

**Vydání
únor 2011**

Program

RF-DYNAM

Dynamická analýza

Popis programu

Všechna práva včetně práv k překladu vyhrazena.
Bez výslovného souhlasu společnosti Ing. Software Dlubal s.r.o.
není povoleno tento popis programu ani jeho jednotlivé části
jakýmkoli způsobem dále šířit.

© Ing. Software Dlubal s.r.o.
Anglická 28 120 00 Praha 2

Tel.: +420 222 518 568
Fax: +420 222 519 218
Email: info@dlubal.cz
Web: www.dlubal.cz

Obsah

Strana	Obsah	Strana	Obsah
1.	Úvod	3	
1.1	Modul RF-DYNAM	3	
1.2	Tým pro vývoj modulu RF-DYNAM	4	
2.	Instalace	5	
2.1	Požadavky na výpočetní systém	5	
2.2	Postup instalace	5	
3.	Práce s modulem RF-DYNAM	7	
3.1	Spuštění modulu RF-DYNAM	7	
3.2	Dialogy	7	
3.3	Vstupní dialogy	7	
3.3.1	Dialog 1.1 Základní údaje	8	
3.3.2	Dialog 1.2 Přídavné hmoty v uzlech	10	
3.3.3	Dialog 1.3 Přídavné hmoty na liniích	11	
3.3.4	Dialog 1.4 Přídavné hmoty na prutech	12	
3.3.5	Dialog 1.5 Přídavné hmoty na plochách	12	
3.3.6	Dialog 1.6 Pro zobrazení	13	
3.3.7	Dialog 1.7 Budící stavy	16	
3.3.8	Dialog 1.8 Dynamické zatěžovací stavy	23	
3.3.9	Dialog 1.9 Náhradní břemena	28	
3.4	Tabulky s výsledky	42	
3.4.1	Dialog 2.1 Vlastní čísla, frekvence a periody	42	
3.4.2	Dialog 2.2 Vlastní tvary po uzlech	42	
3.4.3	Dialog 2.3 Vlastní tvary po prutech	44	
3.4.4	Dialog 2.4 Vlastní tvary po plochách	44	
3.4.5	Dialog 2.5 Vlastní tvary na uzlech sítě prvků	45	
3.4.6	Dialog 2.6 Hmoty v uzlech sítě prvků	45	
3.4.7	Dialog 2.7 Faktory náhradních hmot	46	
3.4.8	Dialog 3.1 Uzly - Podporové síly	47	
3.4.9	Dialog 3.2 Linie - Podporové síly	48	
3.4.10	Dialog 3.3 Uzly - Deformace	48	
3.4.11	Dialog 3.4 Uzly - Rychlosti	49	
3.4.12	Dialog 3.5 Uzly - Zrychlení	50	
3.4.13	Dialog 3.6 Pruty - Vnitřní síly	50	
3.4.14	Dialog 3.10 Plochy - Základní vnitřní síly	51	
3.4.15	Dialog 3.13 Plochy - Základní napětí	52	
3.4.16	Export výsledků DYNAMu	53	
3.4.17	Dialog 4.1 Generovaná náhradní břemena	54	
3.4.18	Export výsledků z modulu RF-DYNAM	54	
3.5	Hlavní nabídky	55	
3.5.1	Soubor	55	
3.5.2	Nastavení	60	
3.5.3	Nápověda	61	
4.	Výsledky	62	
4.1	Grafické zobrazení výsledků	62	
4.2	Tisk	64	
5.	Teorie	67	
6.	Příklady	73	
6.1	Nosník	73	
6.2	Příhradový nosník	74	
6.3	Betonový komín	74	
6.4	Náhradní seizmická zatížení podle normy DIN 4149	76	
6.5	Modální analýza rámu	84	
A:	Literatura	87	

1. Úvod

1.1 Modul RF-DYNAM

Vážené uživatelky a uživatelé programů RFEM a DYNAM,

na úvod našeho manuálu bychom chtěli říct několik zásadních slov k modulu RF-DYNAM a upozornit na některé aspekty. Nezáleží na tom, zda jste se již jako naši dlouholetí zákazníci seznámili s některou předchozí verzí tohoto modulu nebo zda se Vám RF-DYNAM nyní dostává do rukou poprvé - tento modul byl vyvinut s důrazem na praktické použití a při jeho vývoji jsme vycházeli z konstruktivní spolupráce s mnoha našimi zákazníky a obchodními partnery. Prakticky každý si tak může práci s tímto modulem snadno a rychle osvojit. Četné cenné připomínky z každodenní projektantské praxe nás již dříve motivovaly k neustálému dalšímu vývoji a zlepšování modulů DYNAM 4.xx a DYNAM 2000 a samozřejmě se plně projevily i na konečné podobě modulu RF-DYNAM.

RF-DYNAM vychází ze standardů Windows a není zdaleka jen optickou součástí hlavního programu RFEM. Výsledky výpočtu vlastního kmitání (RF-DYNAM BASIC), analýzy vynuceného kmitání (RF-DYNAM ADDITION I) a vygenerovaná náhradní seizmická zatížení (RF-DYNAM ADDITION II) lze včetně grafických zobrazení začlenit do výstupního protokolu programu RFEM. Veškeré výsledky lze přitom vhodným způsobem a především pak jednotně upravit a uspořádat.

Při práci s hlavním programem RFEM a jeho přídatným modulem RF-DYNAM Vám přejeme hodně úspěchů.

Společnost ING. SOFTWARE DLUBAL S.R.O.

1.2 Tým pro vývoj modulu RF-DYNAM

Na vývoji modulu RF-DYNAM se podíleli:

Koordinátoři programu

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Programátoři

Dr.-Ing. Jaroslav Lain

Ing. Václav Sýkora

Design programu, dialogů a ikon

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Ing. Jan Milář

MgA. Robert Kolouch

Testování a technická podpora

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Michaela Sobotková

Manuály, dokumentace a překlady

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Ing. Ladislav Kábrt

Mgr. Petra Pokorná

Technická podpora a závěrečná kontrola

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

Dipl.-Ing. Frank Faulstich

M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag

Dipl.-Ing. (FH) René Flori

Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner

Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

2. Instalace

2.1 Požadavky na výpočetní systém

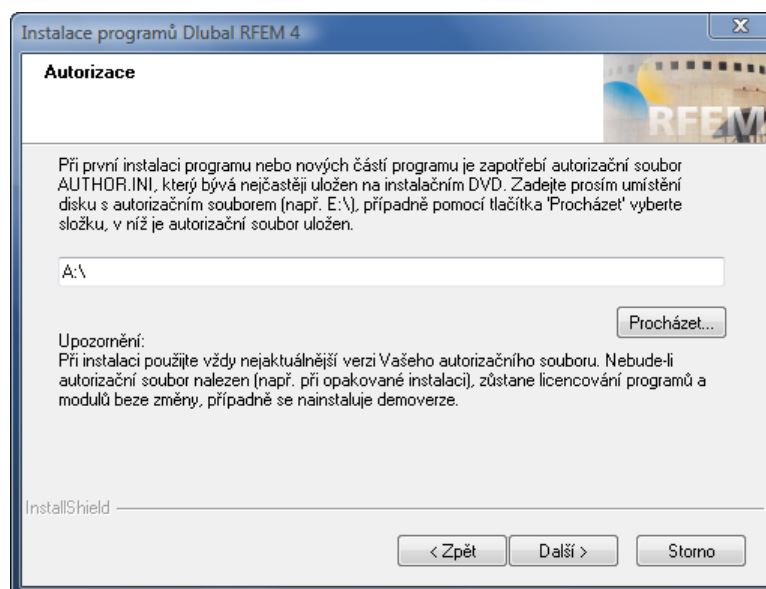
Předpokladem pro použití RFEMu a jeho přídatného modulu RF-DYNAM je tato minimální konfigurace (doporučení je uvedeno v závorce):

- Operační systém Windows WIN XP/Vista/7 (64bitová verze)
- Procesor 3 GHz (64bitový vícejádrový procesor)
- 2 GB RAM (4 GB)
- DVD-ROM a 3,5" disketová jednotka pro instalaci
- 50 GB volného místa na pevném disku, z toho asi 1 GB pro instalaci
- Grafická karta 128 MB s rozlišením 1024 x 768 pixelů (s akcelerací Open GL)

S výjimkou operačního systému Vám úmyslně nechceme doporučovat žádné konkrétní produkty, protože RFEM i jeho přídatné moduly běží v zásadě na všech systémech, které splňují uvedené požadavky. Kdo chce však RFEM a RF-DYNAM používat intenzivně a efektivně, pak samozřejmě platí „čím více, tím lépe“.

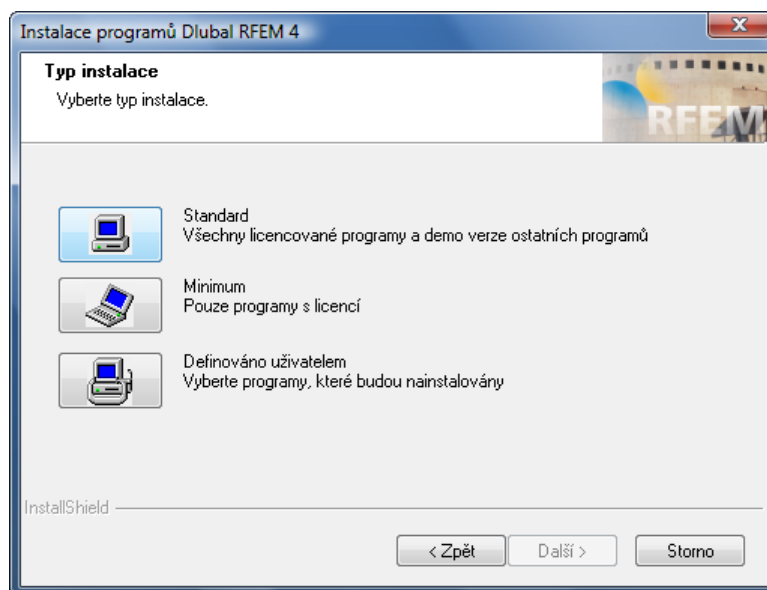
2.2 Postup instalace

Instalace se spustí automaticky při vložení DVD s programem RFEM do DVD-ROM mechaniky. Vzhledem k tomu, že přídatný modul RF-DYNAM je plně integrován do hlavního programu RFEM, není název tohoto modulu při instalaci výslovně zmíněn, pokud však vlastníme jeho licenci, a máme tak autorizaci k jeho používání, bude modul automaticky nainstalován spolu s hlavním programem RFEM.



Obr. 2.1: Výzva k vložení autorizačního DVD

Pokud autorizační DVD obsahuje alespoň jednu platnou licenci, zobrazí se následující tři možnosti provedení instalace: [\[Standard\]](#), [\[Minimum\]](#) a [\[Definováno uživatelem\]](#). Chybějící nebo chybnou autorizaci lze poznat tak, že v nabídce jsou k dispozici pouze dva typy instalace: [\[Standard\]](#) a [\[Definováno uživatelem\]](#).



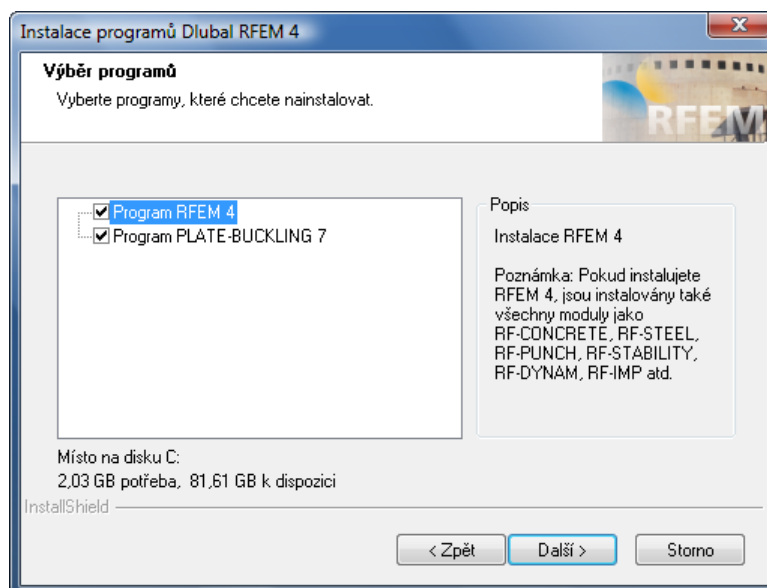
Obr. 2.2: Typy instalace v případě správné autorizace

Dále se v případě chybějící autorizace zobrazí v textu upozornění, že bude nainstalována [Demo] verze.

Pokud zvolíme instalaci typu [Standard], nainstalují se kompletní aplikace RFEMu a jeho přídatných modulů. Programy lze následně spustit kliknutím na jejich zástupce na ploše nebo z nabídky Start jako plnou verzi, příp. pouze jako demoverzi.

Pokud vybereme typ [Minimum], instalují se jen programy, jejichž licence je zapsána na autorizačním DVD. Výjimkou je program RFEM se svými přídatnými moduly, které se nainstalují všechny i v případě, že k některým modulům nemáme autorizaci.

V případě instalace typu [Definováno uživatelem] můžeme ručně vybrat jednotlivé programy, které jsou k dispozici na DVD. Moduly, které nejsou přímo integrovány do RFEMu a k nimž nemáme licenci, se při této instalaci označí jako [Demo].



Obr. 2.3: Instalace definovaná uživatelem v případě správné autorizace

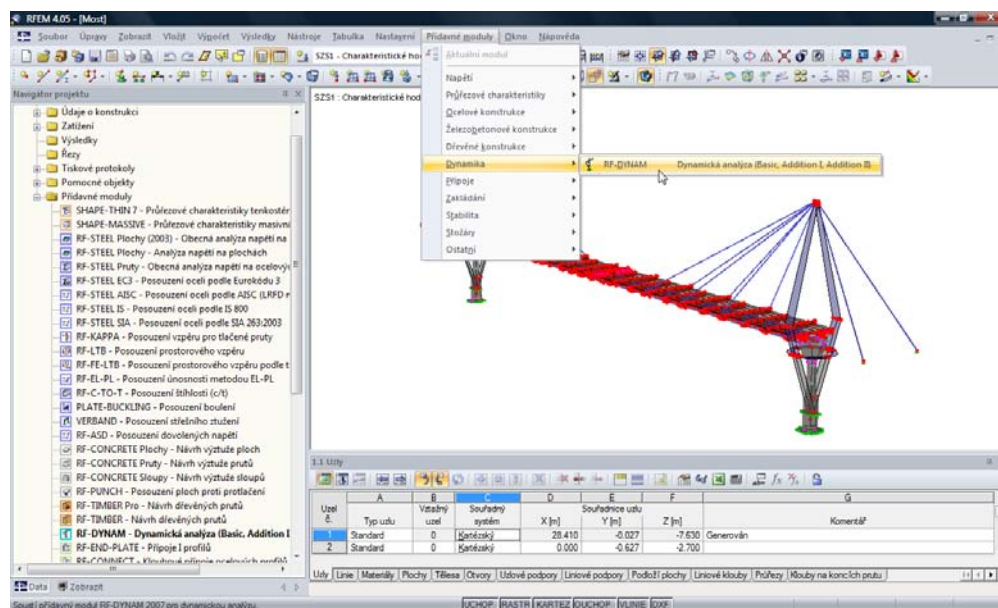
3. Práce s modulem RF-DYNAM

3.1 Spuštění modulu RF-DYNAM

Přídavný modul RF-DYNAM lze v RFEMu spustit z hlavní nabídky příkazem

Přídavné moduly → Dynamika

nebo kliknutím na příslušnou položku ve složce **[Přídavné moduly]** v navigátoru *Data* (vlevo na pracovní ploše RFEMu).



Obr.3.1: Spuštění modulu RF-DYNAM z hlavní nabídky *Přídavné moduly* nebo z navigátoru *Data*

3.2 Dialogy

Dialogy slouží k vyplnění vstupních dat pro definování vlastních tvarů a později také k zobrazení číselných výsledků na obrazovce.

Po spuštění modulu RF-DYNAM vidíme na levé straně navigátor, který obsahuje všechny aktuálně přístupné dialogy. Pod hlavní lištou se nacházejí tři rozbalovací nabídky *Soubor*, *Nastavení* a *Návod*. Funkce, které obsahují, jsou popsány v kapitole 3.5.

Dialogy lze otevřít buď kliknutím vždy na příslušnou položku v navigátoru modulu RF-DYNAM nebo je lze postupně nalistovat pomocí kláves [F2] a [F3] nebo tlačítek [\leftarrow] a [\rightarrow]. Po kliknutí na tlačítko [Grafika] se otevře grafické zobrazení výsledků, v němž automaticky vidíme aktuálně vybranou vlastní frekvenci. Bližší informace k zobrazení výsledků najdeme v kapitole 3.4. Pomocí tlačítka [OK] uložíme před ukončením modulu vstupní data i výsledky, zatímco tlačítko [Storno] slouží k zavření modulu bez uložení dat. Tlačítkem [Návod], příp. funkční klávesou [F1] vyvoláme online pomocníka.

3.3 Vstupní dialogy

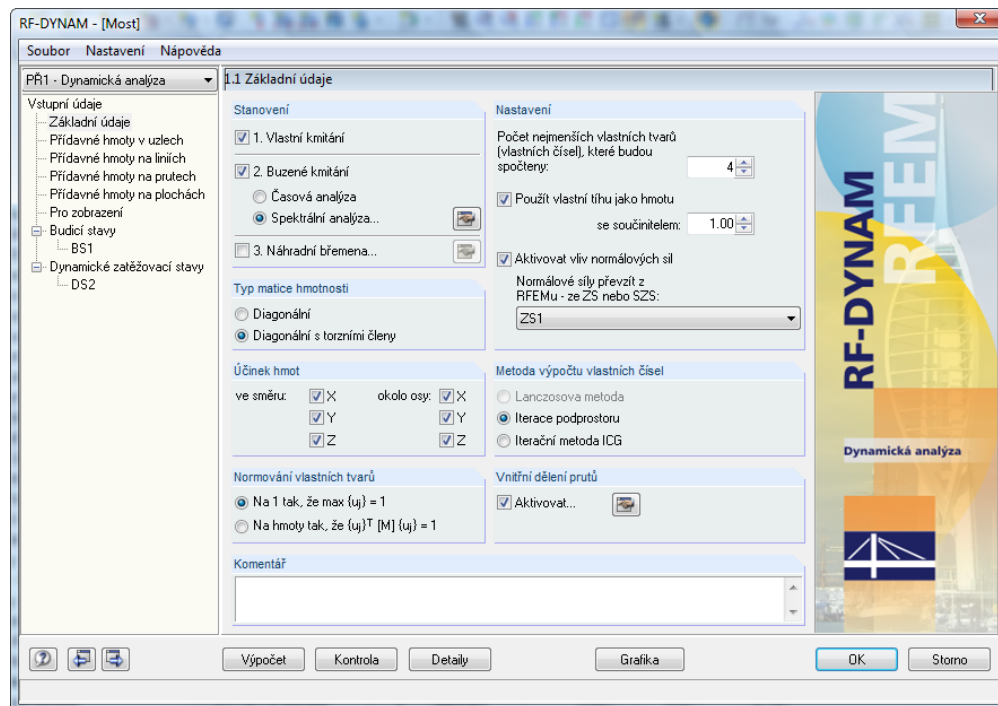
Ve vstupních dialogích je třeba zadat veškeré údaje nezbytné pro výpočet vlastních frekvencí, pro analýzu vynuceného kmitání (RF-DYNAM ADDITION I) nebo také pro vygenerování



náhradního seizmického zatížení (RF-DYNAM ADDITION II) a nastavit požadované parametry.

3.3.1 Dialog 1.1 Základní údaje

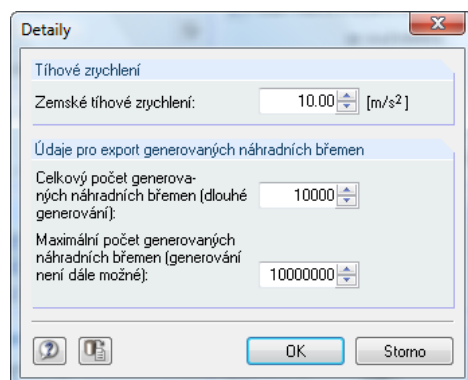
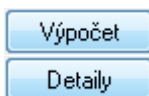
Po spuštění RF-DYNAMu se automaticky otevře v okně modulu dialog 1.1 *Základní údaje*.



Obr. 3.2: Dialog 1.1 *Základní údaje*

Zde nejdříve vybereme aktuální dynamický případ – pokud je ovšem již k dispozici – v seznamu nad navigátorem.

K aktuálnímu dynamickému případu můžeme uvést také *Komentář*. Před spuštěním výpočtu kliknutím na tlačítko [Výpočet] máme možnost pomocí tlačítka [Detaily] otevřít dialog, v němž lze nastavit určité parametry pro výpočet.



Obr. 3.3: Dialog RF-DYNAM, *Detaily*

Stanovení

V této sekci můžeme vybrat některý ze zakoupených modulů: **RF-DYNAM Basic** (= *vlastní kmitání*), **RF-DYNAM Addition I** (= *buzené kmitání*) nebo **RF-DYNAM Addition II** (= *náhradní břemena*). Moduly, jejichž licenci nevlastníme, a nemáme je tudíž k dispozici, jsou uvedeny šedým písmem.

Buzené kmitání

Tuto volbu lze plně využít pouze v případě, že máme licenci k modulu RF-DYNAM ADDITION I. Pak lze také definovat budící zatížení v dialogu 1.7 a 1.8. Pokud máme k dispozici pouze RF-DYNAM BASIC, můžeme políčko u této volby zaškrtnout a RF-DYNAM ADDITION I se spustí jako demoverze.

Náhradní břemena

Tuto volbu lze plně využít pouze v případě, že máme licenci k modulu RF-DYNAM ADDITION II. Pak lze také zadat hodnoty podle příslušných norem (DIN 4149, EC 8 a IBC 2000) pro výpočet statických náhradních zatížení v dialogu 1.9. Pokud máme k dispozici pouze RF-DYNAM BASIC, bude RF-DYNAM ADDITION II spuštěn jen jako demoverze.

Vlastní kmitání

RF-DYNAM počítá nejnížší vlastní frekvence konstrukce. Výpočetní teorie obecně nepřipouští možnost vynechat při analýze nižší vlastní frekvence a přitom spočítat vyšší vlastní frekvence. Ve vstupním poli *Počet nejmenších vlastních tvarů (vlastních čísel), které budou spočteny* lze určit, kolik vlastních čísel má RF-DYNAM spočítat. Maximálně lze u jedné konstrukce spočítat 1000 nejnížších vlastních frekvencí.

Použit vlastní tíhu jako hmotu

Na základě údajů o prutech, plochách a tělesech dané konstrukce, které jsme zadali v hlavním programu RFEM, může modul RF-DYNAM spočítat hmotu konstrukce. V tomto vstupním poli se zadává součinitel, kterým bude daná hmota vynásobena. Tento součinitel není přitom závislý na zatěžovacím stavu Vlastní tíha, který jsme případně v RFEMu definovali. Pokud v tomto vstupním poli zadáme *nulu*, nebude se hmota z údajů o konstrukci v RFEMu při dynamické analýze zohledňovat.

Vnitřní dělení prutů

Pro lepší aproximační řešení může být za určitých okolností nezbytné zadat vyšší počet dělení prutu. Tím se zvýší přesnost znázornění prutu, což je vhodné především v případě prutů s náběhy nebo s pružným podložením. Pokud zadáme hodnotu vyšší než 1, program interně prut rozdělí. V tomto poli je třeba zadávat celá čísla.

Příklad: Pro prostorově definovanou konzolu lze při zadání hodnoty 1 pro dělení prutu spočítat maximálně šest nejnížších vlastních frekvencí. Při jednoduchém rozdělení prutu po zadání hodnoty 2 do příslušného vstupního pole lze spočítat již 12 nejnížších vlastních frekvencí. Pokud bychom téhož chtěli dosáhnout ekvivalentním zadáním konstrukce v RFEMu, musel by být nosník rozdělen jedním uzlem.

Aktivovat vliv normálových sil

Pokud má být do výpočtu zahrnuta geometrická matice tuhosti, bude uplatněna teorie druhého řádu. Při vychýlení konstrukce vyvolávají normálové síly přídavné ohybové momenty, které mohou přispívat ke zvýšení nebo snížení tuhosti konstrukce. Vliv normálových sil můžeme aktivovat ve vstupním poli *Aktivovat vliv normálových sil*.

Ze seznamu vybereme určitý zatěžovací stav nebo skupinu zatěžovacích stavů, z níž se mají normálová napětí převzít. Tahová napětí vedou ke zvýšení vlastní frekvence.

Metoda výpočtu vlastních čísel

Volba metody řešení vlastních čísel má rozhodující vliv na dobu trvání výpočtu při dynamické analýze. RF-DYNAM nám přitom nabízí různé postupy výpočtu vlastních hodnot konstrukce.

Metoda iterace podprostoru je vhodná pro malé a středně velké úlohy, při nichž se má spočítat velké množství vlastních hodnot. Všechna vlastní čísla se přitom počítají v jediném kroku, což klade vysoké nároky na operační paměť.

Metoda sdružených gradientů (metoda ICG) byla vyvinuta pro rozsáhlé úlohy, při nichž již operační paměť počítače nestačí. Vlastní hodnoty se v tomto případě počítají po sobě. Tato metoda je proto vhodná pro velké modely, u nichž se má vyhodnotit jen menší počet vlastních čísel.

Účinek hmot

V této sekci určíme, v jakém globálním prostorovém směru se má hmota zohlednit. V úvahu se přitom v modulu RF-DYNAM bere nejen hmota prutů, ploch a těles, ale i hmota zadaná v dialogích 1.2 *Přídavné hmoty v uzlech*, 1.3 *Přídavné hmoty na liniích*, 1.4 *Přídavné hmoty na prutech* a 1.5 *Přídavné hmoty na plochách*.

Normování vlastních tvarů

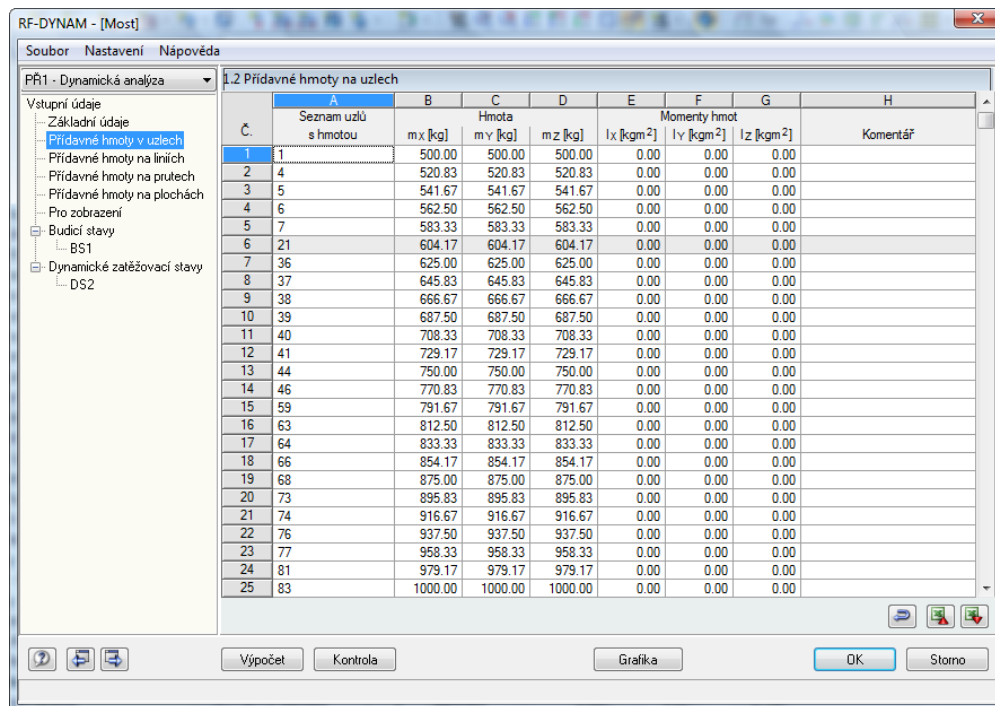
Vlastní tvary lze pro výpočet modálních hmotností normovat buď podle posunu $\{u_i\}$ nebo příspěvků $\{u_i\}^T [M] \{u_i\}$.

Komentář

V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámky.

3.3.2 Dialog 1.2 Přídavné hmoty v uzlech

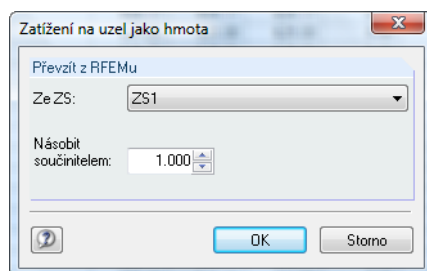
RF-DYNAM převezme konstrukci zadanou v hlavním programu RFEM. Pokud jsme v dialogu 1.1 *Základní údaje* uvedli v poli *Použít vlastní tíhu jako hmotu* součinitel větší než nula, pak modul RF-DYNAM vezme za základ pro analýzu vlastních čísel vlastní tíhu objektů konstrukce jako váženou hmotu. Dodatečně nebo alternativně lze hmotu definovat v dialogích 1.2 až 1.5.



Obr. 3.4: Dialog 1.2 *Přídavné hmoty v uzlech*



Pomocí tlačítka [Vybrat zatěžovací stav z RFEMu a použít jeho zatížení uzlů jako hmoty do tabulky...] lze do modulu pohodlně převzít zatížení z RFEMu. Převezmou se ovšem pouze zatížení definovaná ve směru osy Z. V dialogu, který se otevře, lze vybrat výchozí zatěžovací stav. Dále pak lze v tomto dialogu zvolit součinitel, kterým se převzaté hmoty vynásobí (viz následující obrázek).



Obr. 3.5: Dialog k výběru zatěžovacího stavu a součinitele pro přídavné hmoty



Pokud mají být definována pouze jednotlivá zatížení na uzly v RF-DYNAMu, pak můžeme využít funkci [Vybrat uzly] nebo můžeme provést zadání ručně.

Seznam uzlů s hmotou

Číslo uzlů, kterým má být přiřazena přídavná hmota

Hmota ve směru

Množství hmoty, která má být uzlu přiřazena

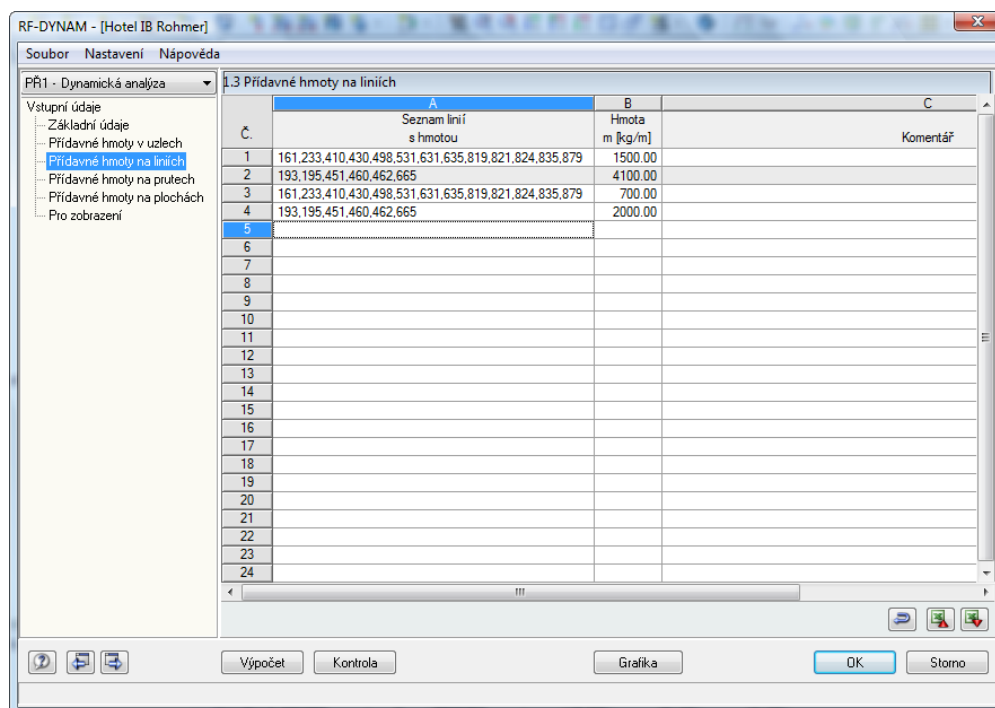
Momenty hmot

Momenty hmot, které na uzly působí

3.3.3 Dialog 1.3 Přídavné hmoty na liniích

Vzhledem k tomu, že vzhled i ovládání dialogů 1.2 až 1.5 jsou si velmi podobné, zmíníme se o nich už jen stručně. Funkce, které jsme popsaly v předchozí kapitole, jsou víceméně společné pro všechny dialogy k zadání přídavných hmot.

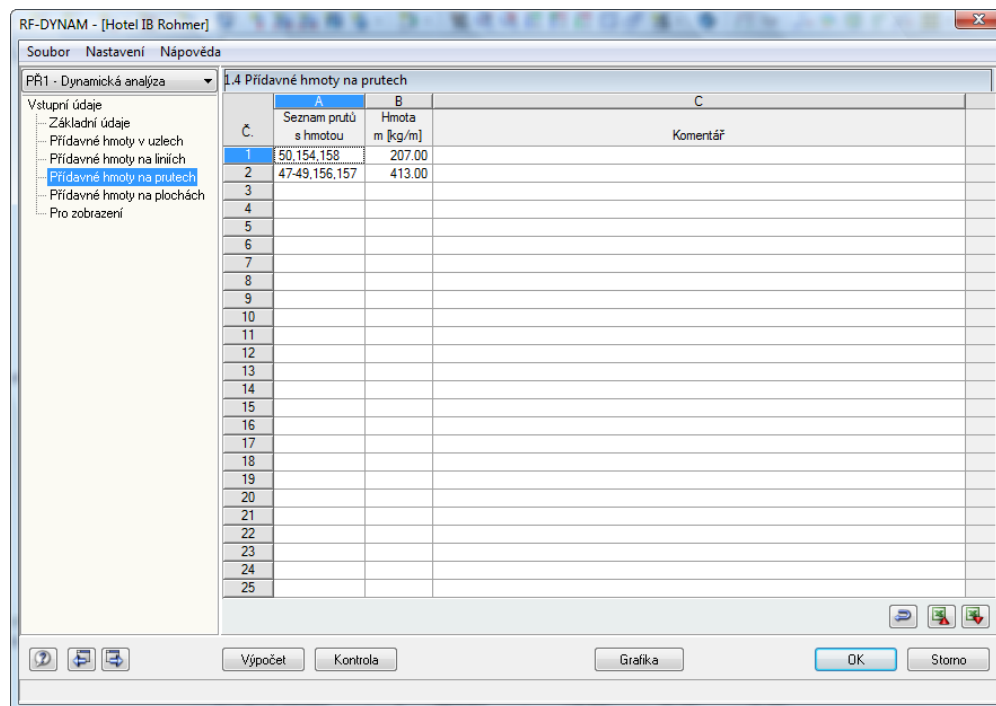
V dialogu 1.3 můžeme zadat přídavné hmoty linií.



Obr. 3.6: Dialog 1.3 Přídavné hmoty na liniích

3.3.4 Dialog 1.4 Přídavné hmoty na prutech

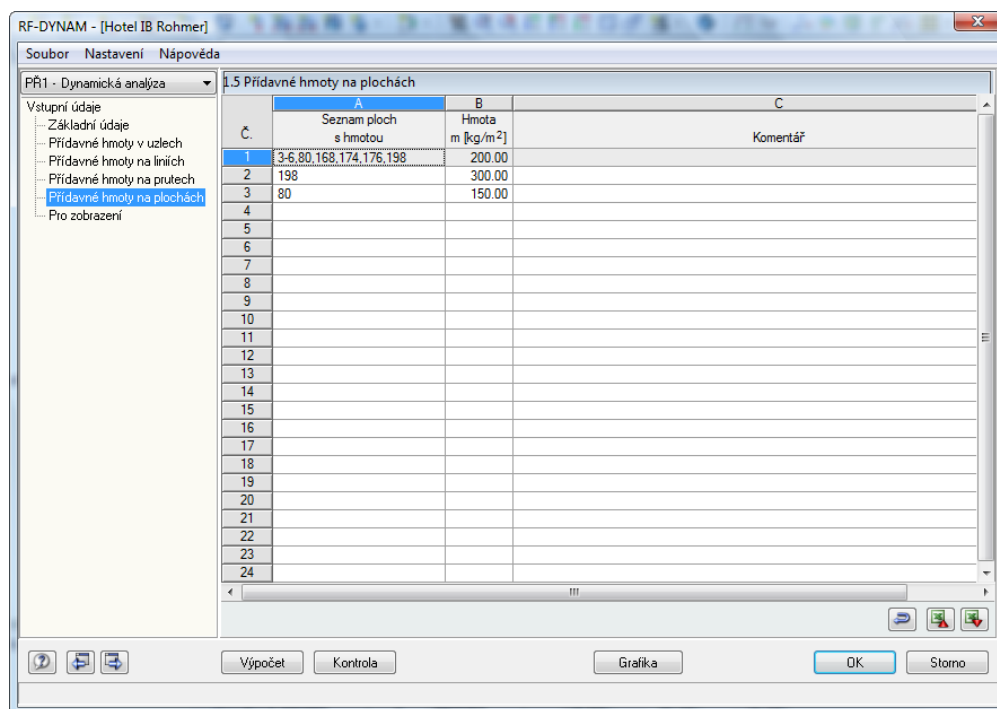
V dialogu 1.4 lze zadávat přídavné hmoty prutů. Pokud do modulu převádíme zatížení na pruty, která byla definována jako osamělá nebo lichoběžníková zatížení, pak se rovnoměrně rozloží po celé délce prutu. To znamená, že pokud jsme například definovali osamělé břemeno o velikosti 10 kN na 5 m dlouhý prut, zatížení se přepočítá na hmotu 200 kg/m.



Obr. 3.7: Dialog 1.4 Přídavné hmoty na prutech

3.3.5 Dialog 1.5 Přídavné hmoty na plochách

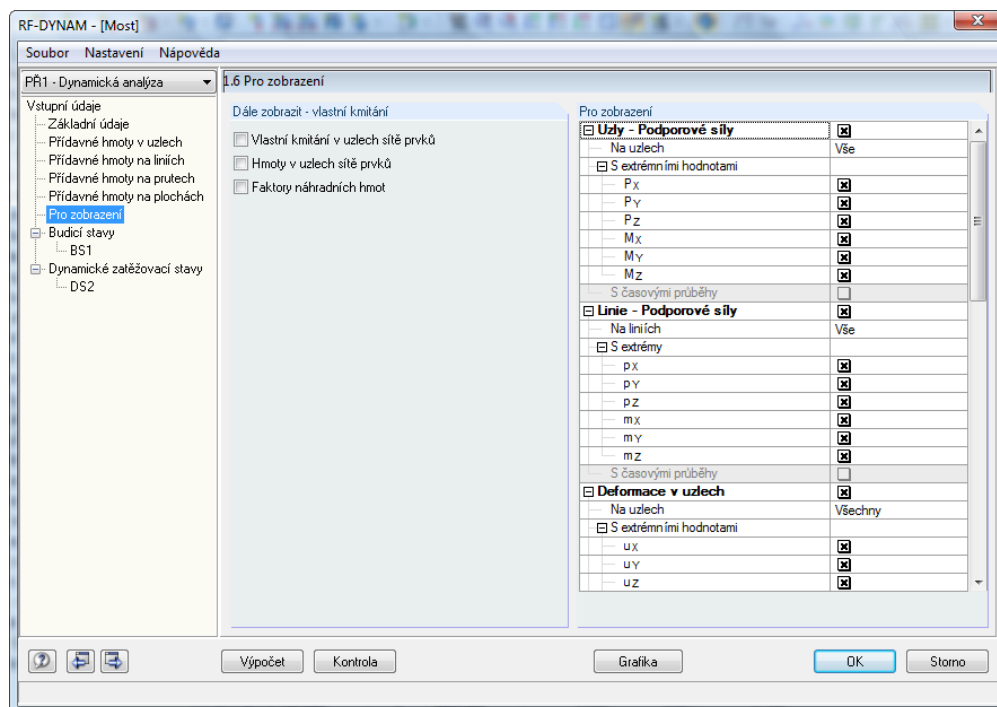
V dialogu 1.5 lze definovat přídavné hmoty ploch. I zde se případné lineární průběhy plošných zatížení přepočítají na konstantní hmoty ploch.



Obr. 3.8: Dialog 1.5 Přidavné hmoty na plochách

3.3.6 Dialog 1.6 Pro zobrazení

V dialogu 1.6 *Pro zobrazení* lze vybrat další výsledky, které chceme zobrazit. Obsah tohoto dialogu závisí na výběru v dialogu 1.1 *Základní údaje*. Pokud se má provést pouze výpočet vlastních frekvencí, nebude mít v dialogu uživatel možnost vybrat výsledky analýzy vynuceného kmitání. Nabízí se nám pak následující možnosti: vlastní kmitání v uzlech sítě prvků, hmoty v uzlech sítě prvků a faktory náhradních hmot.



Obr. 3.9: Dialog 1.6 Pro zobrazení - vlastní kmitání

Vlastní kmitání v uzlech sítě prvků

Pokud zvolíme tuto možnost, zobrazí se nám po výpočtu navíc dialog 2.5. Posun vlastních tvarů se narozdíl od výsledků v dialozích 2.2 až 2.4 zobrazí ve všech bodech sítě konečných prvků.

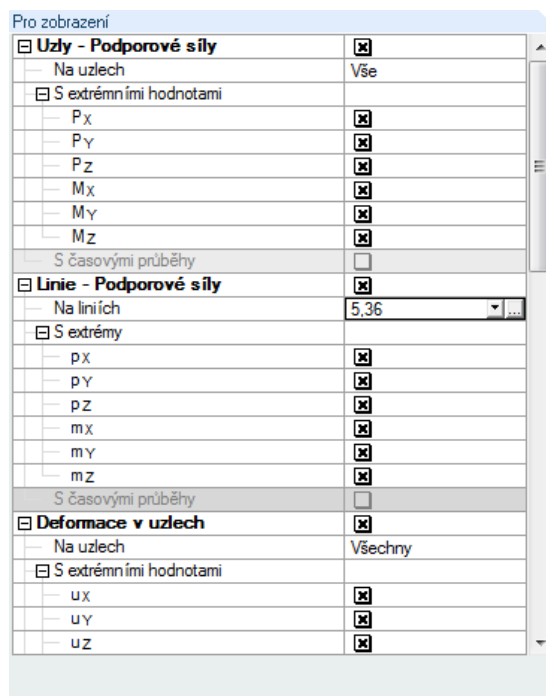
Hmoty v uzlech sítě prvků

RF- DYNAM rozdělí celkovou hmotu konstrukce jednotlivým bodům sítě konečných prvků. Při výpočtu se ovšem berou v úvahu aktivní hmoty (hmoty, které mají vliv na dynamické chování konstrukce). Výsledné hmoty v uzlech sítě prvků se zobrazí v dialogu 2.6.

Faktory náhradních hmot

Pokud vybereme tuto možnost, zobrazí se nám ve výstupním dialogu 2.7 náhradní hmoty a součinitele náhradních hmot ve směrech X, Y a Z. Podrobnosti lze najít v kapitolách 3.4 a 4.

Pokud jsme v dialogu 1.1 *Základní údaje* vybrali buzené kmitání, zobrazí se v pravé části dialogu 1.6 další sloupec pro výběr dat.



Obr. 3.10: Sekce *Pro zobrazení* sloužící k výběru dalších výsledných dat

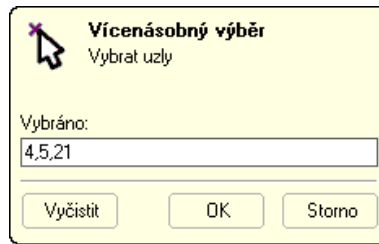
Časové vyhodnocení

Uživatel může například zadat, zda se mají zobrazit výsledky u každého nebo jen každého pátého časového kroku.

Ve stromové struktuře v pravé části dialogu lze nastavit zobrazení *podporových sil, vnitřních sil, rychlostí v uzlech, deformací v uzlech* či *zrychlení v uzlech*.


Volbou *S časovými průběhy* můžeme ovlivnit, zda se zobrazí pouze maximální, resp. minimální hodnoty a příslušný časový okamžik nebo zda se zobrazí výsledky v každém okamžiku. Touto volbou tak pochopitelně můžeme omezit množství dat na minimum.

Funkce [Vybrat] umožňuje stanovit v grafickém okně uzly a pruty, jejichž výsledky se mají výlučně zobrazit. Číslo prutu či uzlu lze samozřejmě zadat i přímo do příslušného políčka.



Obr. 3.11: Grafický výběr uzlů

4,5,21

Tlačítkem  se vrátíme do pracovního okna RFEMu. Jakmile vybereme příslušné uzly, resp. pruty (vícenásobný výběr umožňuje klávesa \hat{I}) a klikneme na tlačítko [OK], čísla uzlů, resp. prutů se převezmou do příslušného políčka.

3.3.7 Dialog 1.7 Budicí stavy

Tento dialog spolu s následujícím vstupním dialogem 1.8 lze otevřít pouze v případě, že vlastníme licenci k modulu RF-DYNAM ADDITION I.

Budicí stav

V podstatě je možné definovat současně pro jednu konstrukci různé druhy buzení a uložit je vždy jako zvláštní budicí stav BS.

Typ buzení

V programu DYNAM ADDITION I máme na výběr ze čtyř typů buzení. Po zadání typu buzení se automaticky upraví všechny další vstupní tabulky.

Pokud zvolíme časovou analýzu, budeme mít v dialogu 1.7 k dispozici následující tři typy buzení:

- Akcelerogram
- Harmonická zatížení
- Tabelovaná zatížení

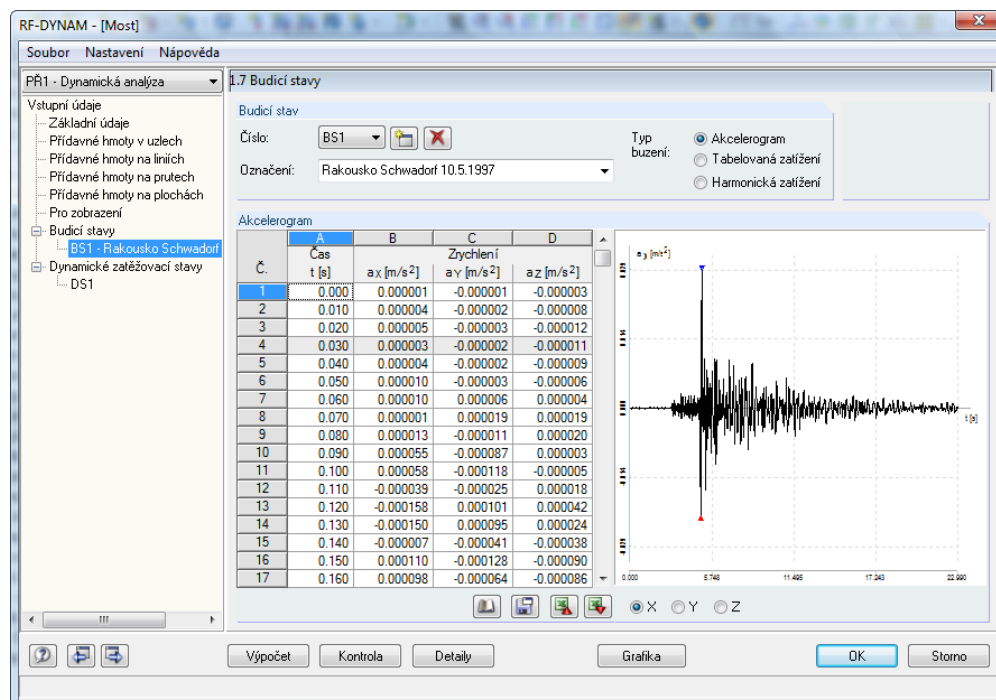
Spektra odezvy se zadávají rovněž v dialogu 1.7, k tomu je ovšem třeba předem vybrat v dialogu 1.1 Základní údaje spektrální analýzu.

Akcelerogram

Buzení jedné či několika uzlových podpor lze zadat v dialogu pomocí časově závislých zrychlení. Tento tvar buzení se obecně používá pro zachycení seizmických zatížení.

Čas se přitom zadává ve vteřinách. Uživatel musí dát pozor na to, aby časové údaje vždy začínaly v okamžiku $t = 0$. Časové okamžiky je třeba zadat ve vzestupném pořadí, přičemž časové kroky mohou být libovolně dlouhé. Z numerického hlediska se dále doporučuje definovat poslední časový okamžik vždy o něco větší, než je horní časová mez integrace TI:

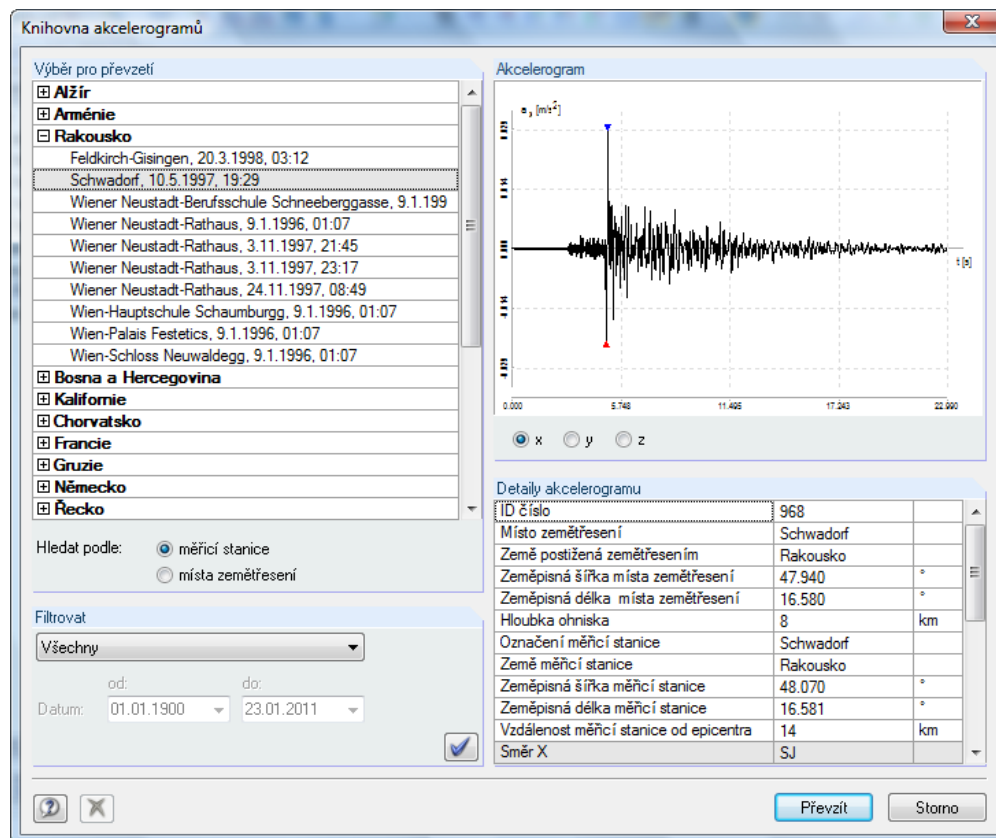
$$T_1 = 0 < T_2 < \dots < T_{n-1} < T_I < T_n$$



Obr. 3.12: Dialog 1.7 Budicí stavy v případě časové analýzy

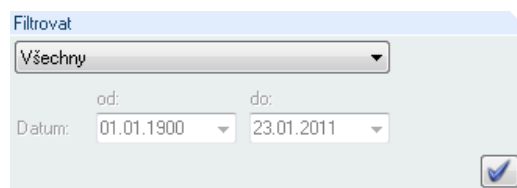


Program RF-DYNAM ADDITION I uživatel nabízí značný počet již zadaných, resp. naměřených akcelerogramů. Jejich databázi otevře pomocí tlačítka [Převzít akcelerogram z knihovny...]. Do dnešního data se v této knihovně nashromáždilo 1018 akcelerogramů. Kromě toho může uživatel do knihovny ukládat i akcelerogramy, které sám nadefinuje.



Obr. 3.13: Knihovna akcelerogramů

Akcelerogramy lze vybírat ve stromové struktuře v levé části dialogu. Roztřídit je lze buď podle *měřicí stanice* nebo *místa zemětřesení*. Uživatel má pak mnoho dalších možností, jak je filtrovat. Lze tak například zobrazit akcelerogramy pro omezené časové období.



Obr. 3.14: Filtrování akcelerogramů



Pokud chceme do databáze uložit vlastní akcelerogramy, klikneme po jejich zadání v dialogu 1.7 na tlačítko [Uložit obsah tabulky a importovat do databáze...]. Otevře se následující okno.

Uložit nový akcelerogram

Detaily akcelerogramu		
Země měřicí stanice*	Japonsko	
Název měřicí stanice*		
Místo zemětřesení*		
Země postižená zemětřesením*		
Datum*	01.01.2000	
Hodina*	00:00	
Vzdálenost měřicí stanice od epicentra*	0.000	km
Zeměpisná šířka měřicí stanice*	0.000	°
Zeměpisná délka měřicí stanice*	0.000	°
Hloubka ohniska*	0.000	km
Lokální podloží/Základová půda*		
Doba měření	22.990000	s
Časový úsek měření	0.010000	s
Počet vzorků	2300.000000	
Maximální zrychlení ve směru osy X	0.028880	m/s ²
Maximální zrychlení ve směru osy Y	0.035960	m/s ²
Maximální zrychlení ve směru osy Z	0.014510	m/s ²
Magnitudo prostorových vln M _b *	0.000	
Lokální magnitudo M _l *	0.000	
Magnitudo povrchových vln M _s *	0.000	

Poznámka
Vyplňte prosím v tabulce údaje označené hvězdičkou.

Uložit jako
Japonsko, , 01.01.2000, 00:00

OK Storno

Obr. 3.15: Ukládání vlastních akcelerogramů

V tabulce můžeme v příslušných políčkách vyplnit název měřicí stanice, místo zemětřesení, zemi atd. Název, pod nímž se akcelerogram uloží, se uvádí v sekci *Uložit jako*.

Uživatelské
Irán, 1.1.2000, 00:00
Japonsko, 1.1.2000, 00:00
Mexiko, 1.1.2000, 00:00

Obr. 3.16: Vlastní uložené akcelerogramy

Uložené akcelerogramy se zobrazí ve stromové struktuře knihovny v položce *Uživatelské*.

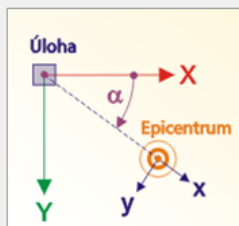
Převzít

Pokud chceme některý z předem připravených nebo uživatelsky zadaných akcelerogramů převzít z databáze do dialogu 1.7, klikneme na tlačítko [Převzít] a otevře se následující dialog. V něm definujeme *úhel* nebo přímo zadáme *transformační matici*, a nastavíme tak i *směr zrychlení*.

Transformace

Úhel
α : 0.00

Definovat směr



Transformační matice

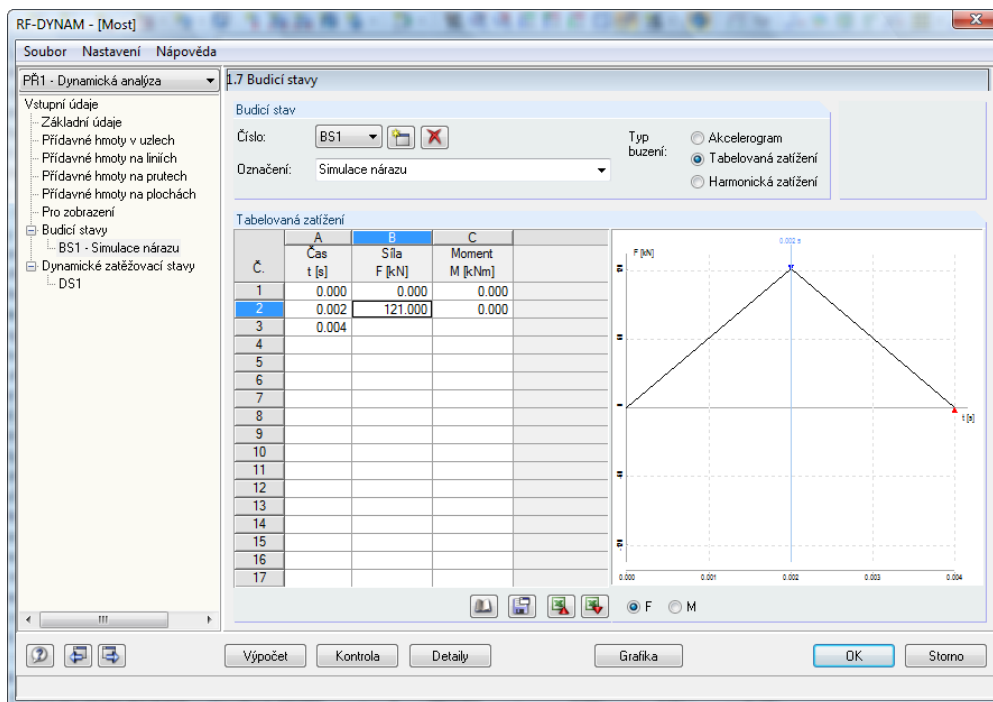
$a_X = 1.00000 a_x + 0.00000 a_y$
 $a_Y = 0.00000 a_x + 1.00000 a_y$

OK Storno

Obr. 3.17: Převzetí seizmických účinků

Tabelovaná zatížení

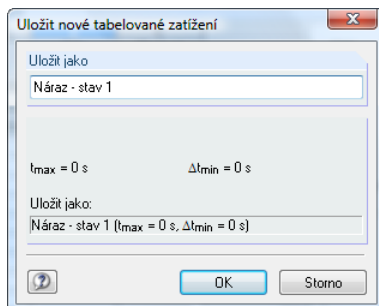
Tento typ buzení slouží k zadání jednotlivých časově závislých sil a momentů v tabelované formě.



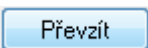
Obr. 3.18: Dialog 1.7 Budicí stavy typu Tabelovaná zatížení



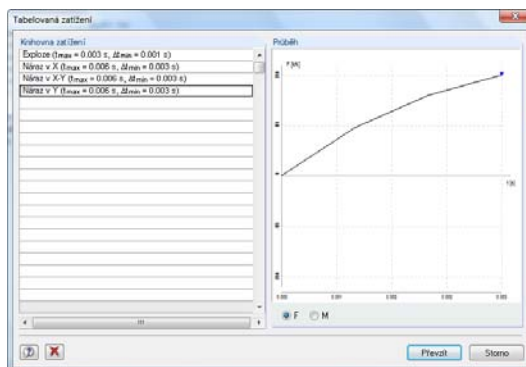
Všechny zadané údaje lze stejně jako v případě akceleroogramů uložit do knihovny a kdykoli znovu načíst. Tlačítkem [Uložit obsah tabulky a importovat do databáze...] otevřeme okno, v němž zadáme název nového tabelovaného zatížení a následně tlačítkem [OK] údaje uložíme do databáze.



Obr. 3.19: Uložení tabelovaného zatížení do databáze



Pomocí tlačítka [Převzít] lze uložená data znovu načíst do dialogu 1.7 jako budicí stav.



Obr. 3.20: Knihovna tabelovaných zatížení

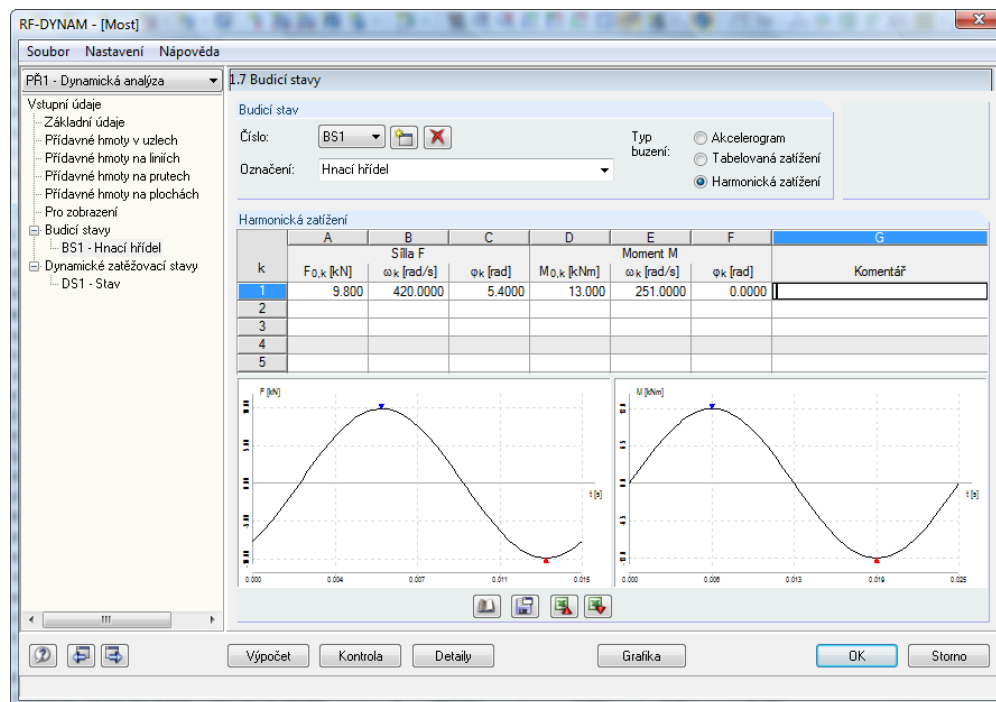
Harmonická zatížení

Tato volba umožňuje zadat pomocí amplitudy, kruhové frekvence či fázového posunu například dynamická zatížení vyvolaná stroji, která mají budící účinky na stavbu.

Silová funkce $f(t)$ a momentová funkce $m(t)$ mají v tomto případě tvar:

$$f(t) = A_f \sin(\omega_f t + \phi_f), \text{ resp.}$$

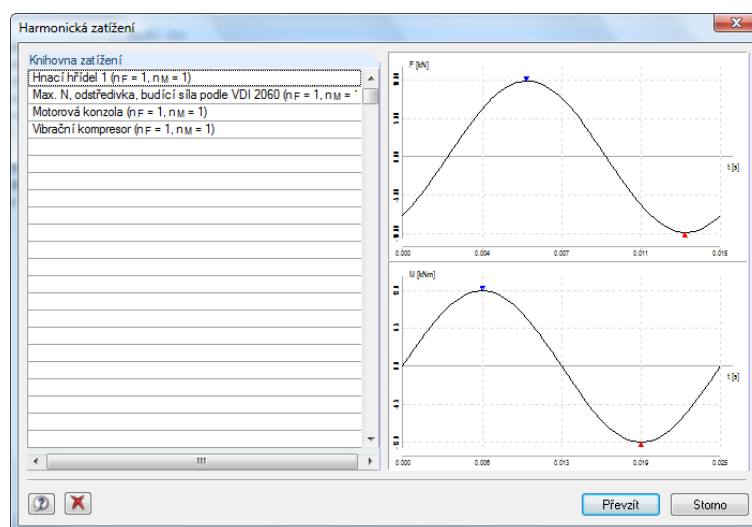
$$m(t) = A_m \sin(\omega_m t + \phi_m)$$



Obr. 3.21: Budící stav *Harmonická zatížení*



Harmonická zatížení lze stejně jako akcelerogramy nebo tabelovaná zatížení uložit do knihovny a později je lze z ní kdykoli převzít.

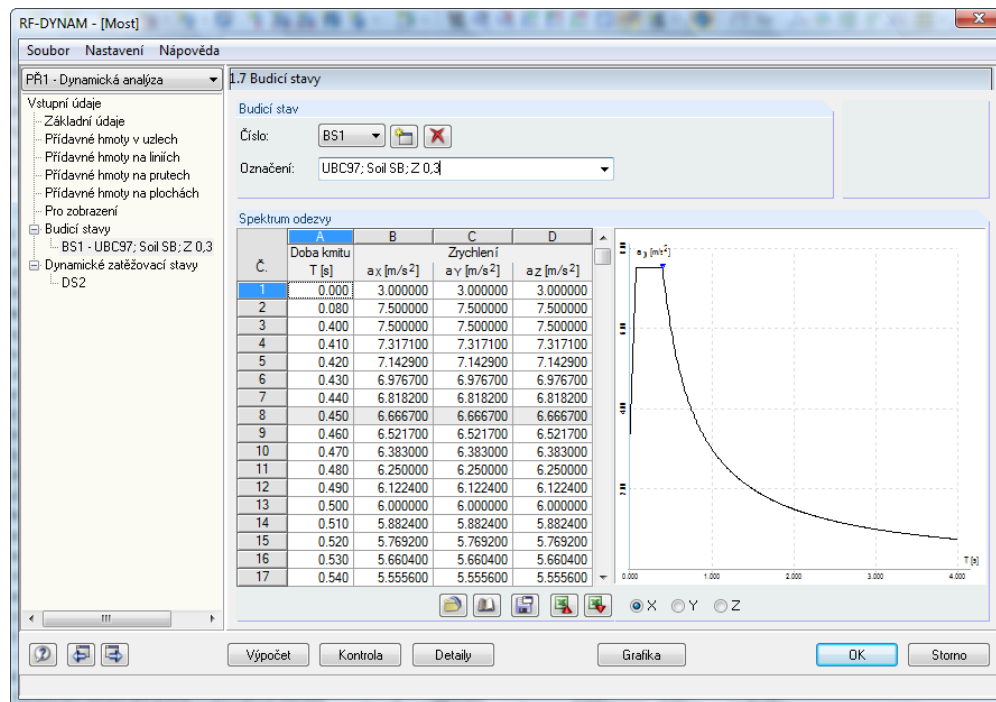


Obr. 3.22: Knihovna harmonických zatížení

Spektrum odezvy

Pro seizmické buzení libovolného počtu podporových uzlů lze uplatnit modální analýzu metodou spektra odezvy.

Vstupní dialog 1.7 pro zadání spektra odezvy zrychlení se aktivuje pouze v případě, že jsme v dialogu 1.1 v oddílu *Buzené kmitání* vybrali *spektrální analýzu*.



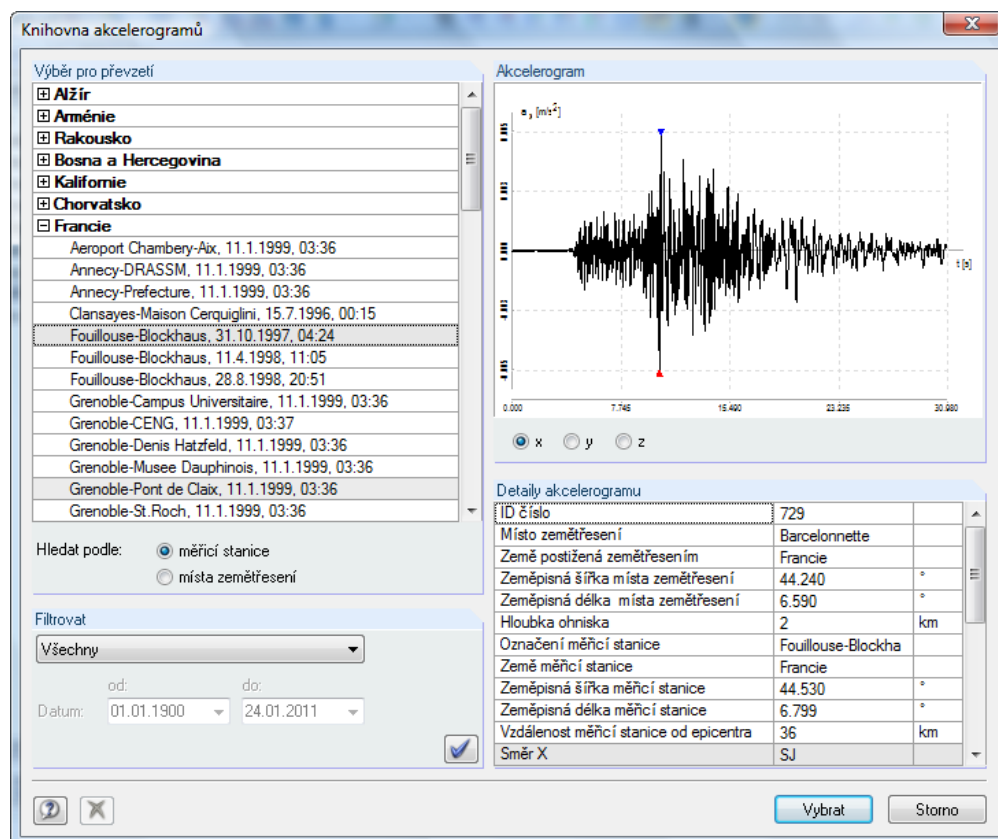
Obr. 3.23: Dialog 1.7 Budicí stavy *Spektrum odezvy*



Stejně jako u ostatních typů buzení lze pomocí příslušných tlačítek ukládat spektra odezvy do databáze či je z ní importovat.

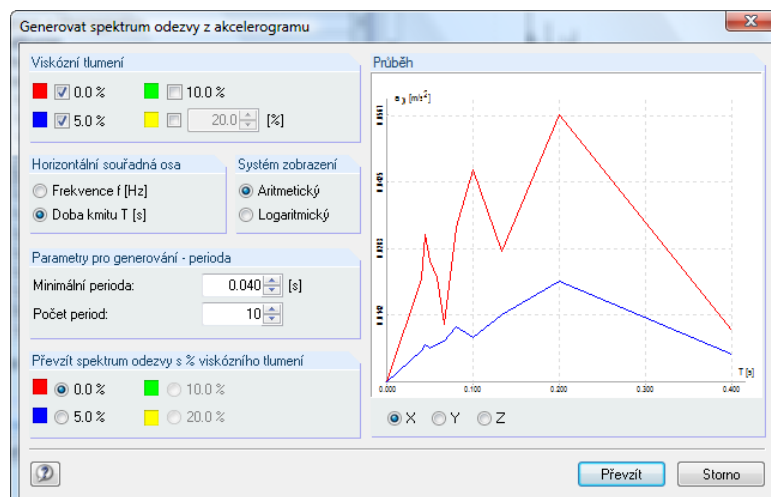
V databázi spektra odezvy jsou k dispozici připravená spektra elastické odezvy z norem DIN 4149, EC 8 a UBC 97. Připomínáme, že se jedná o určitý výběr spektra, která vycházejí z pevně daných normových parametrů. Tato spektra lze samozřejmě kdykoli upravovat a rozšiřovat.

Tlačítkem [Vybrat v knihovně akcelerogram a vygenerovat z něj spektrum odezvy...] nejdříve otevřeme knihovnu akcelerogramů. V ní můžeme vybrat akcelerogram, z kterého se má automaticky vygenerovat spektrum odezvy. Vycházet se přitom může jak z předem připravených, tak vlastních, uživatelem zadaných akcelerogramů.



Obr. 3.24: Knihovna akcelogramů otevřená pomocí tlačítka [Vybrat v knihovně akcelogram a vygenerovat z něj spektrum odezvy...]

Jakmile požadovaný akcelogram vybereme, zobrazí se v grafickém okně a k vygenerování spektra lze nastavit další parametry. Tlačítkem [Vybrat] otevřeme následující dialog:



Obr. 3.25: Parametry pro vygenerování spektra odezvy

Viskózní tlumení

Jakmile zadáme hodnotu viskózního tlumení, zobrazí se *průběh* spektra odezvy barevně v grafickém okně. Pokud hodnotu viskózního tlumení změníme, upraví se i grafické znázornění průběhu.

Horizontální souřadná osa

Grafické zobrazení *průběhu* spekter odezvy lze vztáhnout buď k *frekvenci* nebo *době kmitu*.

System zobrazení

Grafický průběh spekter odezvy lze znázornit buď *aritmeticky* nebo *logaritmicky*.

Parametry pro generování - perioda

Pro generování je důležité stanovit dostatečnou periodu i maximální počet period. Nápo-
mocná je přitom uživateli interaktivní grafika v pravé části dialogu.

Převzít spektrum odezvy s % viskózního tlumení

V této sekci se stanoví, které ze spekter odezvy v grafickém okně se má převzít do dialogu
1.7. Jámile některé spektrum vybereme, spustíme export tlačítkem [Převzít].

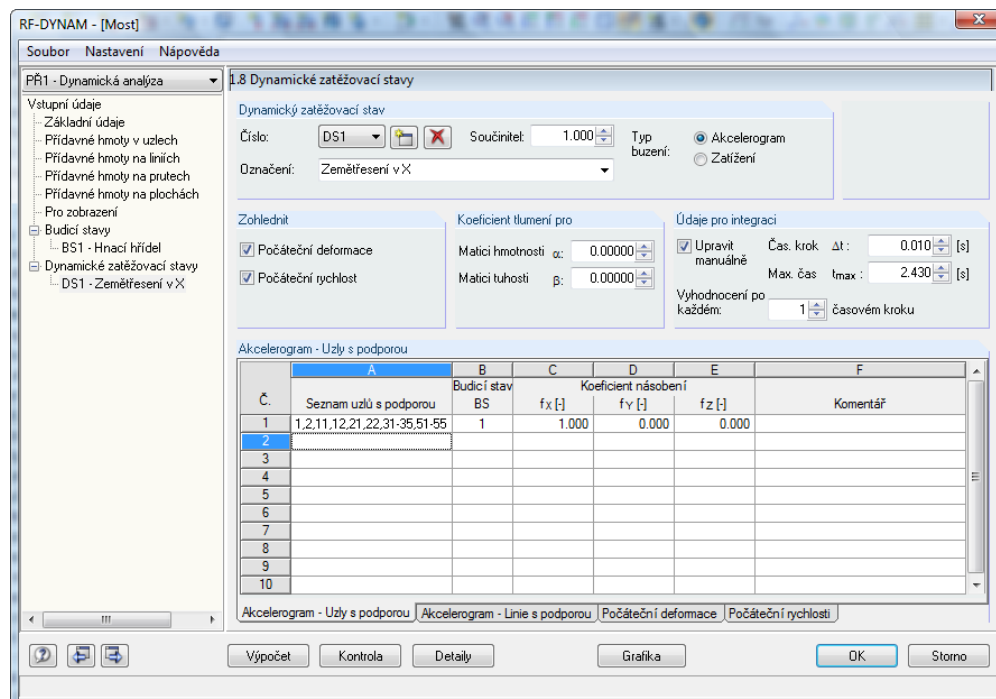
Převzít

3.3.8 Dialog 1.8 Dynamické zatěžovací stavy

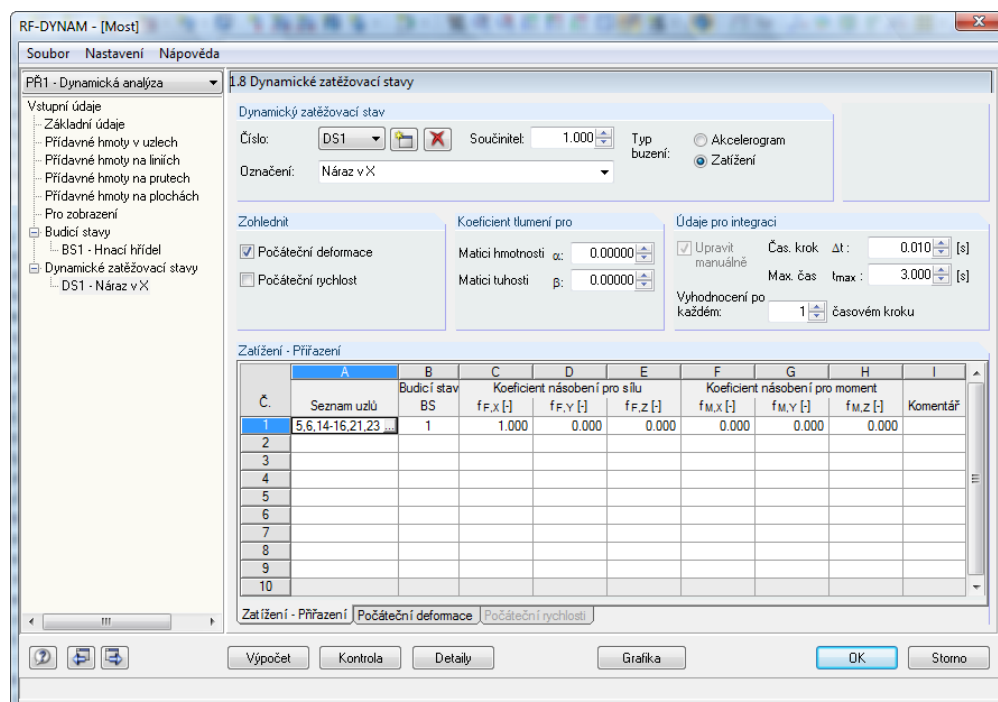
V závislosti na typu buzení, který jsme vybrali v dialogu 1.7 (akcelerogram, spektrum odezvy
nebo harmonická, resp. tabelovaná zatížení), se otevře vstupní dialog pro zadání příslušných
údajů.

Číslo DS

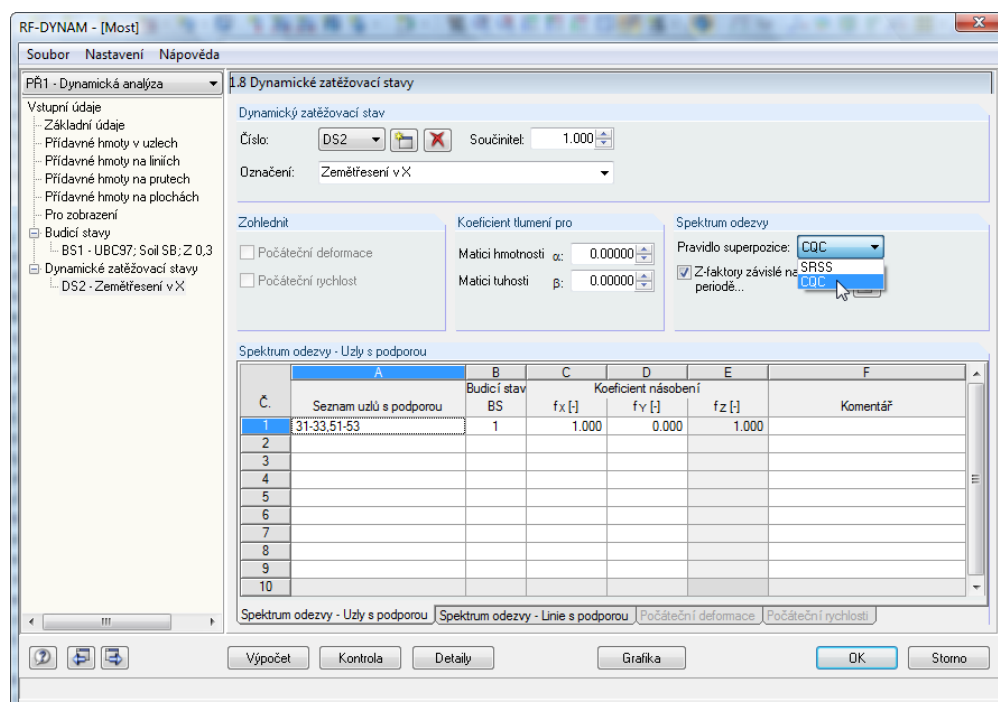
Jeden nebo i několik budících stavů lze například zadat s různými součiniteli a uložit jako
zvláštní dynamický zatěžovací stav *DS*. V závislosti na tom, zda jsme v dialogu 1.7 definovali
akcelerogram, spektrum odezvy nebo budící síly, se v dialogu 1.8 nabízí příslušná políčka
pro zadání potřebných faktorů.



Obr. 3.26: Dialog 1.8 *Dynamické zatěžovací stavy* - Koefficienty pro akcelerogram



Obr. 3.27: Dialog 1.8 Dynamické zatěžovací stavy - Koeficienty pro zatížení



Obr. 3.28: Dialog 1.8 Dynamické zatěžovací stavy - Koeficienty pro spektrum odezvy

Faktory spektra odezvy

Jako pravidlo superpozice můžeme zvolit jednu ze dvou možností:

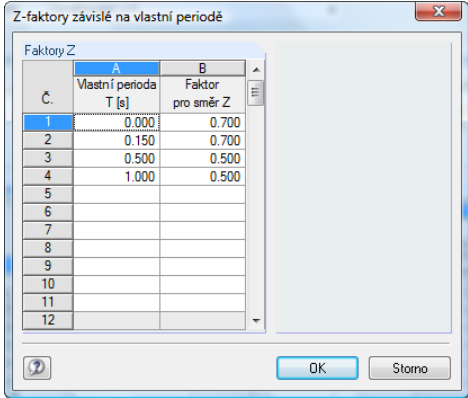
- pravidlo druhé odmocniny ze součtu čtverců (pravidlo SRSS): v tomto případě se stanoví druhá odmocnina ze součtu druhých mocnin modálních složek.
- kompletní kvadratická kombinace („Complete Quadratic Combination“, pravidlo CQC): toto pravidlo se uplatňuje, pokud jsou při ověřování prostorových modelů se

smíšenými torzními a translačními vlastními tvary zjištěny sousední modální tvary, jejichž periody se liší o méně než 10%.

Z-faktory závislé na vlastní periodě



Pokud zaškrtneme příslušné políčko a následně klikneme na tlačítko [Upravit...], otevře se dialog, v němž lze definovat Z-faktory závislé na vlastní periodě.

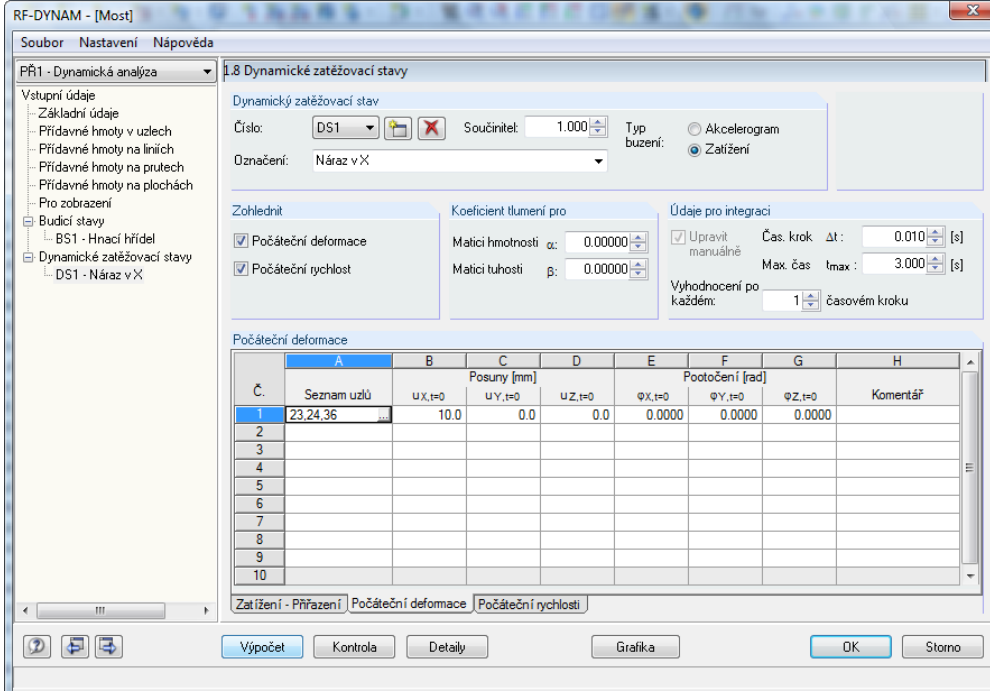


Č.	A Vlastní perioda T [s]	B Faktor pro směr Z
1	0.000	0.700
2	0.150	0.700
3	0.500	0.500
4	1.000	0.500
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Obr. 3.29: Z-faktory závislé na vlastní periodě

Počáteční deformace

Tato funkce umožňuje zadat počáteční posuny či pootočení, které mají podstatný vliv na průběh kmitu. V tomto případě lze ovšem přiřadit pouze nevázané stupně volnosti, čili pouze na uzlech a ve směrech, kde pohybu konstrukce nebrání žádná podpora. Údaje, které budou v rozporu s tímto pravidlem, nebudou brány v potaz. Vzhledem k tomu, že RF-DYNAM používá metodu průmětu vlastních vektorů do podprostoru, nemohou být počáteční podmínky libovolné. Předepsaný vektor počátečních podmínek musí být lineární kombinací vlastních vektorů (viz kapitola 5 tohoto manuálu).



1.8 Dynamické zatěžovací stavy

Dynamický zatěžovací stav

Číslo: DS1 Součinitel: 1.000 Typ buzení: Akcelerogram Zatížení

Označení: Náraz v X

Zohlednit: Počáteční deformace Počáteční rychlost

Koeficient tlumení pro:
Matici hmotnosti α : 0.00000
Matici tuhosti β : 0.00000

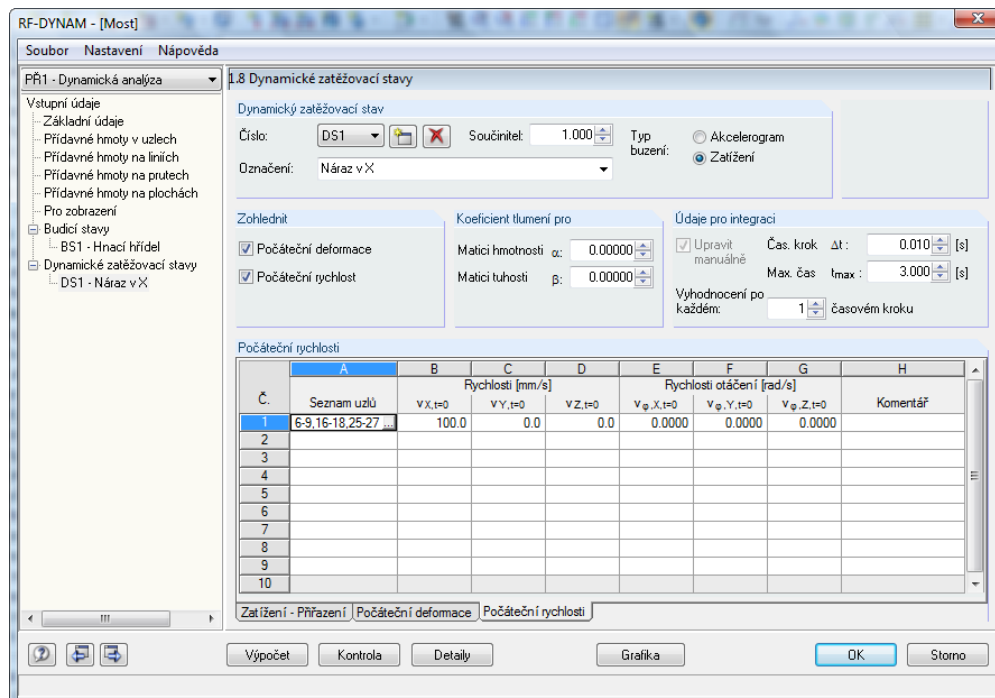
Údaje pro integraci:
 Upravit manuálně Čas. krok Δt : 0.010 [s]
Max. čas t_{max} : 3.000 [s]
Vyhodnocení po každém: 1 časovém kroku

Č.	Seznam uzlů	Posuny [mm]			Pootočení [rad]			Komentář
		$u_{x,t=0}$	$u_{y,t=0}$	$u_{z,t=0}$	$\varphi_{x,t=0}$	$\varphi_{y,t=0}$	$\varphi_{z,t=0}$	
1	23,24,36	10.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Obr. 3.30: Dialog 1.8 *Dynamické zatěžovací stavy* - počáteční deformace

Počáteční rychlost:

Tato funkce umožňuje definovat počáteční rychlosti posunů či otáčení. Stejně jako v případě počátečních deformací je i tady třeba zadat nevázané stupně volnosti, protože rychlost je první derivací přetvoření.



Obr. 3.31: Dialog 1.8 Dynamické zatěžovací stavy - počáteční rychlosti

K počátečním deformacím a počátečním rychlostem je třeba poznamenat, že v případě periodického buzení je nelze definovat pomocí spektra odezvy.

Koeficient tlumení pro**matici hmotnosti α**

V tomto vstupním poli lze zadat koeficient α pro tlumení úměrné hmotnosti. Měrná jednotka α je [1/s].

matici tuhosti β

V tomto vstupním poli se stanoví koeficient β pro tlumení úměrné tuhosti. Měrná jednotka β je [s].

Matrice tlumení má tvar: $\alpha M + \beta K$

Míru tlumení včetně poměrného útlumu D_i pro i -tou vlastní kruhovou frekvenci ω_i vyjádříme následovně:

$$d_i = D_i + \frac{1}{2} [\alpha / \omega_i + \beta \omega_i]$$

Údaje pro integraci**Časové vyhodnocení**

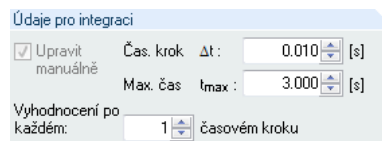
Stanovením časového kroku a maximálního času lze ovlivnit přesnost a délku trvání integrace. Je třeba dávat pozor na to, aby maximální čas nepřekračoval velikost časového intervalu stanoveného v dialogu 1.7.

Časový krok

Směrodatná pro zvolení správného časového kroku je vlastní frekvence soustavy, resp. frekvence budících sil. Má-li být přesnost dostatečná, měla by být rozhodující perioda $T = 1/f$ rozdělena asi do 10 kroků, tzn. časový krok Δt je třeba zvolit tak, aby

$$\Delta t < T/10 = 1/(10f) = 2 \pi / (10 \omega)$$

Upravit manuálně



Údaje pro integraci

Upravit manuálně

Čas. krok Δt : 0.010 [s]

Max. čas t_{max} : 3.000 [s]

Vyhodnocení po každém: 1 časovém kroku

Obr. 3.32: Volba *Upravit manuálně*

Možnost automatického výpočtu místo ručního zadání maximálního času a časového kroku máme jen v případě akceleroogramů. V takovém případě se jako *časový krok* převezme nejkratší časový údaj z dialogu 1.7. *Maximální čas* pak odpovídá konečnému časovému údaji z dialogu 1.7.

3.3.9 Dialog 1.9 Náhradní břemena

Tento dialog lze otevřít pouze v případě, že máme licenci k modulu RF-DYNAM ADDITION II.

Náhradní břemena

Norma

DIN 4149:2005-04

DIN 4149-1:1981-04

DIN 4149:2005-04

ENV 1998-1-1

EN 1998-1:2004

IBC 2000

IBC 2009 - ASCE/SEI 7-05

Obr. 3.33: Výběr normy

V závislosti na výběru v seznamu *Norma* se mění ostatní části dialogu, v nichž lze zadávat vstupní parametry podle norem DIN 4149: 1981-04, DIN 4149: 2005-04, EUROKÓD 8: 1998-1-1, EUROKÓD 8: 2004-11 nebo IBC 2000.

Výběr vlastních tvarů

Přiřazení návrhového spektra pro lineární výpočet

A	B	C	D	E	F	G
Generovat	Vlastní tvar č.	Generovat do zatěž. stavu	Pořadnice návrhového spektra			Komentář
			Auto	S_{dH} [m/s ²]	S_{dV} [m/s ²]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 3.17 Hz	13	<input checked="" type="checkbox"/>	1.5826	1.1078	
<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 6.45 Hz	14	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	
<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 6.56 Hz	15	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	
<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 7.18 Hz	16	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	
<input checked="" type="checkbox"/>	5 - 7.77 Hz	17	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	
<input checked="" type="checkbox"/>	6 - 7.80 Hz	18	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	

Obr. 3.34: Přiřazení návrhového spektra

Generovat a Vlastní tvar č.

V těchto dvou sloupcích lze určit, které z vlastních frekvencí spočítaných v modulu RF-DYNAM BASIC se mají uvažovat při výpočtu náhradních zatížení.

Generovat do zatěž. stavu

V tomto sloupci se zobrazí číslo zatěžovacího stavu v RFEMu, do kterého se mají převést vygenerovaná náhradní zatížení. Směr působení seizmických účinků přitom vždy odpovídá směru vlastního kmitání. Číslo prvního zatěžovacího stavu v RFEMu lze přitom nastavit v sekci *Číslování ZS*.

Číslování ZS

Číslo prvního generovaného zatěžovacího stavu: 4

Obr. 3.35: Číslování ZS

Auto

Pokud potvrdíme toto zaškrtnuté políčko, součinitele S_{dH} a S_{dV} návrhového spektra se vypočítají automaticky. Tyto hodnoty můžeme ovšem zadat také ručně; pak lze náhradní zatížení spočítat i na základě vstupních hodnot, které neodpovídají dané normě.

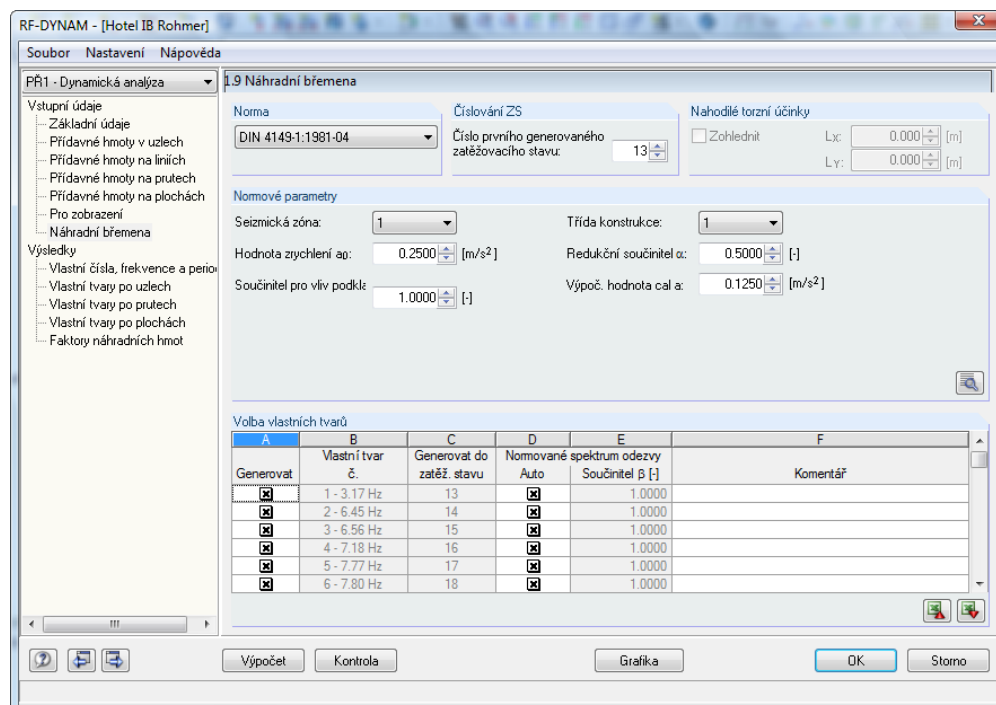
Pořadnice návrhového spektra

Tato hodnota je definována jako funkce vlastní periody T konstrukce.

Komentář

Každý vygenerovaný zatěžovací stav lze doplnit komentářem.

Parametry normy DIN 4149: 1981-04



Obr. 3.36: Dialog 1.9 Náhradní břemena podle DIN 4149: 1981-04

Seismická zóna

V závislosti na stavbě zemské kůry a poloze tektonických zlomů se rozlišují na zemském povrchu různé seismické zóny. Seismická zóna je charakterizována hodnotou a_0 , která odpovídá očekávanému zrychlení.

Hodnota zrychlení a_0

Návrhovou hodnotu zrychlení dosadí program automaticky v závislosti na seismické zóně, pokud jsme stanovili seismickou zónu 1 až 4.

Součinitel pro vliv podkladu κ

Tento součinitel odpovídá v extrémních případech buď hodnotě 1,0 (tvrdý podklad) nebo 1,4 (nezpevněný podklad).

Třída konstrukce

Třída stavebního objektu udává stupeň významu ochrany stavby a společenský význam budovy. Objekty se rozdělují do třech kategorií, které jsou v normě blíže specifikovány. Ve střední Evropě zpravidla postačuje uvažovat třídy objektů 1 až 4. Uživatel může samozřejmě zadat i jinou třídu objektu podle dalších norem a seismických zón, musí pak ovšem sám doplnit platné hodnoty zrychlení.

Redukční součinitel α

Návrhové hodnoty zrychlení a_0 lze v závislosti na třídě objektu a seismické zóně vynásobit redukčním součinitelem α . Pro bližší informace viz DIN 4149, kapitola 7.2.3.

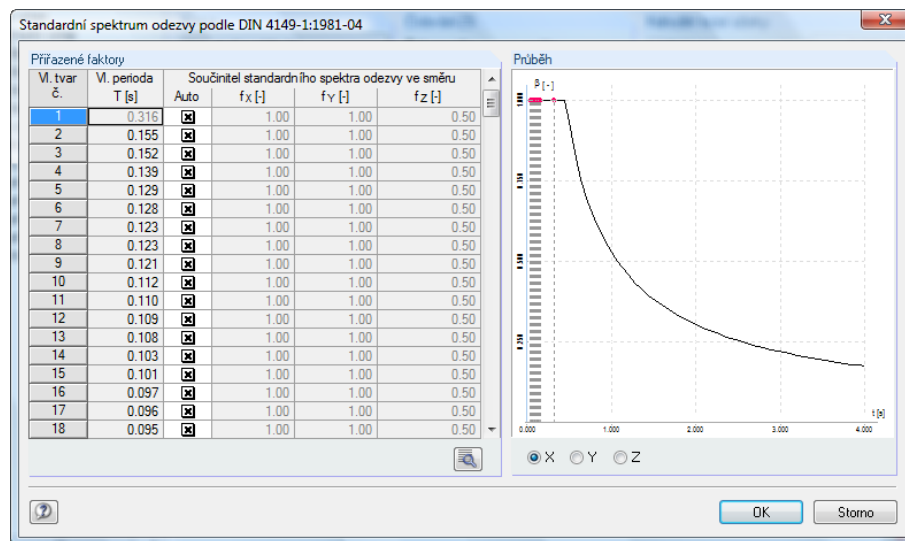
Výpočetní hodnota cal

Tato hodnota závisí na návrhové hodnotě zrychlení a_0 , redukčním součiniteli α a součiniteli pro vliv podkladu κ . Po zadání těchto parametrů se hodnota cal a automaticky vypočítá, lze ji ovšem i dodatečně upravit.

Tlačítko [Zobrazit spektrum odezvy] slouží ke grafickému zobrazení daného spektra na základě zadaných parametrů. Toto tlačítko se aktivuje až po zdařilém průběhu výpočtu vlast-



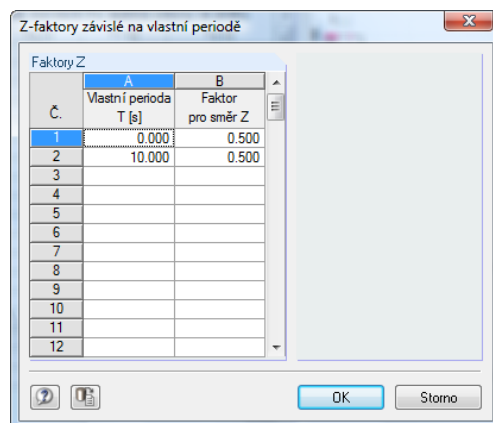
ních čísel. Pokud políčko ve sloupci *Auto* nezaškrtneme, máme možnost změnit součinitele pro směry spektra.



Obr. 3.37: Standardní spektrum odezvy podle DIN 4149: 1981-04

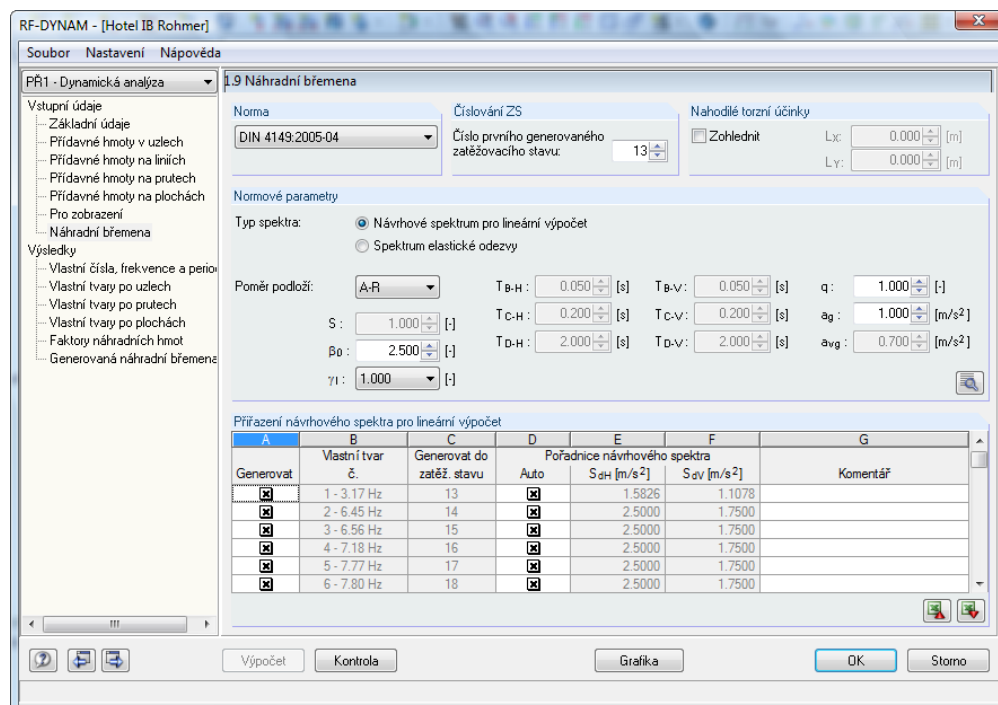


Součinitele pro směr Z lze zvlášť stanovit v tabulce, kterou otevřeme kliknutím na tlačítko [Z-faktory závislé na vlastní periodě...]. Hodnoty pro vertikální směr jsou zde přednastaveny v souladu s normou DIN 4149 a odpovídají 50% horizontální složky seizmického zatížení.

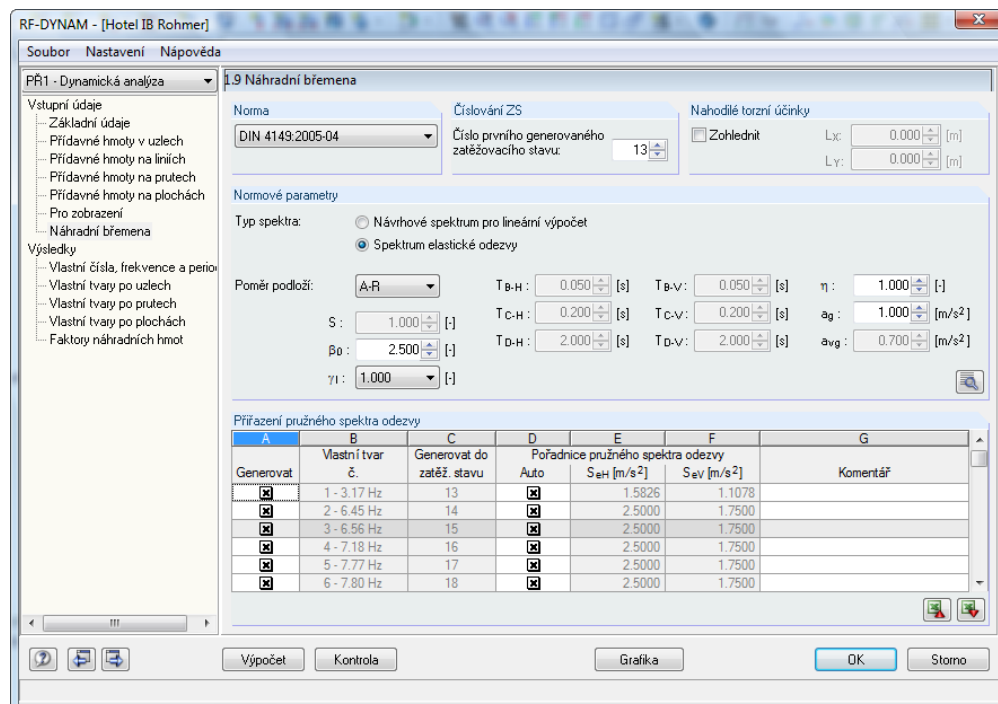


Obr. 3.38: Faktory Z

Parametry normy DIN 4149: 2005-04



Obr. 3.39: Dialog 1.9 Náhradní břemena podle DIN 4149: 2005-04, volba Návrhové spektrum pro lineární výpočet



Obr. 3.40: Dialog 1.9 Náhradní břemena podle DIN 4149: 2005-04, volba Spektrum elastické odezvy

Pokud se mají náhradní zatížení vygenerovat podle DIN 4149: 2005-04, má uživatel možnost zvolit buď *Návrhové spektrum pro lineární výpočet* nebo *Spektrum elastické odezvy*. Jednotlivé parametry normy DIN 4149: 2005-04 jsou popsány níže.

Třídy geologického podkladu

R	Oblasti se skalním podkladem
T	Oblasti přechodu mezi oblastmi třídy R a třídy S a dále oblasti relativně mělkých sedimentačních pánví
S	Oblasti hlubokých pánví vyplněných mocnými usazeninami

Třídy podloží

A	Nezvětralé (matečné) horniny s vysokou pevností Převládající rychlost šíření smykových vln: > 800 m/s
B	Mírně zvětralé horniny, resp. horniny nízké pevnosti nebo hrubozrnné (sypké), příp. smíšené zeminy se značnými třecími schopnostmi s vyšším stupněm ulehlosti, příp. v tuhé konzistenci (např. nesoudržné horniny zatížené ledovcem) Převládající rychlost šíření smykových vln: 350 m/s až 800 m/s
C	Silně až zcela zvětralé horniny nebo hrubozrnné (sypké), příp. smíšené nesoudržné zeminy středně ulehlé, příp. alespoň v tuhé konzistenci nebo jemnozrnné (soudržné) zeminy alespoň v tuhé konzistenci Převládající rychlost šíření smykových vln: 150 m/s až 350 m/s

Pro vstupní hodnoty A, B nebo C a také R, T či S jsou dány následující vstupní parametry návrhového spektra:

Hodnoty parametrů pro vyjádření horizontálního spektra

Poměry podloží	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,01	0,30	2,0
C-T	1,25	0,01	0,40	2,0
C-S	0,75	0,01	0,50	2,0

Hodnoty parametrů pro vyjádření vertikálního spektra

Poměry podloží	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,20	2,0
C-R	1,50	0,05	0,20	2,0
B-T	1,00	0,01	0,20	2,0
C-T	1,25	0,01	0,20	2,0
C-S	0,75	0,01	0,20	2,0

S parametr podloží

T_B, T_C, T_D kontrolní periody spektra odezvy

β_0 součinitel spektrálního zrychlení s referenční hodnotou $\beta_0 = 2,5$ pro viskózní tlumení 5 %

Součinitel duktility q

Součinitel duktility q se pohybuje mezi hodnotami 1,50 a 5,00 a je určen typem nosné konstrukce, duktilitou budovy, pravidelností nárysu budovy a typem porušení výztužných prvků. Vypočítá se pomocí následující rovnice:

$$q = q_o * k_R * k_w \geq 1,5$$

Korekční součinitel útlumu η

Korekční součinitel útlumu vzhledem k referenční hodnotě $\eta = 1$ pro viskózní tlumení 5 % se počítá následovně:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)}} \geq 0,55$$

Návrhové zrychlení podloží a_g

Návrhové zrychlení podloží závisí na seizmické zóně a jeho hodnotu lze stanovit podle následující tabulky a obrázku 2 – Seizmické zóny Spolkové republiky Německo v normě DIN 4149: 2005-04.

Seizmická zóna	Interval intenzity	Návrhové zrychlení podloží a_g [m/s ²]
0	$6,0 \leq I < 6,5$	-
1	$6,5 \leq I < 7,0$	0,4
2	$7,0 \leq I < 7,5$	0,6
3	$7,5 \leq I$	0,8

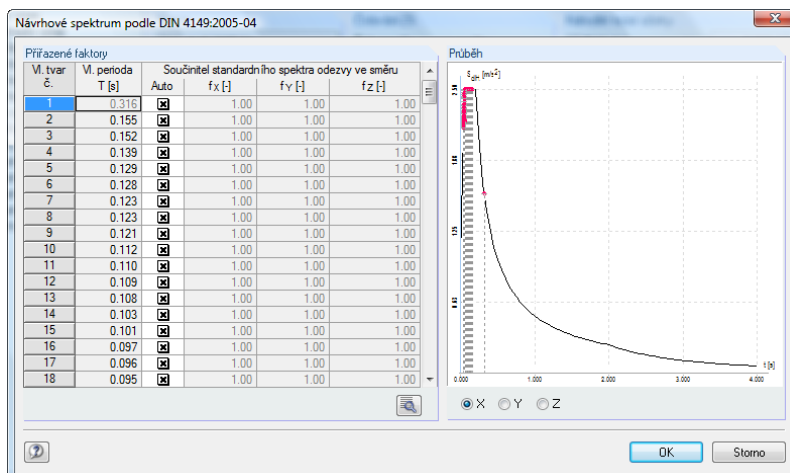
Součinitel významu γ_i

Výškové budovy se v závislosti na jejich významu pro ochranu veřejnosti řadí do čtyř kategorií:

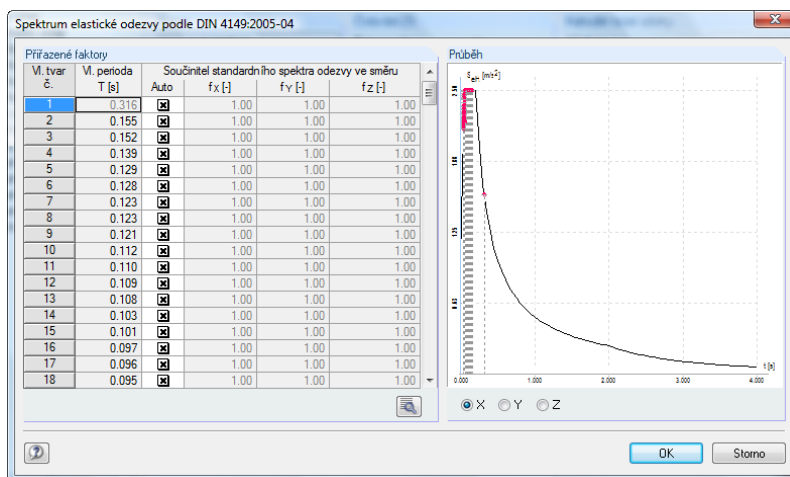
Kategorie významu	Stavební objekty	Součinitel významu γ_i
I	Stavba malého významu pro veřejnou bezpečnost, např. zemědělské stavby	0,8
II	Běžné stavby, které nespádají do jiné kategorie, např. bytové stavby	1,0
III	Stavby, jejichž odolnost vůči zemětřesení je velmi důležitá s ohledem na následky, jež by mělo jejich zřícení, např. rozsáhlé bytové objekty, správní budovy, školy, shromaždiště, kulturní zařízení, obchodní domy atd.	1,2
IV	Stavby, jejichž nepoškození v případě zemětřesení je velmi důležité pro ochranu veřejnosti, např. nemocnice, významná zařízení pro pomoc při katastrofách a objekty bezpečnostních složek, hasičské stanice apod.	1,4



Tlačítko [Zobrazit spektrum odezvy] slouží ke grafickému zobrazení daného spektra na základě zadaných parametrů. Pokud políčko ve sloupci *Auto* nezaškrtneme, máme možnost změnit součinitele pro směry spektra.



Obr. 3.41: Návrhové spektrum pro lineární výpočet

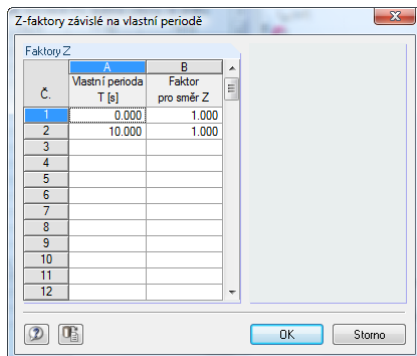


Obr. 3.42 Spektrum elastické odevzy



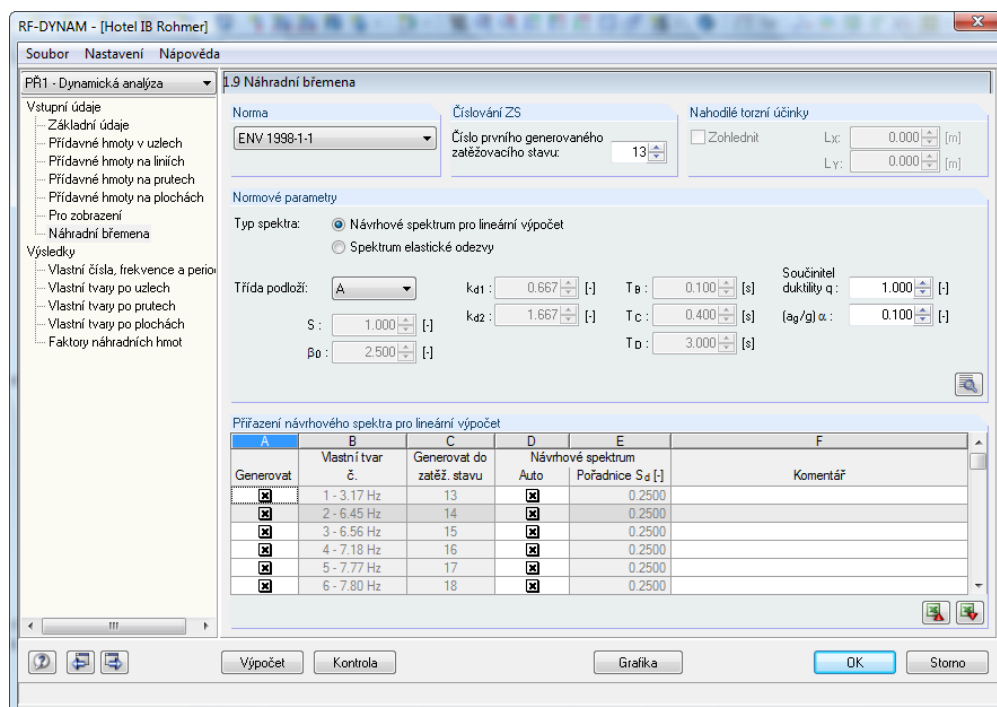
Součinitele pro směr Z lze zvlášť stanovit v tabulce, kterou otevřeme kliknutím na tlačítko [Z-faktory závislé na vlastní periodě...]. Hodnoty pro směr Z jsou přednastaveny v souladu s normou DIN 4149: 2005-04:

- pro periody kmitů 0,0 s odpovídají 100 % horizontální složky seizmického zatížení
- pro periody kmitů 10,0 s odpovídají 100 % horizontální složky seizmického zatížení

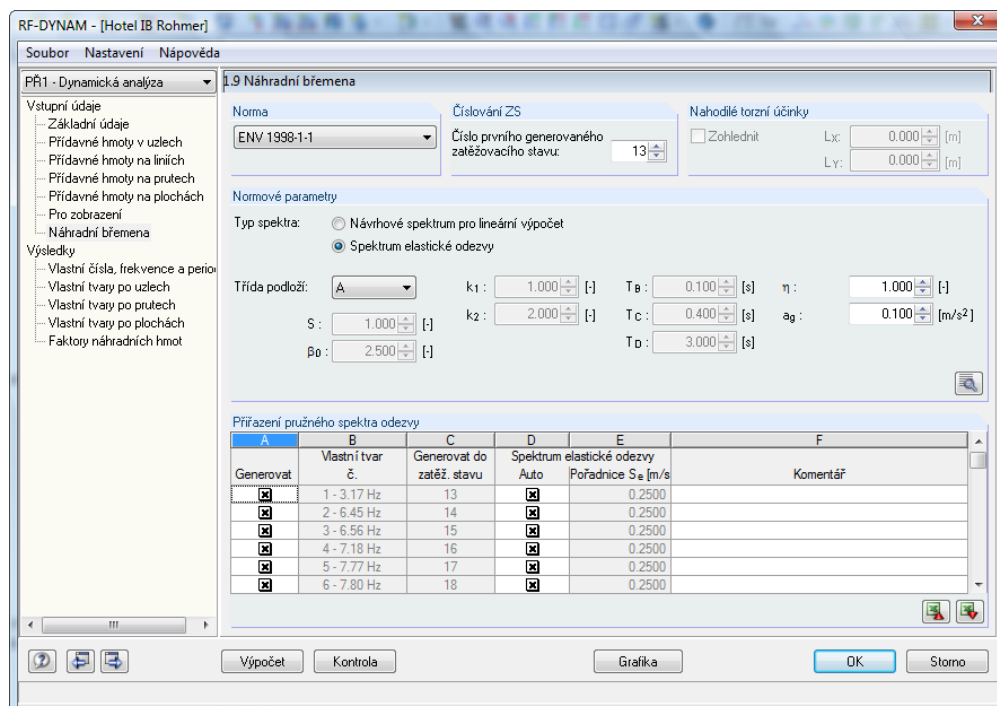


Obr. 3.43: Faktory Z

Parametry normy ENV 1998-1-1



Obr. 3.44: Dialog 1.9 Náhradní břemena podle ENV 1998-1-1, volba Návrhové spektrum pro lineární výpočet



Obr. 3.45: Dialog 1.9 Náhradní břemena podle ENV 1998-1-1, volba Spektrum elastické odezvy

Pokud se mají náhradní zatížení vygenerovat podle ENV 1998-1-1, má uživatel možnost zvolit buď *Návrhové spektrum pro lineární výpočet* nebo *Spektrum elastické odezvy*. Jednotlivé parametry ENV 1998-1-1 jsou popsány níže.

Třídy podloží

A	Skalní podloží s rychlostí šíření smykových vln v_s nejméně 800 m/s Ulehle písků, štěrku nebo překonsolidovaný jílu s rychlostí šíření smykových vln v_s v hloubce 10 m nejméně 400 m/s
B	Středně ulehlý štěrku, písek nebo pevný jílu v_s nejméně 200 m/s v hloubce 10 m
C	Zeminy s rychlostí v_s menší než 200 m/s ve vrchní vrstvě 20 m

Podle třídy podloží A, B nebo C jsou vstupní parametry pro návrhové spektrum následující:

Třída podloží	S	β_0	k_{d1}	k_{d2}	k_1	k_2	T_b [s]	T_c [s]	T_D [s]
A	1,0	2,5	2/3	5/3	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0
B	1,0	2,5	2/3	5/3	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0
C	0,9	2,5	2/3	5/3	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0

S parametr podloží

β_0 součinitel spektrálního zrychlení pro viskózní tlumení 5 %

k_{d1}, k_{d2} exponenty udávající tvar návrhového spektra pro periody větší než T_c , resp. T_D

k_1, k_2 exponenty udávající tvar spektra pro periody větší než T_c , resp. T_D

T_b, T_c meze oboru konstantního spektrálního zrychlení

T_D hodnota periody, nad níž je spektrum výchylky konstantní

Součinitel duktility q

Součinitel duktility q se pohybuje mezi hodnotami 1,50 a 5,00 a je určen typem nosné konstrukce, duktilitou budovy, pravidelností nárysu budovy a typem porušení výztužných prvků. Vypočítá se pomocí následující rovnice:

$$q = q_0 * k_D * k_R * k_W$$

Korekční součinitel útlumu η

Korekční součinitel útlumu vzhledem k referenční hodnotě $\eta = 1$ pro viskózní tlumení 5 % se počítá následovně:

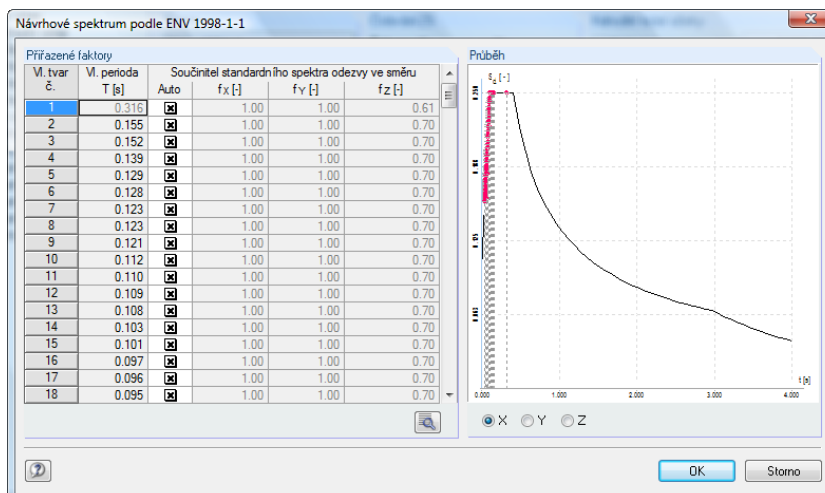
$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7$$

Poměr zrychlení (a_g / g)

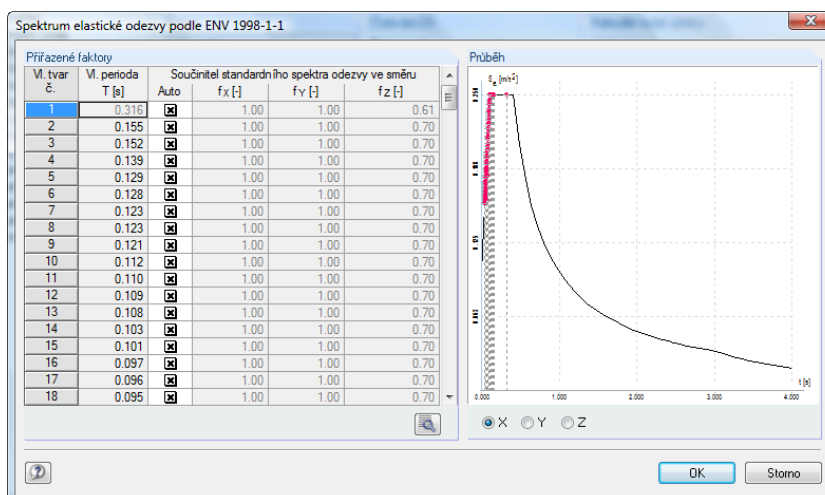
Součinitel α udává poměr návrhového zrychlení podloží a_g s referenční periodou opakování a gravitačního zrychlení g .



Tlačítko [Zobrazit spektrum odezvy] slouží ke grafickému zobrazení daného spektra na základě zadaných parametrů. Pokud políčko ve sloupci *Auto* nezaškrtneme, máme možnost změnit součinitele pro směry spektra.



Obr. 3.46: Návrhové spektrum pro lineární výpočet

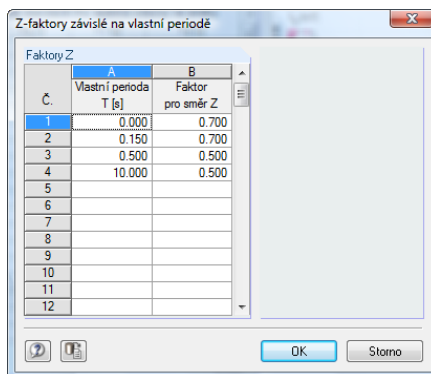


Obr. 3.47: Spektrum elastické odezvy



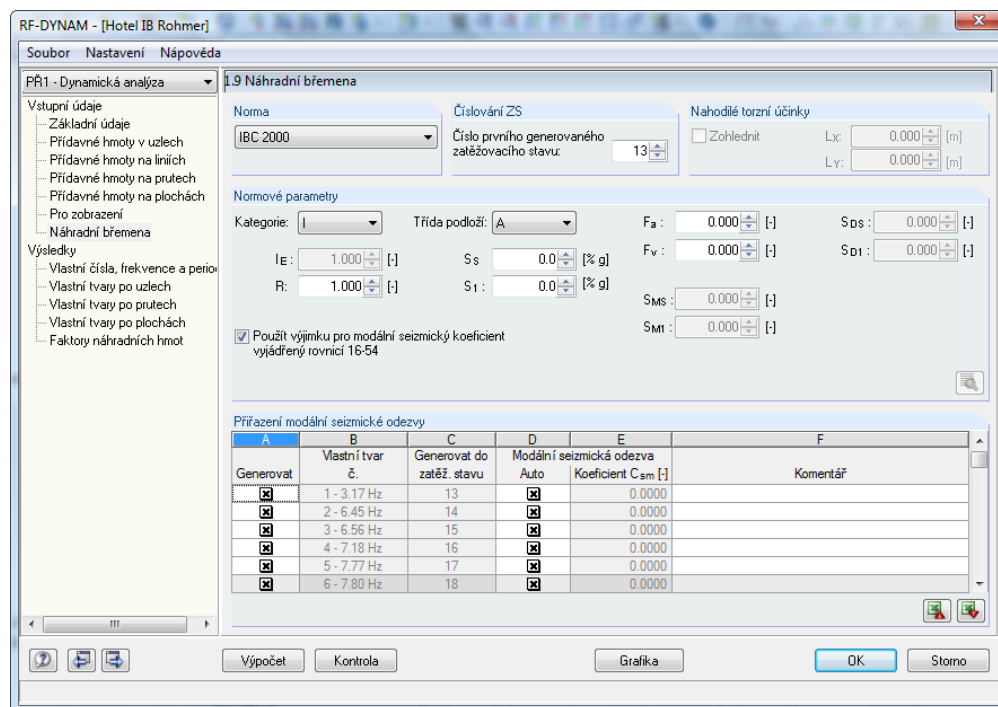
Součinitele pro směr Z lze zvlášť stanovit v tabulce, kterou otevřeme kliknutím na tlačítko [Z-faktory závislé na vlastní periodě...]. Hodnoty pro směr Z jsou přednastaveny v souladu s normou EC 8:

- pro periody kmitů menší než 0,15 s se hodnoty redukují součinitelem 0,70
- pro periody kmitů větší než 0,5 s se hodnoty redukují součinitelem 0,50
- pro periody kmitů mezi 0,15 s a 0,5 s se automaticky lineárně interpoluje.



Obr. 3.48: Faktory Z

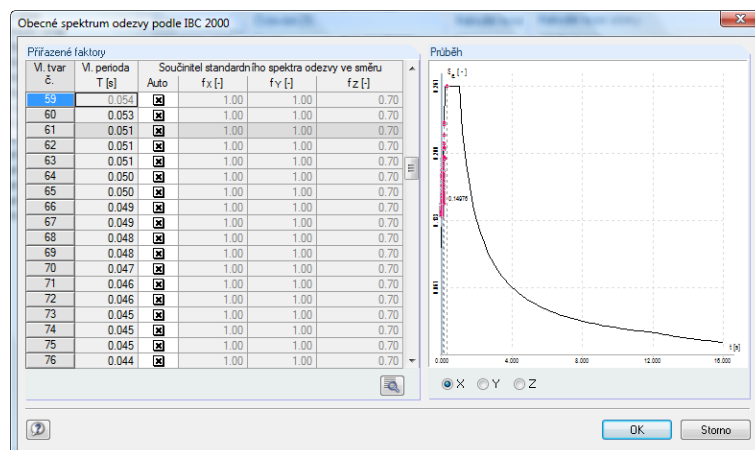
Parametry normy IBC 2000



Obr. 3.49: Dialog 1.9 Náhradní břemena podle IBC 2000



Tlačítko [Zobrazit spektrum odezvy] slouží ke grafickému zobrazení daného spektra na základě zadaných parametrů. Pokud políčko ve sloupci *Auto* nezaškrtneme, máme možnost změnit součinitele pro směry spektra.



Obr. 3.50: Obecné spektrum odezvy

Kategorie

Kategorie stavebních objektů odpovídají funkčním skupinám stanoveným v normě IBC 2000:

1616.2.1 Seismic Use Group I. Seismic Use Group I structures are those not assigned to either Seismic Use Group II or III.

1616.2.2 Seismic Use Group II. Seismic Use Group II structures are those, the failure of which would result in a sub-

1616.2.3 Seismic Use Group III. Seismic Use Group III structures are those, the failure of which would result in having essential facilities that are required for postearthquake recovery and those containing substantial quantities of hazardous substances, as indicated in Table 1604.5, or as designated by the building official.

Where operational access to a Seismic Use Group III structure is required through an adjacent structure, the adjacent structure shall conform to the requirements for Seismic Use Group III structures. Where operational access is less than 10 feet (3048 mm) from an interior lot line or less than 10 feet (3048 mm) from another structure, access protection from potential falling debris shall be provided by the owner of the Seismic Use Group III structure.

Součinitel významu I_E

TABLE 1604.5
CLASSIFICATION OF BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FOR IMPORTANCE FACTORS

CATEGORY ^a	NATURE OF OCCUPANCY	SEISMIC FACTOR I_E	SNOW FACTOR I_S	WIND FACTOR I_W
I	Buildings and other structures except those listed in Categories II, III and IV	1.00	1.0	1.00
II	Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area • Buildings and other structures with elementary school, secondary school or day-care facilities with capacity greater than 250 • Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities • Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities • Jails and detention facilities • Any other occupancy with an occupant load greater than 5,000 • Power-generating stations, water treatment for potable water, waste water treatment facilities and other public utility facilities not included in Category III • Buildings and other structures not included in Category III containing sufficient quantities of toxic or explosive substances to be dangerous to the public if released 	1.25	1.1	1.15
III	Buildings and other structures designated as essential facilities including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities • Fire, rescue and police stations and emergency vehicle garages • Designated earthquake, hurricane or other emergency shelters • Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response • Power-generating stations and other public utility facilities required as emergency back-up facilities for Category III structures • Structures containing highly toxic materials as defined by Section 307 where the quantity of the material exceeds the exempt amounts of Table 307.7(2) • Aviation control towers, air traffic control centers and emergency aircraft hangars • Buildings and other structures having critical national defense functions • Water treatment facilities required to maintain water pressure for fire suppression 	1.50	1.2	1.15
IV	Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultural facilities • Certain temporary facilities • Minor storage facilities 	1.00	0.8	0.87 ^b

a. "Category" is equivalent to "Seismic Use Group" for the purposes of Section 1616.2.

b. In hurricane-prone regions with $V > 100$ miles per hour, I_W shall be 0.77.

Třída podloží

 TABLE 1615.1.1
 SITE CLASS DEFINITIONS

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, AS PER SECTION 1615.1.5		
		Soil shear wave velocity, \bar{v}_s , (ft/s)	Standard penetration resistance, N	Soil undrained shear strength, \bar{s}_u , (psf)
A	Hard rock	$\bar{v}_s > 5,000$	Not applicable	Not applicable
B	Rock	$2,500 < \bar{v}_s \leq 5,000$	Not applicable	Not applicable
C	Very dense soil and soft rock	$1,200 < \bar{v}_s \leq 2,500$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$600 \leq \bar{v}_s \leq 1,200$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Soft soil profile	$\bar{v}_s < 600$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$
E	---	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$; 2. Moisture content $w \geq 40\%$, and 3. Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F	---	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ($H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where H = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ($H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$) 4. Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ ft)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m², 1 pound per square foot = 0.0479 kPa.

$$S_{MS} = F_a * S_5$$

$$S_{M1} = F_v * S_1$$

$$S_{DS} = 2/3 * S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 * S_{M1}$$

Příčemž:

F_a Součinitel podloží podle tabulky 1615.1.2(1)

F_v Součinitel podloží podle tabulky 1615.1.2(2)

S_5 Zmapovaná spektrální zrychlení pro krátké periody podle oddílu 1615.1

S_1 Zmapovaná spektrální zrychlení pro 1 sekundovou periodu podle oddílu 1615.1

S_{MS} Maximální uvažované zrychlení spektrální odezvy na seizmické účinky pro krátkou periodu podle oddílu 1615.1.2

S_{M1} Maximální uvažované zrychlení spektrální odezvy na seizmické účinky pro 1 sekundovou periodu podle oddílu 1615.1.2

S_{DS} Návrhové zrychlení spektrální odezvy při krátkých periodách podle oddílu 1615.1.3

S_{D1} Návrhové zrychlení spektrální odezvy při 1 sekundové periodě podle oddílu 1615.1.3

TABLE 1615.1.2(1)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_a AS A FUNCTION OF SITE CLASS
AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS (S_s)^a

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	Note b
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight line interpolation for intermediate values of mapped spectral acceleration at short period, S_s .
b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values.

TABLE 1615.1.2(2)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_v AS A FUNCTION OF SITE CLASS
AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT 1 SECOND PERIOD (S_1)^a

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT 1 SECOND PERIOD				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	Note b
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight line interpolation for intermediate values of mapped spectral acceleration at 1-second period, S_1 .
b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values.

Návrhová seizmická kategorie

TABLE 1616.3(1)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON
SHORT PERIOD RESPONSE ACCELERATIONS

VALUE OF S_{DS}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{DS} < 0.167g$	A	A	A
$0.167g \leq S_{DS} < 0.33g$	B	B	C
$0.33g \leq S_{DS} < 0.50g$	C	C	D
$0.50g \leq S_{DS}$	D ^a	D ^a	D ^a

TABLE 1616.3(2)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON
1 SECOND PERIOD RESPONSE ACCELERATION

VALUE OF S_{D1}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{D1} < 0.067g$	A	A	A
$0.067g \leq S_{D1} < 0.133g$	B	B	C
$0.133g \leq S_{D1} < 0.20g$	C	C	D
$0.20g \leq S_{D1}$	D ^a	D ^a	D ^a

Modifikační součinitel odezvy R^a

TABLE 1617.6
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

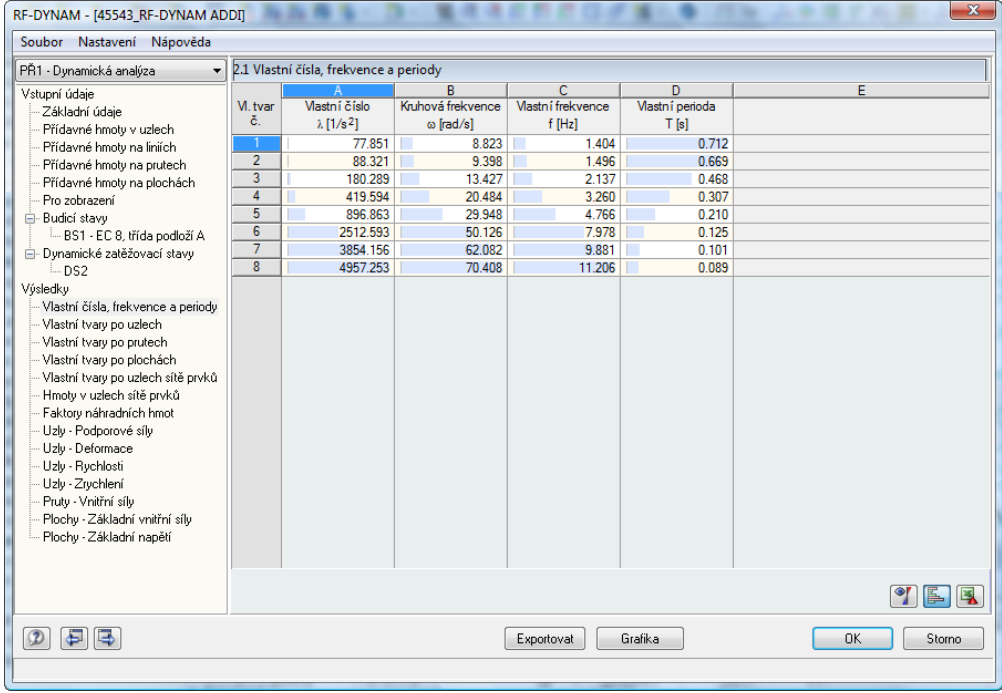
BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R^a	SYSTEM OVER-STRENGTH FACTOR, Ω^b	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, C_d^b	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY ^c AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D ^d	E ^e	F ^e
1. Bearing Wall Systems									
A. Ordinary steel braced frames	(14) ² 2211	4	2	3/2	NL	NL	160	160	160
B. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	5 1/2	2 1/2	5	NL	NL	160	160	160
C. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	4 1/2	2 1/2	4	NL	NL	NP	NP	NP
D. Detailed plain concrete shear walls	1910.2.2	2 1/2	2 1/2	2	NL	NP	NP	NP	NP
E. Ordinary plain concrete shear walls	1910.2.1	1 1/2	2 1/2	1 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
F. Special reinforced masonry shear walls	2106.1.1.5	5	2 1/2	3 1/2	NL	NL	160	160	100
G. Intermediate reinforced masonry shear walls	2106.1.1.4	3 1/2	2 1/2	2 1/4	NL	NL	NP	NP	NP
H. Ordinary reinforced masonry shear walls	2106.1.1.2	2 1/2	2 1/2	1 3/4	NL	160	NP	NP	NP
I. Detailed plain masonry shear walls	2106.1.1.3	2	2 1/2	1 3/4	NL	NP	NP	NP	NP
J. Ordinary plain masonry shear walls	2106.1.1.1	1 1/2	2 1/2	1 1/4	NL	NP	NP	NP	NP
K. Light frame walls with shear panels—wood structural panels/sheet steel panels	2306.4.1/2211	6	3	4	NL	NL	65	65	65
L. Light frame walls with shear panels—all other materials	2306.4.5	2	2 1/2	2	NL	NL	35	NP	NP
2. Building Frame Systems									
A. Steel eccentrically braced frames, moment-resisting, connections at columns away from links	(15) ²	8	2	4	NL	NL	160	160	100
B. Steel eccentrically braced frames, nonmoment-resisting, connections at columns away from links	(15) ²	7	2	4	NL	NL	160	160	100
C. Special steel concentrically braced frames	(13) ²	6	2	5	NL	NL	160	160	100
D. Ordinary steel concentrically braced frames	(14) ²	5	2	4 1/2	NL	NL	160	100	100
E. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	6	2 1/2	5	NL	NL	160	160	100
F. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	5	2 1/2	4 1/2	NL	NL	NP	NP	NP
G. Detailed plain concrete shear walls	1910.2.2	3	2 1/2	2 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
H. Ordinary plain concrete shear walls	1910.2.1	2	2 1/2	2	NP	NP	NP	NP	NP
I. Composite eccentrically braced frames	(14) ²	8	2	4	NL	NL	160	160	100

(continued)

3.4 Tabulky s výsledky

3.4.1 Dialog 2.1 Vlastní čísla, frekvence a periody

Po úspěšně provedeném výpočtu v modulem RF-DYNAM se zobrazí první výstupní dialog 2.1 *Vlastní čísla, frekvence a periody*.



Vl. tvar č.	Vlastní číslo λ [1/s ²]	Kruhová frekvence ω [rad/s]	Vlastní frekvence f [Hz]	Vlastní perioda T [s]
1	77.851	8.823	1.404	0.712
2	88.321	9.398	1.496	0.669
3	180.289	13.427	2.137	0.468
4	419.594	20.484	3.260	0.307
5	896.863	29.948	4.766	0.210
6	2512.593	50.126	7.978	0.125
7	3854.156	62.082	9.881	0.101
8	4957.253	70.408	11.206	0.089

Obr. 3.51: Dialog 2.1 *Vlastní čísla, frekvence a periody*

Výsledky se zobrazí v řádcích rozděleny podle vlastních frekvencí do několika sloupců.

Vlastní číslo

Vlastní číslo λ_i [1/s²] se počítá z pohybové rovnice bez tlumení. Teoretické základy jsou popsány v kapitole 5 tohoto manuálu.

Kruhová frekvence

Mezi vlastní kruhovou frekvencí ω_i [1/s] a vlastním číslem je dán následující vztah: $\lambda_i = \omega_i^2$

Vlastní frekvence

Vlastní frekvence f_i [Hz] je míra četnosti vlastního kmitání za vteřinu. Vlastní frekvence a vlastní perioda jsou vzájemně v přímém recipročním vztahu. Mezi vlastní frekvencí a vlastní kruhovou frekvencí je dán následující vztah:

$$\omega_i = 2\pi f_i.$$

Vlastní perioda

Vlastní perioda T_i [s] vyjadřuje rozdíl v čase potřebný k průběhu jednoho kmitu konstrukce. Platí následující vztah: $f_i = 1/T_i$.

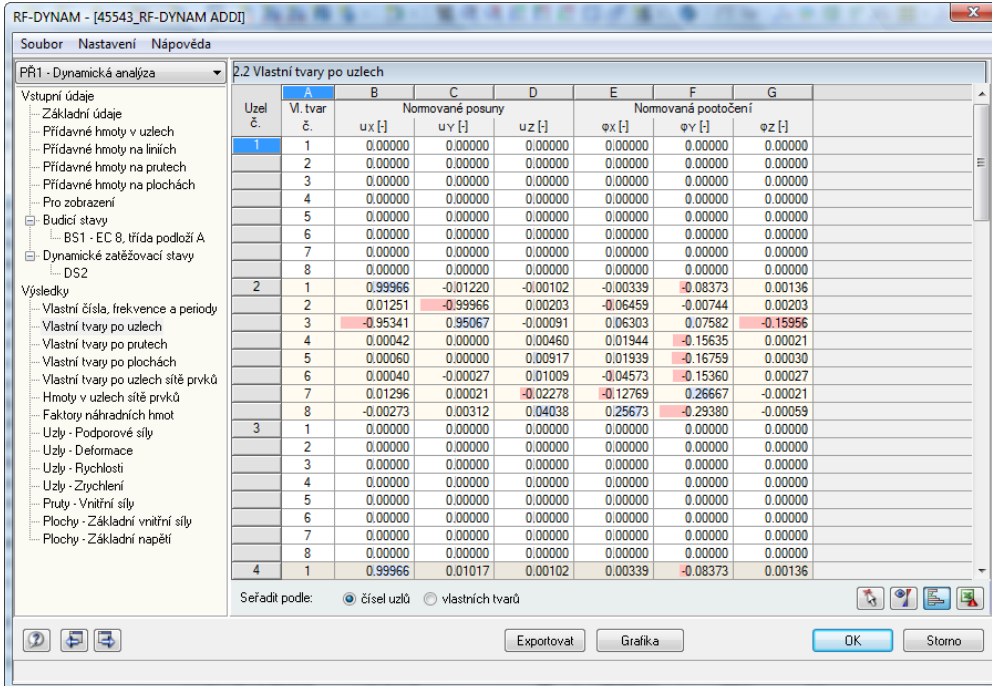
3.4.2 Dialog 2.2 Vlastní tvary po uzlech

Ke každé vlastní frekvenci náleží vlastní funkce $u(x)$. Tato funkce popisuje tvar vlastního kmitu konstrukce.

Výsledky jsou normovány na 1, přičemž v závislosti na nastavení v dialogu 1.1 *Základní údaje* se uvažuje buď velikost největšího posunu u_i , resp. pootočení ϕ_i nebo hodnota největšího součinu hmoty a druhé mocniny posunu $m_i * u_i^2$.

Seřadit podle čísel uzlů, prutů, ploch, čísel vlastních tvarů, uzlů sítě prvků nebo bodů rastru: posuny a pootočení uzlů konstrukce se zobrazí se zřetelem k určitému typu objektu seřazený v řádcích podle čísel uzlů, prutů, ploch, čísel vlastních tvarů, uzlů sítě prvků nebo bodů rastru.

V dialogu 2.2 jsou výsledky seřazené podle uzlů.

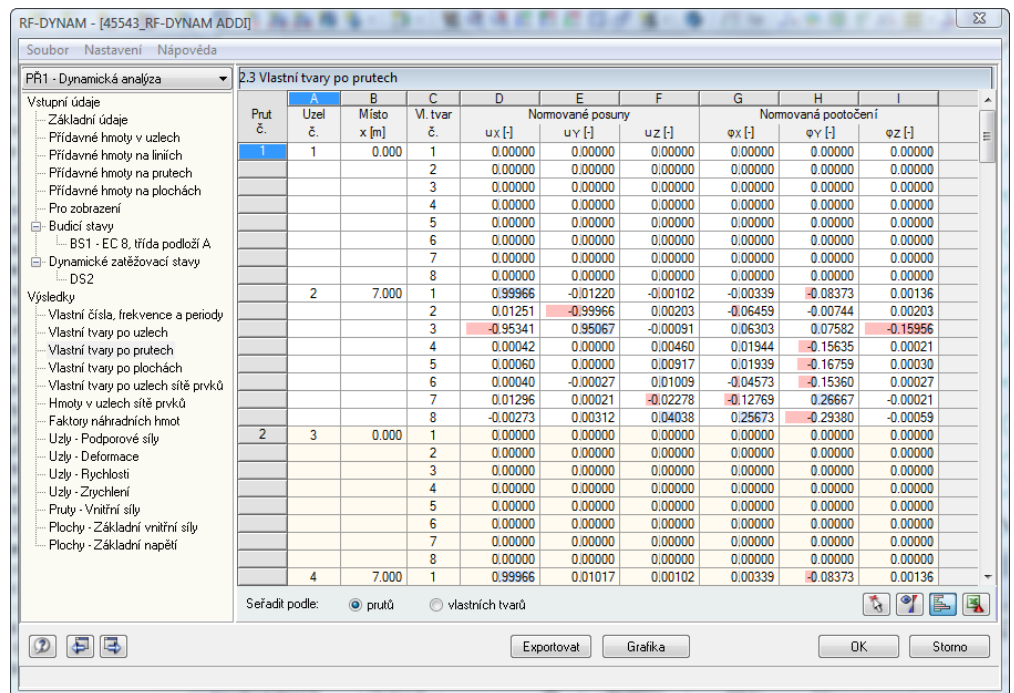


Uzel č.	Vl. tvar č.	Normované posuny			Normovaná pootočení		
		u_x []	u_y []	u_z []	ϕ_x []	ϕ_y []	ϕ_z []
1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	7	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	8	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	1	0.99966	-0.01220	-0.00102	-0.00339	-0.08373	0.00136
2	2	0.01251	-0.99966	0.00203	-0.06459	-0.00744	0.00203
3	3	-0.95341	0.95067	-0.00091	0.06303	0.07582	-0.15956
4	4	0.00042	0.00000	0.00460	0.01944	-0.15635	0.00021
5	5	0.00060	0.00000	0.00917	0.01939	-0.16759	0.00030
6	6	0.00040	-0.00027	0.01009	-0.04573	-0.15360	0.00027
7	7	0.01296	0.00021	-0.02278	-0.12769	0.26667	-0.00021
8	8	-0.00273	0.00312	0.04038	0.25673	-0.29380	-0.00059
3	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	7	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	8	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	1	0.99966	0.01017	0.00102	0.00339	-0.08373	0.00136

Obr. 3.52: Dialog 2.2 *Vlastní tvary po uzlech*

3.4.3 Dialog 2.3 Vlastní tvary po prutech

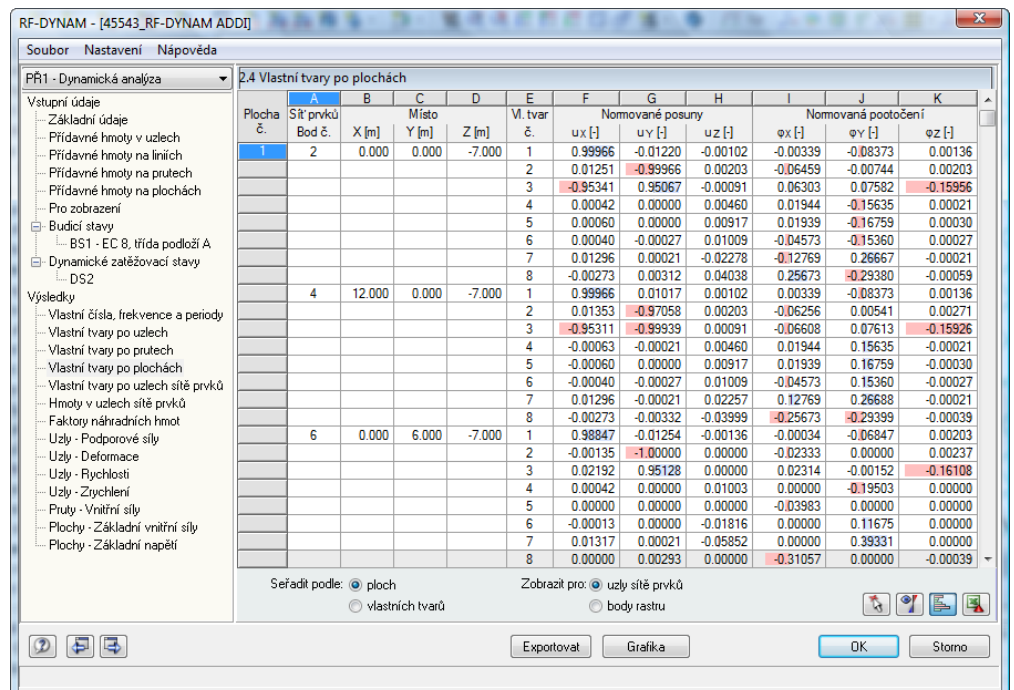
V dialogu 2.3 se výsledné vlastní kmitý seřadí podle prutů.



Obr. 3.53: Dialog 2.3 Vlastní tvary po prutech

3.4.4 Dialog 2.4 Vlastní tvary po plochách

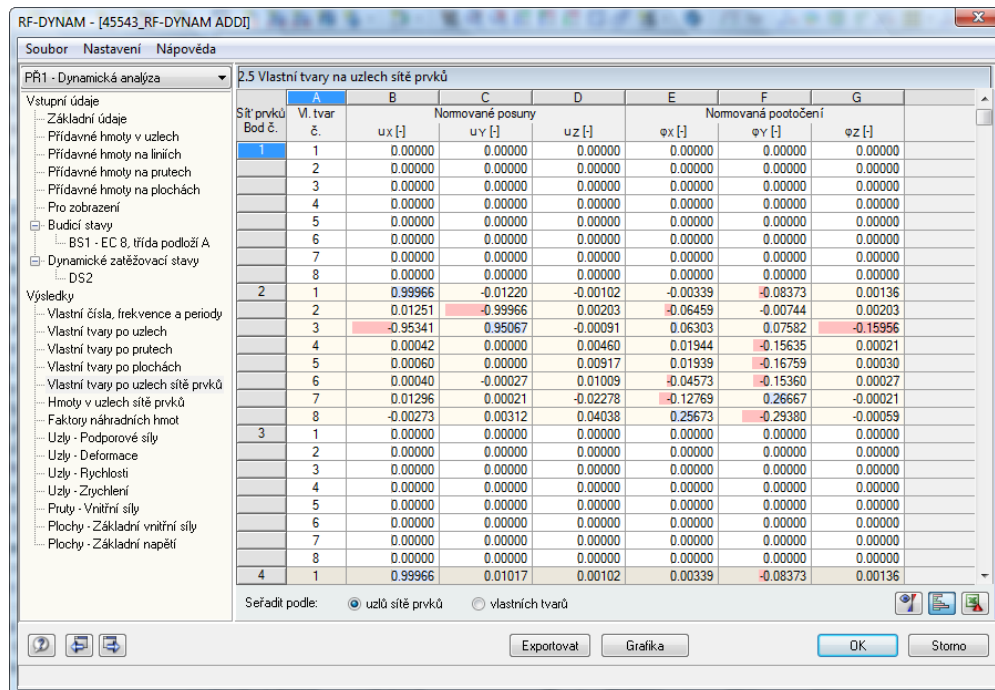
V dialogu 2.4 se výsledné vlastní kmitý seřadí podle ploch.



Obr. 3.54: Dialog 2.4 Vlastní tvary po plochách

3.4.5 Dialog 2.5 Vlastní tvary na uzlech sítě prvků

V dialogu 2.5 se výsledné vlastní kmitý zobrazí podle uzlů sítě prvků. Tento výstupní dialog se zobrazí pouze v případě, že jsme v dialogu 1.6 *Pro zobrazení* aktivovali políčko *Vlastní kmitání v uzlech sítě prvků*.



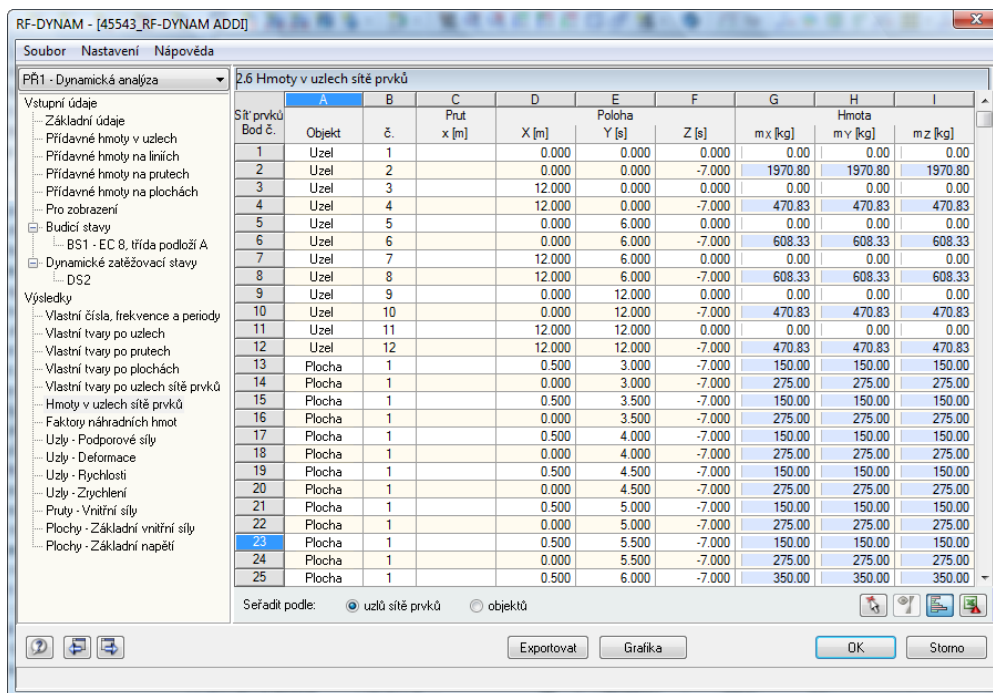
Sít' prvků Bod č.	Vi. tvar č.	ux [.]	uy [.]	uz [.]	ex [.]	ey [.]	ez [.]
1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	7	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	8	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	1	0.99966	-0.01220	-0.00102	-0.00339	-0.08373	0.00136
2	2	0.01251	-0.99966	0.00203	-0.06459	-0.00744	0.00203
2	3	-0.95341	0.95067	-0.00091	0.06303	0.07582	-0.15956
2	4	0.00042	0.00000	0.00460	0.01944	-0.15635	0.00021
2	5	0.00060	0.00000	0.00917	0.01939	-0.16759	0.00030
2	6	0.00040	-0.00027	0.01009	-0.04573	-0.15360	0.00027
2	7	0.01296	0.00021	-0.02278	-0.12769	0.26667	-0.00021
2	8	-0.00273	0.00312	0.04038	0.25673	-0.29380	-0.00059
3	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	7	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	8	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	1	0.99966	0.01017	0.00102	0.00339	-0.08373	0.00136

Obr. 3.55: Dialog 2.5 *Vlastní tvary na uzlech sítě prvků*

3.4.6 Dialog 2.6 Hmoty v uzlech sítě prvků

Tento výstupní dialog se zobrazí pouze v případě, že jsme v dialogu 1.6 *Pro zobrazení* označili políčko *Hmoty v uzlech sítě prvků*.

Hmoty jsou v dialogu seřazeny podle čísel bodů sítě konečných prvků nebo podle objektů konstrukce a jsou vztaženy na globální souřadný systém. Tento souřadný systém známe již ze zadání konstrukce v hlavním programu RFEM. Hmoty uzlů, které se nám zobrazí, jsou hmoty relevantní pro dynamický výpočet. To znamená, že například pro uzel podepřený ve směru Y a Z se zobrazí pouze hmota dynamicky působící ve směru X. Na konci seznamu je uveden součet příslušných hmot.

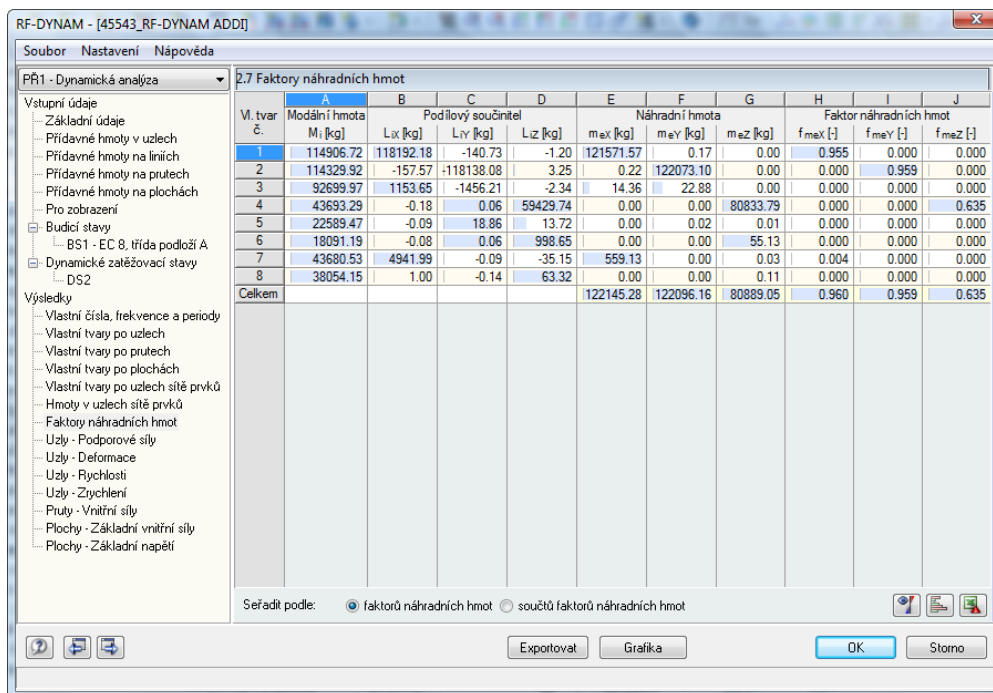


Obr. 3.56: Dialog 2.6 Hmoty v uzlech sítě prvků

3.4.7 Dialog 2.7 Faktory náhradních hmot

Tento výstupní dialog se zobrazí pouze v případě, že jsme v dialogu 1.6 *Pro zobrazení* aktivovali políčko *Faktory náhradních hmot*. Modální hmoty, podílové součinitele, náhradní hmoty a faktory náhradních hmot se v dialogu seřadí podle vlastních tvarů.

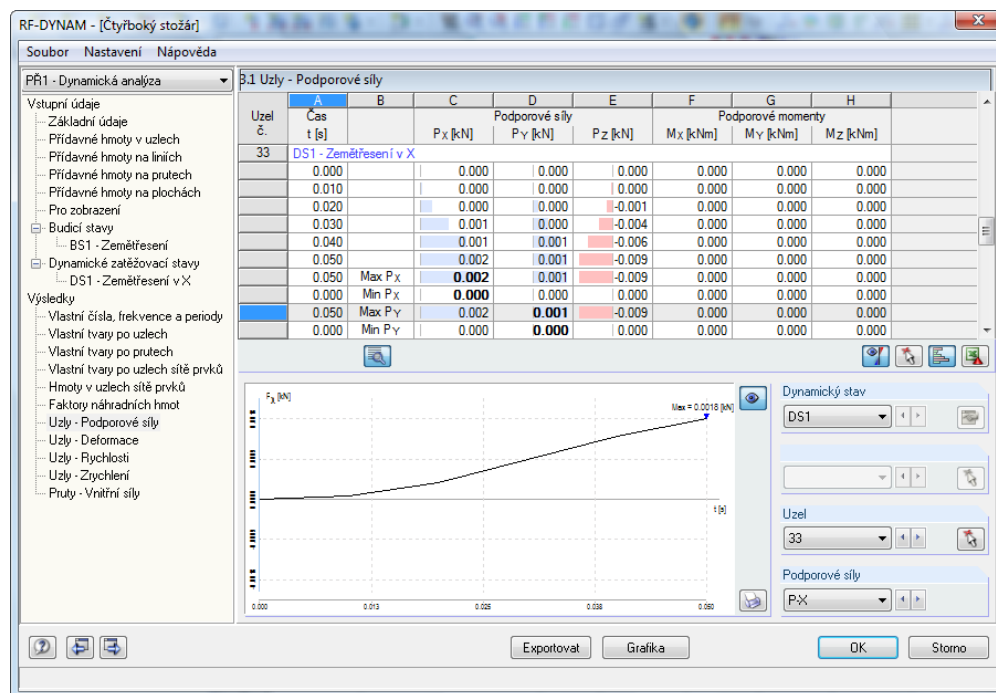
Faktory náhradních hmot lze zobrazit pomocí přepínače *Seřadit podle* buď jednotlivě nebo v součtech. Druhá volba umožňuje například podle EC 8 snáze zjistit, zda součet náhradních hmot („účinných modálních hmotností“) odpovídá alespoň 90% celkové hmoty konstrukce.



Obr. 3.57: Dialog 2.7 Faktory náhradních hmot

3.4.8 Dialog 3.1 Uzly - Podporové síly

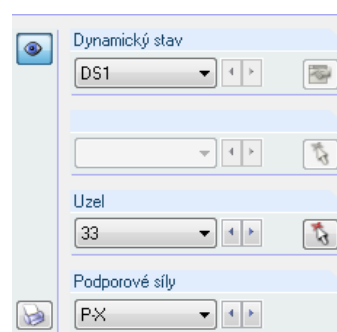
V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybrané podporové síly zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení podporových sil v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální podporová síla a příslušný časový okamžik.



Obr. 3.58: Dialog 3.1 Uzly - Podporové síly

Pod tabulkou s výsledky lze graficky znázornit časový průběh každé podporové síly. Konkrétní podporovou sílu lze nastavit buď v seznamech vpravo vedle grafického okna nebo kliknutím myši v tabulce.

Grafické znázornění podporových sil je ovšem možné pouze za předpokladu, že jsme v dialogu 1.6 aktivovali zobrazení časových průběhů příslušné síly.



Obr. 3.59: Výběr podporových sil

Dynamický stav: v tomto seznamu můžeme vybrat některý ze spočítaných dynamických stavů DS.

Uzel: příslušný uzel můžeme vybrat buď v seznamu nebo pomocí funkce [Vybrat uzel].

Podporové síly: u prostorových konstrukcí jsou na výběr podporové síly P-X, P-Y, P-Z, M-X, M-Y a M-Z.

Vlevo znázorněné tlačítko slouží k vypnutí, resp. zapnutí grafického znázornění síly v čase.

Každý grafický průběh můžeme pomocí funkce [Tisk...] poslat přímo na tiskárnu nebo zařadit do výstupního protokolu, příp. zkopírovat do schránky.

Funkci pro export dat podrobně popisujeme v kapitole 3.4.16 *Export výsledků DYNAMu*.

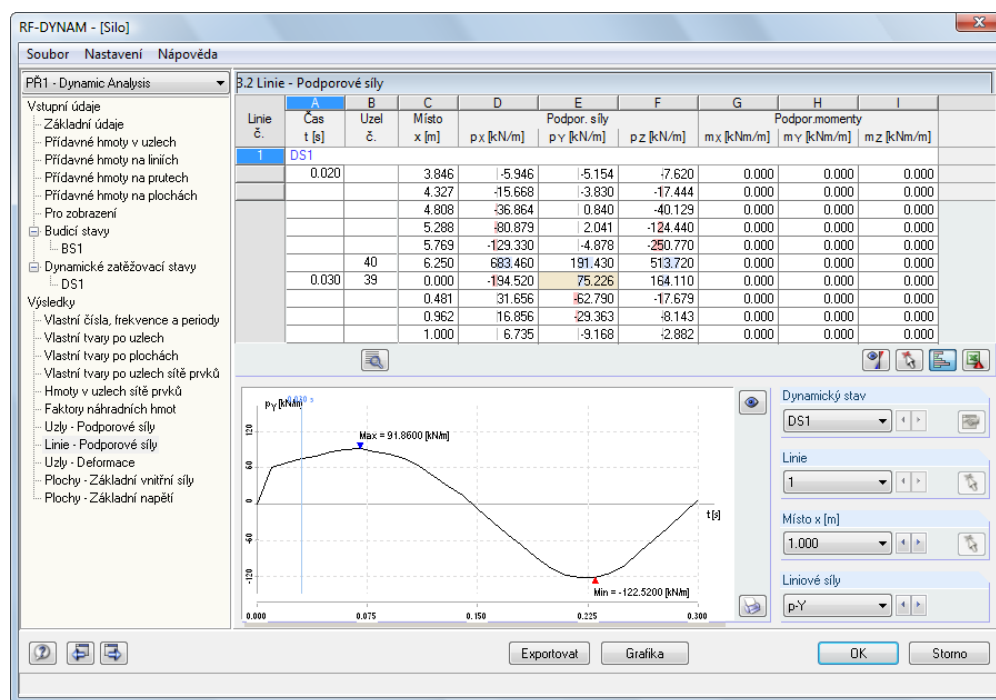


Exportovat

3.4.9 Dialog 3.2 Linie - Podporové síly

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybrané podporové síly zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení podporových sil v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální podporová síla a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 *Uzly - Podporové síly*, který popisujeme výše.

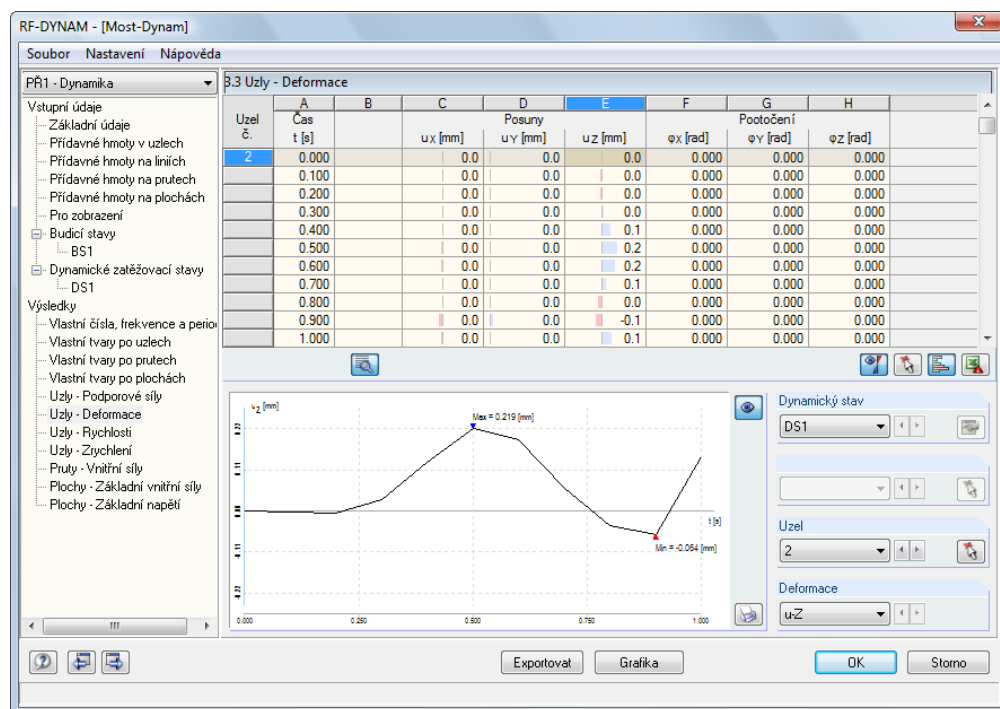


Obr. 3.60: Dialog 3.2 *Linie - Podporové síly*

3.4.10 Dialog 3.3 Uzly - Deformace

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybrané uzlové deformace zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení deformací na uzlech v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální deformace v uzlu a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 *Uzly - Podporové síly*, který popisujeme výše.

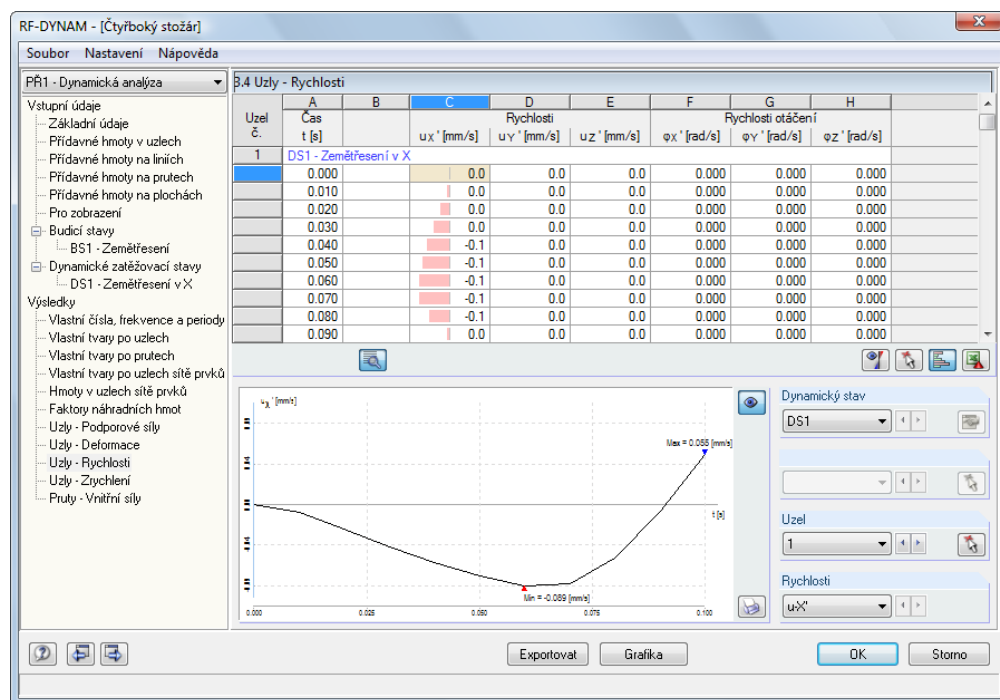


Obr. 3.61: Dialog 3.3 Uzly - Deformace

3.4.11 Dialog 3.4 Uzly - Rychlosti

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybrané rychlosti v uzlech zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení rychlostí v uzlech v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální rychlost v uzlu a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 *Uzly - Podporové síly*, který popisujeme výše.

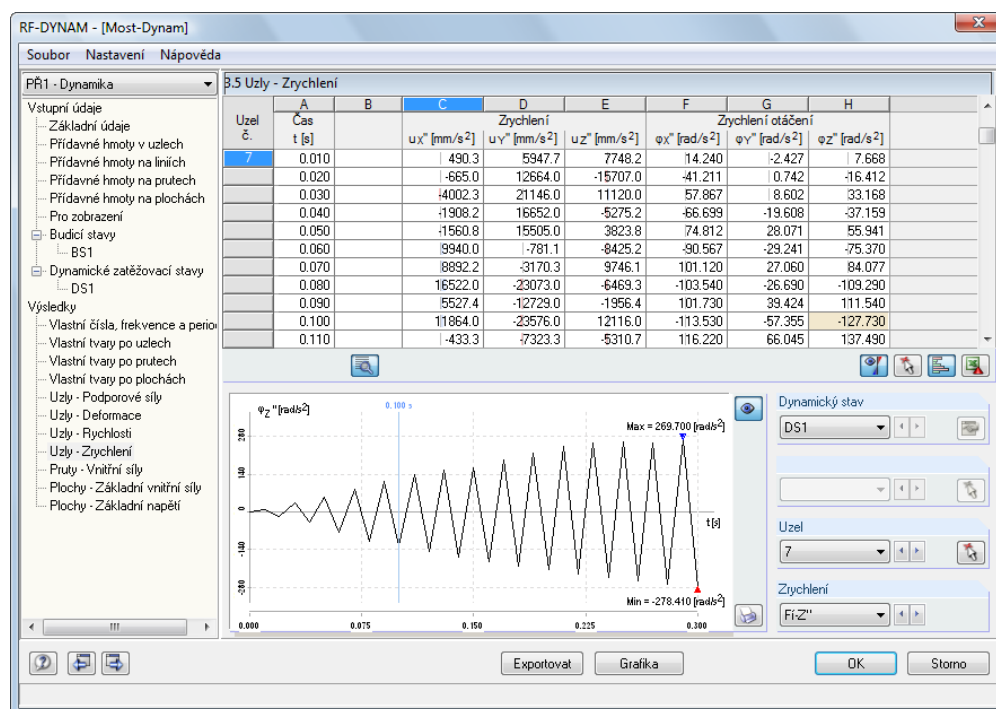


Obr. 3.62: Dialog 3.4 Uzly - Rychlosti

3.4.12 Dialog 3.5 Uzly - Zrychlení

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybraná zrychlení v uzlech zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení zrychlení v uzlech v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální zrychlení v uzlu a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 *Uzly - Podporové síly*, který popisujeme výše.

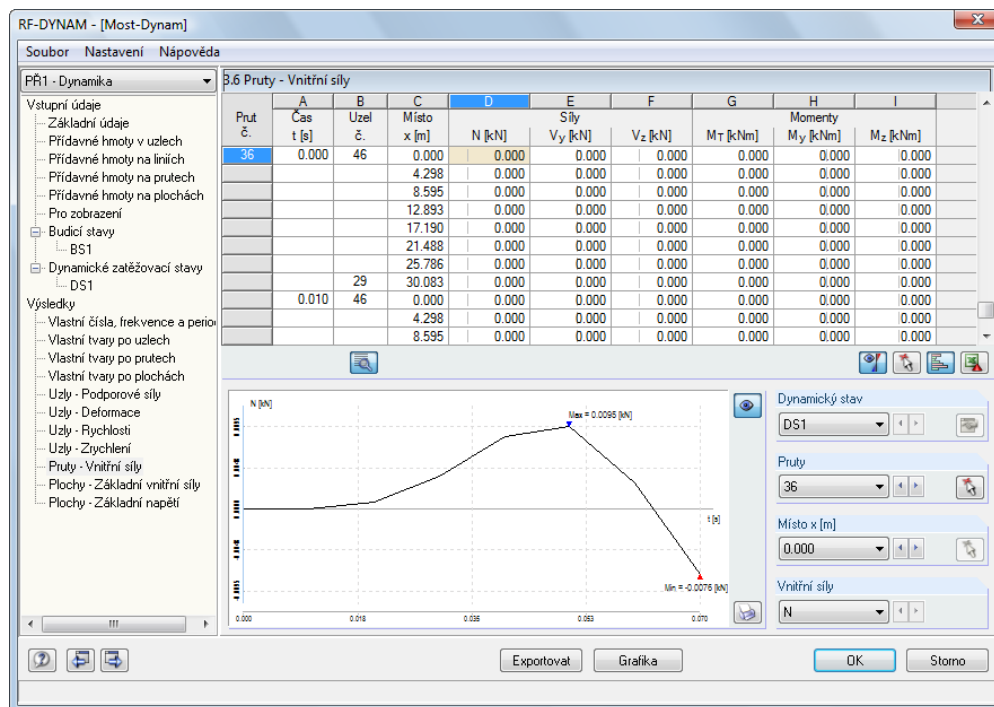


Obr. 3.63: Dialog 3.5 *Uzly – Zrychlení*

3.4.13 Dialog 3.6 Pruty - Vnitřní síly

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybrané vnitřní síly zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení vnitřních sil v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální vnitřní síla a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 *Uzly - Podporové síly*, který popisujeme výše.

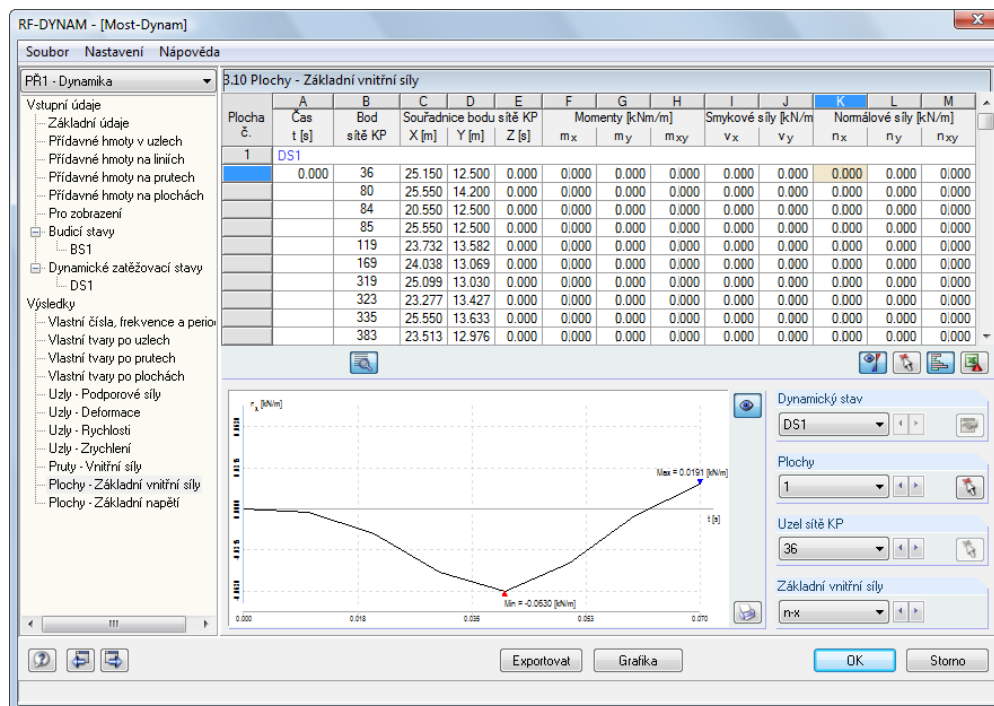


Obr. 3.64: Dialog 3.6 Pruty - Vnitřní síly

3.4.14 Dialog 3.10 Plochy - Základní vnitřní síly

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybrané vnitřní síly zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení vnitřních sil v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální vnitřní síla a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 Uzly - Podporové síly, který popisujeme výše.

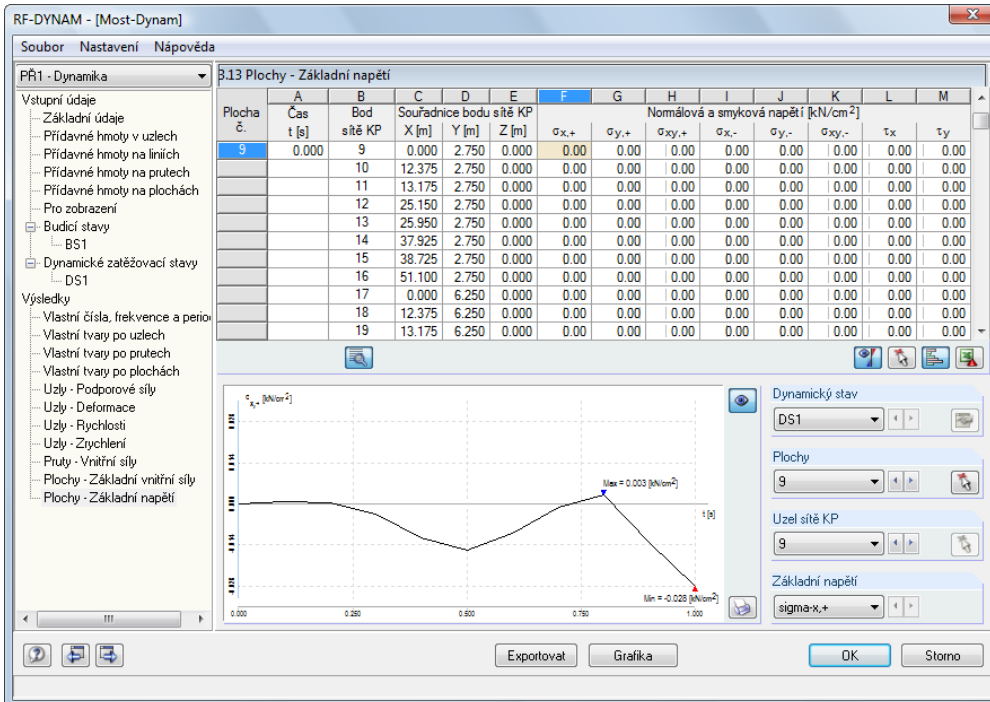


Obr. 3.65: Dialog 3.10 Plochy - Základní vnitřní síly

3.4.15 Dialog 3.13 Plochy - Základní napětí

V závislosti na zadání v dialogu 1.6 se vybraná napětí zobrazí buď s příslušným časovým průběhem nebo bez něj. Pokud jsme chtěli omezit objem výsledných dat a v dialogu 1.6 jsme nezaškrtnuli políčko pro zobrazení napětí v časovém průběhu integrace, zobrazí se pouze maximální, resp. minimální napětí a příslušný časový okamžik.

Jednotlivé volby pro vyhodnocení a grafické znázornění výsledků jsou stejné jako v dialogu 3.1 *Uzly - Podporové síly*, který popisujeme výše.



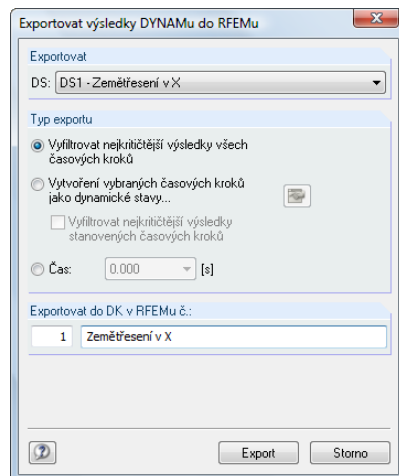
Plocha č.	Čas t [s]	Bod sítě KP	Souřadnice bodu sítě KP	X [m]	Y [m]	Z [m]	$\sigma_{x,+}$	$\sigma_{y,+}$	$\sigma_{xy,+}$	$\sigma_{x,-}$	$\sigma_{y,-}$	$\sigma_{xy,-}$	τ_x	τ_y
9	0.000	9	0.000	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		10	12.375	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		11	13.175	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		12	25.150	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		13	25.950	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		14	37.925	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		15	38.725	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		16	51.100	2.750	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		17	0.000	6.250	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		18	12.375	6.250	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		19	13.175	6.250	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Obr. 3.66: Dialog 3.13 Plochy - Základní napětí

Exportovat

3.4.16 Export výsledků DYNAMu

Pomocí tlačítka [Exportovat] ve výstupních dialogích 3.1 *Uzly - Podporové síly* až 3.13 *Plochy - Základní napětí* otevřeme následující okno:



Obr. 3.67: Exportovat výsledky DYNAMu do RFEMu

V sekci *Exportovat* stanovíme příslušný dynamický stav *DS*. Následně vybereme jeden ze tří možných typů exportu výsledků:

Čas

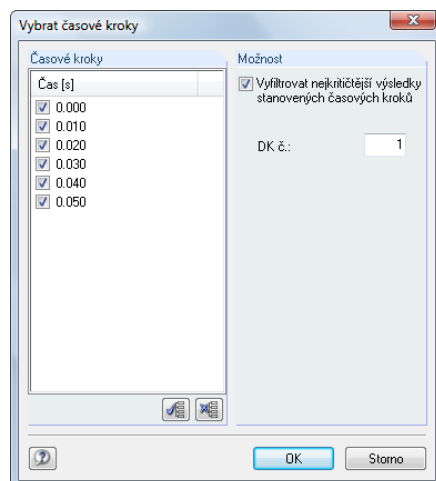
Pokud zvolíme tento typ exportu, veškeré výsledky vybraného časového kroku se exportují do jednoho zatěžovacího stavu v RFEMu.

Vyfiltrovat nejkritičtější výsledky všech časových kroků

Vytvoří se jedna kombinace zatěžovacích stavů ze všech časových kroků, která obsahuje nejnepříznivější výsledky.

Vyfiltrovat nejkritičtější výsledky stanovených časových kroků

Tato funkce je spojením obou předchozích typů exportu.



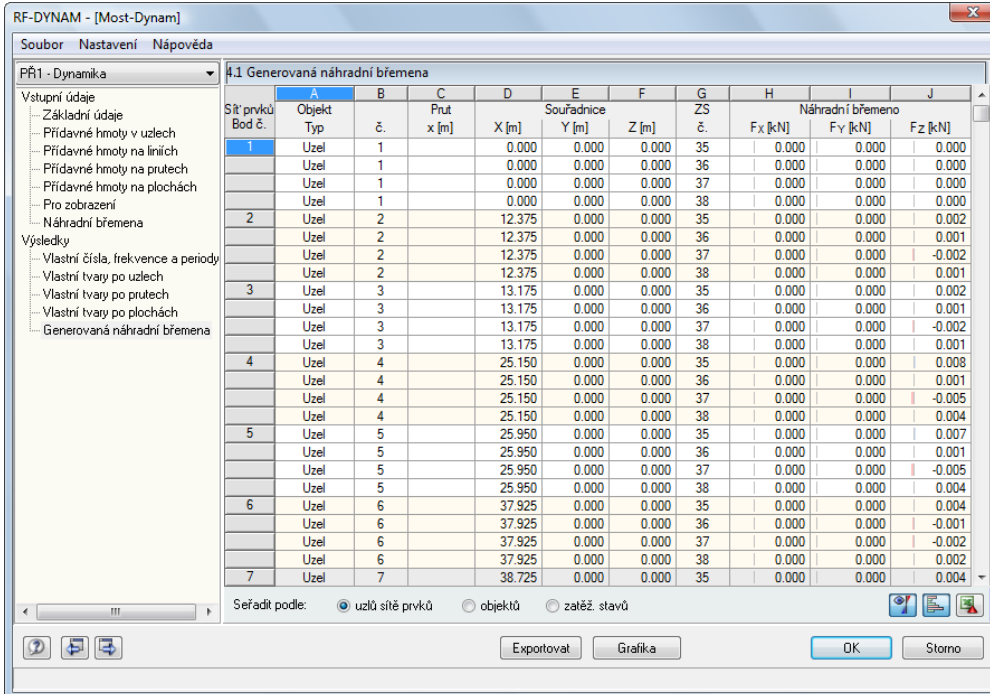
Obr. 3.68: Výběr časových kroků

Z časových kroků, které vybereme v dialogu *Vybrat časové kroky*, se vytvoří zatěžovací stavy. Nejkritičtější výsledky z těchto zatěžovacích stavů pak můžeme složit do rozhodující kombinace.

V sekci *Exportovat do DK v RFEMu*, resp. *DS v RFEMu* se stanoví číslo a označení generované kombinace, resp. zatěžovacího stavu.

3.4.17 Dialog 4.1 Generovaná náhradní břemena

Po zadání nezbytných parametrů v dialogu 1.9 a výběru vlastních tvarů se po výpočtu v této tabulce zobrazí seznam generovaných náhradních zatížení. Výslednými hodnotami jsou bodová zatížení v příslušném směru.



Sít' prvků Bod č.	Objekt Typ	č.	Prut x [m]	D X [m]	E Y [m]	F Z [m]	G ZS č.	H Fx [kN]	I Fy [kN]	J Fz [kN]
1	Uzel	1		0.000	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.000
	Uzel	1		0.000	0.000	0.000	36	0.000	0.000	0.000
	Uzel	1		0.000	0.000	0.000	37	0.000	0.000	0.000
	Uzel	1		0.000	0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.000
2	Uzel	2		12.375	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.002
	Uzel	2		12.375	0.000	0.000	36	0.000	0.000	0.001
	Uzel	2		12.375	0.000	0.000	37	0.000	0.000	-0.002
	Uzel	2		12.375	0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.001
3	Uzel	3		13.175	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.002
	Uzel	3		13.175	0.000	0.000	36	0.000	0.000	0.001
	Uzel	3		13.175	0.000	0.000	37	0.000	0.000	-0.002
	Uzel	3		13.175	0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.001
4	Uzel	4		25.150	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.008
	Uzel	4		25.150	0.000	0.000	36	0.000	0.000	0.001
	Uzel	4		25.150	0.000	0.000	37	0.000	0.000	-0.005
	Uzel	4		25.150	0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.004
5	Uzel	5		25.950	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.007
	Uzel	5		25.950	0.000	0.000	36	0.000	0.000	0.001
	Uzel	5		25.950	0.000	0.000	37	0.000	0.000	-0.005
	Uzel	5		25.950	0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.004
6	Uzel	6		37.925	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.004
	Uzel	6		37.925	0.000	0.000	36	0.000	0.000	-0.001
	Uzel	6		37.925	0.000	0.000	37	0.000	0.000	-0.002
	Uzel	6		37.925	0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.002
7	Uzel	7		38.725	0.000	0.000	35	0.000	0.000	0.004

Obr. 3.69: Dialog 4.1 Generovaná náhradní břemena

Náhradní břemena lze seřadit podle čísla uzlu sítě prvků, typu objektu nebo čísla zatěžovacího stavu.

3.4.18 Export výsledků z modulu RF-DYNAM

Exportovat

Pomocí tlačítka [Exportovat] ve výstupním dialogu 4.1 *Generovaná náhradní břemena* otevřeme následující okno.

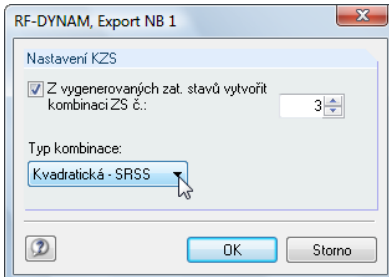


Bild 3.70: Export výsledků z RF-DYNAMu do RFEMu

Modální příspěvky lze ihned přímo kvadraticky (podle pravidla druhé odmocniny ze součtu čtverců SRSS) nebo lineárně superponovat v zadané kombinaci zatěžovacích stavů. Požadované nastavení definujeme v sekci *Nastavení KZS*.

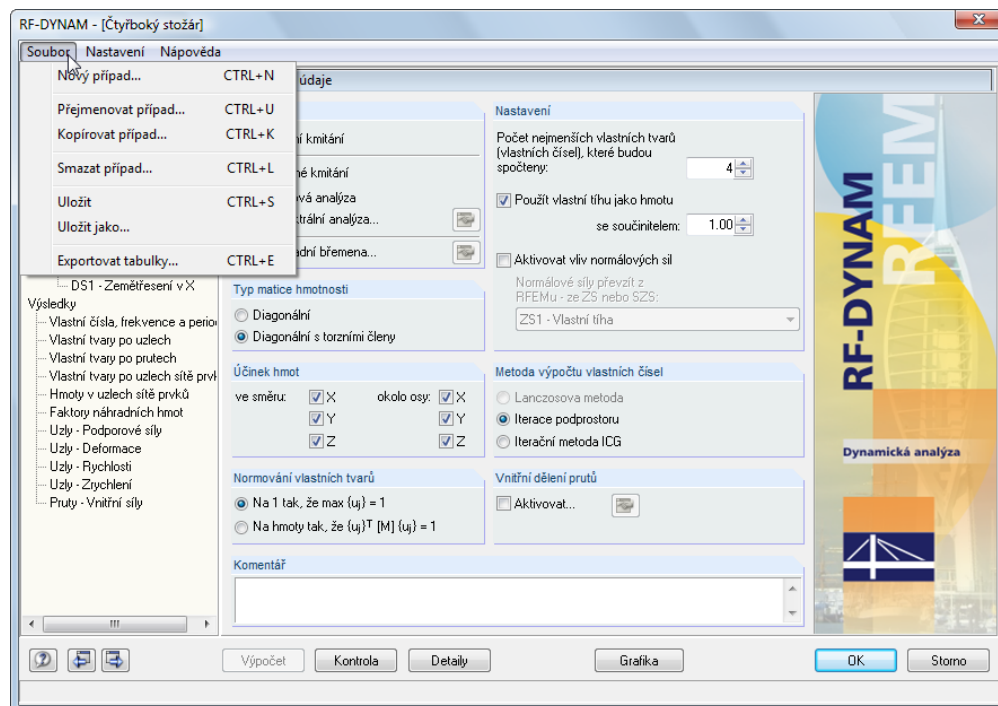
3.5 Hlavní nabídky

Hlavní nabídky obsahují veškeré nezbytné funkce ke zpracování případů v modulu RF-DYNAM a jejich výsledků. Hlavní nabídku můžeme aktivovat tak, že klikneme na její název nebo stiskneme klávesu [Alt] spolu s písmenem, které je v názvu nabídky podtrženo.

3.5.1 Soubor

[Alt+S]

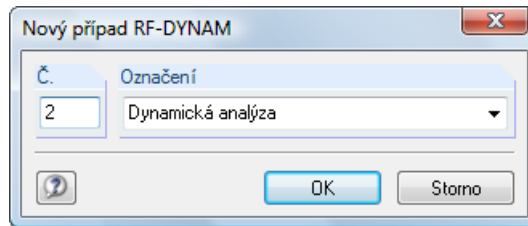
V této hlavní nabídce najdeme příkazy pro vytváření a úpravu případů v modulu RF-DYNAM.



Obr. 3.71: Hlavní nabídka *Soubor*

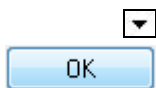
Nový případ [CTRL+N]

Tato funkce slouží k vytvoření nového případu v modulu RF-DYNAM.



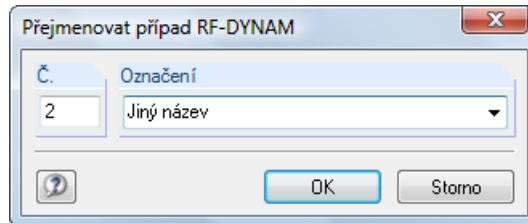
Obr. 3.72: Dialog *Nový případ RF-DYNAM*

V dialogu, který se nám otevře, zadáme *číslo* a *označení* nového případu. Pokud klikneme na tlačítko [▼], zobrazí se nám seznam všech již použitých označení, z nichž můžeme některé novému případu přiřadit. Po kliknutí na tlačítko [OK] se nový případ vytvoří.



Přejmenovat případ [CTRL+U]

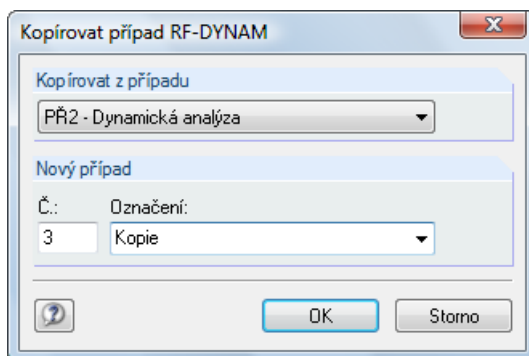
Tento příkaz umožňuje změnit *označení* aktuálního případu v modulu RF-DYNAM a případně i přiřadit danému případu jiné *číslo*. Přitom je ovšem třeba upozornit na to, že nelze zvolit číslo, které již bylo použito pro jiný případ.



Obr. 3.73: Dialog *Přejmenovat případ RF-DYNAM*

Kopírovat případ [CTRL+K]

Tato funkce nám umožňuje kopírovat již vytvořené případy v modulu RF-DYNAM.



Obr. 3.74: Dialog *Kopírovat případ RF-DYNAM*

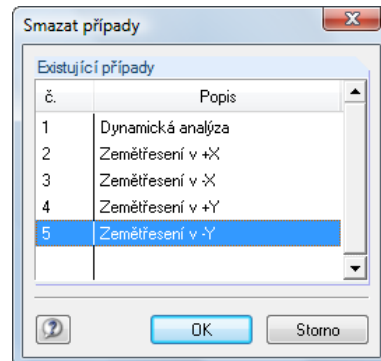
Případ v RF-DYNAMu, který chceme zkopírovat, vybereme ze seznamu po kliknutí na tlačítko [▼] v sekci *Kopírovat z případu*. Označení pro nový případ můžeme také vybrat ze seznamu, který otevřeme pomocí tlačítka [▼] v sekci *Nový případ*, nebo můžeme zadat zcela nový název. V případě, že chceme změnit automaticky nastavené číslo nového případu, je třeba zadat takové číslo, které dosud nebylo žádnému případu přiřazeno.

Pomocí tlačítka [OK] kopii případu vytvoříme.

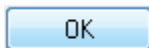
OK

Smazat případ [CTRL+L]

Po spuštění této funkce z hlavní nabídky se nám nejdříve zobrazí seznam všech případů vytvořených v modulu RF-DYNAM.



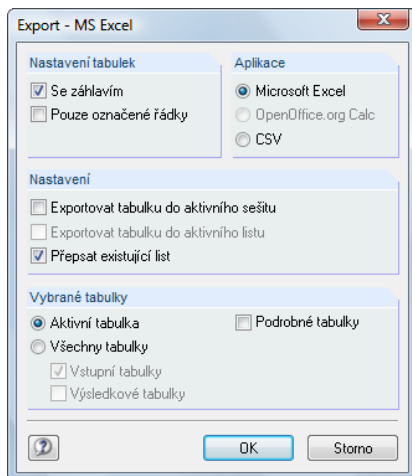
3.75: Dialog *Smazat případy*



Případ, který si přejeme smazat, označíme myší a pak ho smažeme kliknutím na tlačítko [OK].

Exportovat tabulky [CTRL+E]

Tato funkce slouží k exportu jednotlivých nebo všech tabulek z modulu RF-DYNAM do aplikace MS-Excel.



3.76: Dialog *Export – MS Excel*

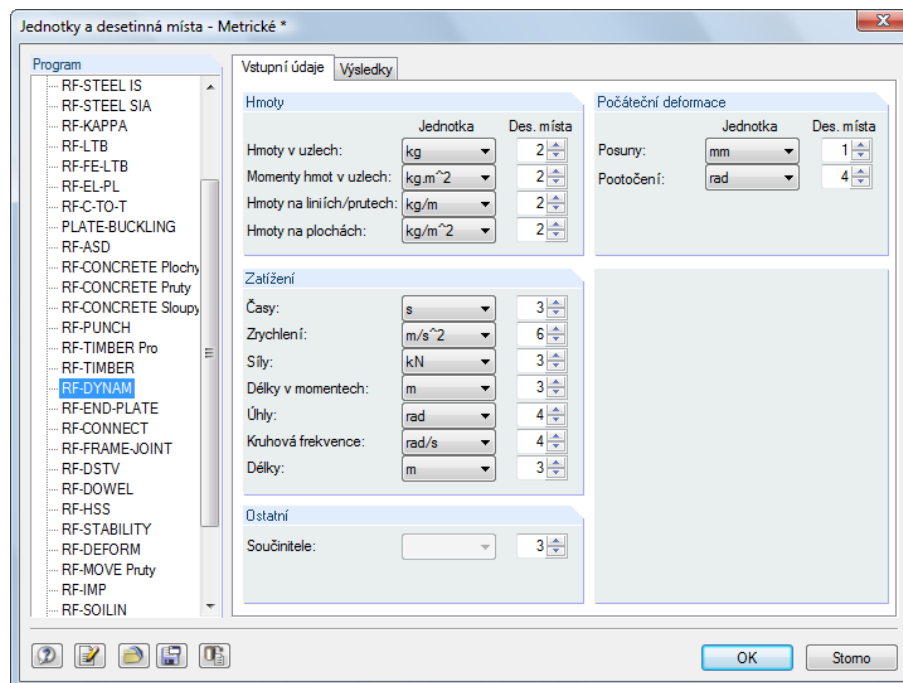
3.5.2 Nastavení

[Alt+a]

Hlavní nabídka *Nastavení* obsahuje funkci pro správu jednotek používaných v modulu RF-DYNAM.

Jednotky a desetinná místa

Po výběru této funkce se zobrazí dialog, který známe již z hlavního programu RFEM a v němž lze upravovat nastavení jednotek a desetinných míst. V seznamu programů v levé části dialogu je již přednastaven modul RF-DYNAM.



Obr. 3.77: Dialog *Jednotky a desetinná místa*

3.5.3 Nápověda

[Alt+N]

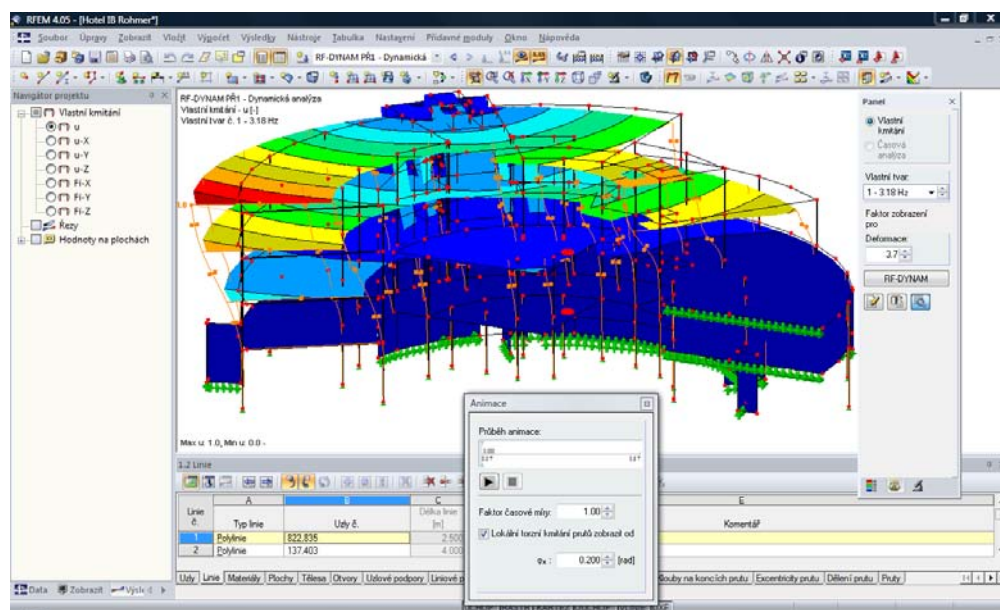
Touto funkcí vyvoláme nápovědu, která vychází z příručky, bývá však aktuálnější než tištěná verze.

4. Výsledky

4.1 Grafické zobrazení výsledků

Grafika

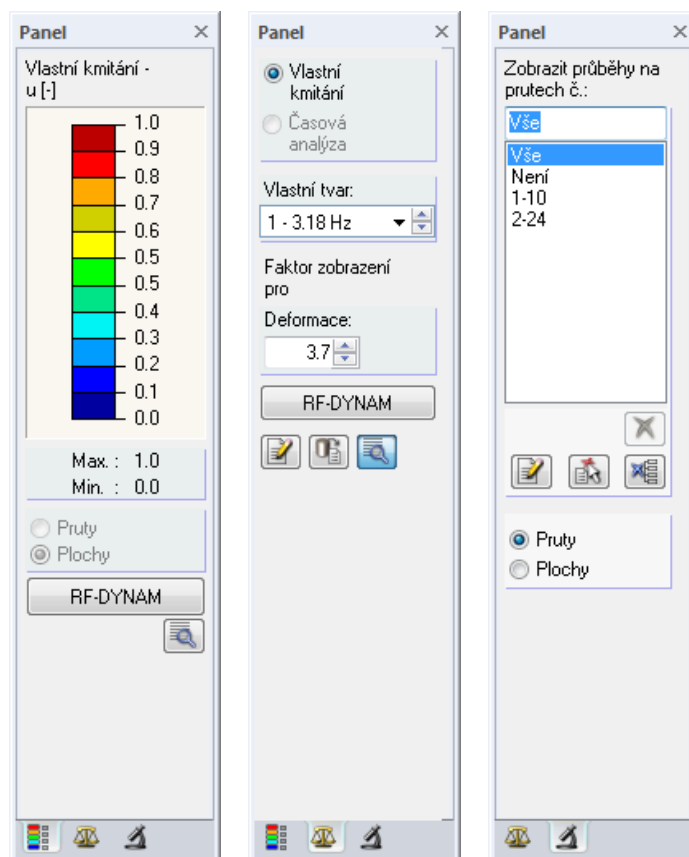
Po výpočtu můžeme pomocí tlačítka [Grafika] přepnout do grafického zobrazení výsledků. Automaticky je tu přednastaven aktuální případ z RF-DYNAMu.



Obr. 4.1: Grafické zobrazení výsledků v pracovním okně RFEMu



Pokud jsme aktivovali tlačítko [Zapnout/vypnout výsledky] v panelu nástrojů, zobrazí se v okně průběh první vlastní frekvence dané konstrukce a také panel výsledků.



Obr. 4.2: Panel výsledků modulu RF-DYNAM

Panel se skládá ze tří záložek. V první záložce vidíme barevnou stupnici celkového přetvoření vlastních tvarů normovanou na 1.

V druhé záložce v polích *Vlastní tvar* a *Deformace* lze zvolit vlastní tvar, který se má zobrazit, a faktor zvětšení zobrazení.

V poslední záložce můžeme vybrat konkrétní objekty, které se přejeme zobrazit.

Pomocí tlačítka [RF-DYNAM] v panelu se můžeme vrátit do modulu RF-DYNAM.

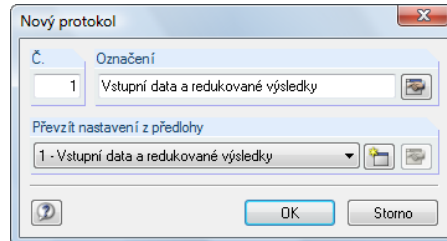
Tlačítko [Tisknout] nám umožňuje grafické zobrazení výsledků – tak jako všechna ostatní zobrazení v RFEMu – buď přímo vytisknout nebo začlenit do výstupního protokolu.

RF-DYNAM

4.2 Tisk



Chceme-li vytisknout číselné výsledky z RF-DYNAMu, je třeba se nejdříve vrátit do hlavního programu RFEM a zde vyvolat funkci [Aktuální tiskový protokol].

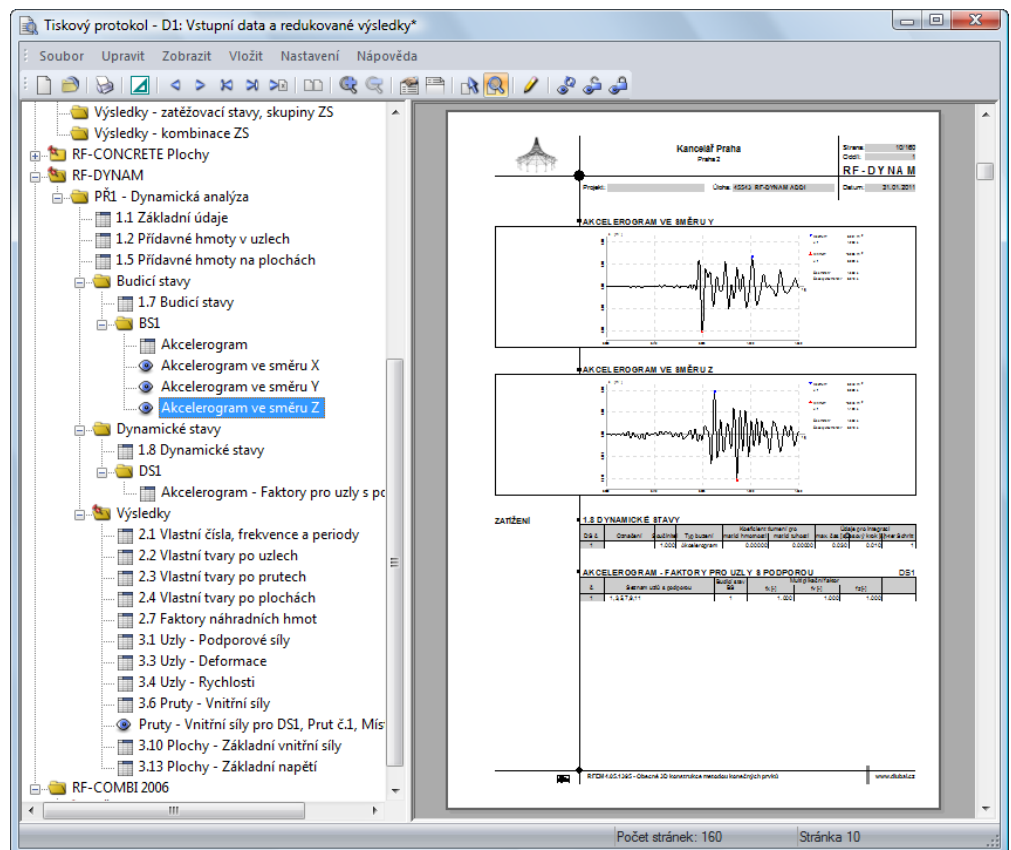


Obr. 4.3: Dialog *Nový protokol*

OK

Zobrazí se dialog, v němž lze zadat označení nového výstupního protokolu. Protokol lze převzít z nastavené *předlohy*. Po kliknutí na tlačítko [OK] se protokol i s údaji z modulu RF-DYNAM vytvoří.

Je třeba si uvědomit, že výstupní protokol obsahuje údaje z RFEMu, RF-DYNAMu i ostatních přídatných modulů. Ve vlastním zájmu je proto vhodné omezit obsah protokolu a vybrat pro tisk jen konkrétní požadované údaje, a vyhnout se tak zbytečné záplavě dat.

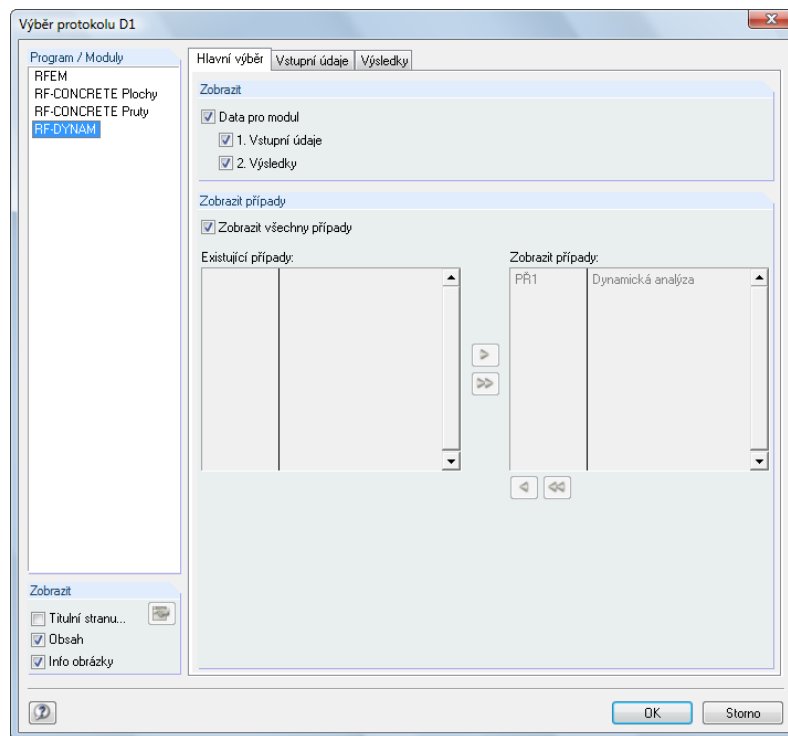


Obr. 4.4: Vstupní údaje a výsledky z RF-DYNAMu ve výstupním protokolu



V protokolu máme k dispozici nejrůznější funkce pro úpravu a uspořádání protokolu. Podrobně jsou popsány v manuálu k hlavnímu programu RFEM. Data z modulu RF-DYNAM lze pro tisk vybrat i ve zvláštním dialogu *Výběr protokolu*, který vyvoláme kliknutím na tlačítko [Vybrat položky pro protokol] v panelu nástrojů v protokolu, příp. z hlavní nabídky protokolu příkazem **Upravit** → **Výběr...** nebo z místní nabídky položky RF-DYNAM v navi-

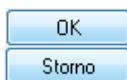
gátoru protokolu příkazem **Výběr....** Modul RF-DYNAM je třeba nejdříve nastavit v levé části tohoto dialogu v sekci *Program / Moduly*.

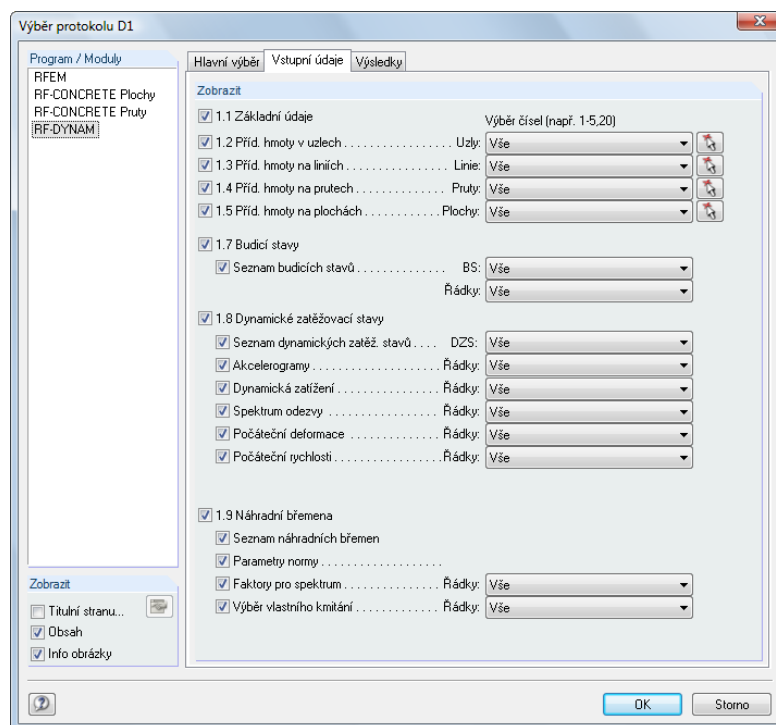


Obr. 4.5: Výběr dat z modulu RF-DYNAM do výstupního protokolu, záložka *Hlavní výběr*

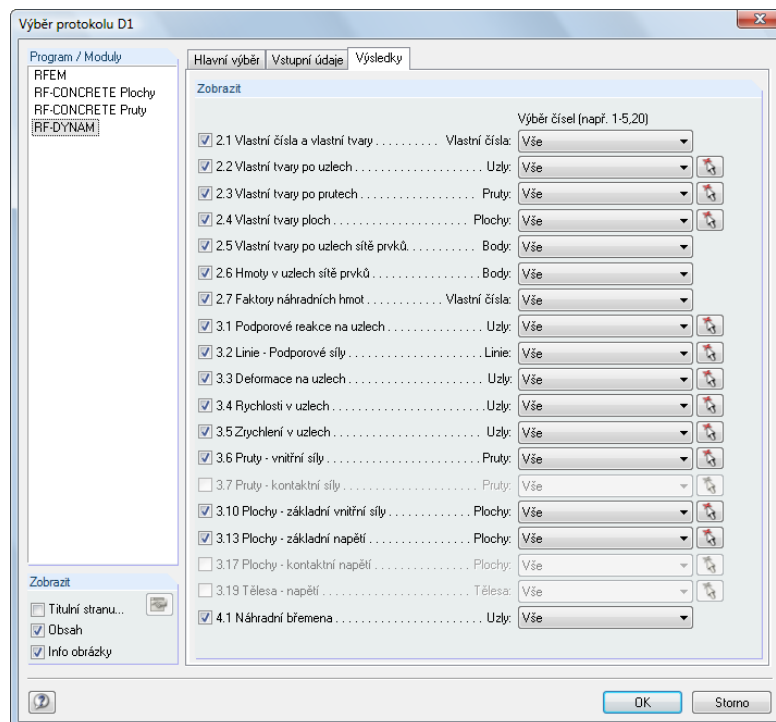
V záložce *Hlavní výběr* v sekci *Zobrazit* zaškrtneme hlavní kapitoly, které si přejeme v protokolu zobrazit. Pokud některou z nich nevybereme, zmizí i příslušná záložka s detailním výběrem jejích podkapitol. V sekci *Zobrazit případy* buď aktivujeme políčko *Zobrazit všechny případy* nebo jen vybereme konkrétní případy v seznamu *Existující případy* a převedeme je do seznamu *Zobrazit případy* v pravé části dialogu pomocí tlačítka [Převzít vybrané případy →]. Odstranit ze seznamu je lze naopak pomocí tlačítek [← Odstranit vybrané případy ze seznamu] a [Odstranit vše].

V každé záložce tohoto dialogu lze výběr dat potvrdit tlačítkem [OK], příp. ho můžeme zrušit tlačítkem [Storno]. Dialog se poté zavře.



Obr. 4.6: Výběr dat z modulu RF-DYNAM do výstupního protokolu, záložka *Vstupní údaje*

V záložce *Vstupní údaje* můžeme rozhodnout o tom, které základní údaje, přídavné hmoty a také náhradní břemena se v protokolu zobrazí. Výběr konkrétních čísel objektů lze provést tak, že v daném poli klikneme na tlačítko [▼], nastavíme prázdný řádek a následně zadáme požadovaná čísla.

Obr. 4.7: Výběr dat z modulu RF-DYNAM do výstupního protokolu, záložka *Výsledky*

V záložce *Výsledky* lze také při výběru dat do protokolu buď zvolit *Vše* nebo pouze některé části.

5. Teorie

V této kapitole stručně osvětlíme některé teoretické základy, aby bylo možné lépe porozumět procesům v modulu RF-DYNAM. Tato kapitola tak nemá nahrazovat učebnici dynamiky, spíše si klade za cíl připomenout některé souvislosti a dát podněty k dalším řešením. Prosíme proto naše uživatele o pochopení, že zde nemůžeme zevrubně zpracovat danou tematiku a že učebnicový výklad látky by přesahoval rámec popisu tohoto programu.

Nejdříve stručně popíšeme základní rovnici pro řešení vlastních čísel. Poté se v samostatných oddílech budeme věnovat výpočtu kineticky ekvivalentních hmot, podílových faktorů a náhradních hmot. Nakonec v každém z těchto oddílů uvedeme tematicky zaměřený příklad.

Rovnice rovnováhy pro statické konstrukce

Konstrukce reaguje na staticky působící síly přetvořením. U konstrukce se předpokládá, že před nanesením zatížení i po něm se nachází v klidu.

Obecně lze pozorovat mezi zatížením a deformací konstrukce úměrný vztah. Vztah mezi oběma veličinami je v zásadě nelineární, lze ho však ve většině případů pro naše účely nahlížet jako lineární. Jako součinitel úměrnosti vstupuje mezi zatížení a deformaci tuhost k konstrukce, takže pro statický případ pak platí následující vztah:

$$K_{ij} x_i = f_j$$

příčemž

K_{ij}	matice tuhosti
x_i	deformace
f_i	zatížení

V případě konstrukce s jedním stupněm volnosti platí: $i = j = 1$.

Výpočet vlastních frekvencí

Pokud byla konstrukce vybudena ke kmitání a pak ponechána po určitou dobu sama sobě, lze pozorovat neustálou oscilaci konstrukce mezi dvěma energetickými stavy. Platí tedy:

$$E_{\text{kinetická}} = E_{\text{potenciální}}$$

Tento vztah lze vyjádřit následující rovnicí:

Rovnice 4.1:

$$M_{ij} \ddot{x}_i + K_{ij} \cdot x_i = \underline{0}$$

V této rovnici se nebere v úvahu tlumení, protože disipační účinek není relevantní pro stanovení vlastní frekvence a vlastního tvaru.

Rovnici (4.1) vyřešíme tak, že za x_i dosadíme následující výraz:

Rovnice 4.2:

$$x_i = C_i e^{\lambda t} = u_i(x) c \cos(\omega t - \alpha)$$

Pokud výraz (2) dosadíme do rovnice (4.1), platí za předpokladu, že výraz $c \cos(\omega t - \alpha)$ se obecně nerovná nule:

Rovnice 4.3:

$$[M_{ij}(-\omega^2) + K_{ij}] u_i(x) = \underline{0}$$

Vzhledem k tomu, že rovnice vlastního tvaru $u_i(x)$ se nerovná nule, stanoví se vlastní frekvence z následující rovnice.

Rovnice 4.4:

$$\det (K_{ij} - \omega^2 M_{ij}) = 0$$

Již v rovnici (4.3) jsme se setkali s vlastní kruhovou frekvencí ω . Souvisí s vlastní frekvencí konstrukce, s níž je v následujícím vztahu $f = 2\pi\omega$.

Po dosažení vlastní frekvence do rovnice (4.3) získáme příslušný vlastní tvar $u_i(x)$.

Kineticky ekvivalentní hmoty

Konstrukce s několika stupni volnosti a soustředěným nebo rovnoměrným rozdělením hmoty lze z energetického hlediska převést na jednohmotový oscilátor s ekvivalentní kinetickou hmotou. Typickým příkladem uplatnění jsou konstrukce s tlumičem kmitání nebo štíhlé, věžové konstrukce.

RF-DYNAM spočítá tuto kineticky ekvivalentní hmotu pro každou vlastní frekvenci.

Zmíněnou teorii blíže osvětlíme na příkladu trubkového stožáru.

Pohyb trubkového stožáru je popsán následujícím vztahem:

$$y(x, t) = y(x) \cdot \sin(\omega t) = Y \cdot \eta(x) \cdot \sin(\omega t)$$

$y(x, t)$	vychýlení místa x na stožáru v závislosti na čase
ω	kruhová frekvence konstrukce
$\eta(x)$	vlastní tvar normovaný na 1 v místě největšího posunu
Y	vychýlení v místě, kde se zjišťuje kineticky ekvivalentní hmotu. RF-DYNAM přitom vždy vychází z vychýlení v místě maximálního posunu. Vlastní tvary jsou v zobrazení vždy normovány na 1.

Kinetickou energii konstrukce pak získáme následovně:

Rovnice 4.5:

$$E_{kin} = \frac{\omega^2 Y^2}{2} \left[\int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx \right] \cos^2 \omega t$$

příčemž $\mu(x)$ rovnoměrné rozmístění hmoty, jednotka [kg/m].

Rovnice 4.5 vyjadřuje kinetickou energii vlastní tíhy konstrukce a přídavných hmot prutů. K této energii je ještě třeba přičíst energii jednotlivých přídavných hmot uzlů m_i :

Rovnice 4.6:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \omega^2 Y^2 \eta^2(x_i) \cos^2 \omega t$$

Do součtu je třeba zahrnout všechny n přídavné hmoty.

Celkovou kinetickou energii konstrukce pak zjistíme následovně:

Rovnice 4.7:

$$E_{kin} = \omega^2 Y^2 \cdot \frac{1}{2} \left[\int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx \right] \cos^2 \omega t + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i \cdot \omega^2 \eta^2(x) \cos^2 \omega t$$

Kinetická energie náhradní konstrukce jednohmotového oscilátoru je vyjádřena následující rovnicí:

Rovnice 4.8:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} M \omega^2 Y^2 \cos^2 \omega t$$

Srovnáním rovnic (4.7) a (4.8) dostáváme kineticky ekvivalentní hmotu:

Rovnice 4.9:

$$M = \int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx + \sum_{i=1}^n m_i \eta^2(x_i)$$

Při výpočtu kineticky ekvivalentních hmot v jiném místě je třeba rovnici (4.9) vynásobit výrazem $Y^2/\eta^2(x)$.

Příklad

Pro vetknutý trubkový stožár budeme počítat kineticky ekvivalentní hmotu. V následujících příkladech KINEQ1 až KINEQ3 vycházíme z toho, že prut není rozdělen. V příkladu KINEQ4 se naopak rozdělení prutu předpokládá.

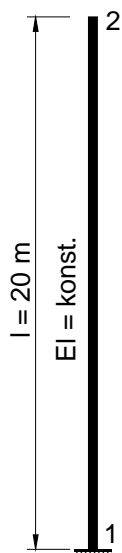
Údaje stožáru:

Průřez: TRUBKA 508x11 s průřezovou plochou $A=0,0172 \text{ m}^2$

Výška: $l = 20 \text{ m}$

Objemová tíha DYNAM $\gamma = 7,85 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$

Rovnoměrné rozložení hmoty: $\mu = \gamma / g \cdot A = 135 \text{ kg/m}$



Obr. 5.1: Vetknutý trubkový stožár

KINEQ1:

Vlastní tíha stožáru $M = l \mu = 20 \text{ m} \cdot 135 \text{ kg/m} = 2700 \text{ kg}$ je rovnoměrně rozložena po celé délce stožáru.

KINEQ2:

Celková hmotu stožáru $M = l \mu = 20 \text{ m} \cdot 135 \text{ kg/m} = 2700 \text{ kg}$ je rovnoměrně rozdělena do obou koncových uzlů 1 a 2.

KINEQ3:

Vlastní tíha stožáru je rovnoměrně rozmístěna na stožáru jako vnější zatížení.

Vzhledem k tomu, že u všech konstrukcí se vychází z diagonální matice hmotnosti, součet kineticky ekvivalentních hmot se v každém případě rovná působící hmotě, tedy 1350 kg v uzlu 2.

KINEQ4:

Trubkový stožár je rozdělen do 5 částí. Lze tak docílit přesnějšího výpočtu kineticky ekvivalentních hmot. Při výpočtu kineticky ekvivalentní hmoty pomocí rovnice (4.7) platí pro vlastní tvar:

$$\eta(\xi) = \frac{1}{2,72423} \left[\sin \lambda \xi - \sinh \lambda \xi + (\cos \lambda \xi - \cosh \lambda \xi) \frac{\sinh \lambda - \sin \lambda}{\cosh \lambda - \cos \lambda} \right]$$

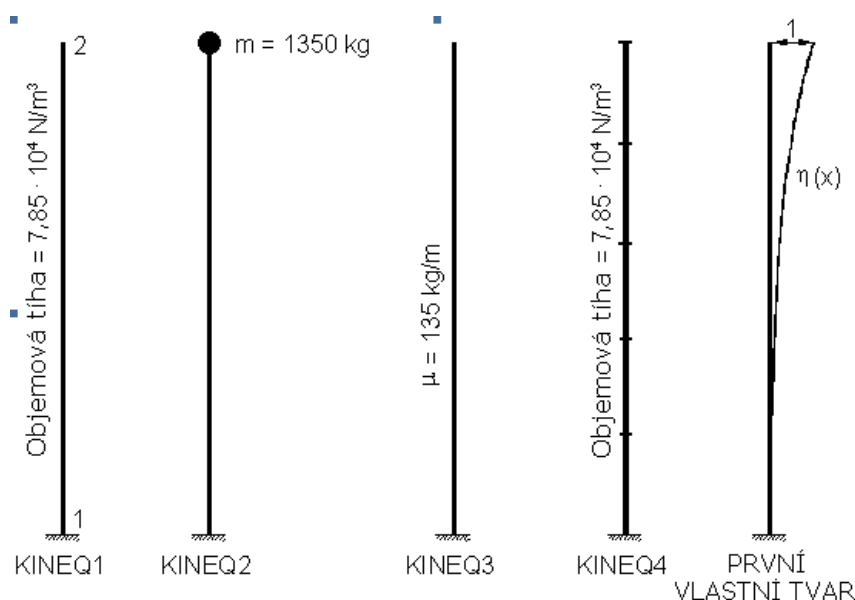
přičemž $\lambda = 1,875$. Dostaneme tak integrál

$$\int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx = 0,25$$

, a tím i velikost kineticky ekvivalentní hmoty:

$$M = \mu \cdot L \int_0^L \eta^2(x) dx = 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 20\text{m} \cdot 0,25 = 675 \text{ kg}$$

Výsledná hodnota kineticky ekvivalentních hmot při výpočtu v modulu RF-DYNAM je $M = 675,1 \text{ kg}$.



Obr. 5.2: Rozdělení hmoty prutu v příkladech KINEQ1 až KINEQ4

Náhradní hmoty a podílové součinitele

Pokud jsme před výpočtem označili v dialogu 1.6 *Pro zobrazení* políčko pro výpočet faktorů náhradních hmot, zobrazí se nám v tabulce výsledků 2.7 *Faktory náhradních hmot* hodnoty následujících veličin: modální hmota, podílový součinitel, náhradní hmota a součinitel náhradní hmoty.

Nejdůležitější informaci o konstrukci představuje rozložení setrvačných sil H_i , které se odvíjí od vlastního tvaru V_i .

Setrvačné síly jsou vyjádřeny následujícím vztahem:

Rovnice 4.10

$$H_i = \frac{(V_i^T M)^2}{(V_i^T M V_i)} \cdot S_a \cdot (T_i)$$

kdy

V_i vlastní tvar

M matice hmotnosti

$S_a(T_i)$ spektrum zrychlení vlastní kruhové frekvence ω_i

Pomocí výrazů

$M_i = V_i^T M V_i$ modální hmota

$L_i = V_i^T M$ podílový součinitel

dostaneme z rovnice (4.10)

rovnici 4.11

$$H_i = \frac{L_i^2}{M_i} \cdot S_a \cdot (T_i) = m_{ei} \cdot S_a \cdot (T_i)$$

kdy $m_{ei} = L_i^2 / M_i$ náhradní hmota vlastního tvaru V_i

Jak je z rovnic (4.10) a (4.11) patrné, náhradní hmota není závislá na normovaném vlastním tvaru V_i . RF-DYNAM normuje vlastní tvar V_i v místě největšího posunu na 1 podle

rovnice 4.12

$$\sum_{j=1}^n V_{ij}^2 = 1$$

kdy i, j všechny stupně volnosti posunu vlastního tvaru V_i

a spočítá na jejím základě modální matici hmotnosti, podílové součinitele a náhradní hmoty s faktory náhradních hmot pro vyjádření poměru mezi náhradní a celkovou hmotou.

Praktický příklad výpočtu uvádíme níže.

Pro podrobnější informace k této problematice odkazujeme na položku [11], str. 678, uvedenou v seznamu literatury na konci tohoto manuálu.

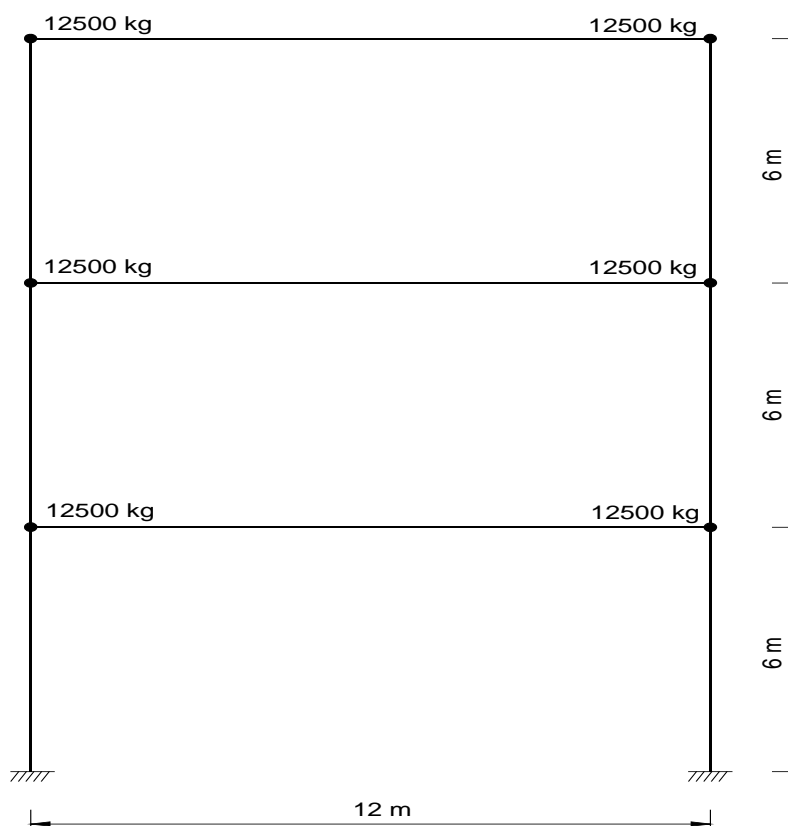
Příklad

Rovinný třípatrový rám se skládá z nehmotných stojek a příčlů.

Plošný moment setrvačnosti pro všechny stojky činí $I_{z, \text{stojka}} = 25\,000 \text{ cm}^4$, pro příčle $I_{z, \text{příčle}} = 150\,000 \text{ cm}^4$.

Plocha stojek je $A_{\text{stojky}} = 100 \text{ cm}^2$, zatímco plocha příčlů $A_{\text{příčle}} = 10\,000 \text{ cm}^2$.

Hmoty příčlů se umístí stejným dílem (tj. 12 500 kg) na oba koncové uzly.



Obr. 5.3: Výpočet náhradních hmot na třípatrovém rámu

Srovnání výsledků z RF-DYNAMu a výsledků podle literatury:

Vlastní tvar č.	Náhradní hmota [kg]	
	RF-DYNAM	Literatura [11]
1	66592,9	$2,66369 \cdot 25000 = 66592,25$
2	6989,7	$0,2769 \cdot 25000 = 6990,00$
3	1417,4	$0,05669 \cdot 25000 = 1417,25$

6. Příklady

V následující kapitole předkládáme řadu příkladů, které mají blíže osvětlit funkcionalitu modulu RF-DYNAM.

Na dalším příkladu chceme předvést výpočet základní frekvence věže o průřezu s náběhem.

Příklady jsme si vypůjčili z literatury. Důležité je pak pro nás především srovnání výsledků uvedených v literatuře s výsledky modulu RF-DYNAM.

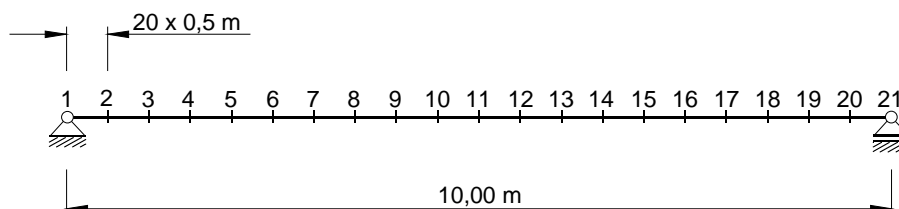
6.1 Nosník

Následující příklad jsme převzali z literatury [12], str. 20.

Spojitý nosník, který vidíme na náčrtu níže, je podroben dynamické analýze. Celková délka nosníku je 10 m. Průběžný nosník sestává z 20 jednotlivých nosníků s ohybově tuhými spoji.

Průřez nosníku je obdélníkový s rozměry $d = 0,4$ m a $b = 0,2$ m. I_y pro tento průřez má tudíž hodnotu $1,067E-3$ m⁴ a plocha $A = 8,0E-2$ m². Modul pružnosti se stanoví jako $E = 3,0E+7$ kN/m².

Vzhledem k tomu, že objemová tíha γ činí 25 kN/m³, má každý jednotlivý nosník hmotnost $G_i = \gamma A l / g = 25000 \cdot 0,08 \cdot 0,5 / 10$ kg = 100 kg.



Obr. 6.1: Náčrt nosníku pro příklad č. 1

Z přehledu výsledků v modulu RF-DYNAM lze vyčíst, že zde u uzlů 2 až 20 působí aktivní hmota o velikosti 100 kg ve směru osy Z. Uzly 1 a 21 jsou podepřeny ve směru Z, a proto není jejich hmota nahlížena pro směr Z jako dynamická. Aktivní hmota ve směru osy X na uzlu 1 se na základě zadání podpory (pevné podepření ve směru X) rovná nule.

Na uzlu 21 není konstrukce ve směru osy X podepřena, a aktivní hmota tak vykazuje konečnou hodnotu menší než 100 kg.

Za povšimnutí jistě stojí přesnost výsledků vlastních frekvencí v RF-DYNAMu ve srovnání s výsledky z literatury. V následující tabulce jsou výsledky přehledně porovnány.

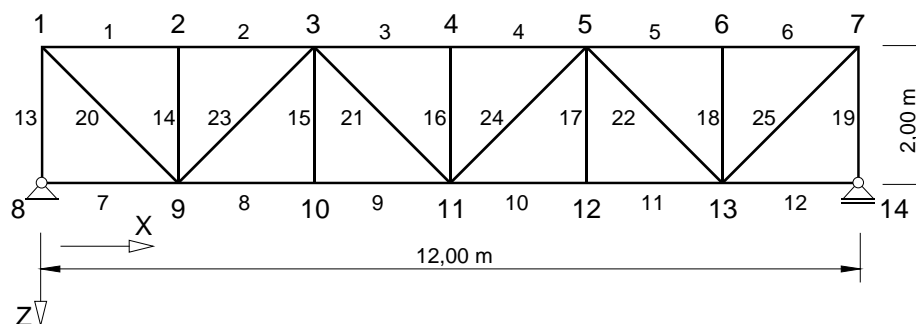
Šest nejnižších vlastních frekvencí f [Hz]		
Číslo vlastní frekvence	RF-DYNAM	Literatura
1	6,284	6,283
2	25,137	25,133
3	56,556	56,547
4	86,580	86,580
5	100,535	100,519
6	157,056	157,032

6.2 Příhradový nosník

Následující příklad jsme převzali z literatury [12], str. 29.

V této úloze chceme spočítat vlastní čísla příhradové konstrukce znázorněné na náčrtu níže. Materiál má modul pružnosti $E = 2,06E+8 \text{ kN/m}^2$, Poissonovo číslo $\nu = 0,29$ a objemovou tíhu $7,88 \text{ t/m}^3$.

Pro nosník jsme použili kruhový profil s průměrem 4 cm.



Obr. 6.2: Náčrt příhradového nosníku pro příklad č. 2

RF-DYNAM vypočítá ve srovnání s výsledky z literatury následující vlastní frekvence:

Pět nejnižších vlastních frekvencí f [Hz]		
Číslo vlastní frekvence	RF-DYNAM	Literatura
1	13,30	13,15
2	22,77	22,57
3	36,20	35,82
4	50,23	49,81
5	51,72	51,37

6.3 Betonový komín

Tento příklad jsme si vypůjčili z literatury [11], str. 213. Na něm ozřejmíme, jaký vliv má *dělení prutů z důvodu existence náběhu nebo pružného podloží*. V závislosti na zvoleném rozdělení prutu se výsledek z modulu RF-DYNAM blíží řešení uvedenému v literatuře.

Betonový komín se po své délce zužuje přibližně v poměru 3:1. Můžeme na něj proto nahlížet jako na prut s náběhy. Modul pružnosti $E = 2E+7 \text{ kN/m}^2$, objemová tíha $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Pro oblast paty komínu platí následující hodnoty:

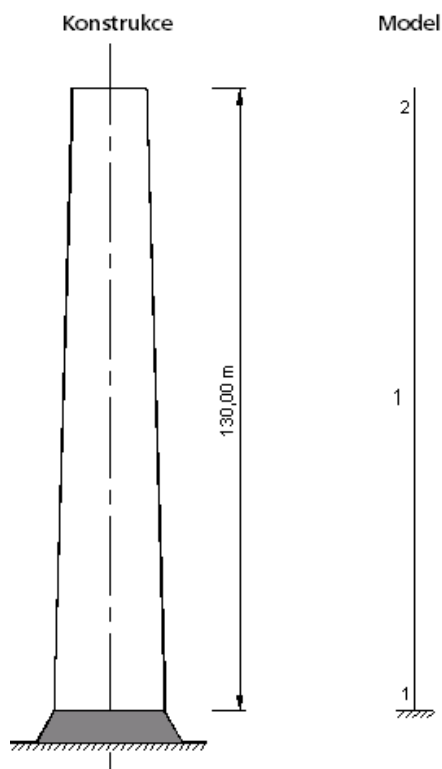
Plocha A_A činí $14,78 \text{ m}^2$. Z toho vyplývá, že rovnoměrné rozložení hmoty bude odpovídat $\mu = \gamma A / g = 25000 \cdot 14,78 / 10 \text{ kg/m} = 36,95E+3 \text{ kg/m}$.

Moment setrvačnosti I_A je $122,9 \text{ m}^4$.

Pro oblast hlavy komínu platí následující hodnoty:

Plocha A_E činí $4,79 \text{ m}^2$. Z toho vyplývá, že rovnoměrné rozložení hmoty bude odpovídat $\mu = \gamma A / g = 25000 \cdot 4,79 / 10 \text{ kg/m} = 11,973E+3 \text{ kg/m}$.

Moment setrvačnosti I_E je $22,2 \text{ m}^4$.



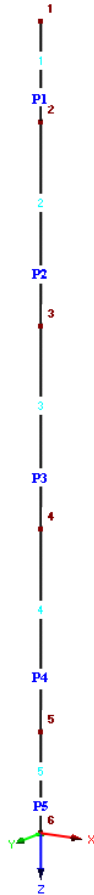
Obr. 6.3: Náčrt betonového komínu k příkladu č. 3

Literatura uvádí pro základní frekvenci komínu hodnotu $f = 0,367$ Hz.

Základní frekvence f [Hz] železobetonového komínu	
Počet dělení	Spočítaná základní frekvence
2	0,3291
6	0,3600
10	0,3673
20	0,3657
50	0,3641

6.4 Náhradní seizmická zatížení podle normy DIN 4149

V tomto příkladu porovnáme náhradní seizmická zatížení spočtená v modulu RF-DYNAM podle normy DIN 4149 s ručním výpočtem. Vstupní údaje zadané v hlavním programu RFEM můžeme vidět v následujících tabulkách.



Obr. 6.4: Model konstrukce k příkladu 4: Náhradní seizmická zatížení

UZLY

Uzel č.	Typ uzlu	Vztažný uzel	Souřadný systém	Souřadnice uzlu		Komentář
				X [m]	Z [m]	
1	Standard	-	Kartézský	00,000	-100,000	
2	Standard	-	Kartézský	00,000	-87,500	
3	Standard	-	Kartézský	00,000	-62,500	
4	Standard	-	Kartézský	00,000	-37,500	
5	Standard	-	Kartézský	00,000	-12,500	
6	Standard	-	Kartézský	00,000	00,000	Pevné vetknutí

LINIE

Linie č.	Typ linie	Uzly č.	Délka linie		Komentář
			l [m]		
1	Polylinie		2,1	12,500	Z
2	Polylinie		3,2	25,000	Z
3	Polylinie		4,3	25,000	Z
4	Polylinie		5,4	25,000	Z
5	Polylinie		6,5	12,500	Z

MATERIÁLY

Materiál č.	Materiál-označení	Modul pružnosti E [kN/cm ²]	Smykový modul G [kN/cm ²]	Poissonovo číslo μ [-]	Objemová tíha γ [kN/m ³]	Souč. teplotní roztažnosti α [1/°C]	Součinitel γ_M
1	Beton B 25	3000,00	1400,00	0,200	25,00	1,0000E-05	1,000

UZLOVÉ PODPORY

Podpora č.	Na uzlech č.	Natočení [°]		Sloup v Z	Podepření resp. pružina		
		okolo Y			uX'	uZ'	$\phi Y'$
1	6	0,00			X	X	X

PRŮŘEZY

Průřez č.	Průřez-označení	Materiál č.	I-T [m ⁴] A [m ²]	I-y [m ⁴] A-y [m ²]	I-z [m ⁴] A-z [m ²]	Komentář
1		P1	1 100,000	12,667		
2		P2	1 100,000	19,000		
3		P3	1 100,000	25,333		
4		P4	1 100,000	31,667		

PRUTY

Prut č.	Linie č.	Typ prutu	Natočení		Průřez č.		Kloub č.		Excent. č.	Dělení č.	Délka L [m]	
			Typ	Uzel / rovina	Počátek	Konec	Počátek	Konec				
1	1	Nosník	-	-	4	4	-	-	-	-	12,500	Z
2	2	Nosník	-	-	4	4	-	-	-	-	25,000	Z
3	3	Nosník	-	-	3	3	-	-	-	-	25,000	Z
4	4	Nosník	-	-	2	2	-	-	-	-	25,000	Z
5	5	Nosník	-	-	1	1	-	-	-	-	12,500	Z

V souladu s normou DIN 4149 jsme pro tento příklad vybrali následující parametry:

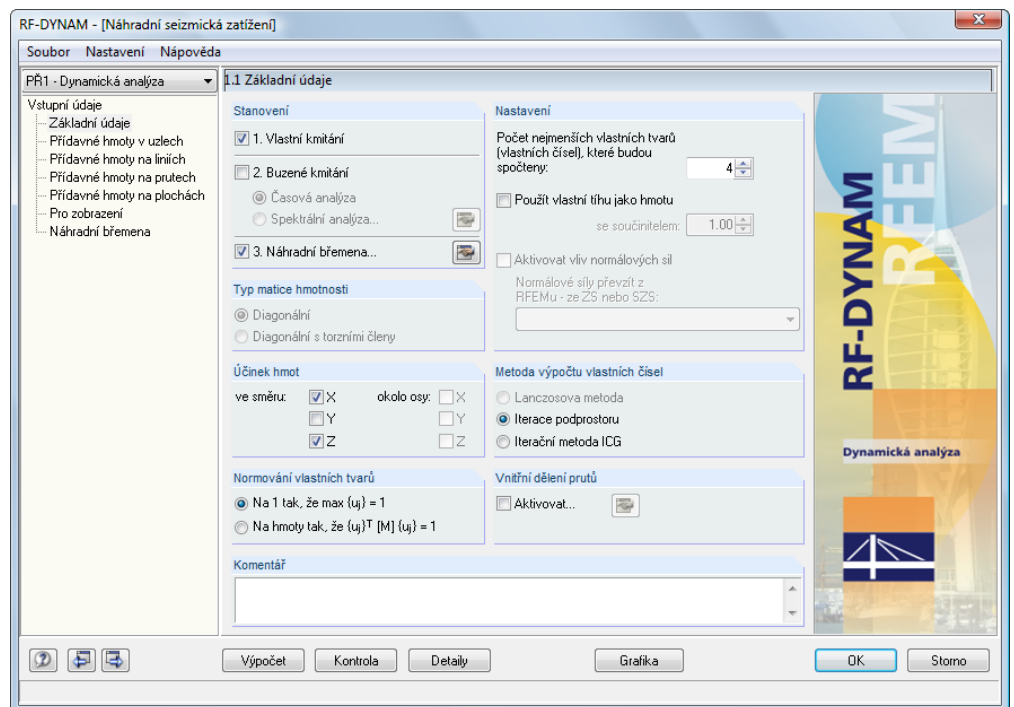
Poměr podloží: A-R

Součinitel významu γ_I : 1,0

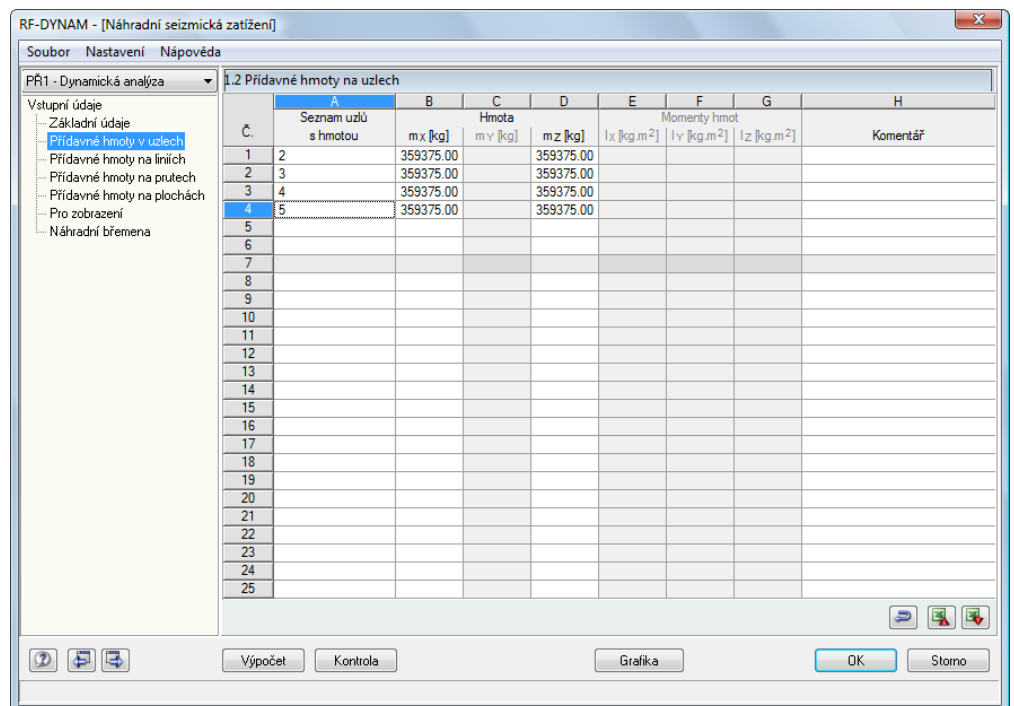
Návrhové zrychlení podloží a_g : 1,00 m/s²

Součinitel spektrálního zrychlení β_0 : 2,5

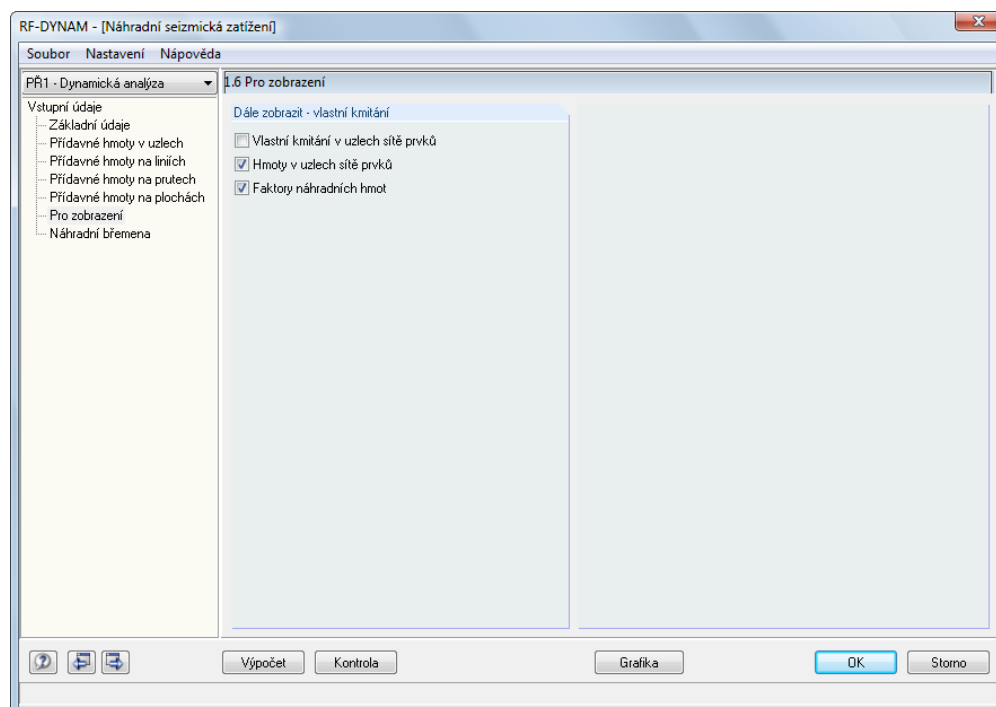
Korekční součinitel útlumu η : 1,00



Obr. 6.5: Základní údaje bez zohlednění vlastní tíhy a s působením hmot ve směru X a Z

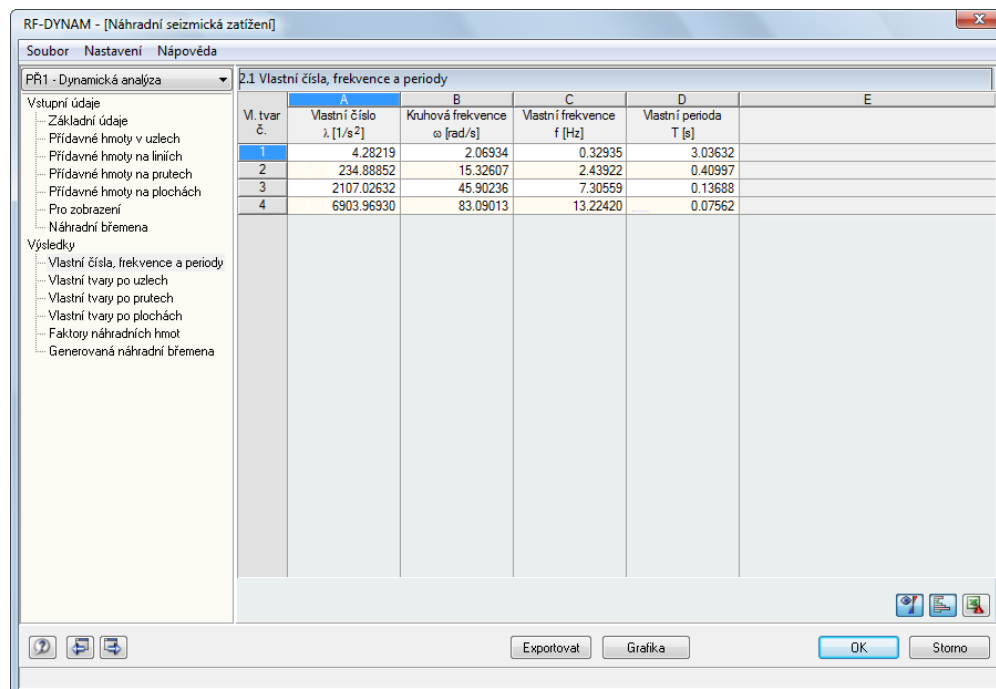


Obr. 6.6: Rozložení hmoty na uzlech 2 až 5 vždy po 359 375 kg

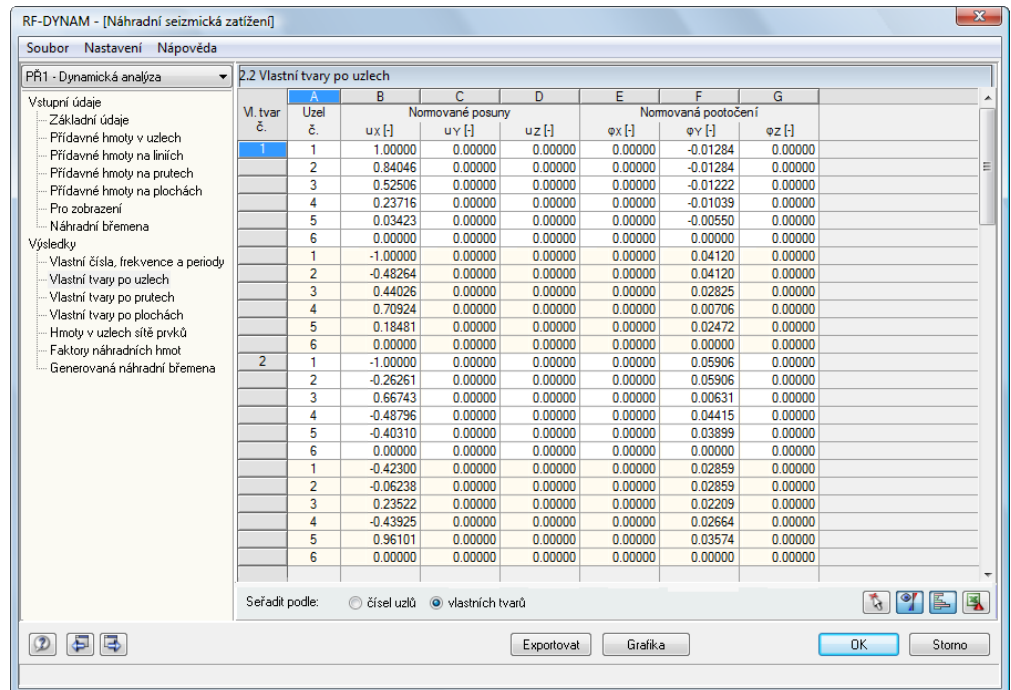


Obr. 6.7: Dialog 1.6 Pro zobrazení

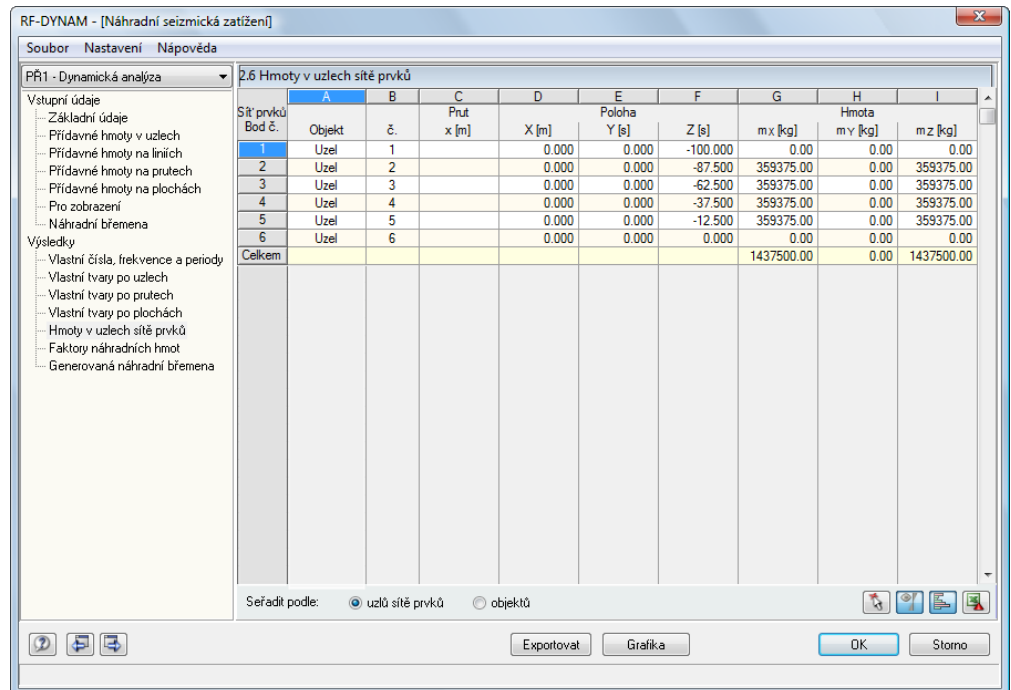
Ke zjištění počtu vlastních tvarů, které je třeba zohlednit, doporučujeme v dialogu 1.6 *Pro zobrazení* nechat také spočítat faktory náhradních hmot a hmoty v uzlech sítě prvků. Modálních tvarů by totiž mělo být v zásadě tolik, aby součet účinných náhradních hmot činil alespoň 90% celkové účinné hmoty, což odpovídá součtu faktorů náhradních hmot 0,90.



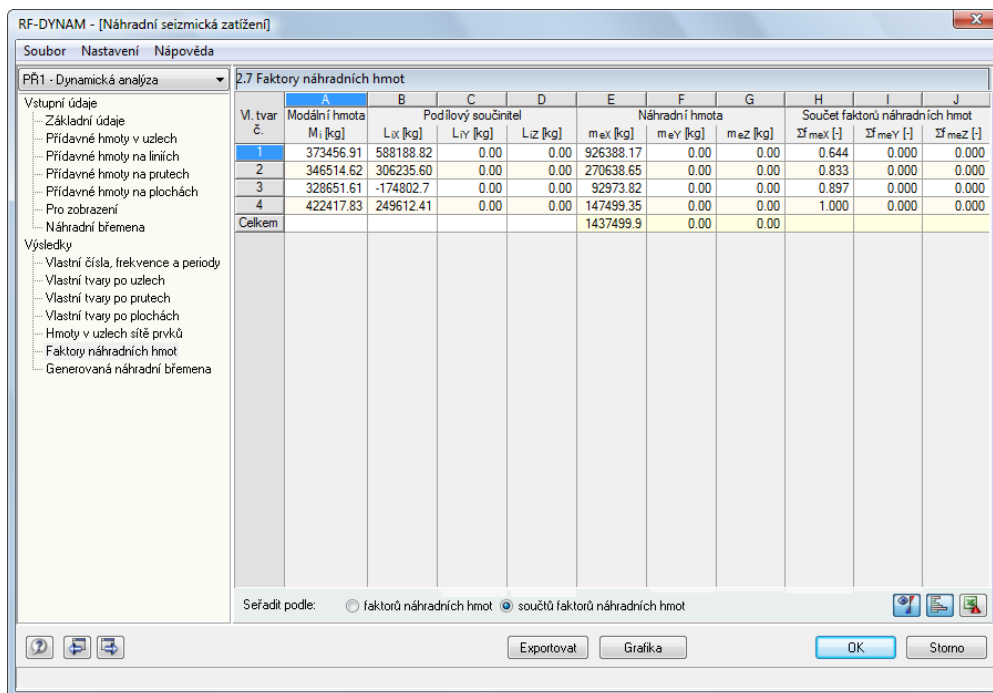
Obr. 6.8: Dialog 2.1 Vlastní čísla, frekvence a periody



Obr. 6.9: Dialog 2.2 Vlastní tvary po uzlech

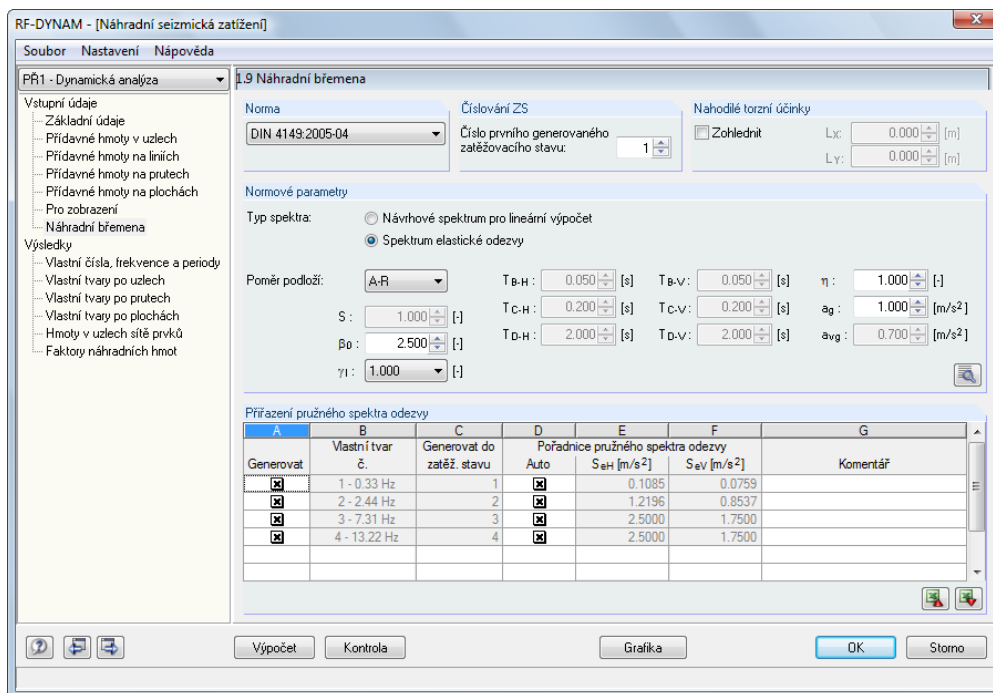


Obr. 6.10: Dialog 2.6 Hmoty v uzlech sítě prvků



Obr. 6.11: Dialog 2.7 Faktory náhradních hmot

V dialogu 2.7 *Faktory náhradních hmot* se ve sloupci H zobrazí *Součet faktorů náhradních hmot*. Je zřejmé, že alespoň 90% celkové účinné hmoty bylo dosaženo čtyřmi modálními tvary.



Obr. 6.12: Dialog 1.9 Náhradní břemena

V dialogu 1.9 *Náhradní břemena* po stanovení parametrů normy označíme ve sloupci A všechny čtyři vlastní tvary. Náhradní zatížení se pak následně automaticky zapíší do zatěžovacích stavů RFEMu 1 až 4 (viz sloupec C).

RF-DYNAM - [Náhradní seizmická zatížení]

Soubor Nastavení nápověda

PR1 - Dynamická analýza

4.1 Generovaná náhradní břemena

Sít' prvků Bod č.	A Objekt Typ	B č.	C Prut x [m]	D Souřadnice			E ZS č.	F Náhradní břemeno		
				X [m]	Y [m]	Z [m]		F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]
1	Uzel	1		0.000	0.000	-100.000	1	0.000	0.000	0.000
2	Uzel	2		0.000	0.000	-87.500	1	51.614	0.000	0.000
3	Uzel	3		0.000	0.000	-62.500	1	32.235	0.000	0.000
4	Uzel	4		0.000	0.000	-37.500	1	14.550	0.000	0.000
5	Uzel	5		0.000	0.000	-12.500	1	2.115	0.000	0.000
6	Uzel	6		0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000
1	Uzel	1		0.000	0.000	-100.000	2	0.000	0.000	0.000
2	Uzel	2		0.000	0.000	-87.500	2	-186.940	0.000	0.000
3	Uzel	3		0.000	0.000	-62.500	2	170.619	0.000	0.000
4	Uzel	4		0.000	0.000	-37.500	2	274.727	0.000	0.000
5	Uzel	5		0.000	0.000	-12.500	2	71.665	0.000	0.000
6	Uzel	6		0.000	0.000	0.000	2	0.000	0.000	0.000
1	Uzel	1		0.000	0.000	-100.000	3	0.000	0.000	0.000
2	Uzel	2		0.000	0.000	-87.500	3	-125.488	0.000	0.000
3	Uzel	3		0.000	0.000	-62.500	3	318.796	0.000	0.000
4	Uzel	4		0.000	0.000	-37.500	3	-233.135	0.000	0.000
5	Uzel	5		0.000	0.000	-12.500	3	-192.608	0.000	0.000
6	Uzel	6		0.000	0.000	0.000	3	0.000	0.000	0.000
1	Uzel	1		0.000	0.000	-100.000	4	0.000	0.000	0.000
2	Uzel	2		0.000	0.000	-87.500	4	-33.108	0.000	0.000
3	Uzel	3		0.000	0.000	-62.500	4	124.754	0.000	0.000
4	Uzel	4		0.000	0.000	-37.500	4	-233.096	0.000	0.000
5	Uzel	5		0.000	0.000	-12.500	4	510.200	0.000	0.000
6	Uzel	6		0.000	0.000	0.000	4	0.000	0.000	0.000

Seřadit podle: uzlů sítě prvků objektů zatěž. stavů

Exportovat Grafika OK Storno

Obr. 6.13: Dialog 4.1 Generovaná náhradní břemena

V grafickém okně RFEMu v zobrazení zatěžovacích stavů 1 až 4 lze jednotlivá náhradní břemena přehledně znázornit.



Obr. 6.14: Grafické zobrazení exportovaných náhradních zatěžovacích stavů 1 až 4

Vypočtená náhradní seizmická zatížení můžeme nyní porovnat s ručně spočtenými hodnotami.

Uzel	Hmoty [kg]	Normovaný posun ψ_{1i} NS1	Normovaný posun ψ_{2i} NS2	Normovaný posun ψ_{3i} NS3	Normovaný posun ψ_{4i} NS4
1	0,00	1,00000	-1,00000	-1,00000	-0,42300
2	359375,00	0,84046	-0,48264	-0,26261	-0,06238
3	359375,00	0,52506	0,44026	0,66743	0,23522
4	359375,00	0,23716	0,70924	-0,48796	-0,43925
5	359375,00	0,03423	0,18481	-0,40310	0,96101
6	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
$\Sigma m_j \cdot \psi_{ji}$		588265	306069	-174743	249622
$\Sigma m_j \cdot \psi_{ji}^2$		373562	346418	328836	422517
ω_i [Hz]		2,06934	15,32607	45,90236	83,09013
f_i [Hz]		0,32935	2,43922	7,30559	13,22420
T_i [s]		3,03632	0,40997	0,13688	0,07562
S_e		0,1085	1,2196	2,5000	2,5000

Když vycházíme z náhradní hmoty $m_{e,j}$ a podílového součinitele L_j

$$m_{e,j} = \frac{(\sum m_i \cdot \psi_{j,i})^2}{\sum m_i \cdot \psi_{j,i}^2}$$

$$L_j = \sum m_i \cdot \psi_{j,i}$$

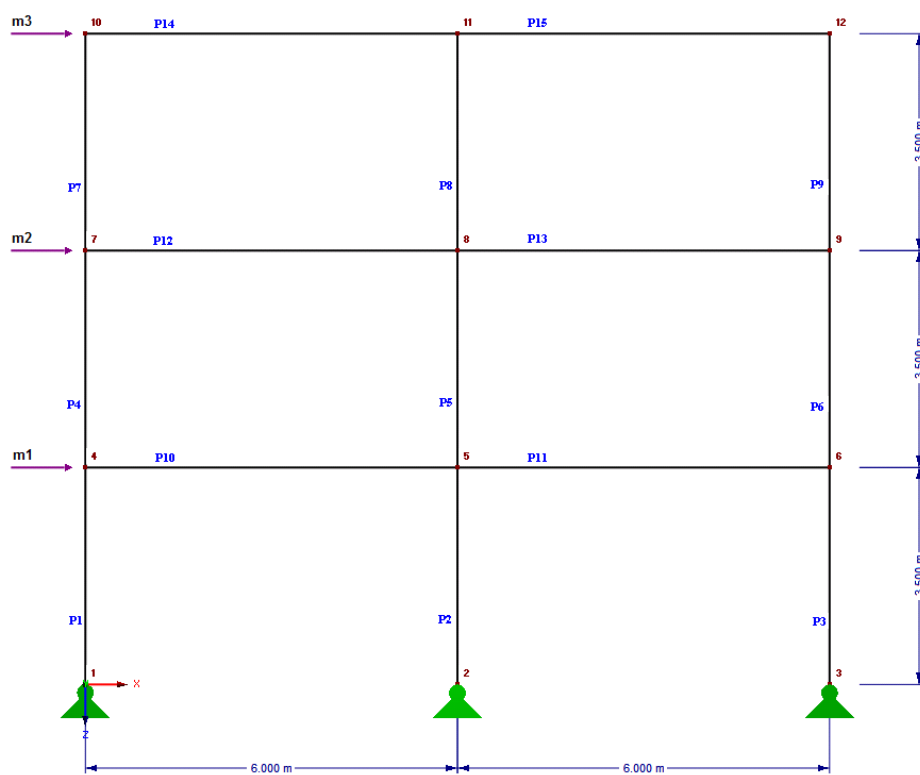
a náhradního zatížení

$$F_{j,i} = \frac{m_{e,i}}{L_j} \cdot m_i \cdot \psi_{j,i} \cdot S_e$$

, dospějeme k následujícím výsledkům, které se zcela shodují s náhradními břemeny spočtenými v modulu RF-DYNAM:

Uzel	Vlastní tvar 1	Vlastní tvar 2	Vlastní tvar 3	Vlastní tvar 4
	$m_{e,j}=926365[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]	$m_{e,j}=270419[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]	$m_{e,j}=92858[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]	$m_{e,j}=147476[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]
1	0	0	0	0
2	51606,496	-186899,042	125377,2	-33110,9255
3	32240,0909	170487,677	-318649,346	124853,349
4	14562,2595	274648,344	232965,457	-233151,235
5	2101,81372	71566,4098	192450,971	510098,276
6	0	0	0	0

6.5 Modální analýza rámu



Obr. 6.15: Náčrt k příkladu 5: Modální analýza rámu

Tento příklad jsme převzali z literatury [13], str. 99 a násl. a str. 117 a násl..

Pruty 14, 15: $EI_R = 32\,000\text{ KNm}^2$

Pruty 10, 11, 12, 13: $2 EI_R = 64\,000\text{ KNm}^2$

Pruty 1, 4, 7 a 3, 6, 9: $EI_S = 30\,000\text{ KNm}^2$

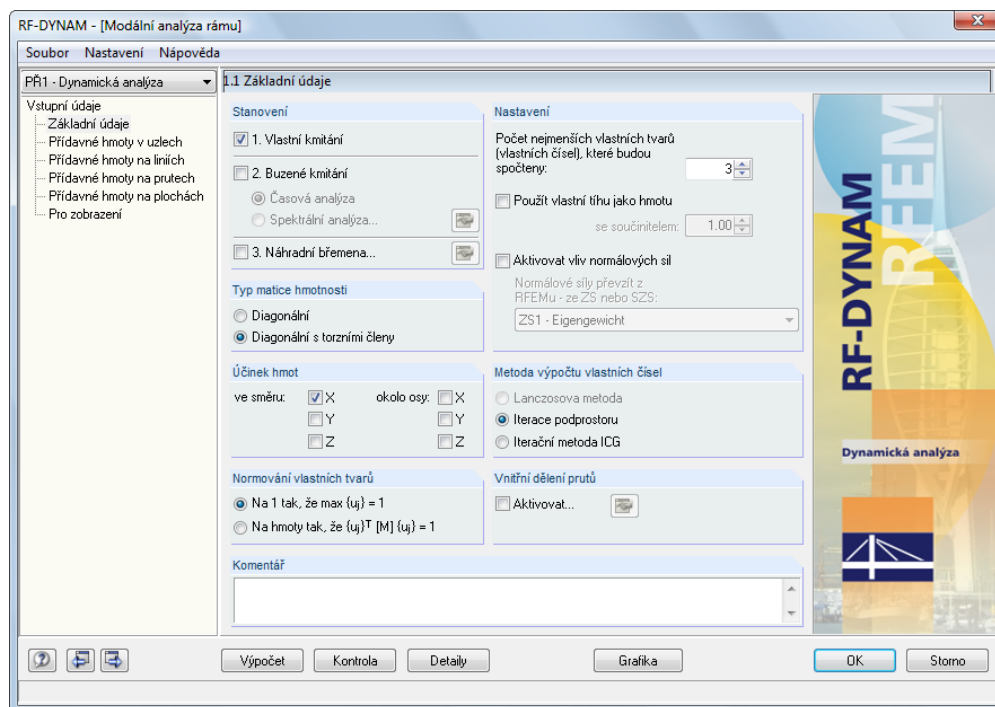
Pruty 2, 5, 8: $2 EI_S = 60\,000\text{ KNm}^2$

$m_1 = 8\text{ t}$

$m_2 = m_3 = 30\text{ t}$

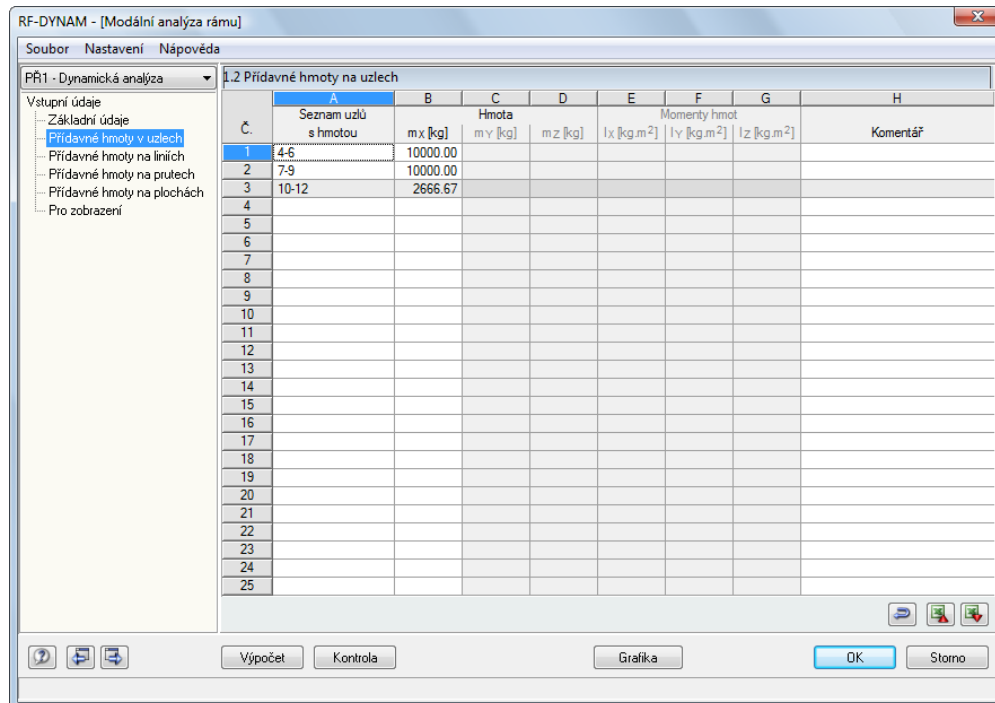
V tomto příkladu spočítáme tři první vlastní tvary.

Výpočet tří prvních vlastních period:

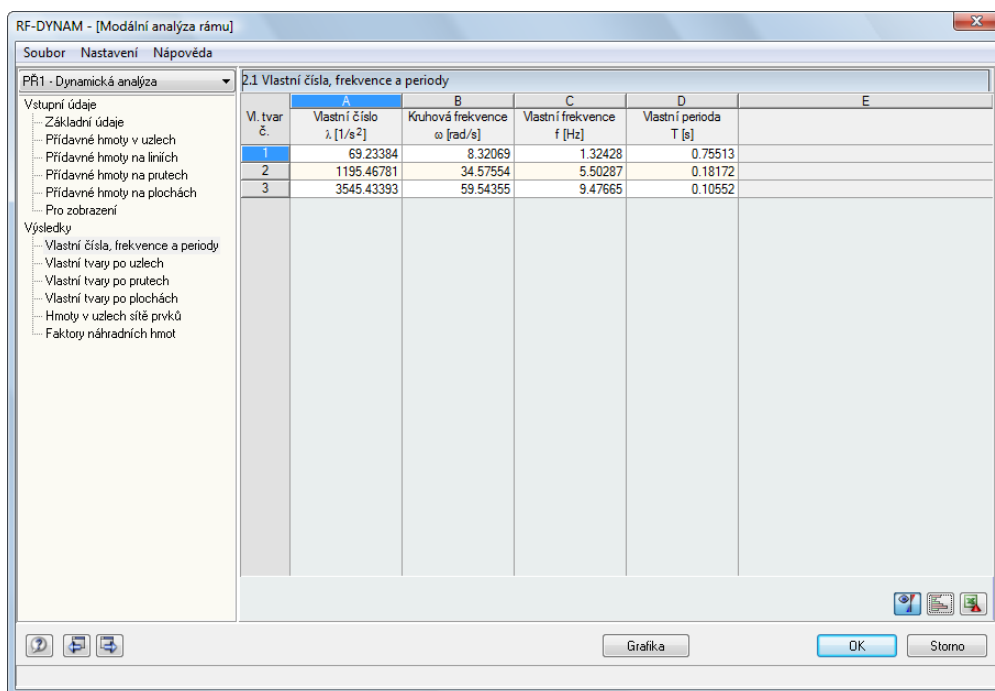


Obr. 6.16: Dialog 1.1 *Základní údaje* bez zohlednění vlastní tíhy

Přepoččet hmot m_1 , m_2 a m_3 na přidavné hmoty v uzlech:



Obr. 6.17: Dialog 1.2 *Přidavné hmoty na uzlech*



Obr. 6.18: Dialog 2.1 Vlastní čísla, frekvence a periody

Následující tabulka porovnává výsledky spočítané v modulu RF-DYNAM s výsledky z literatury:

Vlastní tvar č.	Vlastní perioda T_i [s]	
	DYNAM	Literatura [13]
1	0,75513	0,755128
2	0,18172	0,181723
3	0,10552	0,105522

A: Literatura

- [1] Klingmüller, O. Lawo, M., Thierauf, G. (1983)
Stabtragwerke, Matrizenmethoden der Statik und Dynamik, Teil 2: Dynamik
Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- [2] Klotter, K. (1981)
Technische Schwingungslehre, Bd. 1, Teil A: Lineare Schwingungen, Teil B:
Nichtlineare Schwingungen, Bd. 2: Schwinger von mehreren Freiheitsgraden,
Springer, Berlin
- [3] Kolousek, V. (1962)
Dynamik der Baukonstruktionen
VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin
- [4] Krämer, E. (1984)
Maschinendynamik
Springer, Berlin
- [5] Lehmann, T. (1979)
Elemente der Mechanik IV: Schwingungen, Variationsprinzip
Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- [6] Lipinski, J. (1972)
Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen
Bauverlag, Wiesbaden
- [7] Lorenz, H. (1960)
Grundbau-Dynamik
Springer, Berlin
- [8] Müller, F. P. (1978)
Baudynamik, Betonkalender 1978
Ernst & Sohn, Berlin
- [9] Natke, H. G. (1989)
Baudynamik
B. G. Teubner, Stuttgart
- [10] Nowacki, W. (1974)
Baudynamik
Springer, Berlin
- [11] Petersen, Ch. (1996)
Dynamik der Baukonstruktion
Vieweg Verlag, Wiesbaden
- [12] Flesch, R. (1993)
Baudynamik, praxisgerecht
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- [13] Meskouris, K. (1999)
Baudynamik, Modelle Methoden Praxisbeispiele
Ernst & Sohn, Berlin
- DIN 1311 Schwingungslehre
 - Bl. 1 Kinematische Begriffe, Febr. 1974
 - Bl. 2 Einfache Schwinger, Dez. 1974
 - Bl. 3 Schwingungssysteme mit endlich vielen Freiheitsgraden, Dez. 1974
 - Bl. 4 Schwingende Kontinua, Wellen, Febr. 1974

- DIN 4024 Maschinenfundamente
Bl. 1 Elastische Stützkonstruktionen für Maschinen mit Entwurf rotierender Massen, Mai 1983
- DIN 4024 Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen
(vorzugsweise Tisch-Fundamente für Dampfturbinen), Jan. 1955
- DIN 4025 Fundamente für Amboßhämmer (Schabotte-Hämmer).
Hinweise für die Bemessung und Ausführung, Okt. 1958
- DIN 4112 Fliegende Bauten. Richtlinie für Bemessung und Ausführung, Febr. 1983
- DIN 4131 Antennentragwerke aus Stahl. Berechnung und Ausführung, März 1969
- DIN 4132 Kranbahnen, Stahltragwerke. Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchführung und Ausführung, Febr. 1981
Beiblatt Erläuterungen, Febr. 1981
- DIN 4133 Schornsteine aus Stahl. Statische Berechnung und Ausführung, Aug. 1973
- DIN 4149 Bauten in deutschen Erdbebengebieten
Teil 1: Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, April 1981, Beiblatt 1
Teil 1: Zuordnung von Verwaltungsgebieten zu den Erdbebenzonen, April 1981
- DIN 4150 Erschütterung im Bauwesen
Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung von Schwingungsgrößen
Vornorm, Sept. 1975
Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, März 1986
Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Mai 1986
- DIN 4178 Glockentürme. Berechnung und Ausführung, Aug. 1978
- VDI 205 Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von Maschinen,
Okt. 1964
- VDI 2057 Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen,
Mai 1987
Bl. 1 Grundlagen, Gliederung, Begriffe
Bl. 2 Bewertung
Bl. 3 Beurteilung
Bl. 4.1 Messung und Bewertung von Arbeitsplätzen in Gebäuden
Bl. 4.2 Messung und Bewertung von Arbeitsplätzen auf Landfahrzeugen
Bl. 4.3 Messung und Beurteilung für Wasserfahrzeuge
- VDI 2062 Schwingungsisolierung
Bl. 1 Begriffe und Methoden, Jan. 1976
Bl. 2 Isolierelemente, Jan. 1976
- VDI 3831 Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, allgemeine Schutzmaßnahmen, Beispiele, Nov. 1985
- KTA 2201 (Kerntechnische Anlagen): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
Teil 1 Grundsätze, Jan. 1975
Teil 2 Baugrund, Nov. 1982
Teil 4 Auslegung der maschinenelektrotechnischen Anlagenteile, Nov. 1983
Teil 5 Seismische Instrumentierung, Jan. 1977