód

Tři možnosti jak brát do výpočtu modální hmotnost konstrukce

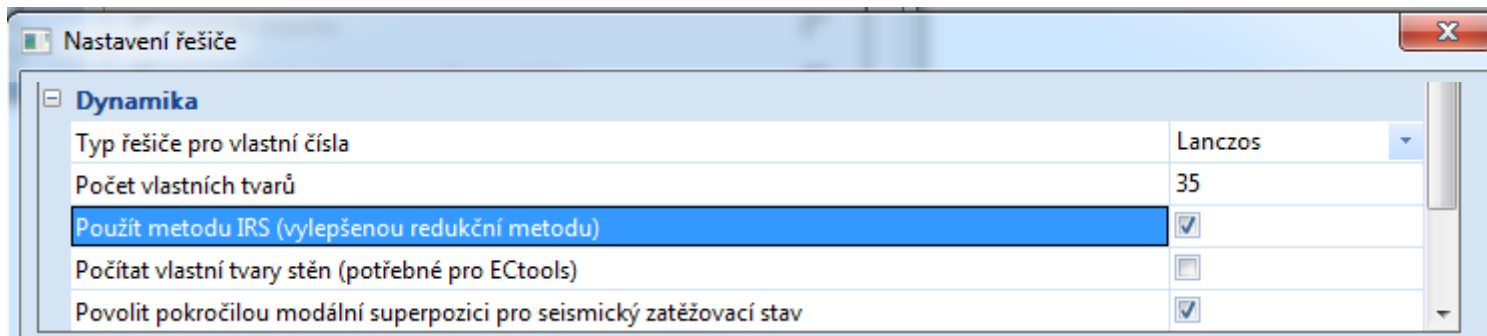
- **Pouze spolupůsobící hmota** – Když berete v úvahu jen kmitající hmotu, tj. neberete ve výpočtu v úvahu všechny tvary, dopouštíte se jisté chyby. Říkáte vlastně něco jako, že "do výpočtu není zahrnuta veškerá hmota". Tuto "chybu" lze opravit pomocí dvou následujících možností.
- **Chybějící hmota v tvarech** – Tímto se myslí rovnoměrně rozdělit chybějící hmotu do známých tvarů a vypočítat deformace pro jednotlivé tvary a poté vnitřní síly pro jednotlivé tvary. Poté se sečtou podle zvoleného pravidla - SRSS, CQC, MAX.
- **Zbytkový mód** – Metoda "Reziduálního tvaru" dosadí chybějící hmotu jako "váhu" (např. standardní zatěžovací stav). S výsledkem tohoto zatěžovacího stavu se zachází jako se "zvláštním přidaným tvarem".

Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- **Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)**
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Redukovaný model konstrukce

- Metoda IRS se použije pro kondenzaci sítě analyzovaného modelu.
- Modální analýza se provede s použitím redukované sítě, která má typicky 1 000 krát méně stupňů volnosti než původní plná síť. Díky tomu je výpočet vlastních čísel u velkých konstrukcí výrazně rychlejší a také se vyhýbá nechtěným lokálním tvarům. Zejména poslední aspekt je velmi podstatný pro seizmickou analýzu.
- Výsledky redukovaného systému jsou pak rozšířeny na původní plnou síť a tím je možné získat výstup podrobných výsledků pro celou konstrukci.



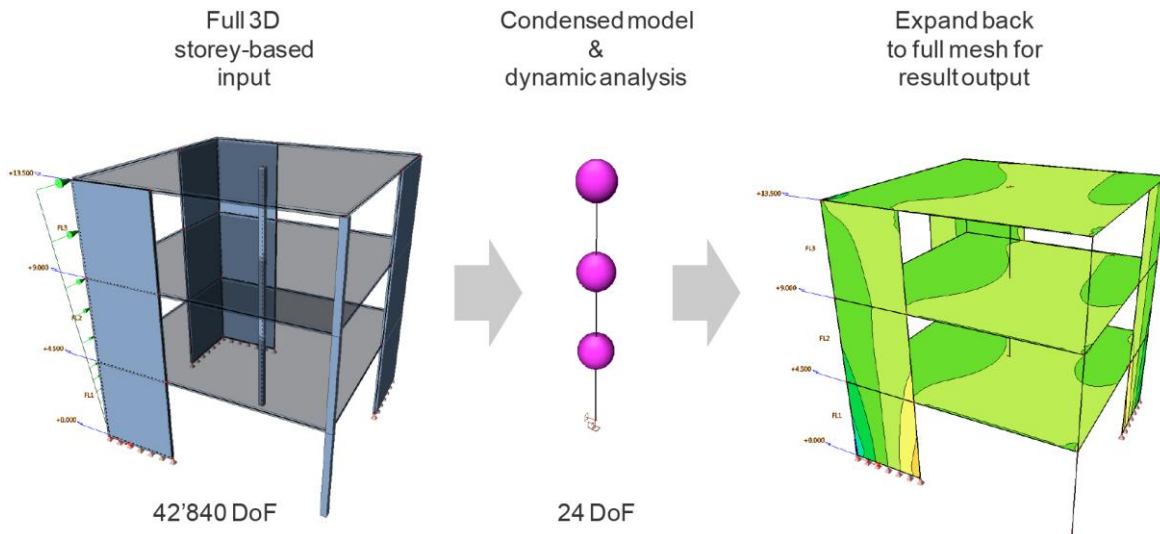
Redukovaný model konstrukce

Podmínky použití

- Definovaná patra
- Aktivace metody v nastavení řešiče

Výhody

- Eliminace lokálních vlastních tvarů
- Lepší konvergence modální hmoty
- Výrazná redukce výpočetního času

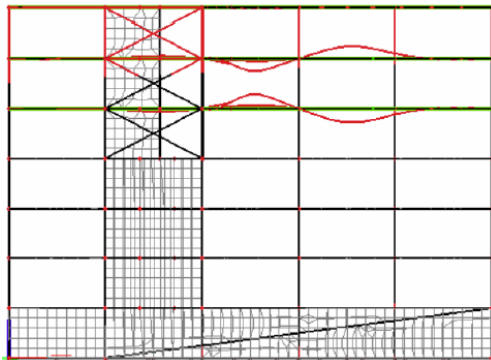


Redukovaný model konstrukce

Porovnání výsledků výpočtu efektivní modální hmoty pro 35 vlastních tvarů

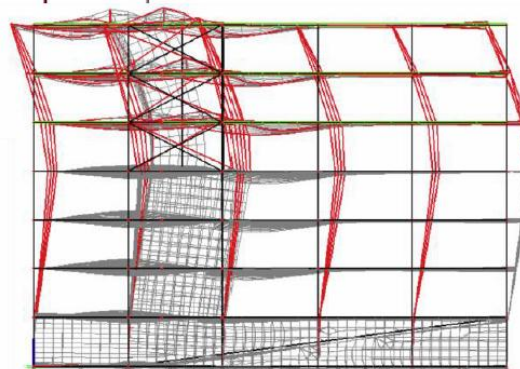
Standard Model

Mode	Période [s]	Fréq. [Hz]	Dir. X [%]	Dir. Y [%]	Dir. Z [%]
1	1.2362	0.8089	28.3	19.0	0.0
2	0.9731	1.0277	21.9	33.3	0.0
3	0.7081	1.4122	4.8	0.0	0.0
...					
			78.0	78.6	41.9



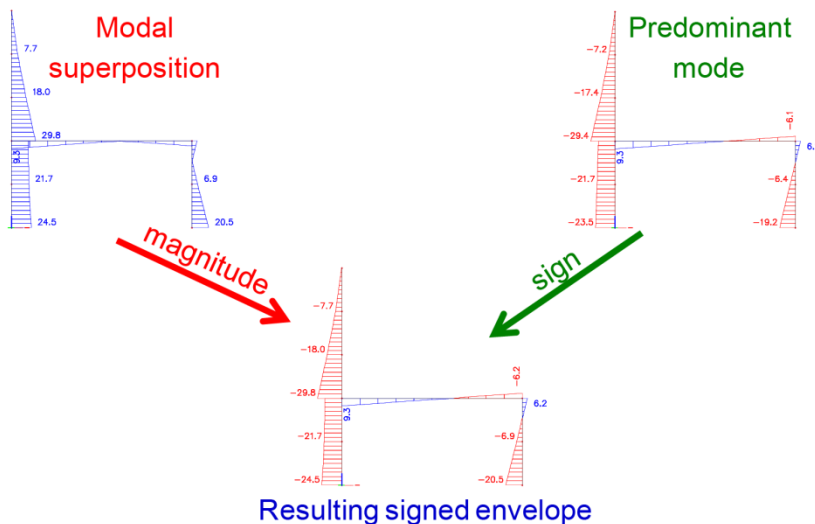
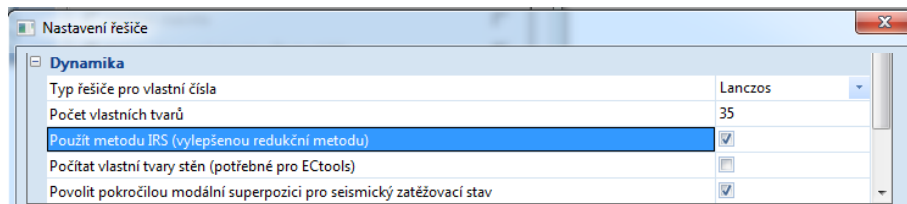
Reduced Model IRS

Mode	Période [s]	Fréq. [Hz]	Dir. X [%]	Dir. Y [%]	Dir. Z [%]
1	1.2362	0.8090	28.3	19.0	0.0
2	0.9729	1.0278	21.9	33.3	0.0
3	0.7079	1.4127	4.8	0.0	0.0
...					
			91.7	91.8	86.4



Redukovaný model konstrukce

Povolit pokročilou modální superpozici pro seismický zatěžovací stav



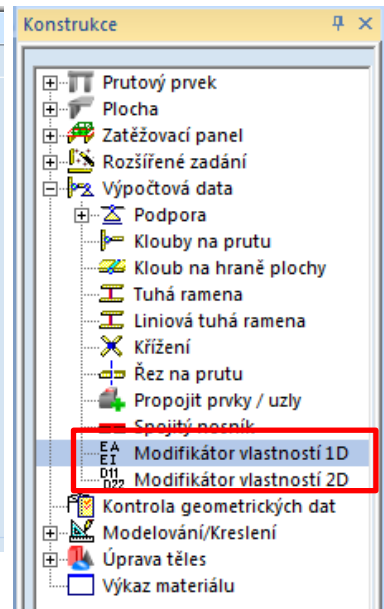
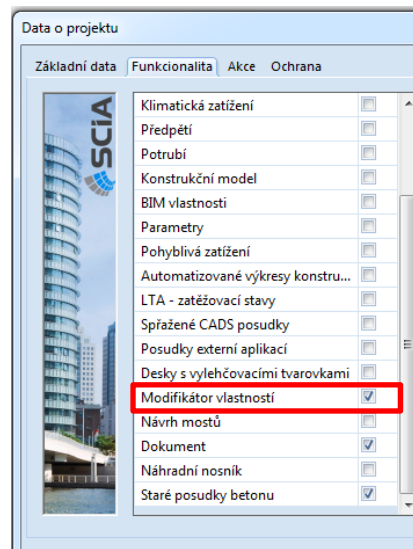
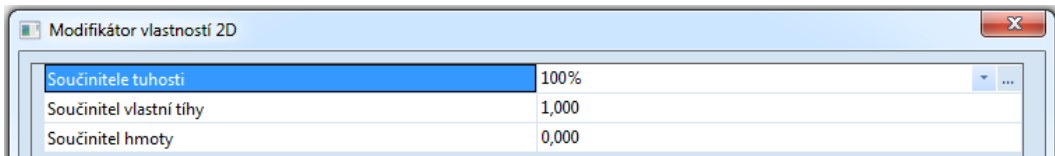
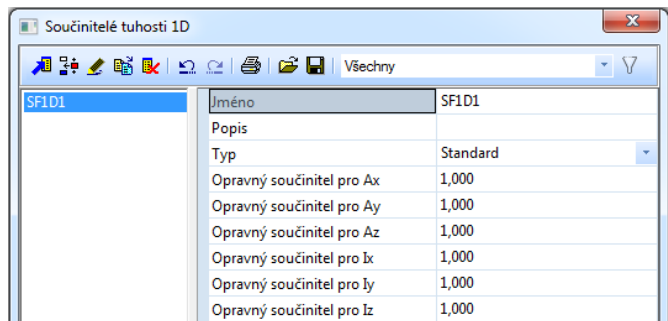
Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- **Použití modifikátorů vlastností**
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Použití modifikátorů vlastností

Tři možnosti jak upravit vlastnosti částí modelu

- Součinitel tuhosti – např. snížení tuhosti pro prvky s trhlinami
- Součinitel vlastní tíhy
- Součinitel hmoty



Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- **Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)**
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Náhodná výstřednost (AE = Accidental Eccentricity)

Typy excentricity v SEN :

- Excentricity v modelu – automaticky uvažovány v 3D modelu konstrukce
- Náhodné výstřednosti

Náhodná excentricita se zohledňuje následujícím způsobem:

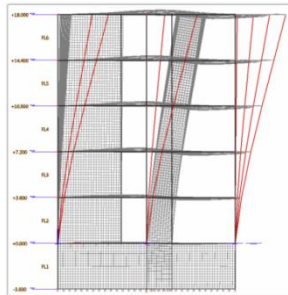
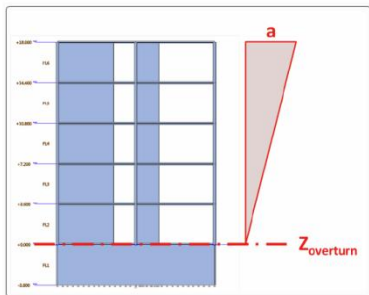
Provede se dynamická analýza konstrukce bez náhodné excentricity - pomocí metody spektra odezvy. Účinek náhodné excentricity se přidá aplikováním statického krouticího momentu na konstrukci - tento moment působí kolem svislé osy každého patra. Tato metoda je podrobně popsána v Eurokódu 8 (EN1998-1 § 4.3.3.3)

Je pouze pro použití s redukováným modelem konstrukce IRS

Náhodná výstřednost (AE = Accidental Eccentricity)

Do výpočtů účinků náhodné výstřednosti vstupuje průběh zrychlení po výšce konstrukce

Metoda	Vypnut
☐ Modální superpozice	Vypnut
Typ superpozice	Lineární rozdělení zrychlení
☐ Vícenásobné vlastní tvary	Rozdělení zrychlení z vlastního tvaru
	Zrychlení z modální superpozice



Zrychlení z modální superpozice:

- V tomto případě se nepoužije žádný klíč na určení průběhu.
- Zrychlení se získá přímo ze seizmického zatěžovacího stavu po modální superpozici.
- Tento postup není v Eurokódu 8 popsán. Je konzervativnější - Jeho výhodou je však to, že pokrývá případy, kdy pro náhodnou excentricitu nelze zanedbat tvary vyššího řádu.

Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Seizmické kombinace

Předpoklady :

- Zatěžovací stav – Proměnné/Dynamické/Seizmické pro každý směr x,y,z
- Tyto ZS spolu v jedné skupině zatížení
- Tato skupina se vztahem „společně“
- Typ kombinace zatěžovacích stavů „EN-seizmické“

Po té je automaticky generováno 24 Newmarkových kombinací dle tohoto schématu :

- dir X : $\pm 1.0 * SX \pm 0.3 * SY \pm 0.3 * SZ$
- dir Y : $\pm 0.3 * SX \pm 1.0 * SY \pm 0.3 * SZ$
- dir Z : $\pm 0.3 * SX \pm 0.3 * SY \pm 1.0 * SZ$

“+”

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$$

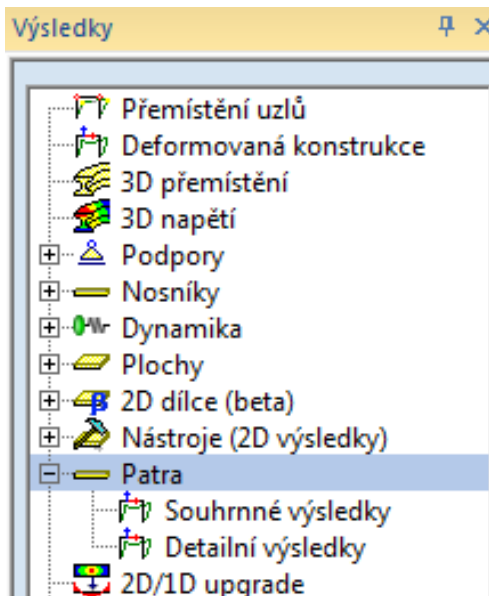
“+”

$$\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Obsah

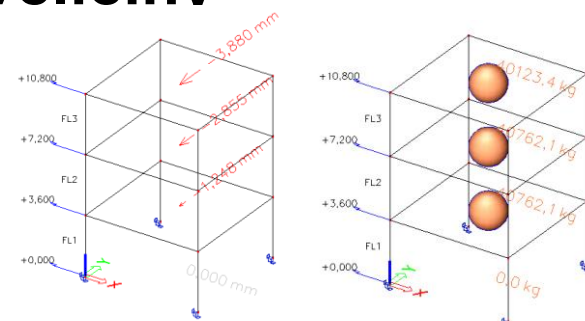
- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- **Výsledky po patrech a charakteristické veličiny**
- Shrnutí, postup výpočtu

Výsledky po patrech a charakteristické veličiny



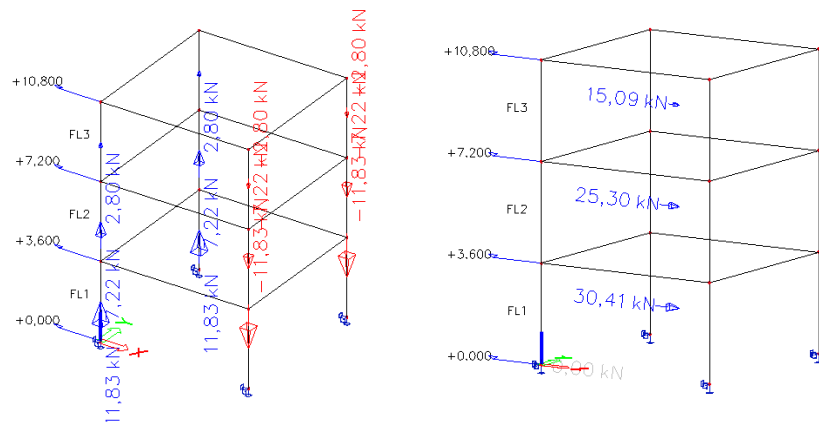
Souhrnné výsledky

- Po patrech
- Pro kombinace hmot
- Přemístění, Mezipodlažní posun, Zrychlení, Data o podlaží



Detailní výsledky

- Po patrech
- Po dílcích
- Výsledné síly
- Vnitřní síly



Obsah

- Výpočet vlastních frekvencí
- Výpočet seizmických účinků na konstrukci
 - Výpočet pomocí metody ekvivalentních příčných sil (ELF = Equivalent Lateral Forces)
 - Metoda spektra odezvy
- Analýza na redukovaném modelu konstrukce (IRS)
- Použití modifikátorů vlastností
- Náhodná excentricita (AE = Accidental Eccentricity)
- Seizmické kombinace
- Výsledky po patrech a charakteristické veličiny
- Shrnutí, postup výpočtu

Shrnutí, postup výpočtu

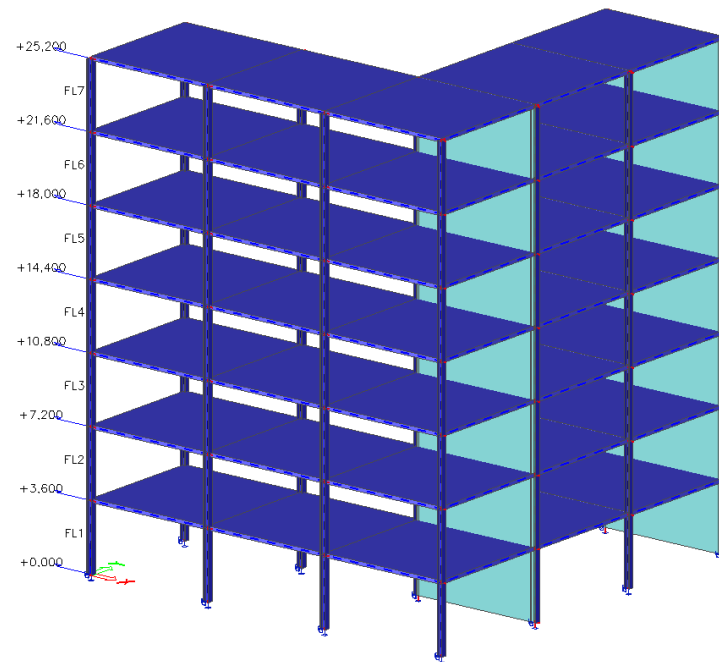
Postup při použití metody ELF

- Definice hmot a kombinací hmot
- Výpočet vlastních frekvencí
- Výběr spektra odezvy
- Vytvoření seizmických zatěžovacích stavů
- Výběr výpočetní metody ELF
- Aktivace redukováného modelu IRS
- Možnost přidání náhodné výstřednosti
- Výběr automaticky generovaných seizmických kombinací

Porovnání doby výpočtu

spektra odezvy	spektra odezvy + IRS	ELF + IRS
4:16	2:53	2:12
100,0%	-32,4%	-23,7%

Project	Scia Engineer 16...
Model	Shell
Number of 2D Elements	56108
Number of 1D Elements	679
Number of Nodes	57236
Number of Equations	343416
Number of Load Cases	2
Required Memory [MB]	4416.0





Děkuji za pozornost

More information on www.scia.net