

RIBtec BEST – výpočet a přenos zatížení sloupu z průběhu vnitřních sil v prostorovém výpočetním modelu celého objektu

Běžným pracovním postupem, zejména u prefabrikovaných betonových nosných konstrukcí, je návrh únosnosti rozhodujících prvků ve dvou pracovních krocích:

Zjištění silových toků a zatížení nosných prvků na prostorovém výpočetním modelu celého objektu, řešeným zpravidla lineárně-elastickým výpočtem FEM.

1. Zúžený výběr rozhodujících, typických prvků a jejich detailní statická analýza a návrh nelineárním výpočtem; pro účely tohoto newsletteru se v dalším textu omezíme jen na betonové sloupy.

Výhodou této metody „rozkladu na hlavní nosné prvky“ je relativně snadný, rychlý, funkční, konvergenčně bezproblémový a kontrolovatelný výpočet prostorového modelu, při současně velmi hospodárném a bezpečném nelineárním výpočtu a návrhu rozhodujících prvků. Rozklad na nosné prvky navíc v případě prefabrikace přímo koresponduje s jejich výrobou a skutečným prováděním konstrukce.



Velmi častým uživatelským dotazem, souvisejícím s tímto postupem, je dotaz na způsob zadání zatížení nosného prvku (sloupu) tak, aby výsledný průběh vnitřních sil na sloupu, pro řešení dle teorie I. řádu a bez zohlednění výrobních imperfekcí, odpovídal průběhu vnitřních sil zjištěnému na prostorovém výpočetním modelu celého objektu.

Lineární versus nelineární výpočet

U lineárních výpočtů platí princip superpozice zatížení, tudíž je nalezení obálky max. vnitřních sil pro všechny vyšetřované návrhové kombinace relativně triviální úlohou. Oproti tomu u nelineárních výpočtů, kombinujících v sobě popř. více nelineárních vlivů, jako např. teorie II. řádu, směr a velikost výrobní imperfekce, vyloučení tahových napětí v betonu, omezení tlakových přetvoření betonu a tahových přetvoření výztuže, vliv dotvarování atd., princip superpozice neplatí. Z tohoto důvodu požadavek typu: „Zadat do nelineárního programu jen obálku všech vnitřních sil zjištěnou z prostorového modelu celého objektu.“ nemá fyzikální smysl!

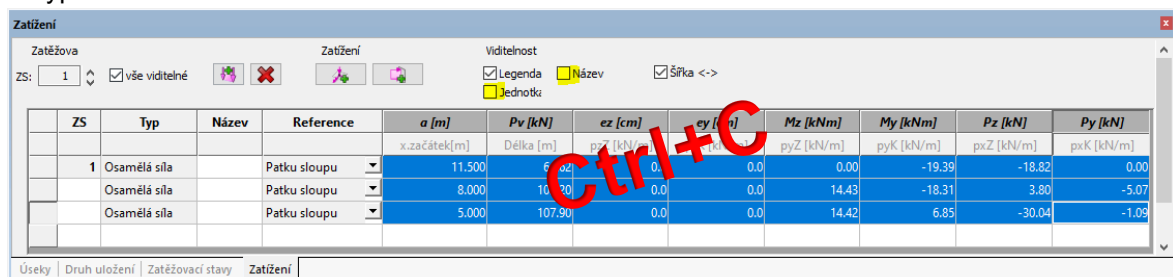


U nelineárních výpočtů, což je případ programu RIBtec BEST, neplatí princip superpozice! Každá řešená návrhová kombinace vnitřně představuje samostatný nelineární výpočet a návrh. Na pořadí zadání návrhových kombinací proto může i záležet (ne však příliš významně)! Jediným společným, rozhodujícím výsledkem z hlediska návrhu betonového prvku je obálka jeho nutných ploch výztuže zjištěná pro všechny řešené návrhové kombinace a mezní stavy.

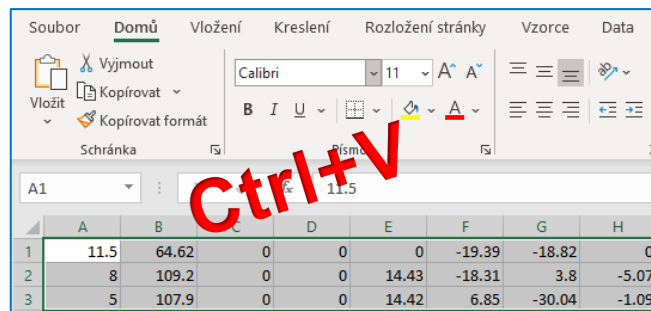
Ve smyslu výše uvedeného a pro dosažení skutečně hospodárného návrhu je nezbytné **zadání zatížení prvku do nelineárního výpočtu a návrhu způsobem „po zatěžovacích stavech“** (ZS) a tvorba, resp. výpočet jednotlivých, zvolených návrhových kombinací (Ed) až v přímo v nelineárním programu (BEST).

Automatizace výpočtu hodnot a zadání zatížení po ZS do RIBtec BEST 21.0

Tabulka zatížení v grafickém prostředí RIBtec BEST 21.0 umožňuje prostřednictvím standardní schránky Windows (funkce Kopírovat/Vložit, tedy Ctrl+C/Ctrl+V) obousměrný přímý přenos hodnot do tabulkových procesorů typu Excel takto:



ZS	Typ	Název	Reference	a [m]	Pv [kN]	ez [cm]	ey [cm]	Mz [kNm]	My [kNm]	Pz [kN]	Py [kN]
				x.začátek[m]	Délka [m]	pyZ [kN/m]	pyK [kN/m]	pxZ [kN/m]	pxK [kN/m]		
1	Osamělá síla		Patku sloupu	11.500	6.00	0.0	0.0	0.00	-19.39	-18.82	0.00
	Osamělá síla		Patku sloupu	8.000	16.90	0.0	0.0	14.43	-18.31	3.80	-5.07
	Osamělá síla		Patku sloupu	5.000	107.90	0.0	0.0	14.42	6.85	-30.04	-1.08



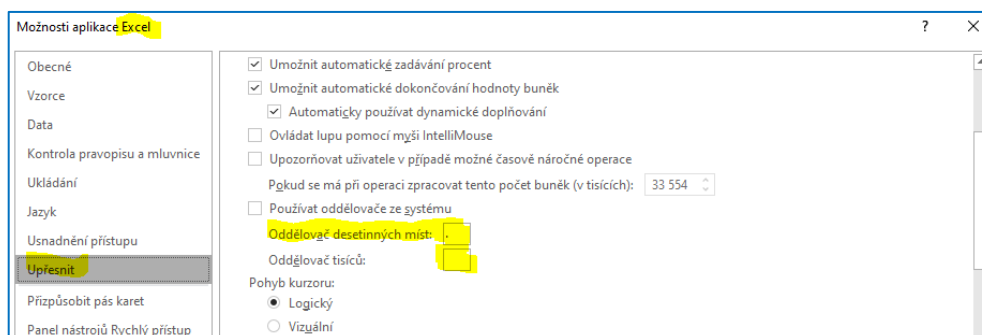
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	11.5	64.62	0	0	0	-19.39	-18.82	0
2	8	109.2	0	0	14.43	-18.31	3.8	-5.07
3	5	107.9	0	0	14.42	6.85	-30.04	-1.09

Tuto funkcionalitu lze velmi efektivně využít při zadání hodnot zatížení do sloupu v uzlech (podlažích) řešené konstrukce.



Podle konkrétní konfigurace pracoviště a tzv. regionálních nastavení je třeba mezi prostředím RIBtec BEST a tabulkovým procesorem Excel sledit nastavení znaménka oddělovače desítných míst (tečka) a tisíců (mezera) a dále, při přenosu z programu BEST do Excelu v tabulce zatížení vypnout zatržení zobrazování Názvu a Jednotky zatížení.

U sešitů Excel může být toto nastavení individuální, pomocí funkce Soubor > Možnosti > Upřesnit:



Metodický postup při přepočtu průběhu vnitřních sil sloupu na zatížení

Průběh vnitřních sil v prvku na prostorovém modelu – po zatěžovacích stavech – odpovídá jeho vazebním podmínkám (= navazující konstrukce) a celkovému vnějšímu zatížení konstrukce, popř. jen prvku. Z podmínek statické rovnováhy odpovídá zrušení vazby na okolní konstrukce zavedení příslušné reakce = vnějšího zatížení na prvek (na sloup).



Zásadním předpokladem správnosti řešení a použitelnosti vnitřních sil z lineárně-elastického celkového modelu konstrukce v jejich níže popsaném přepočtu na vnější zatížení „vyjmutého“ prvku je, že globální prostorový model (FEM) celého objektu zohledňuje korespondující excentricity spojů konstrukčních prvků, tj. excentricitu spojů sloup (konzola) – nosník atd. Pokud toto v modelu 3D obsaženo není, pak je nutné ve výpočtu sloupu explicitně navýšit počáteční deformaci sloupu (e) o tyto plánované excentricity (e_1), tj. zadat celkovou počáteční deformaci sloupu v součtu s imperfekcí dle použité normy ($e = e_i + e_1$).

Pro stavebně-praktické případy, kdy lze u sloupů očekávat spíše skokové změny v průbězích vnitřních sil v diskretních bodech podlaží a závěsů vnitřních konstrukcí, je zpětný výpočet, směrem shora dolů, příslušné silové a momentové reakce, ze známého průběhu korespondující vnitřní síly poměrně snadný:

- svislé přetížení sloupu v podlaží = rozdíl mezi horní a dolní odečtenou hodnotou průběhu normálové síly;
- směrové příčné přetížení sloupu v podlaží = rozdíl mezi horní a dolní odečtenou hodnotou průběhu směrové posouvající síly;
- směrový přetěžující ohybový moment sloupu v podlaží = rozdíl mezi horní a dolní odečtenou hodnotou směrového vnitřního momentu, ponížený o ohybové momenty vlivem přetěžujících, směrově korespondujících, příčných sil z vyšších podlaží.



Při existenci přímých spojitých zatížení na sloup v příčném směru (např. od větru) je zpětný přepočet vnitřních sil na zatížení poněkud komplikovanější.

Vliv spojitého zatížení od vlastní tíhy sloupu ve svislém směru se automaticky ve výpočtu BEST zohledňuje a tudíž není nutné toto spojitě zatížení ve zpětném přepočtu vnitřních sil uvažovat.

Praktické potíže s aplikací výše uvedeného výpočtu zatížení spočívají jednak v jeho potenciální numerické pracnosti, jednak v **důsledné interpretaci orientace souřadných systémů v používaném softwaru a v respektování znaménkové konvence vnitřních sil a zatížení**. Po vyřešení těchto „základních otázek“ lze však tento postup po jednotlivých zatěžovacích stavech (ZS) částečně zautomatizovat např. v sešitu Excel. Využitím již zmíněné funkce kopírování (Ctrl+C/Ctrl+V) celé tabulky zatížení v jednom kroku přes schránku Windows lze navíc předejít další možným chybám vznikajících při ručním opisování hodnot zatížení.

Pomůcka pro výpočet zatížení z vnitřních sil – tabulka Excel, až pro 10 podlaží

Pro interpretaci zmíněných postupů byl navržen následující sešit Excel, skládající se ze 2 tabulek. Pro přehlednost zadání se na jednom listu Excel zadávají vnitřní síly a počítají korespondující zatížení pro jeden zatěžovací stav.



Další zatěžovací stavy lze ve stejném sešitu Excel zadat a trvale uchovat (uložit) zkopírováním listu „ZS1“ na list „ZS2“, „ZS3“, ...

Tabulka vnitřních účinků odečtených z prostorového výpočetního modelu objektu

V tabulce vnitřních účinků (sil) se zadávají:

- výšková souřadnice podlaží od paty sloupu,
- odečtené hodnoty směrových vnitřních sil shora a zdola v uzlu (=podlaží) sloupu.

Vnitřní účinky z výpočtu modelu FEM											
výška podlaží z	délka úseku	horní N _{xh} vnitřní normálová síla	dolní N _{xd} - svíslé zatížení + vnitřní normálová síla	horní M _{zh} + vnitřní ohybový moment	dolní M _{zd} - ohybový moment zatížení + vnitřní ohybový moment	horní M _{yh} + vnitřní ohybový moment	dolní M _{yd} - ohybový moment zatížení + vnitřní ohybový moment	horní V _{zh} + vnitřní posouvající síla	dolní V _{zd} - příčné zatížení + vnitřní posouvající síla	horní V _{yh} + vnitřní posouvající síla	dolní V _{yd} - příčné zatížení + vnitřní posouvající síla
11.50	3.50		-64.62		0.00		-19.39		-18.82		0.00
8.00	3.00	-78.62	-187.82	0.00	14.43	46.50	28.17	-18.82	-15.02	0.00	-5.07
5.00	5.00	-199.82	-307.72	-0.79	13.64	73.23	80.08	-15.02	-45.06	-5.07	-6.16
0.00		-337.72		-17.18		305.38		-45.06		-6.16	

Délky úseků sloupu (= výšky podlaží = ramena sil) se počítají automaticky, přičemž nula souřadnice „z“ leží v patě sloupu. Tabulka je formálně připravena pro 10-ti podlažní sloup.



POZOR na změny v souřadných systémech programu BEST od verze 21.0! Tyto změny mají dopad rovněž do uspořádání sloupců pomocné tabulky Excel na výpočet a přenos zatížení sloupu, spočtených z průběhů vnitřních sil stanovaných v prostorových výpočetních modelech.

Tabulka výpočtu zatížení pro jeho zadání (zkopírování) do RIBtec BEST

V této tabulce se všechny hodnoty automaticky počítají z vyplněné tabulky v předchozím kroku. Interpretace přepočtu vnitřních sil na zatížení sloupu automaticky končí na prázdné buňce výšky podlaží v předchozí tabulce.

Zatížení pro překopírování do RIBtec BEST 21.0 do tabulky zatížení (Ctrl+C / Ctrl+V) již vytvořeného ZS							
výška od paty sloupu	Pv	ez	ey	Mz	My	Pz	Py
11.50	64.62	0.00	0.00	0.00	-19.39	-18.82	0.00
8.00	109.20	0.00	0.00	14.43	-18.31	3.80	-5.07
5.00	107.90	0.00	0.00	14.42	6.85	-30.04	-1.09

Vlastní tíhu ŽB sloupu nechat v BESTu automaticky počítat nebo zadat jako zatížení!

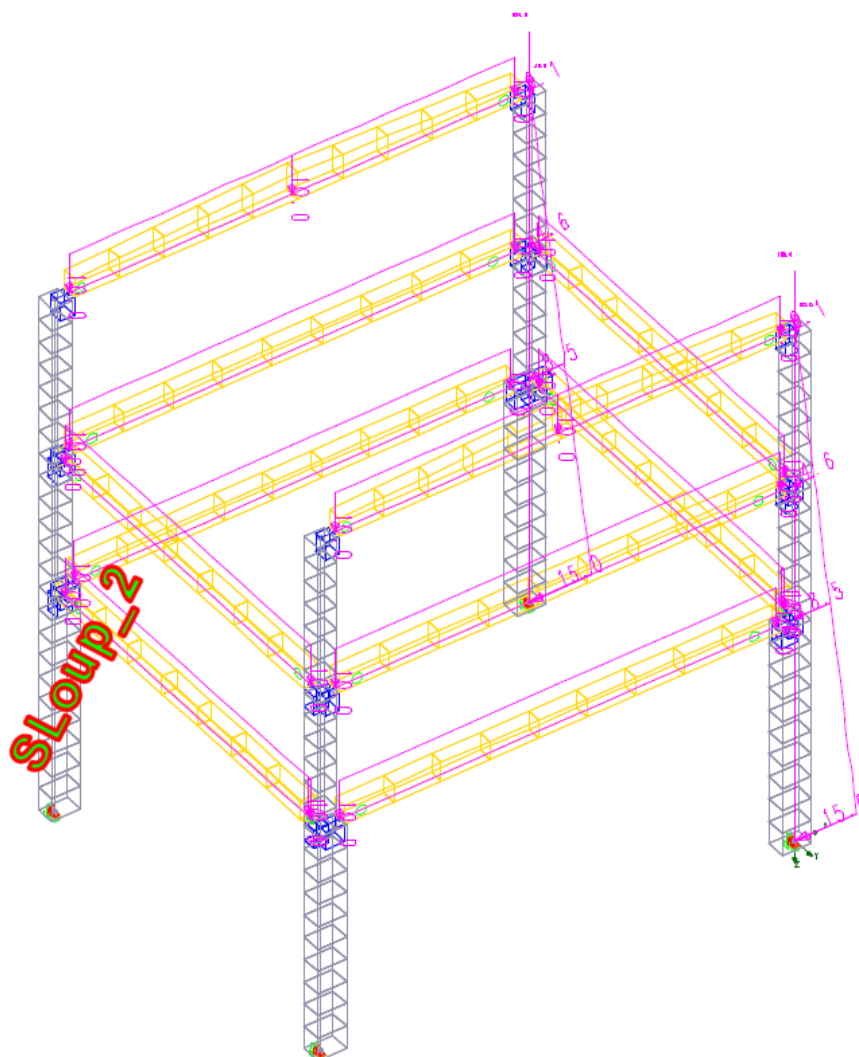
Výběr oblasti tabulky obsahující numerické hodnoty lze pomocí standardní funkce Windows (Ctrl+C/Ctrl+V) přímo zkopírovat do příslušného zatěžovacího stavu v prostředí zadání RIBtec BEST.



Tento Newsletter, včetně uvedeného sešitu Excel s naprogramovaným přepočtem vnitřních sil na zatížení pro až 10 podlaží a následujícího příkladu použití, je součástí instalace programu BEST od verze 21.0. Nachází se v podsložce demonstračních příkladů „...\\Demo\RIBtec\Best\Newsletter\Zatížení z modelu 3D“.

Praktický příklad a kontrola výsledků

Pro ověření postupu a správnosti přepočtu byl sestaven schématický, globální prostorový výpočetní model jednoduchého vícepodlažního objektu (RIBfem TRIMAS®) a zpracován tímto postupem.

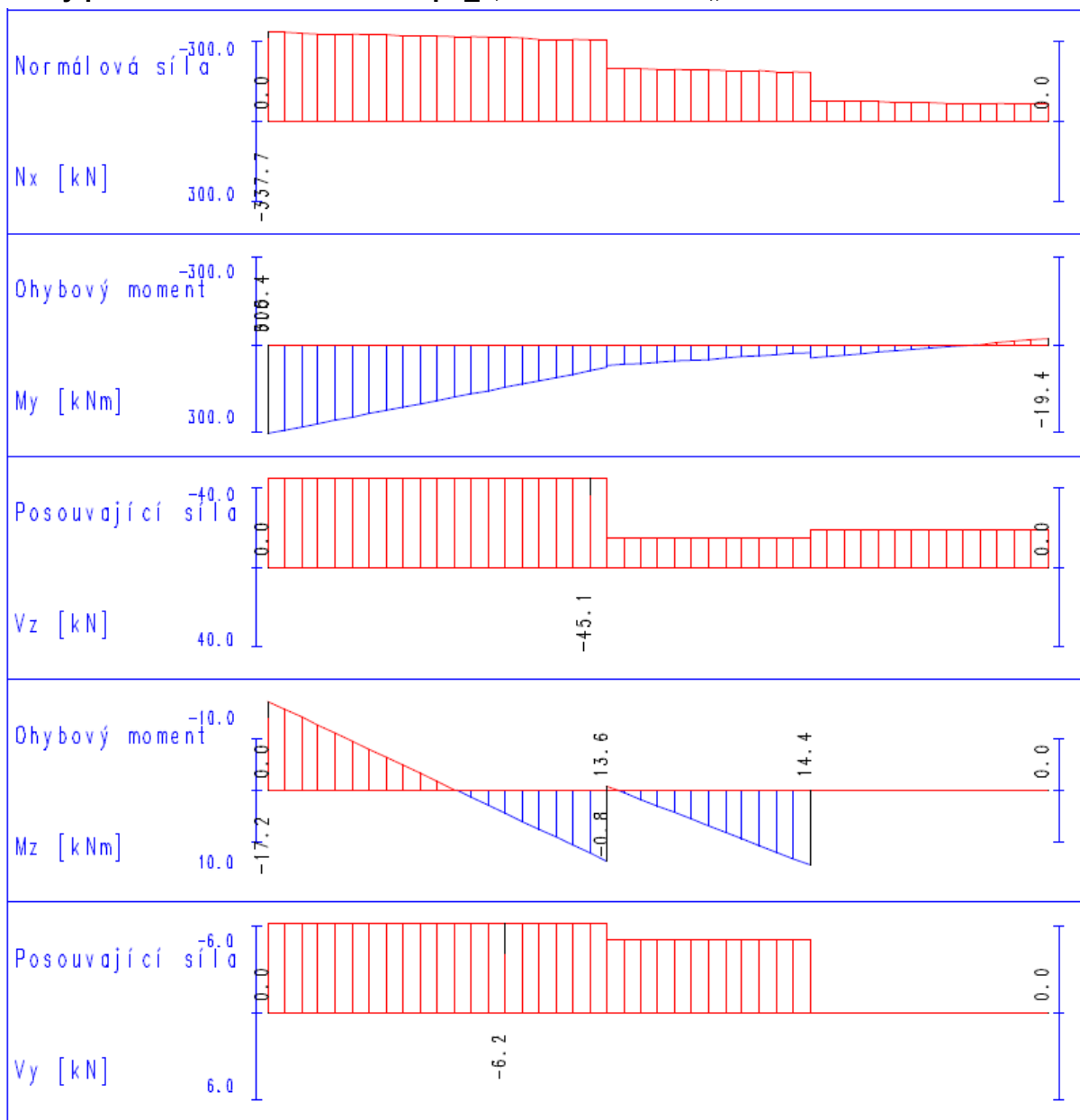


Výpočtem vnitřních účinků byl pro zatěžovací stav „G“ zjištěn na sloupu následující průběh vnitřních sil v uzlových bodech podlaží:

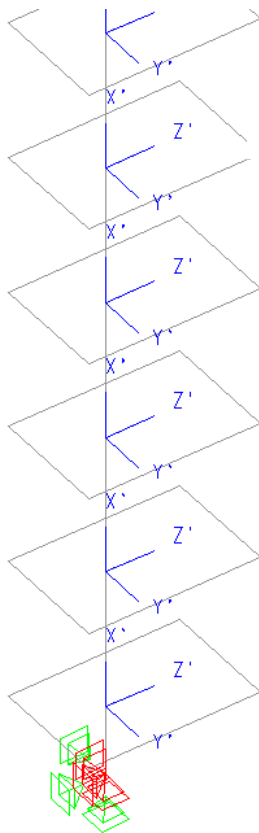
Numerický průběh vnitřních sil na Sloupu_2, zatěžovací stav „G“

x m	N _x [kN]	M _y [kNm]	V _z [kN]	M _z [kNm]	V _y [kN]
Nosník: Sloupy_2 (x/y/z = -10.00/-8.00/0.00 bis -10.00/-8.00/-11.50)					
0.00	-337.72	305.38	-45.06	-17.18	-6.16
5.00	-307.72	80.08	-45.06	13.64	-6.16
5.00	-199.82	73.23	-15.02	-0.79	-5.07
8.00	-187.82	28.17	-15.02	14.43	-5.07
8.00	-78.62	46.50	-18.82	0.00	0.00
11.50	-64.62	-19.39	-18.82	0.00	0.00

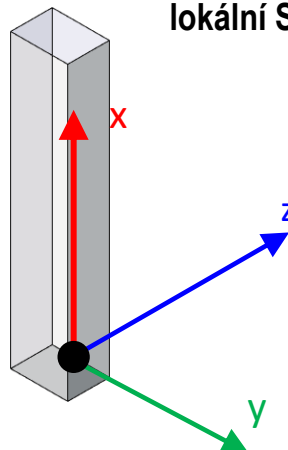
Grafický průběh vnitřních sil na Sloupu_2, zatěžovací stav „G“



Orientace lokálních systémů konečných prvků Sloupu _2 v prostorovém modelu TRIMAS, korespondující se směry spočtených vnitřních sil a lokální souřadný systém pro směry zatížení v programu BEST jsou zřejmé z následujících obrázků:



**lokální SS
konečných prvků ve 3D**



lokální SS BEST



POZOR na změny v souřadných systémech programu BEST od verze 21.0! Tyto změny mají dopad rovněž do uspořádání sloupců pomocné tabulky Excel na výpočet a přenos zatížení sloupu, spočtených z průběhů vnitřních sil stanovaných v prostorových výpočetních modelech.

Vyplněná tabulka odečtených vnitřních sil z prostorového modelu FEM

Zjištěným průběhům vnitřních sil odpovídá následující vyplněná tabulka:

Vnitřní účinky z výpočtu modelu FEM												
výška podlaží z	délka úseku	horní N _{xh} vnitřní normálová síla	dolní N _{xd} - svíslé zatížení + vnitřní normálová síla	horní M _{zh} + vnitřní ohybový moment	dolní M _{zd} - ohybový moment zatížení + vnitřní ohybový moment	horní M _{yh} + vnitřní ohybový moment	dolní M _{yd} - ohybový moment zatížení + vnitřní ohybový moment	horní V _{zh} + vnitřní posouvající síla	dolní V _{zd} - příčné zatížení + vnitřní posouvající síla	horní V _{yh} + vnitřní posouvající síla	dolní V _{yd} - příčné zatížení + vnitřní posouvající síla	
11.50	3.50		-64.62		0.00		-19.39		-18.82		0.00	
8.00	3.00	-78.62	-187.82	0.00	14.43	46.50	28.17	-18.82	-15.02	0.00	-5.07	
5.00	5.00	-199.82	-307.72	-0.79	13.64	73.23	80.08	-15.02	-45.06	-5.07	-6.16	
0.00		-337.72		-17.18		305.38		-45.06		-6.16		

Tabulka automaticky spočtených zatížení pro přenos do RIBtec BEST

Zadaným průběhům vnitřních sil ve 3D pak odpovídá následující, automaticky spočtené zatížení pro přenos (Ctrl+C, Ctrl+V) do RIBtec BEST:

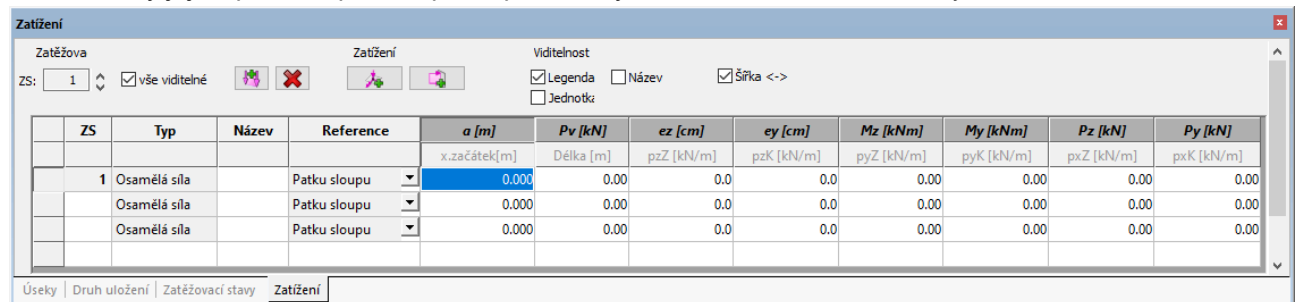
Zatížení pro překopírování do RIBtec BEST 21.0 do tabulky zatížení (Ctrl+C / Ctrl+V) již vytvořeného ZS							
výška od paty sloupu	Pv	ez	ey	Mz	My	Pz	Py
11.50	64.62	0.00	0.00	0.00	-19.39	-18.82	0.00
8.00	109.20	0.00	0.00	14.43	-18.31	3.80	-5.07
5.00	107.90	0.00	0.00	14.42	6.85	-30.04	-1.09

Vlastní tíhu ŽB sloupu nechat v BESTu automaticky počítat nebo zadat jako zatížení!

Vlastní přenos zatížení z tabulky Excel do RIBtec BEST

V prostředí RIBtec BEST zadáme samostatně stojící sloup s korespondujícím geometrickým uspořádáním, avšak bez podpor v místech podlaží, resp. podporu zadáme pouze ve větknutí sloupu do základu.

Vytvoříme nový zatěžovací stav „G“ a v tabulce, na záložce *Zatížení* formálně vytvoříme řádky nulových zatížení tak, aby jejich počet odpovídal počtu přenášených řádků z zatížení z tabulky Excel.



ZS	Typ	Název	Reference	a [m]	Pv [kN]	ez [cm]	ey [cm]	Mz [kNm]	My [kNm]	Pz [kN]	Py [kN]
1	Osamělá síla	Patku sloupu		0.000	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	Osamělá síla	Patku sloupu		0.000	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	Osamělá síla	Patku sloupu		0.000	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00



Podle konkrétní konfigurace pracoviště a tzv. regionálních nastavení je třeba mezi prostředím RIBtec BEST a tabulkovým procesorem Excel sladit nastavení znaménka oddělovače destinných míst (tečka) a tisíců (mezera).

Oblast přenášených zatížení označíme v tabulce Excel a vložíme pomocí Ctrl+C do schránky Windows. Přejdeme zpět do programu BEST a postavíme se v tabulce, na záložce *Zatížení* zatěžovacího stavu „G“ jeho 1. řádku do buňky a [m] a vložíme pomocí Ctrl+V ze schránky Windows obsah zkopírovaných zatížení z Excelu:

Zatížení

Zatěžova ZS: 1 vše viditelné Legenda Název Šířka <->

ZS	Typ	Název	Reference	a [m]	Pv [kN]	ez [cm]	ey [cm]	Mz [kNm]	My [kNm]	Pz [kN]	Py [kN]
				x.začátek[m]	Délka [m]	pxZ [kN/m]	pyZ [kN/m]	pyK [kN/m]	pxK [kN/m]		
1	Osamělá síla		Patku sloupu	11.500	64.00	0.0	0.0	0.00	-19.39	-18.82	0.00
	Osamělá síla		Patku sloupu	8.000	109.00	0.0	0.0	14.43	-18.31	3.80	-5.07
	Osamělá síla		Patku sloupu	5.000	107.90	0.0	0.0	14.42	6.85	-30.04	-1.03

Úseky | Druh uložení | Zatěžovací stavy | **Zatížení**



Pozor na nastavení Reference (= vztahu) výškové pořadnice zatížení. Navržený sešit Excel předpokládá vztah výškové pořadnice k patce sloupu (0,0 m).

Celý postup můžeme nyní opakovat pro další existující zatěžovací stavy.

Tvorba, resp. výběr návrhových kombinací pro vlastní výpočty a návrhy v RIBtec BEST již probíhá běžným způsobem, popsáním např. v příručce „Úvod do BEST“.

Ověření shody průběhů vnitřních sil spočtených v RIBtec BEST

Shodu průběhů vnitřních sil spočtených v RIBtec BEST s průběhy spočtenými na globálním výpočetním modelu (FEM) lze ověřit porovnáním charakteristických lineárních vnitřních účinků z teorie I. řádu:



Pro účely rychlého ověření korelace návrhových kombinací z BESTu s kombinacemi na globálním výpočetním modelu lze např. ověřit shodu s hodnotami reakcí do základu pro teorii I. řádu.

Relevantní část protokolu výpočtu RIBtec BEST řešeného příkladu

RIB Software SE
Soubor: Sloup_2.Besx

BEST V21.0 Build-Nr. 16042021

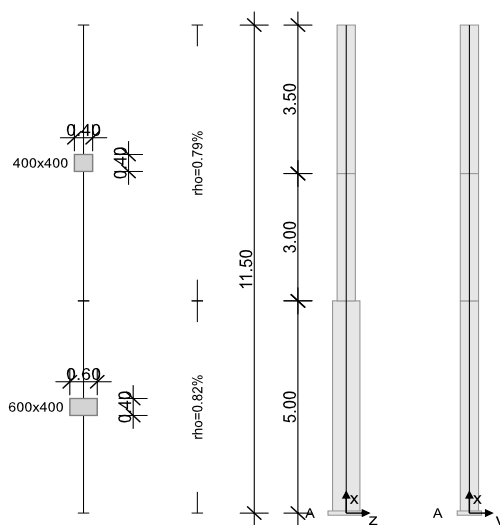
Typ: Železobetonový sloup

Informace o projektu

Zakázka
Popis
Položka
Konstrukční prvek

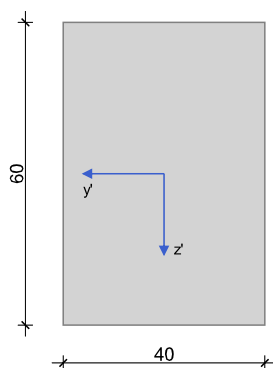
Newsletter RIBtec BEST
Přepočít a přenos zatížení z prostorového modelu FEM
Sloup_2
Vnitřní sloup

Systémové informace

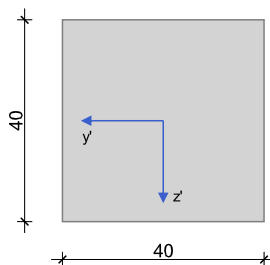


Geometrie sloupu

600x400



400x400



Zatížení

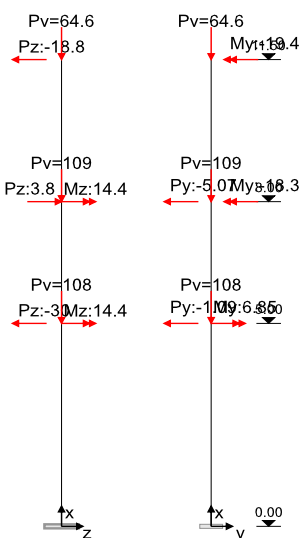
Zatěžovací stavy

ZS	Typ účinku	γ_{sup}	γ_{inf}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	Název
0	Stálé zatížení	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	
1	Stálé zatížení	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	G

P_v	Svislá osamělá síla	$e_{y/z}$	Excentricita svislého zatížení
$P_{y/z}$	Vodorovné síly	$p_{x/y/z}$ Z/K	Začátek / konec spojitého zatížení ve směru X/Y/Z
$M_{y/z}$	Osamělý moment kolem osy Y/Z	h_z	Výška dolního počátečního bodu spojitého zatížení
h	Výška působíště osamělého zatížení	Délka	Délka spojitého zatížení
Př	Přenos zatížení z jiného výpočtu		

Vlastní tíha: p_x [kN/m] = $\gamma \cdot A_{brutto}$ v ZS 0

Zatěžovací stav 1



Př	Zatížení	h [m]	P_v [kN]	e_z [m]	e_y [m]	M_z [kNm]	M_y [kNm]	P_z [kN]	P_y [kN]
		11.50	64.62				-19.39	-18.82	
		8.00	109.20			14.43	-18.31	3.80	-5.07
		5.00	107.90			14.42	6.85	-30.04	-1.09

Návrhové kombinace

Ed	Číslo návrhové kombinace	ZK	Základní kombinace
Typ	Typ kombinace	MK	Náraz (mimořád.)
		SK	Seizmická kombinace
rozh.	Tato návrhová kombinace je rozhodující pro jeden z posudků:	SP	Stabilita polohy
1,2,S	Teorie I. řádu, II. řádu nebo posouzení stability	V	Deformace na MSP

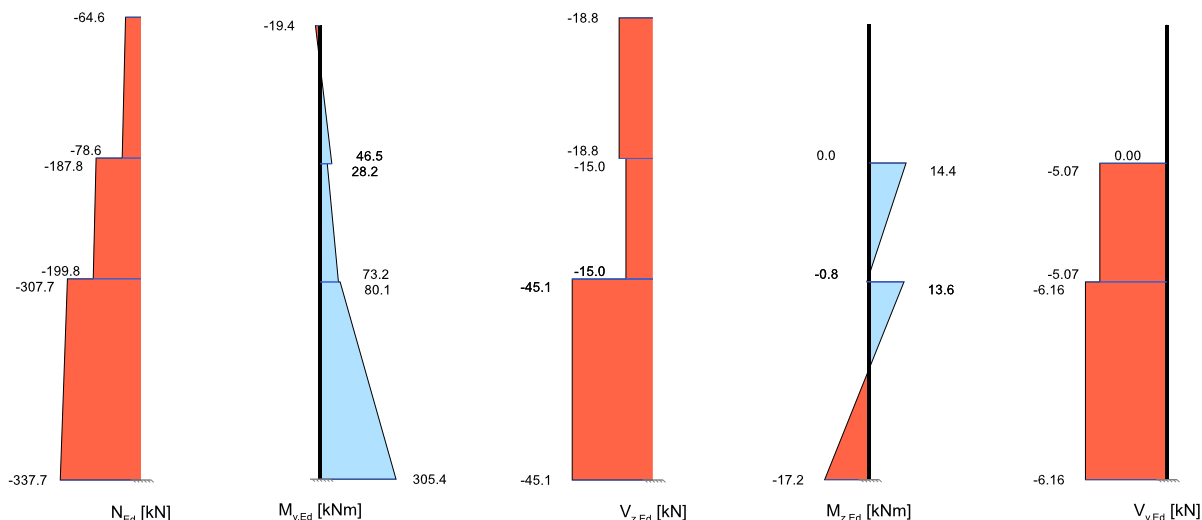
Ed	rozh.	Typ	Kombinace
3	2	ZK	1.00*ZS0+1.00*ZS1
1	1	DO	1.00*ZS0+1.00*ZS1
2	1,2,S	ZK	1.35*ZS0+1.35*ZS1

Výsledky

Teorie I. řádu

Vnitřní účinky dle teorie I. řádu

Vnitřní účinky pro Ed 3 (Teorie I. řádu)



Zatížení základu (teorie II. řádu)

EQU Mezní stav stability polohy
 STR Mezní stav únosnosti pro návrh prvků
 GEO-2 Geotechnický MS s charakteristickou Ed ($\gamma = 1.0$ a $\psi_{0,i} = \psi_{0,i STR}$)
 CHAR Charakteristická zatížení ($\gamma = 1.0$ a $\psi_i = 1.0$)

NS-P Stálá situace
 NS-A Mimořádná situace
 NS-E Seizmická situace

Ed	Typ	Situ- ace	P _z [kN]	M _x ^I [kNm]	M _y ^I [kNm]	H _x ^I [kN]	H _y ^I [kN]	ΔM _x ^{II} [kNm]	ΔM _y ^{II} [kNm]	ΔH _x ^{II} [kN]	ΔH _y ^{II} [kN]
2	STR	NS-P	455.9	-23.2	412.3	-60.8	-8.3	-16.6	70.9	0.0	0.0
2	GEO-2	NS-P	337.7	-17.2	305.4	-45.1	-6.2	-10.0	33.6	0.0	0.0
3	STR	NS-P	337.7	-17.2	305.4	-45.1	-6.2	-10.0	33.6	0.0	0.0
3	GEO-2	NS-P	337.7	-17.2	305.4	-45.1	-6.2	-10.0	33.6	0.0	0.0