

V Praze

18.5.2022

ŘEŠENÉ PŘÍKLADY

Marta KUŘÍKOVÁ, Matyáš KOŽICH,
Zuzana KUBÍKOVÁ a František WALD

České vysoké učení technické v Praze

FAILNOMORE

Mitigation of the risk of progressive collapse
in steel and composite building frames
under exceptional events

1. Úvod

1. Úvod
2. Ocelová konstrukce v neseismické oblasti
3. Kompozitní konstrukce v neseismické oblasti
4. Ocelová konstrukce v seismické oblasti
5. Kompozitní konstrukce v seismické oblasti

- **Předmět:** předvést uplatnitelnost navržených postupů pro návrh/hodnocení robustnosti ocelových a kompozitních ocelobetonových rámových soustav
- **Konstrukce zahrnuté v těchto řešených příkladech jsou původně navrženy tak, aby splňovaly požadavky na mezní stav únosnosti (MSÚ) a mezní stav použitelnosti (MSP) pro:**
 - **přetrvávající návrhové situace - neseismicky odolné konstrukce**
 - **trvalé a seismické návrhové situace - seismicky odolné konstrukce** (s dalšími požadavky na omezení škod DL)
- **Návrh robustnosti se provádí pomocí dvou hlavních přístupů:**
 - **Identifikované hrozby**
 - **Neidentifikované hrozby**

Typ konstrukce

Označení	Typ konstrukce
SS/NS	Ocelová konstrukce v neseismické oblasti
CS/NS*	Kompozitní konstrukce v neseismické oblasti
SS/S	Ocelová konstrukce v seismické oblasti
CS/S	Kompozitní konstrukce v seismické oblasti

* Konstrukce je vyrobena ve dvou konfiguracích - jedna s ocelovými sloupy a druhá s kompozitními sloupy. V obou případech jsou nosníky a desky navrženy jako kompozitní

- **Návrh robustnosti vyžaduje klasifikaci konstrukce podle tříd následků pro mimořádná zatížení**
- **Všechny konstrukce uvedené v řešených příkladech jsou zařazeny do třídy následků 2b (vyšší skupina rizika)**

IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Typy přístupů k identifikovaným zatížením a jejich použití

Konstrukce	Náraz		Vnější výbuch		Vnitřní výbuch		Lokální požár	Zemětřesení		
	Ekvivalentní statická síla	Zjednodušená dynamická analýza	Úplná dynamická analýza	Ekvivalentní analýza s jedním stupněm volnosti	Úplná dynamická analýza	Ekvivalentní přiblížení statického tlaku	Dynamický přístup (metoda ekvivalentu TNT)	Model lokálního požáru	Preskriptivní metoda	Plně numerická analýza (multi-hazard)
SS/NS										
CS/NS										
SS/S										
CS/S										

 Doporučené přístupy pro třídu následků zb (minimální požadavky)

 Dodatečné přístupy

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Typy přístupů k neidentifikovaným zatížením a jejich použití

Konstrukce	Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)				Klíčový element	Segmentace
	Preskriptivní metoda (metoda vazby)	Analytický přístup	Zjednodušená dynamická analýza	Plně numerický přístup		
SS/NS						
CS/NS						
SS/S						
CS/S						



Doporučené strategie pro třídu následků 2b (minimální požadavky)

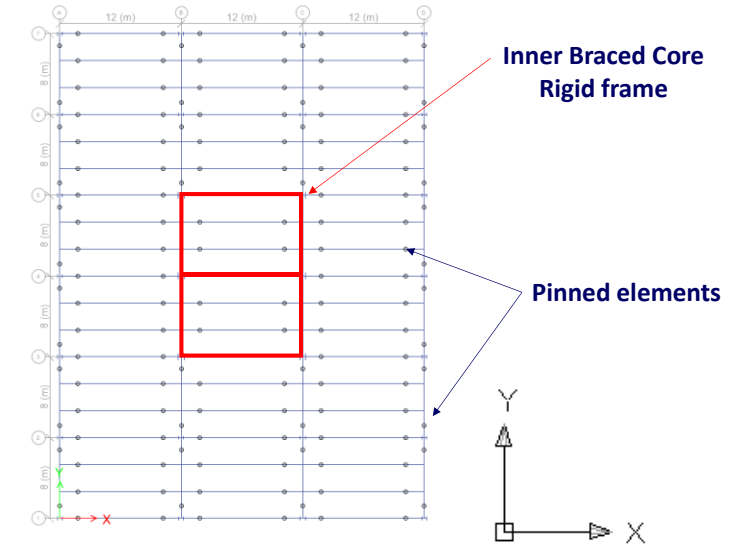
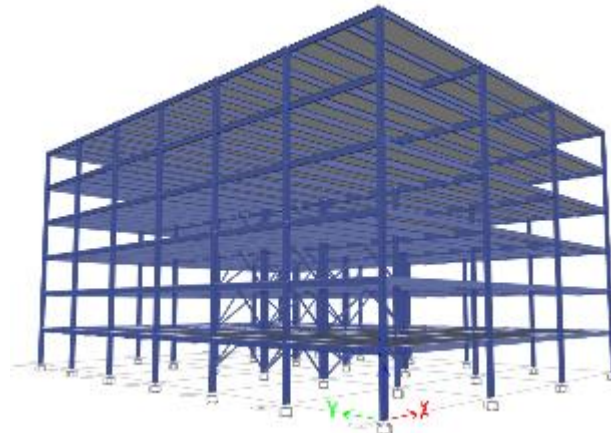


Dodatečné přístupy

GEOMETRIE A KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

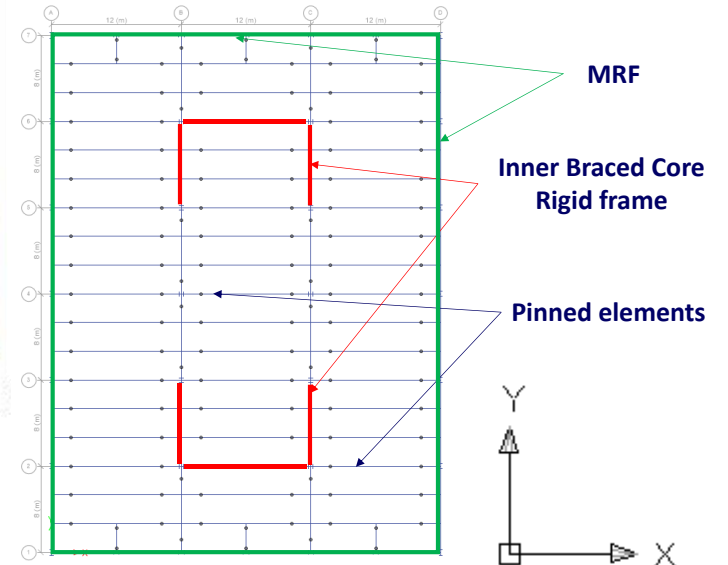
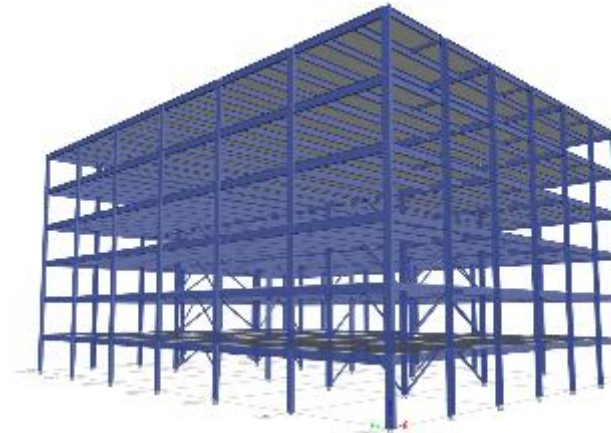
■ Neseismická oblast:

- 6 podlaží o výšce 4,0 m každé
- 6 polí s rozponem 8,0 m ve směru osy Y
- 3 pole s rozponem 12,0 m ve směru osy X



■ Seismická oblast:

- 6 podlaží o výšce 4,0 m každé;
- 6 polí s rozponem 8 m v podélném směru
- 3 pole s rozponem 12 m v příčném směru – vnitřní
- 6 polí s rozponem 6 m v příčném směru – obvod



ZATÍŽENÍ UVAŽOVANÁ PŘI NÁVRHU

■ Trvalá návrhová situace – všechny konstrukce

Zatížení	Typ konstrukce		
	SS/S & CS/S	CS/NS	SS/NS
	Lokace		
	Timis County, RO	Luxembourg	Aachen, DE
Stálé zatížení	- strop: $g_k = 5 \text{ kN/m}^2$ - Fasáda podepřena obvodovými sloupy): $g_k = 4 \text{ kN/m}$		
Proměnné zatížení	- Užité zatížení – kancelářské budovy: $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$ - Konstrukční zatížení $q_k = 1 \text{ kN/m}^2$ (obecně podlahy a střecha).		
Zatížení větrem			
Rychlost větru	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$	$v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Ekvivalentní tlak větru	$q_b = 0.4 \text{ kN/m}^2$	$q_b = 0.36 \text{ kN/m}^2$	$q_p = 0.9 \text{ kN/m}^2^*$
Kategorie terénu	III	III	"Binnenland"*
Snow load	$s_k = 1.5 \text{ kN/m}^2$	$s_k = 0.5 \text{ kN/m}^2$	$s_k = 0.85 \text{ kN/m}^2^{**}$

* Základní tlak větru podle DIN EN 1991-1-4/NA Tab. NA.B.3, jak se běžně používá v Německu. Nahrazuje pojem kategorie terénu. "Binnenland" lze přeložit jako "vnitrozemská oblast" nebo "vnitřní oblast" a používá se k odlišení od ostrovních a pobřežních oblastí.

** Sněhová zóna 2 podle DIN EN 1991-1-3/NA

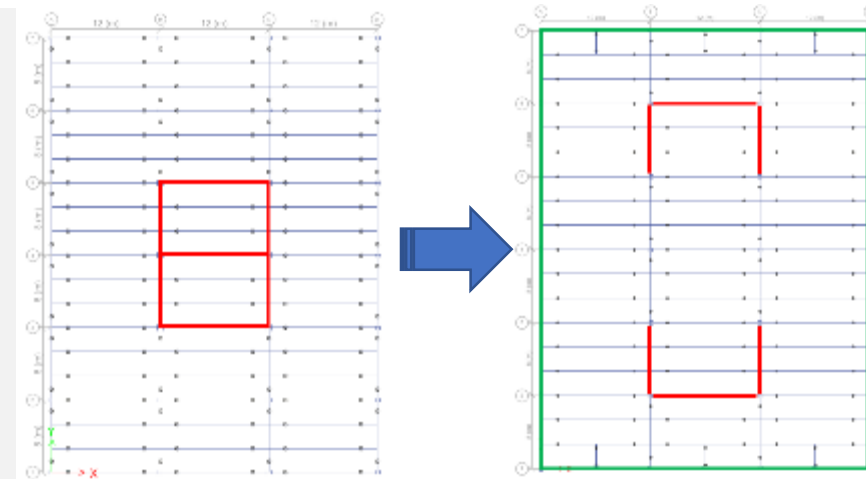
ZATÍŽENÍ UVAŽOVANÁ PŘI NÁVRHU

■ SEISMICKÁ NÁVRHOVÁ SITUACE - PRO KONSTRUKCE SS/S & CS/S (EUROCODE 8)

- Spektrum pružné odezvy: Typ 1
- Typ základové půdy: B
- Návrhové zrychlení půdy, $a_g = 0,25 \text{ g}$
- Součinitel duktility $q = 4.8$ (dual frame CBF+MRF)

■ BYLA PŘIJATA DODATEČNÁ OPATŘENÍ PRO SEISMICKY ODOLNÉ KONSTRUKCE:

- Ztužidla byla přesunuta do exteriéru (viz obrázky).
- Po obvodu byly na všech stranách přidány MRF (viz obrázky)
- Pro prutové soustavy odolné vůči seismickým účinkům se vyžaduje, aby se MRF podílely na celkové únosnosti minimálně 25 %. Tato podmínka vedla k následujícím:
 - Průřez nosníků a sloupů v MRF byl zvětšen, aby byly splněny podmínky
 - Na krátkých stranách (X) obvodu byly zavedeny mezisloupy. Rozpětí na vnitřní straně zůstala nezměněna.



2. OCELOVÁ KONSTRUKCE V NESEISMICKÉ OBLASTI

1. Úvod
- 2. Ocelová konstrukce v neseismické oblasti**
3. Kompozitní konstrukce v neseismické oblasti
4. Ocelová konstrukce v seismické oblasti
5. Kompozitní konstrukce v seismické oblasti

■ Identifikovaná zatížení

■ Zemětřesení

- Preskriptivní metoda

■ Neidentifikovaná zatížení

■ Preskriptivní metoda (metoda vazby)

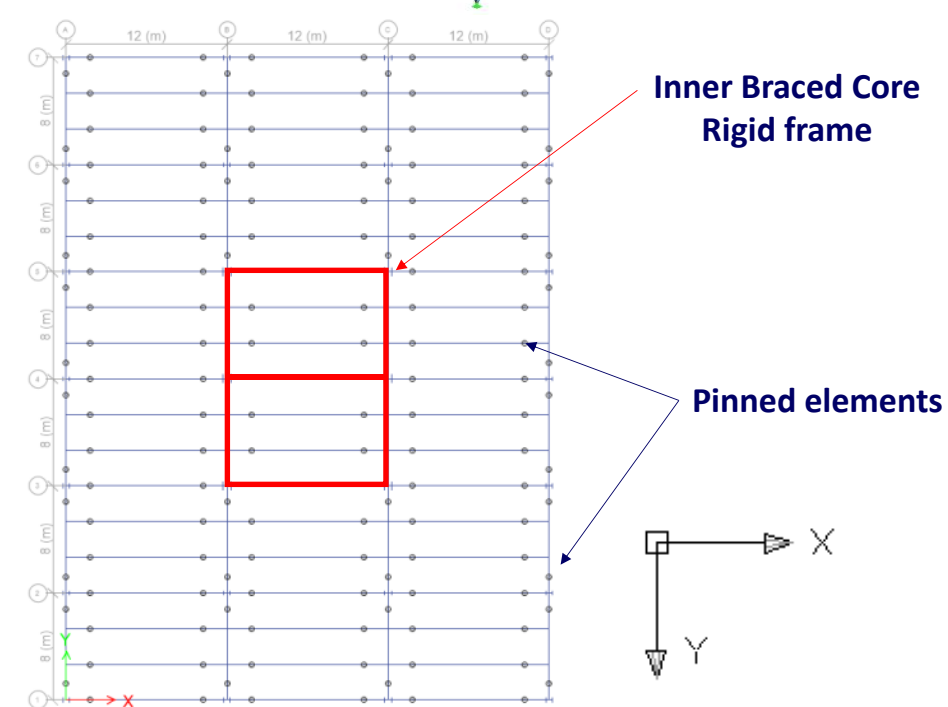
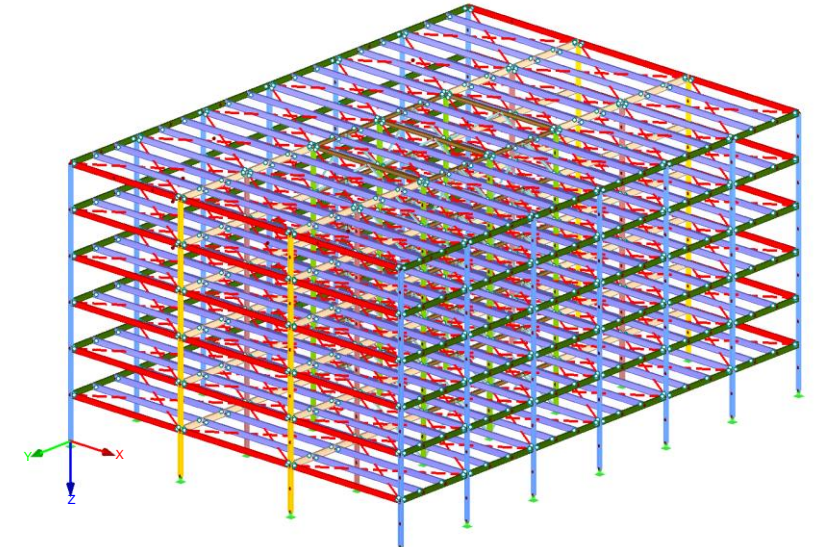
■ Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

- Analytický přístup
- Plně numerický přístup

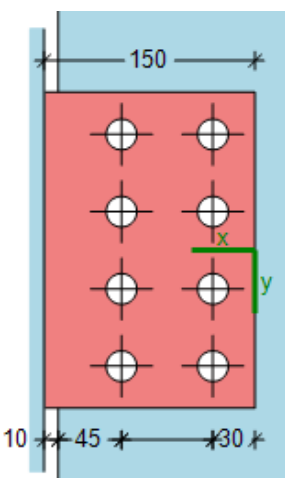
■ Segmentace

PRŮŘEZY PRVKŮ

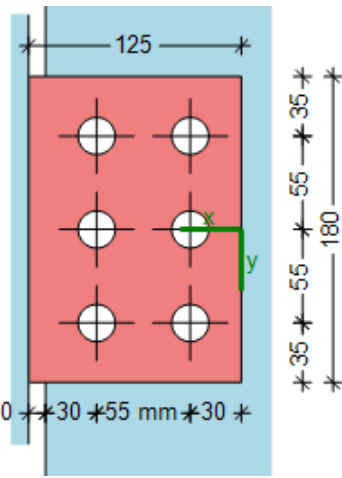
Element	Průřez	Třída oceli	ID	Využití průřezu	SLS deformace
Obvodový sloup strana Y	HEB 340	S355	1	0.95	-
Obvodový sloup strana X	HEB 360	S355	2	0.98	-
Vnitřní sloup	HEM 300	S355	3	0.95	-
Obvodový nosník směr X	IPE500	S355	A	0.52	43.8 mm
Obvodový nosník směr Y	IPE500	S355	A	0.77	29.8 mm
Vnitřní nosník směr X	IPE550	S355	B	0.61	45.9 mm
Vnitřní nosník směr Y	IPE600	S355	C	0.89	29.1 mm
Nosník jádra	HEA300	S355	D	0.90	6.5 mm
Diagonála jádra	CHS 219.1x6.3	S355	-	0.90	-



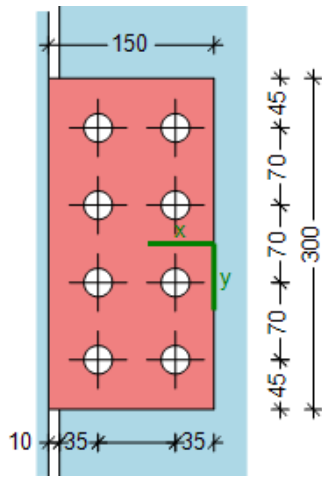
STYČNÍKY



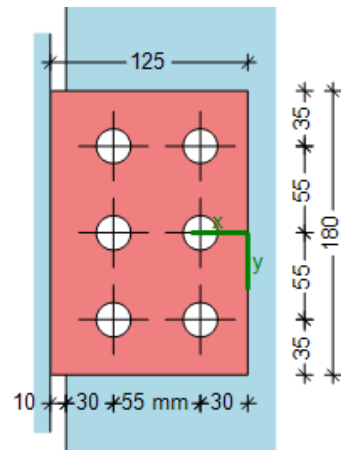
A-1w



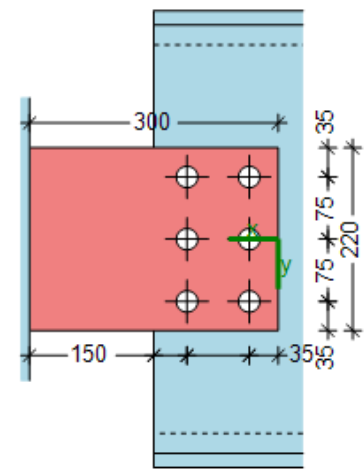
A1s, A2, B1, B3



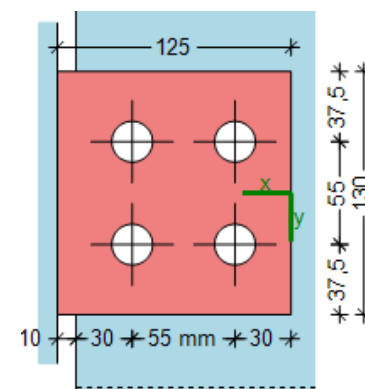
C-2w, C-3w



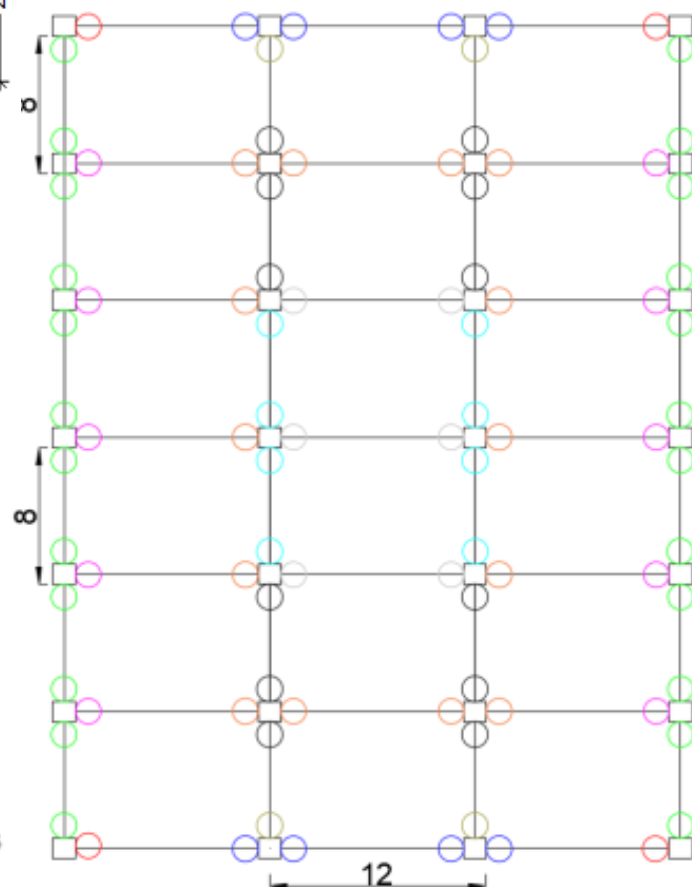
B-A, B-C



B-A, B-C, b) B-D



D-3s, D-3w)



- A1w : IPE500-HEB340 weak axis
- A1s : IPE500-HEB340 strong axis
- A2 : IPE500-HEB360 strong axis
- B1 : IPE550-HEB340 strong axis
- B3 : IPE550-HEM300 strong axis
- C2 : IPE600-HEB360 weak axis
- C3 : IPE600-HEM300 weak axis
- D3w : HEA300-HEM300 weak axis
- D3s : HEA300-HEM300 strong axis

pozice s = strong axis w = weak axis	ULS zatižení (kN)	Únosnost (kN)	Způsob porušení	UF
A1s / A2	130	196	Čelní deska v otláčení	0.66
A1w	240	255	Čelní deska v otláčení	0.94
B1 / B3	180	196	Čelní deska v otláčení	0.92
C2w / C3w	430	443	Čelní deska v otláčení	0.97
D3s	60	102	Stojina nosníku v otl.	0.59
D3w	90	102	Stojina nosníku v otl.	0.88
BA / BC	180	196	Čelní deska v otláčení	0.92
BD	180	185	Čelní deska v otláčení	0.97

Identifikovaná zatížení

■ Zemětřesení

Preskriptivní metoda

- Konstrukce uvažovaná v tomto příkladu byla navržena pouze pro podmínky ULS/SLS (trvalá návrhová situace). Nebyly provedeny žádné výpočty s ohledem na případné mimořádné seismické působení. Seismické působení je proto považováno za výjimečné.
- V praxi lze postupovat podle jednoduchých doporučení, pokud je má seismické působení menší účinky než zatížení větrem. To se děje hlavně u nízkopodlažních budov, aby se optimalizovaly náklady na inženýrské práce.

■ DOPORUČENÍ

■ Konfigurace konstrukce:

- ✓ Nízký poměr výšky k šířce
- ✓ Stejná výška podlaží
- ✓ Symetrické půdorysy
- ✓ Jednotné řezy a výškové úrovně
- ✓ Maximální únosnost v krutu
- ✓ Krátká rozpětí a redundance
- ✓ Přímé cesty zatížení
- ✓ Návrh sekundárních/nekonstrukčních prvků, aby se zabránilo vzniku trosek

■ Torzní účinky (symetrické uspořádání, pravidelnost v půdorysu a výšce)

■ Regulace vibrací (základní izolátory, tlumiče - pasivní, aktivní nebo poloaktivní)

■ Únosnost a tuhost

■ Duktilita

- ✓ Třída průřezu (např. průřezy HEA300 třídy 3 pro nosníky by měly být nahrazeny průřezy HEB300 třídy 1).
- ✓ Typologie styčníků (kloubové styčnický by mohly být nahrazeny tvárnými polotuhými styčnický, které by umožnily vznik plastických kloubů ve styčnicku a rozptýlili část seismické energie).

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Preskriptivní metoda

Tento příklad ukazuje použití metody vazby nosníků a jejich spojů (vodorovné vazby).

OPATŘENÍ ZVAŽOVANÁ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

- Stálé zatížení DL
- Proměnná zatížení LL
- Žádná specifická mimořádná zatížení se nezohledňuje

Vazné síly jsou určeny dle EN 1991-1-7

$$T_i = 0.8(g_k + \psi q_k)sL \quad \text{or} \quad 75 \text{ kN, whichever is greater}$$

$$T_p = 0.4(g_k + \psi q_k)sL \quad \text{or} \quad 75 \text{ kN, whichever is greater}$$

VODOROVNÉ VAZNÉ SÍLY

Posouzení prvků na horizontální vazné síly dle preskriptivního přístupu dle EN 1993-1-1
→ Všechny prvky OK

External tie		Internal tie	
s	8 m	s	8 m
L	12 m	L	12 m
ψ	0,5	ψ	0,5
g_k	5 kN/m ²	g_k	5 kN/m ²
q_k	3 kN/m ²	q_k	3 kN/m ²
g_k facade	4 kN/m		
g_k facade equ.	0,5 kN/m ²		
T_e	268,8 kN	T_i	499,2 kN

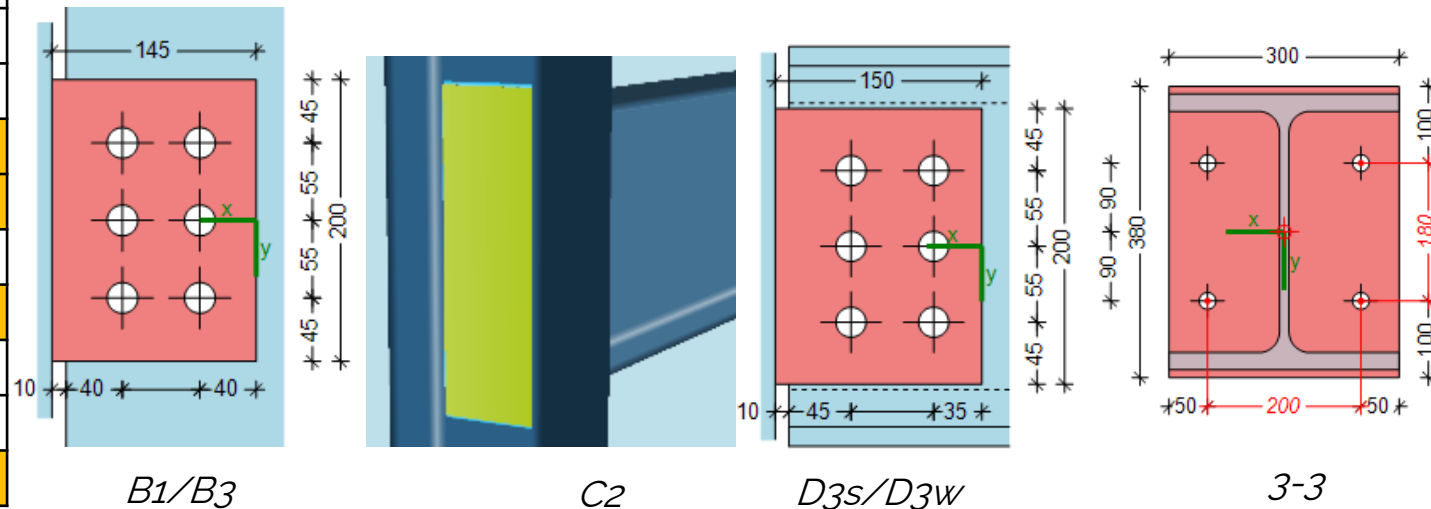
SVISLÉ VAZNÉ SÍLY

External tie (HEB360)		Internal tie (HEM300)	
s	8 m	s	8 m
L	12 m	L	12 m
ψ	0,5	ψ	0,5
g_k	5 kN/m ²	g_k	5 kN/m ²
q_k	3 kN/m ²	q_k	3 kN/m ²
g_{IPE600}	1,22 kN/m	g_{IPE600}	1,22 kN/m
g_{IPE500}	0,907 kN/m	g_{IPE550}	1,06 kN/m
g_{IPE550}	1,06 kN/m	g_{HEM300}	2,38 kN/m
g_{HEB360}	1,42 kN/m	h	4 m
h	4 m	n IPE550	4
n IPE550	1,5		
g_k facade	4 kN/m		
T_e	400,5 kN	T_i	694,2 kN

POSOUZENÍ STYČNÍKŮ NA VAZNÉ SÍLY

Pozice s = strong axis w = weak axis	Vazná síla (kN)	Způsob porušení	UF
A1s / A2	268.8	Čelní deska v otláčení	0.63
A1w	268.8	Stojina sloupu v ohybu	0.73
B1 / B3	499.2	Čelní deska v otláčení	1.16
C2w	499.2	Stojina sloupu v ohybu	1.15
C3w	499.2	Čelní deska v otláčení	0.67
D3s/D3w	499.2	Stojina nosníku v otl.	2.02
D3w	90	Stojina nosníku v otl.	0.88
1-1 / 2-2	400.5	Čelní deska v ohybu	0.88
3-3	694.2	Čelní deska v ohybu	1.31

NOVÝ NÁVRH STYČNÍKŮ



POSOUZENÍ NOVĚ NAVRŽENÝCH STYČNÍKŮ NA VAZNÉ SÍLY

Pozice s = strong axis w = weak axis	Vazná síla (kN)	Způsob porušení	UF
B1 / B3	499.2	Čelní deska v tahu (net)	0.93
C2w	499.2	Stojina sloupu v ohybu	0.88
D3s/D3w	499.2	Stojina sloupu v tahu (net)	1.03
3-3	694.2	Čelní deska v ohybu	0.83

Využití styčníků D3s/D3w překročeno 3%



akceptováno

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Analytický přístup

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na neidentifikované hrozby s využitím analytického přístupu ALPM.

Zatížení pro případ mimořádné návrhové situace

- Stálá zatížení DL
- Proměnná zatížení LL

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

$$DL + 0.5 \times LL$$

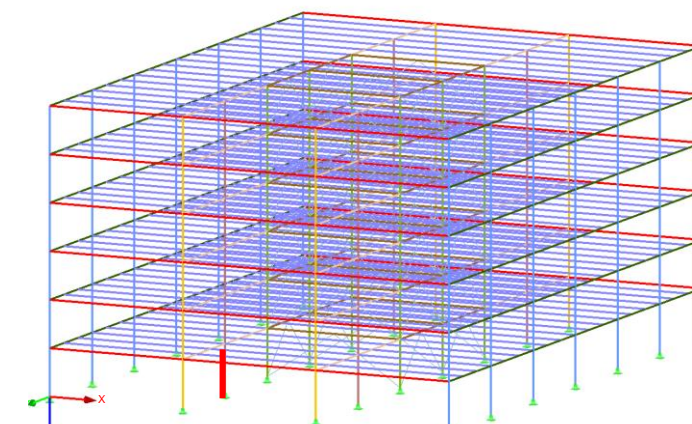
UVAŽOVANÝ SCÉNÁŘ: ztráta sloupu B2, přízemí

ZKOUMANÉ PRVKY

- Nosník B1/B3 – IPE550
- Nosník C2w/C3w – IPE600

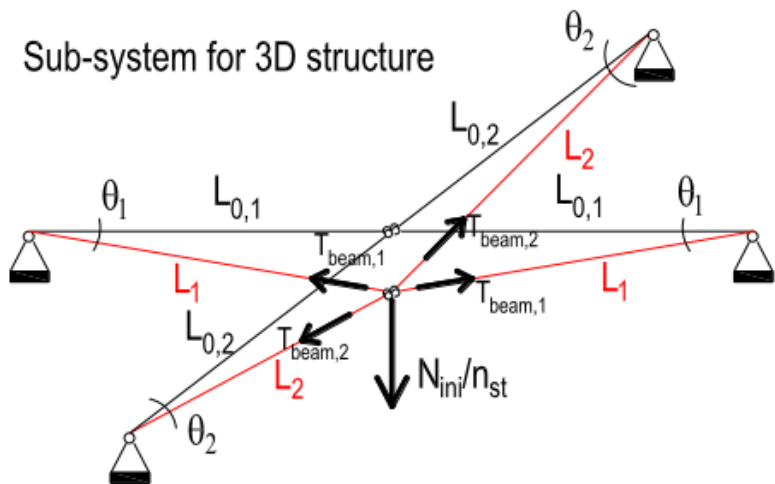
PŘEDPOKLAD PRO STYČNÍKY

- Řešení 1: jednoduché styčníky
- Řešení 2: styčníky s částečnou únosností



Řešení 1 – vazné síly pro jednoduchý styčník

Metoda se skládá z řešení soustavy 4 rovnic



	3D Structures with simple joints
Eq. 1	$\frac{N_{ini}}{n_{st}} = 2 \cdot T_{beam,1} \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot T_{beam,2} \cdot \sin \theta_2$
Eq. 2	$T_{beam,1} = \frac{1 - \cos \theta_1}{\cos \theta_1} \cdot E \cdot A_1$
Eq. 3	$T_{beam,2} = \frac{1 - \cos \theta_2}{\cos \theta_2} \cdot E \cdot A_2$
Eq. 4	$L_{0,1} \cdot \tan \theta_1 = L_{0,2} \cdot \tan \theta_2$

nosník,1 - IPE550

nosník,2 - IPE600

N_{ini} je stanovena pomocí analýzy uvažující kombinaci náhodných zatížení.

N_{ini}	n_{st}	E	A_1	$L_{0,1}$	A_2	$L_{0,2}$
4078.51 kN	6	210000 MPa	134 cm ²	12 m	156 cm ²	8 m

$$17866.67 \tan(x) (1 - \cos(\tan^{-1}(0.67 \tan(x)))) + 31200 \tan(x) (1 - \cos(x)) - 3.24 = 0$$

Řešení

θ_1	θ_2	$T_{beam,1}$ - IPE550	$T_{beam,2}$ - IPE600
0.03659 rad	0.05485 rad	1884 kN	4934 kN

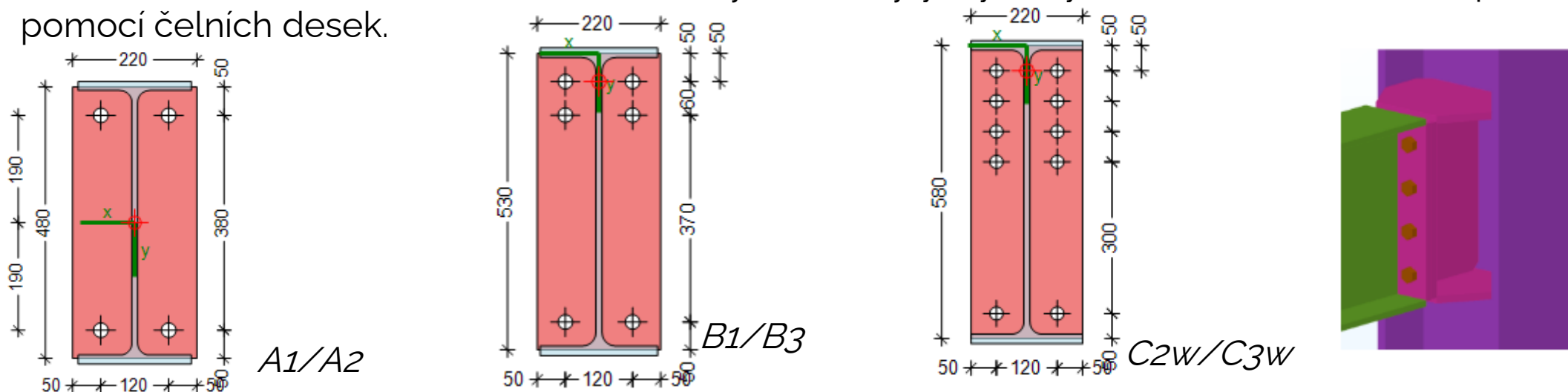
Řešení 1 – vazné síly pro jednoduchý styčník

POZNÁMKY ■ Ve srovnání s numerickým přístupem (další příklad), jsou získané výsledky přibližně o 8 % vyšší (1741 kN pro IPE550 a 4565 kN pro IPE600). Je však známo, že analytický přístup nadhodnocuje tahové síly, takže zde řádově dochází k souladu a potvrzuje hodnoty tahových síl stanovených numerickým přístupem.

■ Výsledky naznačují, že je třeba přepracovat konstrukci z hlediska robustnosti, protože styčníky nejsou schopny přenést tak značné zatížení.

Řešení 2 – Alternativní přístup se styčníky s částečnou únosností

Styčníky s částečnou únosností mohou být dobrou alternativou ke kloubovým styčníkům pro zvýšení robustnosti konstrukce. Z důvodu dalšího výzkumu byly styčníky hlavního nosníku a sloupu nahrazeny styčníky pomocí čelních desek.



Welded part for weak axis flush end-plate joints

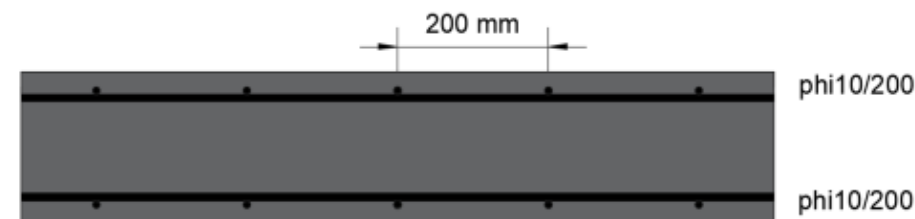
Zjednodušená analytická metoda pro styčníky s částečnou únosností zohledňuje následující vlivy

- Příspěvek plastického mechanismu nosníků
- příspěvek desky
- příspěvek od účinku vyklenutí

Pokud součet výše uvedených příspěvků není dostatečný, dochází k větším deformacím a aktivaci membránových efektů v nosnících podobně jako v jednoduchém příkladu spoje. Protože toto vyžaduje větší rotační kapacitu ve spojích, bude zde návrh robustnosti proveden alternativně optimalizací tří výše uvedených příspěvků tak, aby k membránovým efektům nedocházelo.

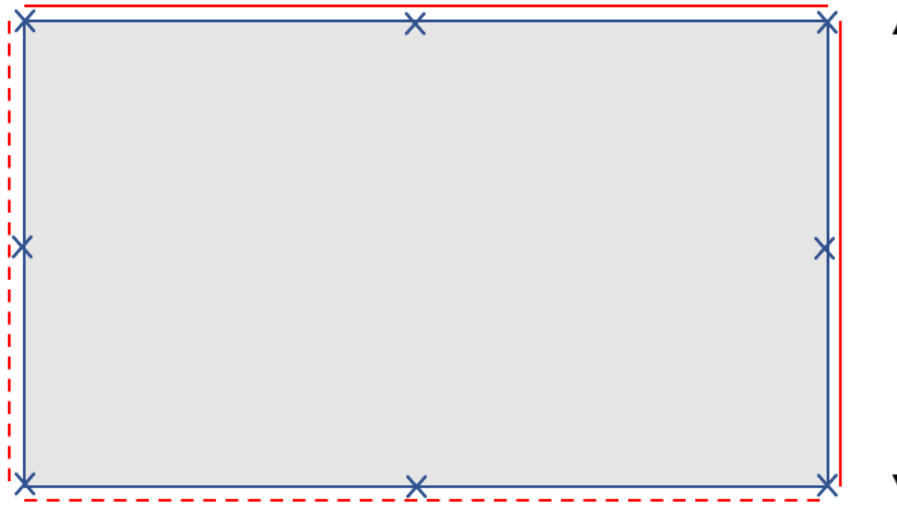
■ PŘÍSPĚVEK DESKY

Class	t	c	Steel	A_{sx} (top and bottom)	A_{sy} (top and bottom)	M_{Rd} (sagging/hogging)	Failure mode
C30/37	20 cm	20 mm	B500S	3.93 cm ² /m	3.93 cm ² /m	26.9 kNm	Yielding of reinforcement



■ PŘÍSPĚVEK DESKY

24 m



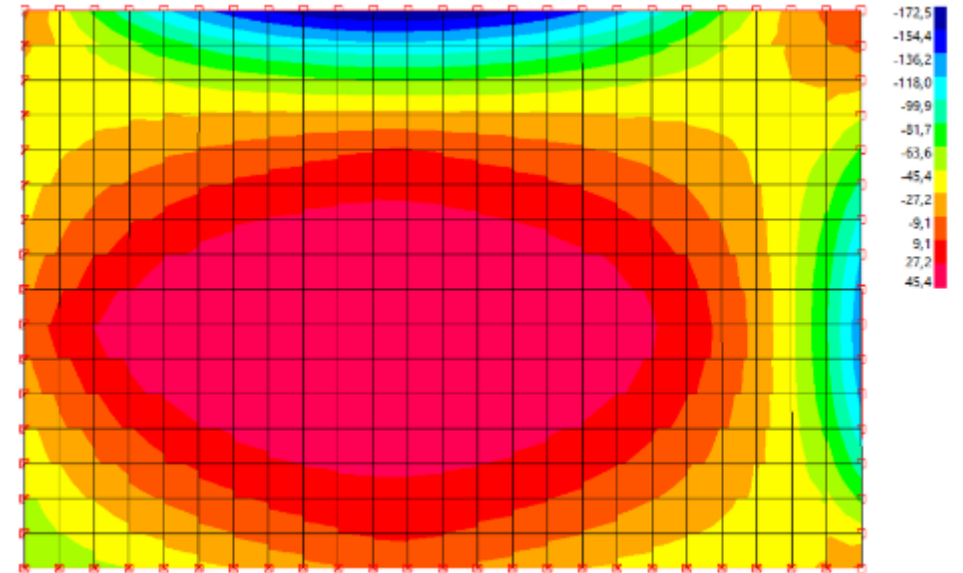
16 m

- - - Peripheral beams (free rotation)
- Slab continuity (restrained rotation)
- x Columns

Konstrukční systém betonové desky po ztrátě sloupu

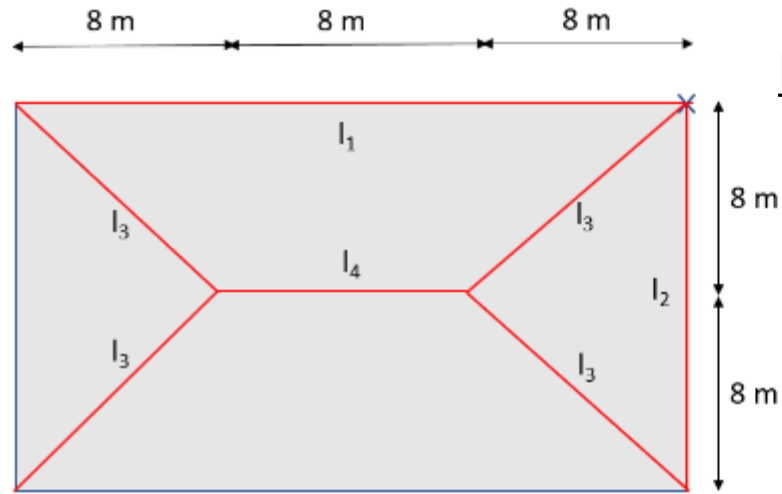
Příspěvek betonové desky je vyjádřen svislou bodovou silou P_{slab} (v místě ztráty sloupu) potřebnou pro vznik plastického mechanismu.

Aplikace náhodného zatížení
(1 x G + 0.5 x Q) 6.5 kN/m²

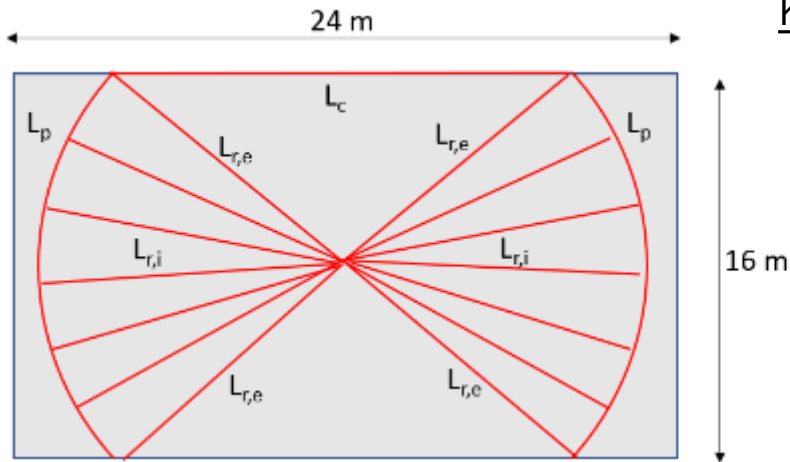


*Ohybové momenty v betonové desce
po odstranění sloupu ($M_{Ed} = -172.5$ kNm)*

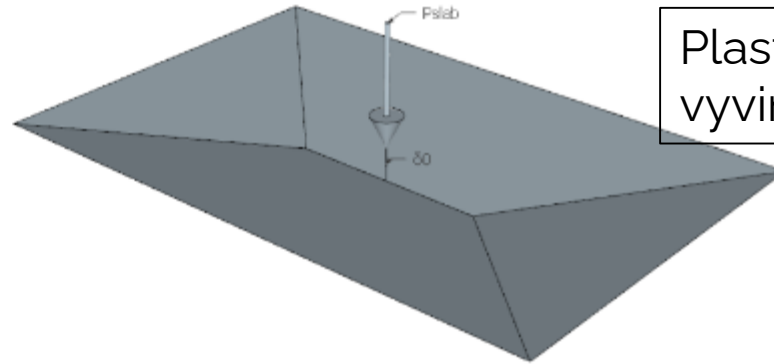
PRÍSPĚVEK DESKY (2)



— Yielding lines

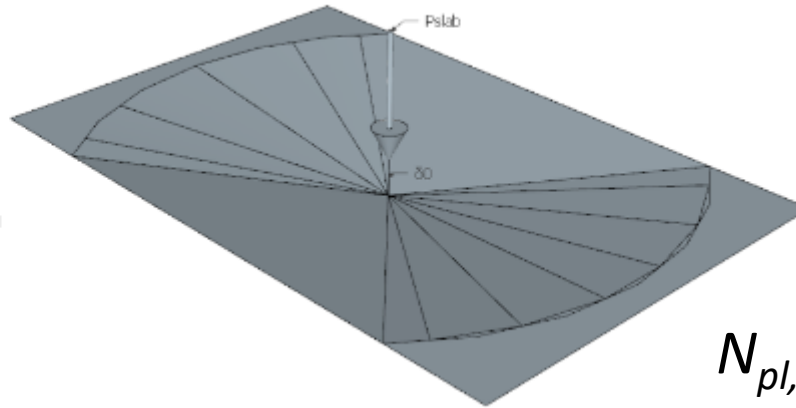


Nekruhový plastický mechanismus



Plastický mechanismus se vyvine při síle **313.6 kN**

Kruhový plastický mechanismus



Princip virtuálních prací

Plastický mechanismus se vyvine při síle **330.4 kN**

$$N_{pl,slab} = \min(313.6 \text{ kN}; 330.4 \text{ kN}) = 313.6 \text{ kN}$$

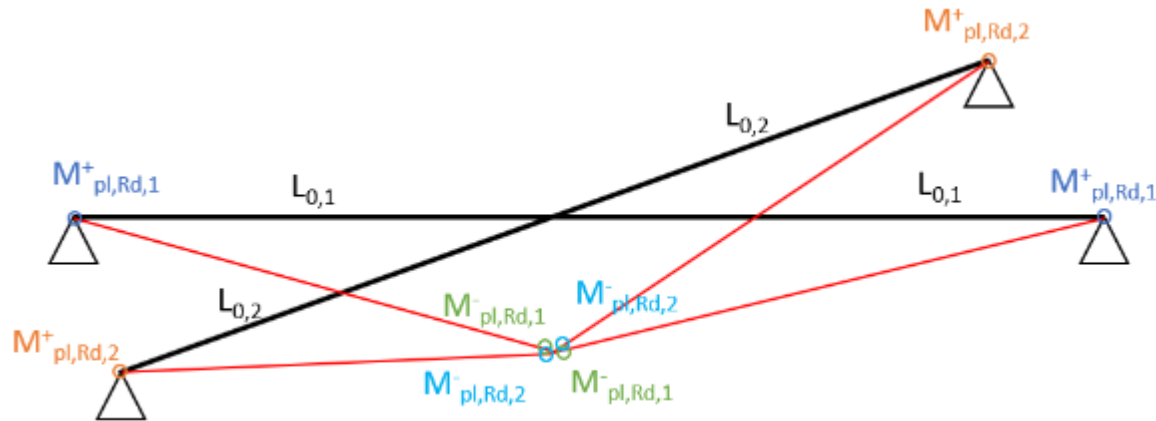
■ PŘÍSPĚVEK PLASTICKÉHO MECHANISMU NOSNÍKŮ

Styčníky s částečnou únosností → svislou sílu spojenou s vývojem plastického mechanismu v důsledku vzniku plastických kloubů ve styčníku lze vypočítat pro oba směry..

$$N_{pl} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd,1}^- + 2 \cdot M_{pl,Rd,1}^+}{L_{0,1}} + \frac{2 \cdot M_{pl,Rd,2}^- + 2 \cdot M_{pl,Rd,2}^+}{L_{0,2}}$$

Únosnost styčníku v ohybu

Joint B1/B3		Joint C2/C3	
$M_{pl,Rd,1}^+$ (kladný)	$M_{pl,Rd,1}^-$ (záporný)	$M_{pl,Rd,2}^+$ (kladný)	$M_{pl,Rd,2}^-$ (záporný)
306.1 kNm	224.7 kNm	416.6 kNm	305.6 kNm



➔ $N_{pl} = 269 \text{ kN}$

■ PŘÍSPĚVEK ÚČINKU VYKLENUTÍ

- N_{arch} je vertikální bodová síla potřebná k překonání vyklenutí.
- Vyklenutí se aktivuje, pokud únosnost v tlaku jakékoli aktivní součásti systému po rozvinutí výše uvedeného mechanismu není rozhodující. Za takových podmínek může být v nosnících přímo postižené části mobilizován účinek vyklenutí, jakmile se vytvoří plastický mechanismus. Následující tabulka shrnuje způsoby poruch příslušných spojů.

Styčník	Záporný / kladný	Způsob porušení
B1/B3	kladný (+)	Stojina sloupu v tlaku
B1/B3	záporný (-)	Stojina sloupu v tlaku
C2/C3	kladný (+)	Stojina sloupu v tlaku
C2/C3	záporný (-)	Stojina sloupu v tlaku

- Protože všechny styčníky selžou v tlaku nemůže být účinek vyklenutí aktivován, proto **$N_{arch} = 0 \text{ kN}$**
- Příspěvek desky, plastického mechanismu a efektu vyklenutí lze kumulovat, protože jejich aktivace vyžaduje omezené deformační schopnosti, jakmile se vytvoří plastický mechanismus..

CELKOVÁ ÚNOSNOST JE:

■ POSOUZENÍ KONSTRUKCE S SE STYČNÍKY S ČÁSTEČNOU ÚNOSNOSTÍ

$$N = N_{slab} + N_{pl} + N_{arch} = 313.6 + 269.0 + 0.0 = 582.6 \text{ kN} < 694.2 \text{ kN (síla v odstraněném sloupu)}$$

→ Při projevu membránových sil $N_{membrane}$ v nosnících dojde k výrazným svislým posunům přímo ovlivněné části. Tyto membránové síly nelze kumulovat s příspěvkem pocházejícími z desky a z účinků vyklnutí, protože zmizí, jakmile je dosaženo velkých deformací..

- Příspěvek $N_{membrane}$ vyžaduje dostatečnou rotační kapacitu styčníků s částečnou únosností
- Způsobem porušení spojů je zde pásnice sloupu v tlaku při působení ohybových momentů (není tvárná). → návrh styčníků musí být přepracován.

■ NOVÝ NÁVRH KONSTRUKCE SE STYČNÍKY S ČÁSTEČNOU ÚNOSNOSTÍ

V rámci tohoto řešeného příkladu byla ocelová konstrukce ponechána ve stávajícím stavu (navržena s vnitřními silami s jednoduchými styčnými). Modelování polotuhých styčníků jako kloubů je stále platným a bezpečným předpokladem, pokud mají tyto styčnice dostatečnou tažnost a rotační kapacitu.

Požadavků na robustnost lze dosáhnout několika způsoby, např.:

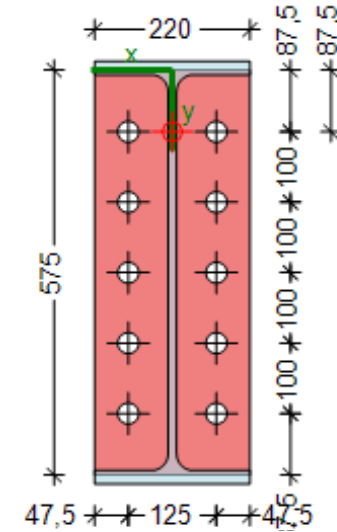
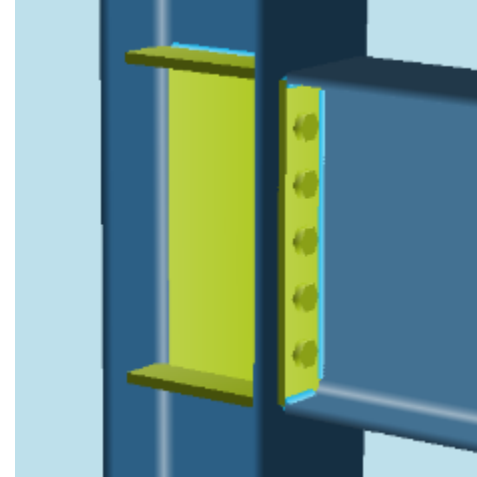
- Upravit návrh desky pro zvýšení příspěvku z mechanismu desky;
- Zesílit spoje v jednom nebo obou směrech, aby se zvýšil příspěvek mechanismu nosníku;
- Zesílit komponenty v tlaku pro aktivaci účinku vyklnutí.

NOVÝ NÁVRH KONSTRUKCE SE STYČNÍKY S ČÁSTEČNOU ÚNOSNOSTÍ (2)

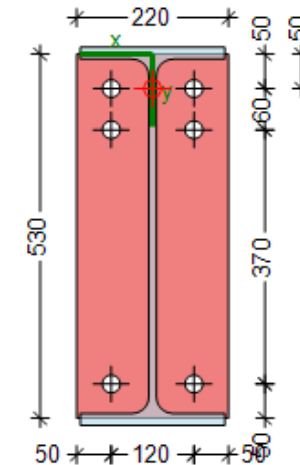
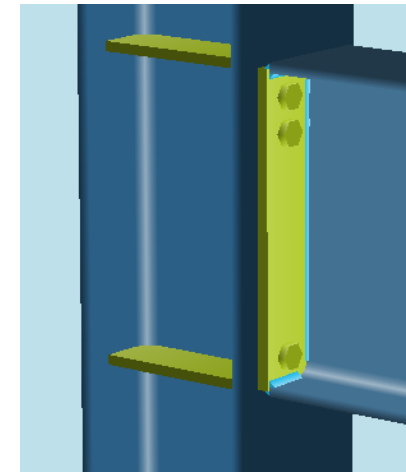
Změny na styčnících C2/C3 a B1/B3

- Výztuhy sloupu (tloušťka odpovídající tloušťce pásnic nosníku);
- Výztuha stojiny (pouze pro C2/C3);
- Změna pozice šroubů;
- Svary pásnice zvětšeny ze 6 na 7 mm;
- Zvětšení průměru šroubů z M24 na M27 (pouze pro C2/C3).

Změny v tomto spoji umožňují zvýšit únosnost spoje v ohybu, a tím i mechanismu nosníku.



C2/C3
joints



B1/B3
joints

NOVÝ NÁVRH KONSTRUKCE SE STYČNÍKY S ČÁSTEČNOU ÚNOSNOSTÍ (3)

■ PŘÍSPĚVEK DESKY

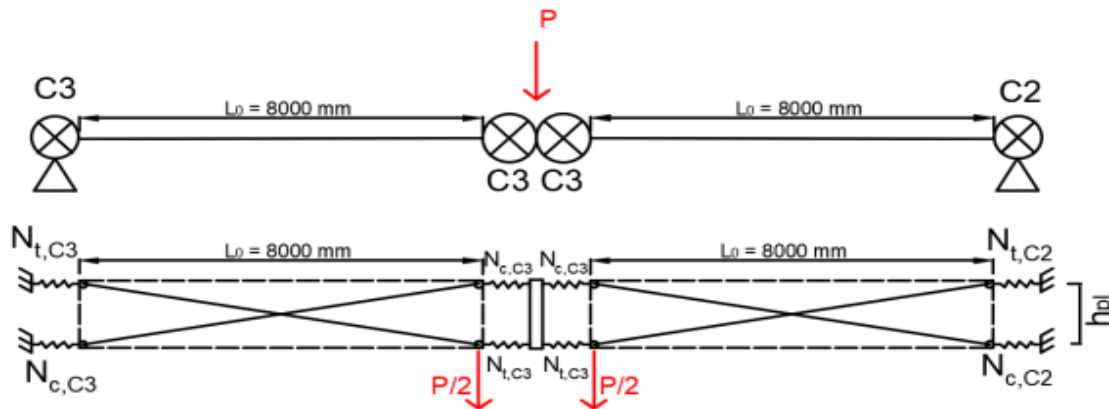
- Vzhledem k tomu, že na desce nebyly provedeny žádné změny, zůstává příspěvek této složky nezměněn ($N_{slab} = 313.6$ kN)

■ PŘÍSPĚVEK MECHANISMU NOSNÍKŮ

- N_{pl} je 334.7 kN

■ PŘÍSPĚVEK ÚČINKU VYKLENUTÍ

- Pouze z krátkého rámu (IPE600 se styčníky C2/C3)



Styčník B1/B3		Styčník C2/C3	
$M_{pl,Rd,1}^-$ (záporný)	$M_{pl,Rd,2}^+$ (kladný)	$M_{pl,Rd,1}^-$ (záporný)	$M_{pl,Rd,2}^+$ (kladný)
368.9 kNm	285.4 kNm	451.3 kNm	451.3 kNm
CWS	CWS	EPB	EPB

Vodorovný posun nosníku	Δ_{beam}	36.9 mm
Vodorovný posun z důvodu natočení styčníku	Δ_{joints}	63.3 mm
Celkový vodorovný posun	Δ_{pl}	1369.4 kN
Součet tahových sil ve styčníku při vzniku mechanismu	F_t	1369.4 kN
Účinná tuhost styčníku v tlaku	$k_{eff,c}$	9.461 mm
Průžná deformace styčníku v tlaku	$\delta_{c,el}$	0.689 mm
Délka vyklenutí při vzniku plastického mechanismu	L_D	8017.0 mm
Únosnost styčníku v tlaku	F_c	1783 kN
Plastická deformace styčníku při porušení	$\delta_{c,pl}$	0.897 mm
Natočení vyklenutí při porušení	θ	0.062 rad
Únosnost vyklenutí ve vzpěrném tlaku	$N_{b,Rd}$	231.7 kN

$$N_{arch} = 51.0 \text{ kN}$$

Součtem všech tří účinků, je celková únosnost:

$$N = N_{slab} + N_{pl} + N_{arch} = 313.6 + 334.7 + 51.0 = 699.3 \text{ kN}$$

■ ZÁVĚR

- Únosnost je nyní větší než svislá osová síla 694,2 kN, takže přepracovanou konstrukci lze nyní považovat za robustní.

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Full numerical approach

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na neidentifikované hrozby s využitím plně numerického přístupu z ALPM.

Zatížení pro náhodnou návrhovou situaci

- Stálé zatížení DL
- Proměnná zatížení LL

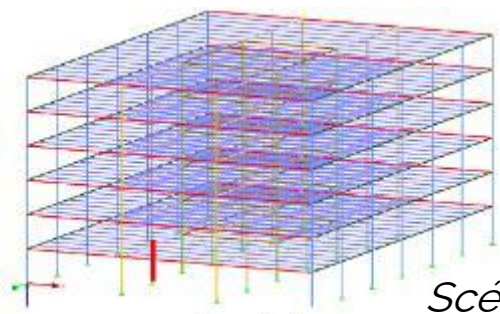
KOMBINACE ZATÍŽENÍ

$$DL + 0.5 \times LL$$

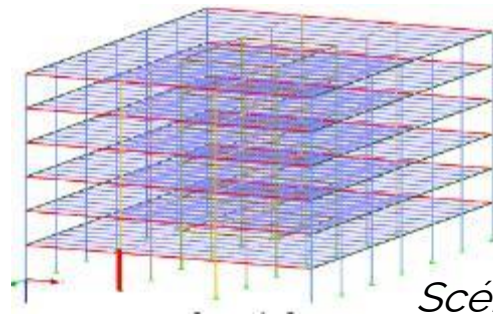
UVAŽOVANÉ SCÉNÁŘE

- Scénář 1: Ztráta vnitřního sloupu v podlaží o;
- Scénář 2: Ztráta fasádního sloupu v podlaží o;
- scénář 3: ztráta vnitřního sloupu nad spojnicí sloupů

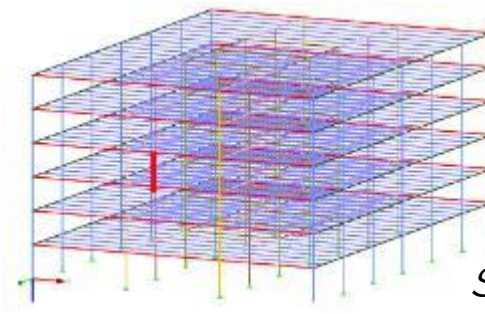
Tento příklad ilustruje 3 scénáře ztráty sloupu. V praxi však mohou být zapotřebí i jiné scénáře ztráty sloupů. Proto je na projektantovi, aby určil, které scénáře mohou být možné a které z nich jsou pro návrh robustnosti konstrukce nejvýznamnější.



Scénář 1



Scénář 2

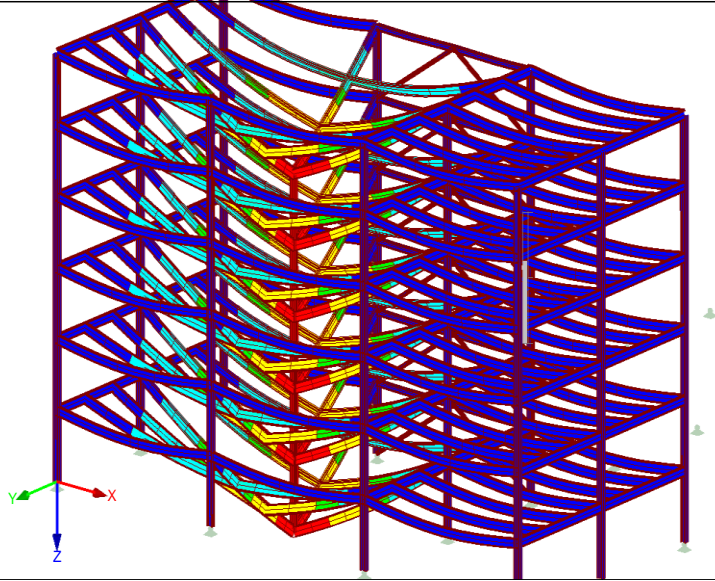


Scénář 3

ANALÝZA KONSTRUKCE

- Plně numerický přístup bude řešen pomocí modelu konečných prvků vyvinutého pro návrh konstrukce ULS/SLS. Cílem je v prvním kroku odstranit sloup a nechat ve vazbách vzniknout membránové účinky a poté ověřit, zda vazby (pruty a spoje) tyto tahové síly dokáží přenést.
- Metodika a předpoklady:
 - FE Analýza se provádí pomocí Newtonova-Raphsonova algoritmu, který umožňuje integraci velkých deformací;
 - Protože může dojít ke ztrátě příčné a torzní stability nosníků, u nichž ve skutečnosti nemůže dojít k nestabilitě, protože jsou udržovány membránami, zabráníme vzniku této nestability fiktivním zvýšením torzní tuhosti prutů nosníku.
- Modelování scénáře ztráty sloupu:
 - 1. krok - Nejprve se analyzuje konstrukce bez ztráty sloupu při kombinaci náhodných zatěžovacích stavů → skutečná tlaková síla ve sloupu, který má být odstraněn;
 - 2. krok - Poté se v horním uzlu sloupu, který má být odstraněn, tato síla aplikuje a sloup se odstraní, takže tato síla sloup nahradí;
 - 3. krok - simulace ztráty sloupu: Na stejný uzel se postupně působí silou stejné velikosti v opačném směru. Pro zajištění konvergence se používají kroky zatížení 0,025. Na konci analýzy odpovídá statický systém úplné ztrátě sloupu.

CO165: Column loss simulation
Global Deformations u [mm]
Increment: 40 - 1.000

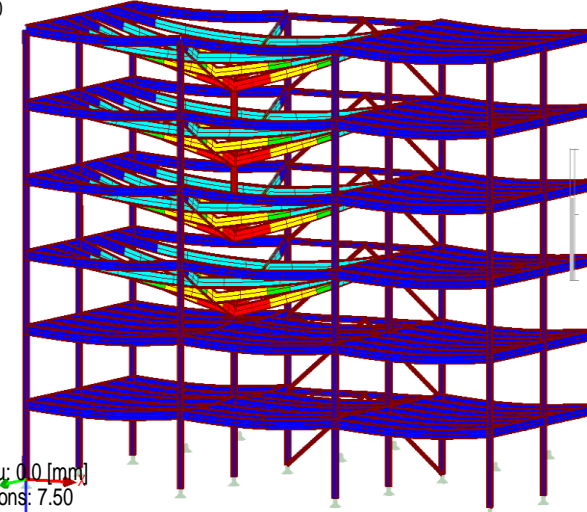


Isometric

Scenario 1

Max u: 424.0, Min u: 0.0 [mm]
Factor of deformations: 15.00

CO165: Column loss simulation
Global Deformations u [mm]
Increment: 40 - 1.000

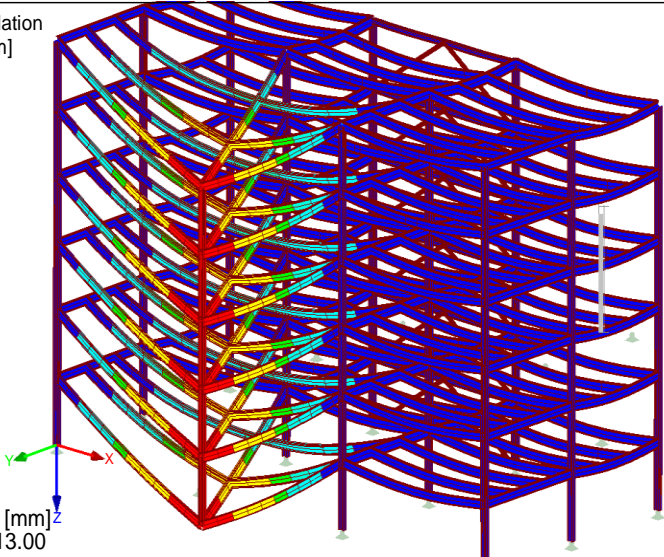


Isometric

Scenario 3

Max u: 425.3, Min u: 0.0 [mm]
Factor of deformations: 7.50

CO165: Column loss simulation
Global Deformations u [mm]
Increment: 40 - 1.000



Isometric

Scenario 2

Max u: 486.4, Min u: 0.0 [mm]
Factor of deformations: 13.00

Scénář	Prvek	Styčník	Vazná síla (kN)	Moment (kNm)
1	IPE550	B1/B3	1741	274
	IPE600	C2/C3	4565	536
2	IPE500	A1s/A2	1620	195
3	IPE550	B1/B3	1715	275
	IPE600	C2/C3	4493	537

Scénář 1: VERIFIKACE

- V důsledku chybějícího sloupu se zvyšují tlakové síly v sousedních sloupech. V tomto příkladu však tyto síly zůstávají nižší než návrhové tlakové síly z ULS → není nutné sloupy znovu navrhovat.
- Pruty průřezu IPE550 byly navrženy tak, aby splňovaly požadavky SLS (omezení průhybu). V tomto případě je únosnost těchto prutů v případě ztráty sloupu stále dostatečná.
- Pruty průřezu IPE600 nejsou dostatečné pro vysoké tahové síly (15 % překročení).

Prvek	Průřez	Vazná síla (kN)	Moment (kNm)	UF
Columns Y-facades	HEB 340	-2910	0	0.66
Columns X-facades	HEB 360	-3763	0	0.72
Inner columns	HEM 300	-4887	0	0.60
Inner X-beams	IPE550	1736	274	0.58
Inner Y-beams	IPE600	4562	536	1.15

Scénář 2: VERIFIKACE

- Všechny prvky splňují požadavky;
- Ověření není splněno u spojů A1/A2 → **přepracovat**

Member	Section	Tying / compr. force (kN)	Moment (kNm)	UF
Columns Y-facades	HEB 340	-2473	15	0.58
Columns X-facades	HEB 360	-3521	14	0.77
Inner columns	HEM 300	-5383	3	0.69
Beams X-facades	IPE500	1615	195	0.59

Pozice s = tuhá osa w = měkká osa	Vazná síla (kN)	Způsob porušení	UF
A1s / A2s	1620	Deska v otláčení	3.71

Scénář 3: VERIFIKACE

- Ztráta vnitřního sloupu nevede ke vzniku vazných sil ve svislých vazbách, ale k tahovým silám ve vodorovných vazbách. Tyto tahové síly jsou řádově stejné jako ve scénáři 1 → scénář 3 nebude zkoumán

NOVÝ NÁVRH KONSTRUKCE

SCÉNÁŘ 1: VERIFIKACE

■ Vzhledem ke změně průřezu z IPE600 na IPE750x137, dojde ke změně vnitřních sil

Prvek	Průřez	Vazná síla (kN)	Moment (kNm)	UF
Columns Y-facades	HEB 340	-2862	0	0.66
Columns X-facades	HEB 360	-3827	0	0.82
Inner columns	HEM 300	-4941	0	0.61
Inner X-beams	IPE550	1658	276	0.56
Inner Y-beams	IPE750x137	4850	565	1.03

Využití průřezu IPE750x137 je překročeno o 3%.
Toto lze považovat akceptovatelné.

VERIFIKACE PŘÍPOJŮ

Pozice s = tuhá osa w = měkká osa	Vazná síla (kN)	Způsob porušení	UF
B1 / B3	1662	Deska v otláčení	3.80
C2w	4852	Stojina sloupu v ohybu	11.20
C3w	4852	Deska v tahu	6.17

Přepracovaný styčník B1/B3 vyžaduje následující: 2 přidané šrouby, M27 místo M24, výztuhu nosníku, upravenou geometrii a tloušťku plechu (25 mm) a silnější svar pro požadavky na tažnost (15 mm).

Pozice s = tuhá osa w = měkká osa	Vazná síla (kN)	Způsob porušení	UF
B1 / B3	1662	Šrouby ve stříhu	1.00
C2w / C3w	4852	Neproveditelné	

Pro styčníky C2w a C3w se nepodařilo nalézt žádný rozumný návrh

→ Kloubové styčníky byly nahrazeny polotuhými (s částečnou únosností)

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Segmentace

Silné hranice segmentu/ Slabé hranice segmentu

■ Poznámky

- Tuto metodu lze použít buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými opatřeními (např. lokální zesílení) nebo metodami (např. ALPM). Pokud výstupy ALPM naznačují potřebu přepracování konstrukce, lze metodu segmentace použít jako alternativní řešení k omezení rozšíření poškození.
- V případě stávající nízkopodlažní budovy by mohla být zvolena strategie slabých hranic segmentů. Jak bylo zdůrazněno ve výsledcích analytických i numerických přístupů, spoje s čelními deskami navržené pro ULS nejsou schopny odolat velkým tahovým silám od membránových účinků, pokud se uvažuje scénář ztráty sloupů.
- Tyto spoje prakticky fungují jako "pojistky" v případě ztráty sloupu a kolaps se omezí na oblast přímo zasaženou ztrátou sloupu (horizontální omezení poškození). Pokud je odezva spojů tvárná, dojde u nich před zhroucením k velkým deformacím, takže se zabrání náhlému křehkému selhání.

3. KOMPOZITNÍ KONSTRUKCE V NESEISMICKÉ OBLASTI

1. Úvod
2. Ocelová konstrukce v neseismické oblasti
- 3. Kompozitní konstrukce v neseismické oblasti**
4. Ocelová konstrukce v seismické oblasti
5. Kompozitní konstrukce v seismické oblasti

■ Identifikovaná zatížení

■ Náraz

- Ekvivalentní statická síla

■ Externí výbuch

- Ekvivalentní přístup SDOF

■ Lokální požár

- Model lokálního požáru

■ Neidentifikovaná zatížení

■ Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

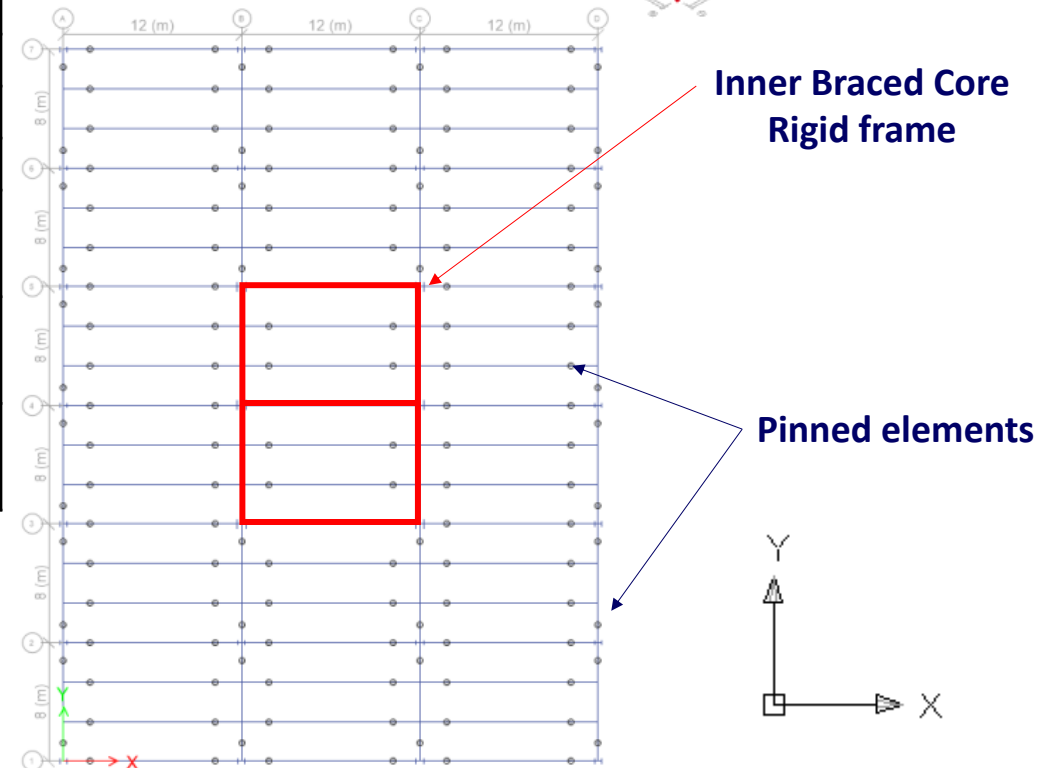
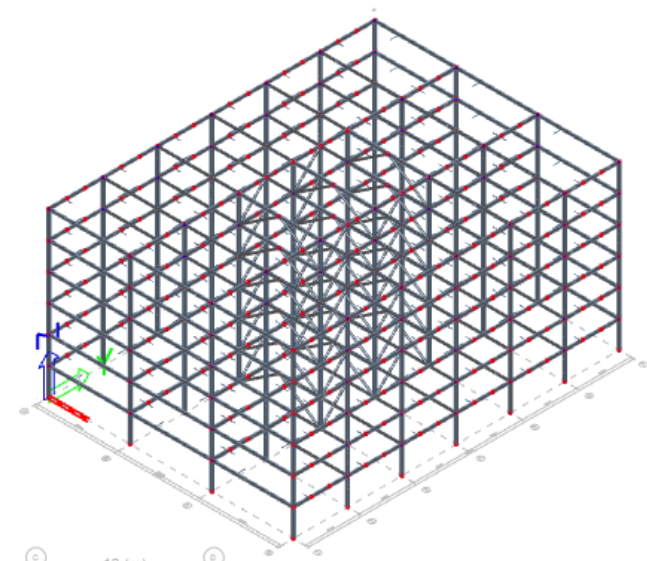
- Preskriptivní metoda (metoda vazby)
- Plně numerický přístup

■ Klíčový element

Průřezy prvků

Prvek	typ	průřez	využití		Kritická komponenta (ULS / SLS)
			ULS	SLS	
Nosník	Obvodové nosníky	IPE 450	0.93	0.80	- Final Stage - Crushing concrete flange - Final Stage - Deflection
	Vnitřní nosníky	IPE 500	0.96	0.86	- Final Stage - Bending - Final Stage - Deflection
		IPE 360	0.95	0.98	- Final Stage - Bending - Final Stage - Deflection
Sloup*	Obvodové sloupy	HD 360x162	0.61	-	- Final Stage - Bending and axial compression
	Vnitřní sloupy	HD 400x216	0.78	-	- Final Stage - Bending and axial compression
Ztužidlo	CHS	CHS219.1x5.0	0.71	-	- Final Stage - Bending and axial compression

* Composite columns with equivalent properties were also considered (see next slide).



STYČNÍKY

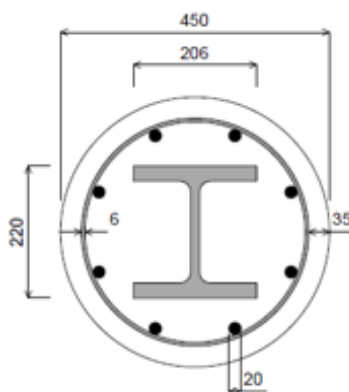
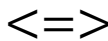
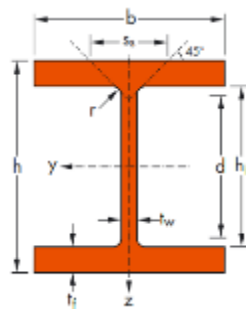
Pozice	Typ styčnicku	Únosnost ve smyku (kN)	Únosnost v ohybu (kNm)	Způsob porušení	UF
Obvod	Header plate	289.38	-	Únosnost skupiny šroubů ve smyku	0.73
	Fin plate	297.96	-	Únosnost skupiny šroubů ve smyku	0.71
Vnitřní	Header plate	289.38	-	Únosnost skupiny šroubů ve smyku	0.64
	Fin plate	265.89	-	Únosnost šroub v otláčení	0.70

„Trny $d=19\text{ mm}$, $h=100\text{ mm}$ “ byly použity v jedné řadě a na desku byla nanesena podélná a příčná výztuž $\phi 12//100$.

KOMPOZITNÍ SLOUPY

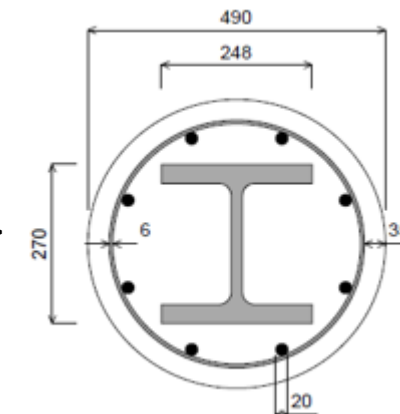
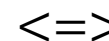
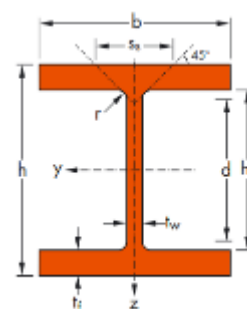
Obvodové

HD 360x162



Vnitřní

HD 400x216



Identifikovaná zatížení

■ **Náraz**

Ekvivalentní statická síla

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na účinky nárazu v důsledku náhodného nárazu vozidla.

■ **ZATÍŽENÍ PRO PŘÍPAD mimořádné NÁVRHOVÉ SITUACE**

- Stálá zatížení DL
- Užitná zatížení LL
- Účinek nárazu A_{Ed}

■ **KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI**

- $DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$

■ **DEFINICE SCÉNÁŘŮ NÁRAZU**

- Zahrnují obvodové sloupy podél dvou jízdnic pruhů;
- V tomto příkladu jsou vystaveny dlouhé i krátké strany fasády.

ZATÍŽENÍ NÁRAZEM

- zatížení jsou vypočtena pomocí tabulky 4.1 normy EN 1991-1-7, s ohledem na případ Venkovské silnice ve venkovské oblasti.

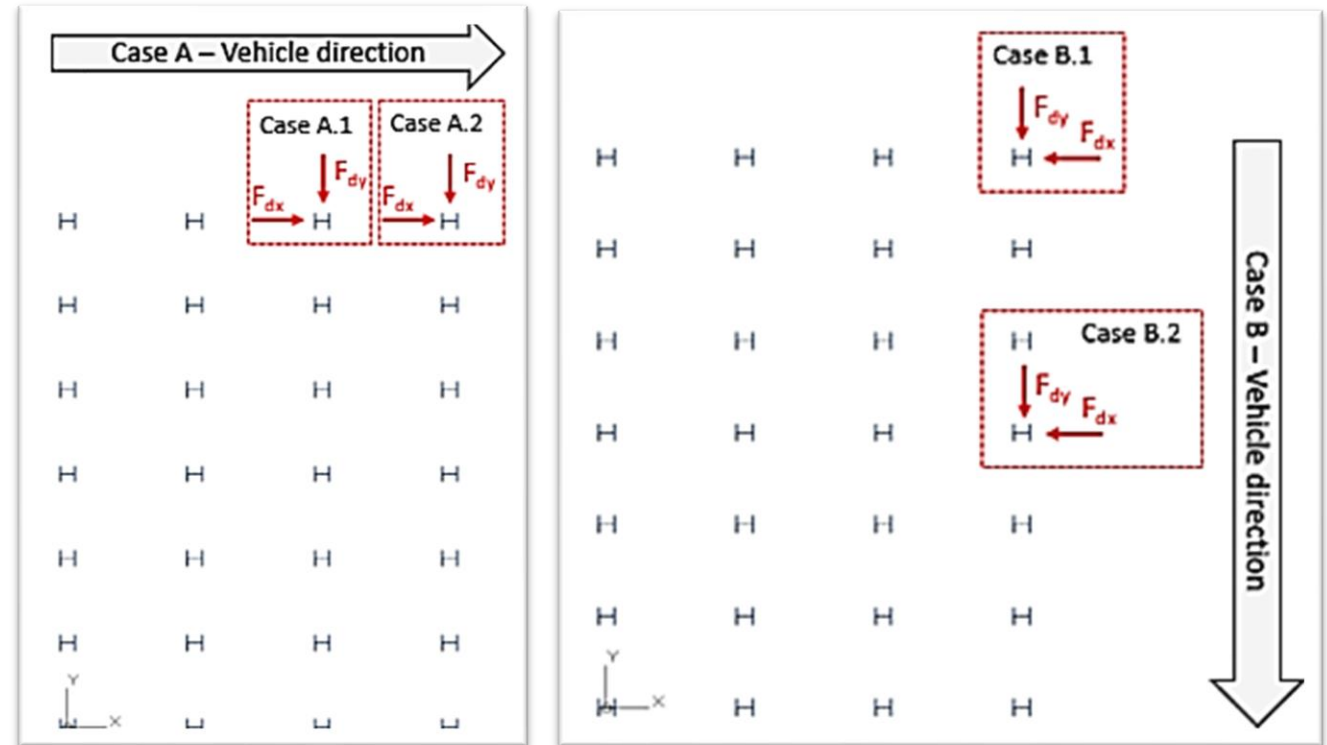
PŘEDPOKLAD NÁRAZU

- Sloup: přízemí (A.1 / A.2 / B.1 / B.2);
- Výška bodu nárazu: 1.5m;
- Zatížení:

Případ	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
A.1	750	375
A.2	750	375
B.1	375	750
B.2	375	750

ANALÝZA KONSTRUKCE

- Lineární elastická analýza** se provádí na úplném 3D modelu pomocí softwaru SCIA®. V prvním kroku jsou průřezy prvků ty, které vyplývají z původního návrhu.
- Ocelobetonové sloupy jsou navrženy pomocí softwaru A3C®.



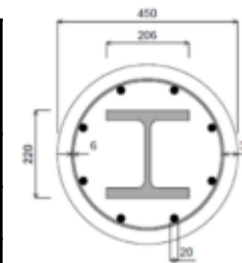
VÝSLEDKY

Výsledky lineární statické analýzy dopadu na ocelové sloupy

Případ	Průřez	Zatížení		Spodní podpora	UF (-)	
		F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)		S355	S460
A.1	HD 360x162	750	375	Pevná	1.30	0.91
				Kloubová	1.50	1.05
A.2	HD 360x162	750	375	Pevná	1.08	0.78
				Kloubová	1.23	0.92
B.1	HD 360x162	375	750	Pevná	1.29	0.98
				Kloubová	1.54	1.17
B.2	HD 360x162	375	750	Pevná	1.45	1.10
				Kloubová	1.72	1.30

Výsledky lineární statické analýzy nárazu pro ocelobetonové sloupy

Případ	Zatížení		Podpory	UF (-)
	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)		S355
A.1	750	375	Kloub	2.63
A.2	750	375	Kloub	2.04
B.1	375	750	Kloub	2.25
B.2	375	750	Kloub	2.34



OCELOVÉ SLOUPY

- Výsledky pro kloubově uložené I vetknuté sloupy vyrobené z oceli třídy S355 ukazují překročení meze kluzu s UF až 1,72.
- Při použití oceli třídy S460 je pozorováno značné zlepšení z hlediska využití.

OCELOBETONOVÉ SLOUPY

- využití podstatně vyšší ← To souvisí především s návrhem průřezů a okrajovými podmínkami. Za použití statické analýzy ocelový průřez přenáší 65% až 70% zatížení → vyšší využití.
- Ke zmírnění dopadu lze nebezpečí předejít nebo ho odstranit pomocí následujících opatření:
 - Vyšší třída oceli / větší průřez;
 - Správná orientace sloup vůči směru nárazu / návrh vetknutých patek;
 - K přesnějšímu posouzení únosnost lze použít pokročilejší přístupy.

Identifikovaná zatížení

■ Vnější výbuch

■ Ekvivalentní přístup SDOF

■ Zatížení

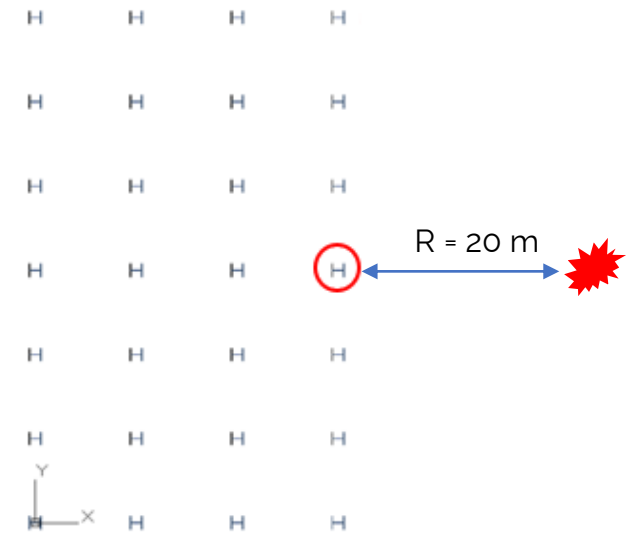
- Výbuch A_{ed}

■ DEFINICE SCÉNÁŘE VÝBUCHU

- Sloup uvažovaný v analýze je obvodový sloup umístěný uprostřed nejdelšího průčelí budovy.
- Odstupová vzdálenost $R = 20 \text{ m}$
- Výbušnina $W = \text{ekvivalent } 100 \text{ kg TNT}$

■ ANALÝZA KONSTRUKCE

- Lineární elastická analýza se provádí pomocí zjednodušeného dynamického přístupu.



PARAMETRY TLAKOVÉ VLNY (1)

■ Měřítko vzdálenosti a úhlu dopadu se vypočítá na základě:

- Hmotnost nálože;
- Odstupová vzdálenost;
- Bod detonace (od povrchu země).

TNT ekvivalentní hmotnost výbušné náplně

→

$$W = 100 \text{ kg}$$

Odstupová vzdálenost

→

$$R = 20 \text{ m}$$

Výška výbuchu

→

$$H_c = 1 \text{ m}$$

Zmenšená vzdálenost

→

$$Z = \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} = \frac{20}{100^{\frac{1}{3}}} = 4.309 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{\frac{1}{3}}}$$

Vzdálenost od zdroje výbuchu

→

$$R_h = \sqrt{R^2 + H_c^2} = \sqrt{20^2 + 1^2} = 20.025 \text{ m}$$

Úhel dopadu

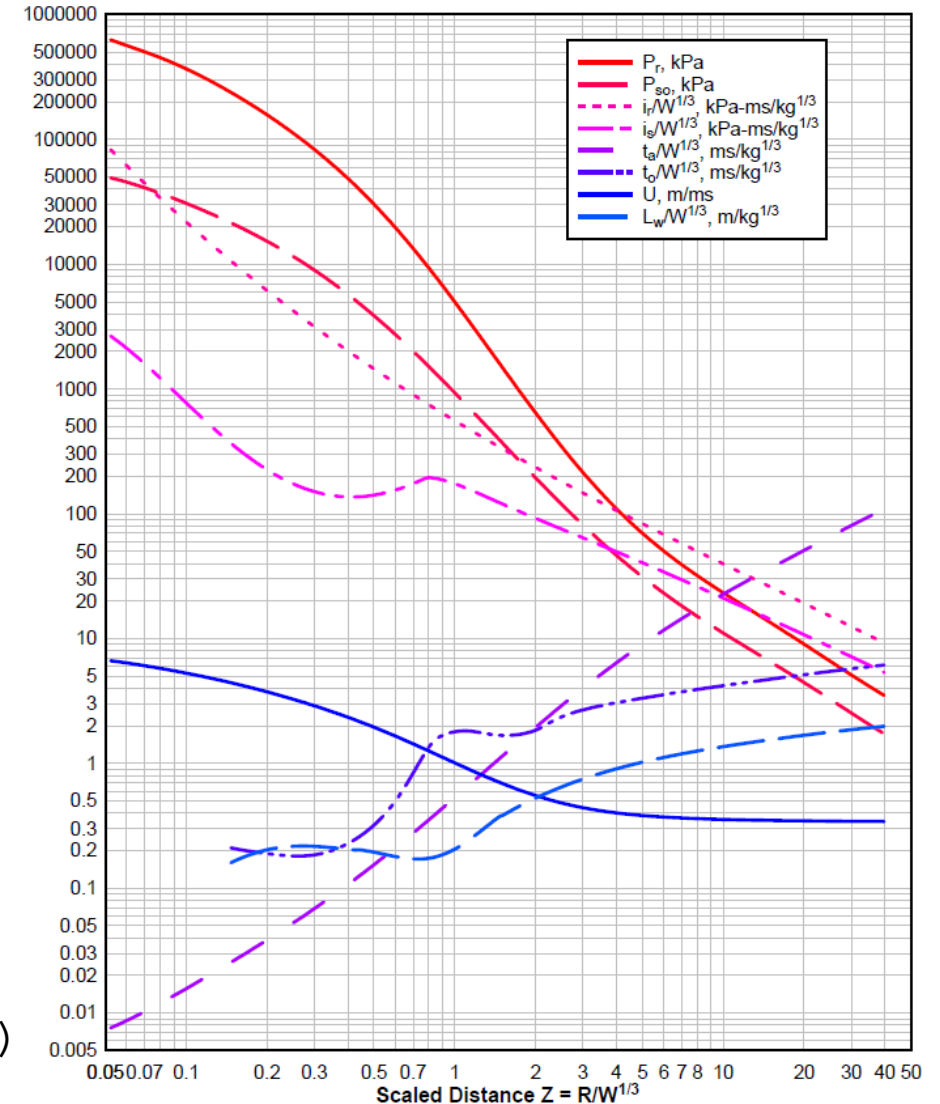
→

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{H_c}{W^{\frac{1}{3}}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{100^{\frac{1}{3}}} \right) = 12.158^\circ$$

PARAMETRY TLAKOVÉ VLNY (2)

■ Dále se pomocí grafu pro výbuchy volným vzduchem určí parametry zatížení výbuchem:

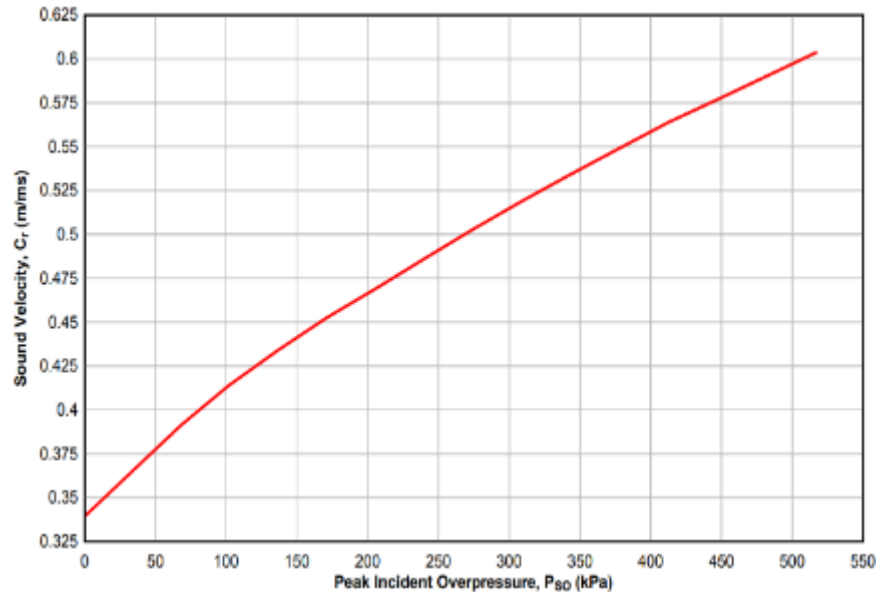
Dopadový tlak	→	$P_{so} = 56.44 \text{ kPa}$
Dopadový impuls	→	$I_s = 313.71 \text{ kPa}\cdot\text{ms}$
Odražený tlak	→	$P_r = 137.37 \text{ kPa}$
Odražený impuls	→	$I_r = 688.09 \text{ kPa}\cdot\text{ms}$
Čas příjezdu	→	$t_a = 30.29 \text{ ms}\cdot W^{\frac{1}{3}} = 140.59 \text{ ms}$
Trvání kladné fáze	→	$t_0 = 16.49 \text{ ms}$
Vlnová délka výbuchu	→	$L_w = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{\frac{1}{3}}}$
Rychlost čela nárazu	→	$U = 413.93 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



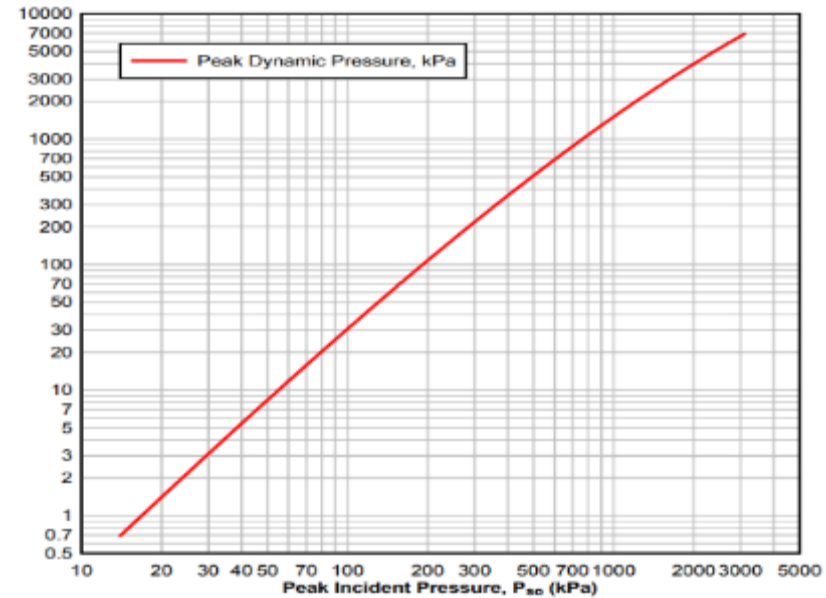
(JRC, 2013)

PARAMETRY TLAKOVÉ VLNY (3)

- S ohledem na dříve definovaný dopadající tlak (P_{so}) se rychlost zvuku (C_r) a špičkový dynamický tlak (q) získají pomocí následujících grafů



(JRC, 2013)



(JRC, 2013)

Rychlost zvuku $\rightarrow C_r = 0.38 \frac{m}{ms}$

Maximální dynamický tlak $\rightarrow q = 8.5 kPa$

PARAMETRY TLAKOVÉ VLNY (4)

Poté se vypočítají fiktivní zkrácené časové intervaly:

$$\text{Doba trvání fiktivní pozitivní fáze} \rightarrow t_{0f} = 2 \frac{I_s}{P_{s0}} = 2 \times \frac{313.71}{56.44} = 11.12 \text{ ms}$$

$$\text{Fiktivní doba trvání odražené vlny} \rightarrow t_{rf} = 2 \frac{I_r}{P_r} = 2 \times \frac{688.09}{137.37} = 10.02 \text{ ms}$$

Nakonec se určí doba uvolnění a maximální tlak působící na stěnu:

$$\text{Výška prvku} \rightarrow h_s = 4 \text{ m}$$

$$\text{Šírka stěny} \rightarrow w_s = 4 \text{ m}$$

$$\text{Koeficient odporu vzduchu} \rightarrow C_D = 1$$

$$\text{Nejmenší rozměr (výška versus šířka)} \rightarrow s_d = \min\left(h_s, \frac{w_s}{2}\right) = \min\left(4, \frac{4}{2}\right) = 2 \text{ m}$$

$$\text{Největší rozměr (výška versus šířka)} \rightarrow l_d = \max\left(h_s, \frac{w_s}{2}\right) = \max\left(4, \frac{4}{2}\right) = 4 \text{ m}$$

$$\text{Poměr (nejmenší/největší)} \rightarrow r_{s,l} = \frac{s_d}{l_d} = \frac{2}{4} = 0.5$$

$$\text{Clearing time} \rightarrow t_c = \frac{4s_d}{(1 + r_{s,l})C_r} = \frac{4 \times 2}{(1 + 0.5) \times 0.38} = 14.04 \text{ ms}$$

$$\text{Maximální tlak působící na stěnu} \rightarrow P = P_{s0} + q \cdot C_D = 56.44 + 8.5 \times 1 = 64.94 \text{ kPa}$$

■ PŘÍSTUP S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI (SDOF)

- V této fázi se sloup transformuje na ekvivalentní systém SDOF. Vypočítají se dvě řešení: **ocelové sloupy** a **kompozitní sloupy**.
- První krok při aplikaci metody SDOF spočívá ve výpočtu rovnoměrně rozloženého zatížení a bodového zatížení způsobeného otřesem sloupu.

Odražený tlak	→	$P_r = 137.37 \text{ kPa}$		
Výška Sloupu	→	$h_c = 4 \text{ m}$		
Šířka panelu před sloupem	→	$w_p = 5 \text{ m}$	Rozložená zátěž z výbuchu na sloup	→
Fiktivní doba trvání vlny	→	$t_{rf} = 10.02 \text{ ms}$		$F_d = P_r w_p = 137.37 \times 5$
Vlastní hmotnost sloupu (Ocel; kompozit)	→	$G_c = (1.834 ; 4.721) \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Bodová síla od výbuchu	→
				$= 686.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
				$F_p = F_d h_c = 686.85 \times 4.0$
				$= 2747.4 \text{ kN}$

- Protože se jedná o statickou analýzu, je pro zohlednění dynamických účinků použit faktor DLF. První iterace se provede s **DLF 1,45**, aby se zesílilo zatížení. Kromě toho lze na mez kluzu použít **součinitel DIF 1,2** kvůli účinku rychlosti deformace.

■ PŘÍSTUP S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI (SDOF) (2)

■ Pro stanovení odezvy systému SDOF z hlediska mezní únosnosti R_m se používají různé transformační součinitele (zatížení KL, hmotnost KM atd.) pro nosníky a jednosměrné desky.

- Tuhost sloupu (ocel; kompozit) ↓

$$K_c = (130762.8 ; 53221.04) \frac{kN}{m}$$

- Únosnost v ohybu (ocel; kompozit) ↓

$$M_{Rd} = (1347.01 ; 759.42) kNm$$

- Efektivní hmotnost (ocel, kompozit) →

$$M_e = \frac{G_c \cdot h_c \cdot K_M}{g} = \frac{(1.834 ; 4.721) \times 4 \times 0.50}{9.81} = (374.03 ; 962.82) kg$$

- Efektivní tuhost (ocel; kompozit) →

$$K_e = K_c K_L = (130762.8 ; 53221.04) \times 0.64 = (83688.19 ; 34061.47) \frac{kN}{m}$$


- Vlastní frekvence (ocel; kompozit) →

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{M_e}{K_e}} = 2 \times \pi \sqrt{\frac{(374.03; 962.82)}{(83688.19; 34061.47)}} = (0.01; 0.03) s$$

- Poměr mezi fiktivním trváním odražené vlny a vlastní frekvenci (ocel; kompozit) →

$$\frac{t_{rf}}{T_c} = \frac{10.02}{(13.28; 33.41)} = (0.75 ; 0.30)$$

Table 67. Transformation Factors for Beams and One-way Slabs double fixed beam (Biggs and Biggs, 1964)

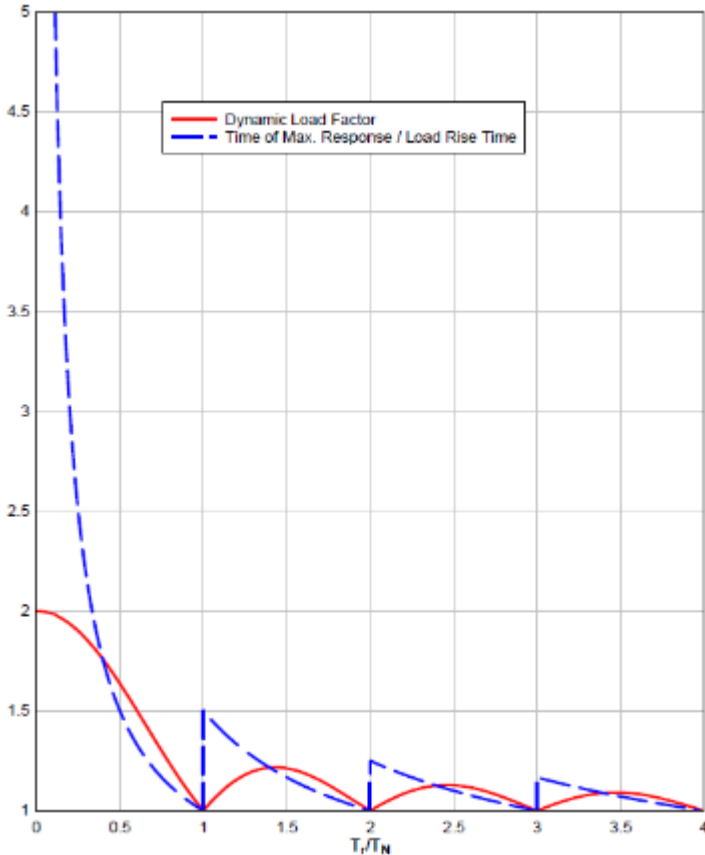
Loading diagram	Strain range	Loading factor K_L	Mass factor K_M		Load-mass factor K_{LM}		Maximum resistance R_m	Spring constant k	Effective spring constant k_E	Dynamic reaction V
			Concentrated mass*	Uniform mass	Concentrated mass*	Uniform mass				
	Elastic	0.53	...	0.41	...	0.77	$\frac{12M_{px}}{L}$	$\frac{384EI}{L^3}$...	$0.36R+0.14F$
	Elastic - plastic	0.64	...	0.50	...	0.78	$\frac{8}{L}(M_{px} + M_{pm})$	$\frac{384EI}{5L^3}$	$\frac{307EI}{L^3}$	$0.39R+0.11F$
	Plastic	0.50	...	0.33	...	0.66	$\frac{8}{L}(M_{px} + M_{pm})$	0	...	$0.38R_m+0.12F$

- Součinitel zatížení → $K_L = 0.64$

- Součinitel hmotnosti → $K_M = 0.50$

■ PŘÍSTUP S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI (SDOF) (3)

- Na základě předchozích údajů se získá vlastní perioda kmitání a poměr mezi dobou trvání odražených kmitů a periodou kmitání. Na základě tohoto poměru lze provést druhou iteraci pro DLF.



(DoD, 2008)

- druhá iterace (ocel, kompozit) →

$$DLF = (1.30 ; 1.80)$$

- Maximální moment (ocel, kompozit) →

$$M_{max} = \frac{F_p \cdot h_c}{8} DLF = \frac{2747.4 \times 4}{8} \times (1.30 ; 1.80) = (1785.81 ; 2472.66) \text{ kNm}$$

- Únosnost (ocel, kompozit) →

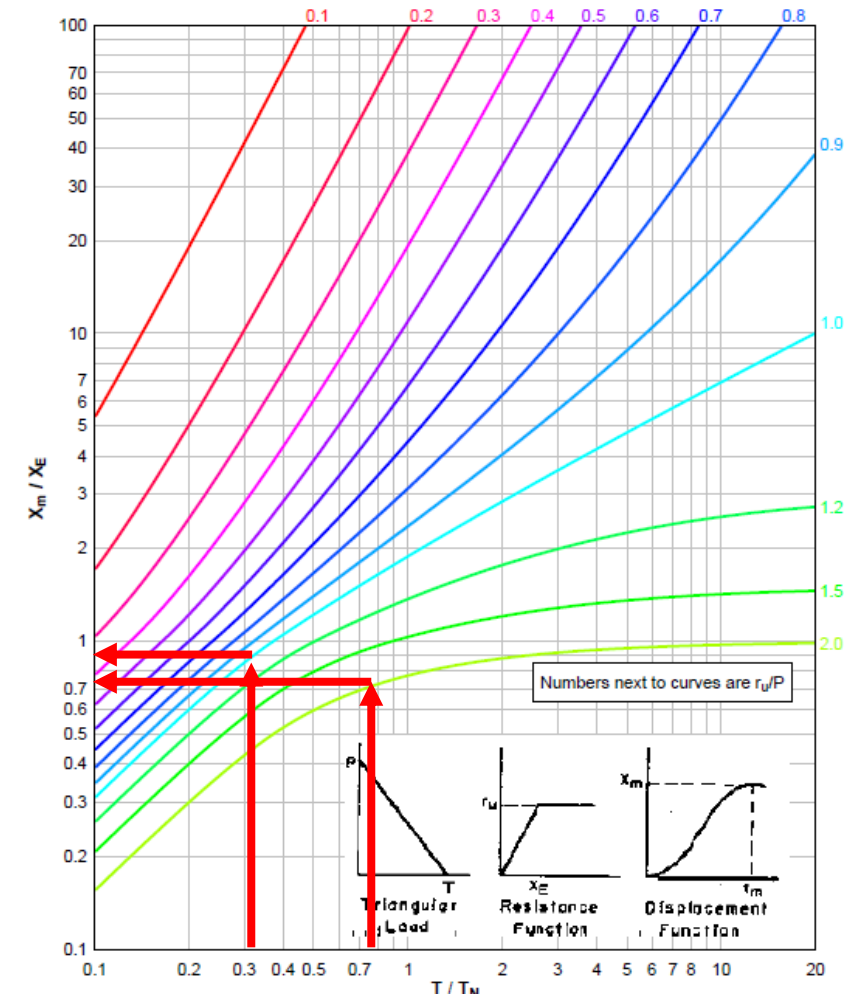
$$R_m = \frac{8(2M_{Rd})}{h_c} = \frac{8 \times 2 \times (1347.01 ; 759.42)}{4} = (5388.05 ; 3037.7) \text{ kN}$$

VÝSLEDKY

- Poměr maximální únosnosti a se použije k určení požadavku na tažnost μ pomocí následujícího grafu.

Poměr (ocel, kompozit) $\frac{R_m}{F_p} = (1.96 ; 1.11)$ $\frac{t_{rf}}{T_c} = (0.75 ; 0.30)$

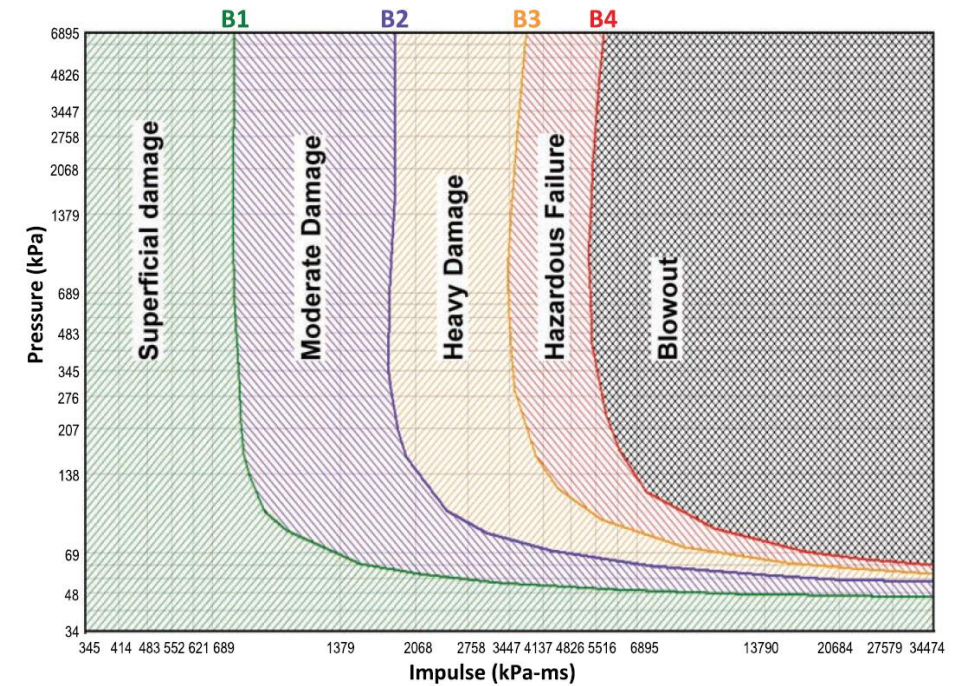
- Požadavky na duktilitu (ocel, kompozit) $\mu_1 = (0.80 ; 0.95)$ (χ_M / χ_E) byly dosaženy.
- Po stanovení pružného posunu bylo tedy dosaženo maximálního posunu (ocel ; kompozit) 51,51 ; 84,72 mm.
- Podobně se postupuje i pro maximální dobu trvání odezvy.



(DoD, 2008)

VÝSLEDKY (POKRAČOVÁNÍ)

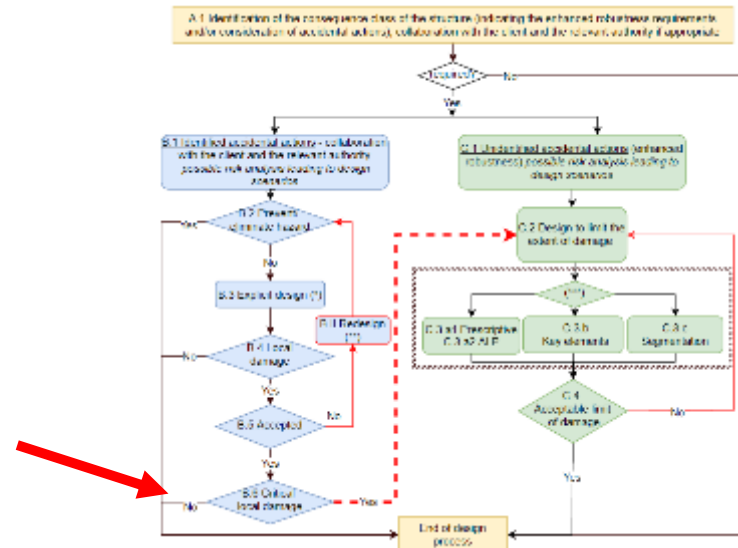
- Požadavek na tažnost se porovná s únosností, aby se posoudilo, zda je poškození přijatelné.
- Pomocí vztahů tlakových impulsů a mezních hodnot odezvy lze stanovit návrhový cíl.
- Proto byl pro tento příklad zvolen cíl B1 (povrchové poškození) a byl získán poměr $\frac{\mu_1}{\mu_{max}} = (0.80 ; 0.95)$.
- Poškození lze proto považovat za přijatelné.
- Podle tabulky pro posouzení únosnosti z rámečku B.6 je výsledkem tohoto příkladu KONEC návrhového rámečku, protože všechny požadavky jsou považovány za splněné.



(CSA S850-12)

Table 5. Example of response limits for hot-rolled structural steel* (CSA, 1991)

Element type		B1		B2		B3		B4	
		μ_{max}	θ_{max}	μ_{max}	θ_{max}	μ_{max}	θ_{max}	μ_{max}	θ_{max}
Flexure	Beam with compact section†	1	-	3	3°	12	10°	25	20°
	Beam with noncompact section†, ‡	0.7	-	0.85	3°	1	-	1.2	-
	Plate bent about weak axis	4	1°	8	2°	20	6°	40	12°
Compression	Beam-column with compact section†, §	1	-	3	3°	3	3°	3	3°
	Beam-column with noncompact section†, §	0.7	-	0.85	3°	0.85	3°	0.85	3°
	Column (axial failure)**	0.9	-	1.3	-	2	-	3	-



IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Lokální požár

Model lokálního požáru

ZATÍŽENÍ PRO PŘÍPAD mimořádné NÁVRHOVÉ SITUACE

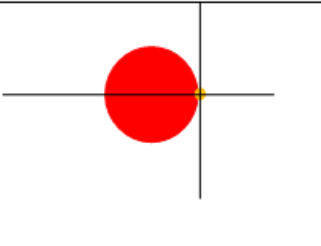
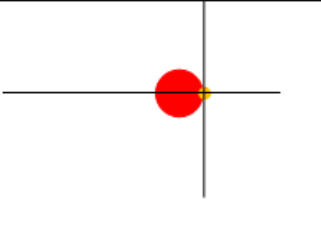
- Stálá zatížení DL;
- Užitná zatížení LL;
- Požár A_{ed}

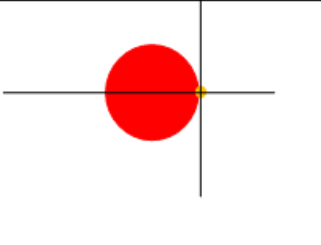
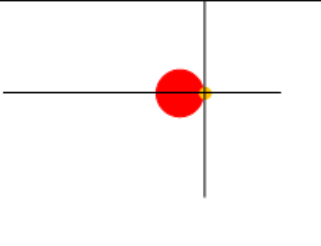
KOMBINACE ZATÍŽENÍ

$$DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$$

SCÉNÁŘE LOKÁLNÍHO POŽÁRU

- V této analýze jsou definovány čtyři scénáře, počínaje základním scénářem s ohledem na standardní hodnoty pro kancelářskou budovu. Tři další scénáře předpokládají „vysoké hodnoty“: buď pro rychlost uvolňování tepla (dvojnásobná hodnota 500 kW/m²), nebo pro hustotu požárního zatížení a rychlost růstu požáru (hodnoty pro obsazenost „komerční plochy“, které jsou přísnější než u kancelářských budov)
- dva reálné průměry požáru: **1 m a 2 m**. Pro všechny scénáře je učiněn bezpečný předpoklad, uvážíme-li, že lokalizovaný požár je umístěn těsně vedle sloupu.

Scenario A		
	Diameter of the fire basis	2 m
	Rate of Heat Release density	250 kW/m ² (office building EN 1991-1-2)
	Fire load density	511 MJ/m ² (office building EN 1991-1-2)
	Fire growth rate	300 sec (office building EN 1991-1-2)
Scenario B		
	Diameter of the fire basis	1 m
	Rate of Heat Release density	500 kW/m ²
	Fire load density	511 MJ/m ² (office building EN 1991-1-2)
	Fire growth rate	300 sec (office building EN 1991-1-2)

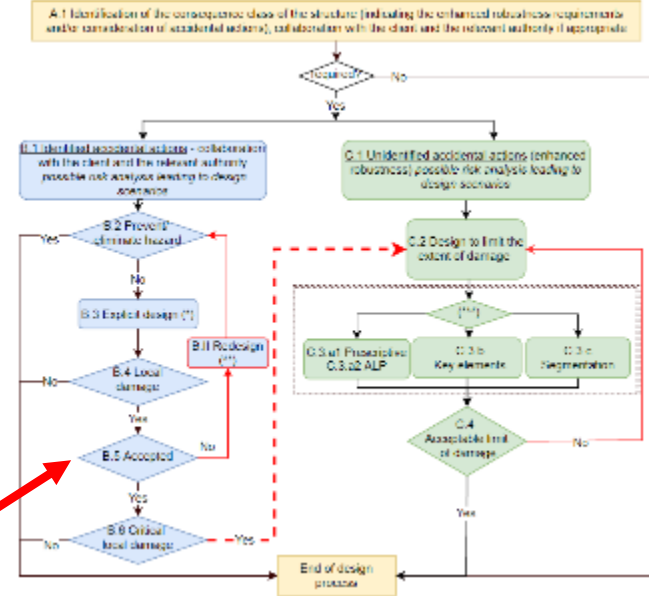
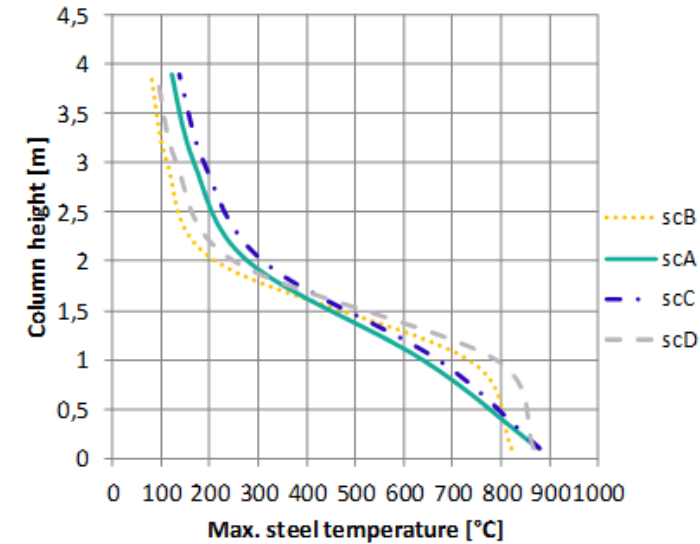
Scenario C		
	Diameter of the fire basis	2 m
	Rate of Heat Release density	250 kW/m ² (commercial area EN 1991-1-2)
	Fire load density	730 MJ/m ² (commercial area EN 1991-1-2)
	Fire growth rate	150 sec (commercial area EN 1991-1-2)
Scenario D		
	Diameter of the fire basis	1 m
	Rate of Heat Release density	500 kW/m ²
	Fire load density	730 MJ/m ² (commercial area EN 1991-1-2)
	Fire growth rate	150 sec (commercial area EN 1991-1-2)

ANALÝZA KONSTRUKCE

- Pro každý scénář se používá software OZone® (Cadorin, 2003) s použitím modelu LOCAFI (Brasseur et al., 2018) a také rovnic z EN 1991-1-2 k vyhodnocení teplot oceli nechráněného sloupu za tepla válcovaného profilu HEB340 (jako příklad).

ZÁVĚR

- Byly vypočteny a porovnány maximální teploty oceli po výšce sloupu pro 4 scénáře, přičemž bylo zdůrazněno, že ačkoli jsou pro charakterizaci lokalizovaného požáru použity různé předpoklady, je dosaženo stejného trendu a řádu velikosti.
- Ve spodní části ocelových sloupů vznikají výrazné teploty, které mohou způsobit vybočení nebo lokální plastické porušení - rámeček B.5. → konec návrhu – vývojový diagram návrhu robustnosti (pokud bude přijat nebo bude třeba provést další návrh).
- Všimněte si, že k zamezení škod způsobených požárem lze místo návrhu konstrukčních prvků na specifickou požární odolnost nebo zvětšení průřezu použít protipožární ochranu.



NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Preskriptivní metoda – metoda vazby

Tento příklad ukazuje použití metody vazby nosníků a jejich spojů (vodorovné vazby).

ZATÍŽENÍ

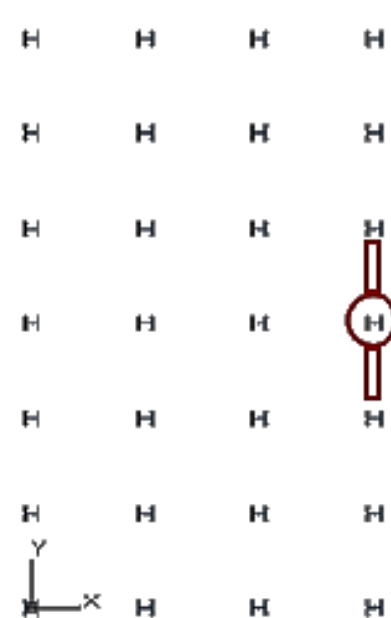
No specific accidental action is taken into account

VODOROVNÉ VAZNÍ SÍLY

Vazné síly jsou stanoveny dle EN 1991-1-7

$T_i = 0.8(g_k + \psi q_k)sL$	or	75 kN, whichever is greater
$T_p = 0.4(g_k + \psi q_k)sL$	or	75 kN, whichever is greater

Stálé zatížení	$g_k = 5 \frac{kN}{m^2}$
Proměnné zatížení	$q_k = 3 \frac{kN}{m^2}$
Kombinační součinitel	$\psi = 0.5$
Vzdálenost vazeb	$s = 12 m$
Rozpon vazby	$L = 8 m$



NÁVRHOVÁ HODNOTA TAHOVÝCH SIL VE VNITŘNÍ VAZBĚ

$$T_i = \max[0.8 \cdot (g_k + \Psi \cdot q_k) \cdot s \cdot L, 75 \text{ kN}] = \max[0.8 \times (5 + 0.5 \times 3) \times 12 \times 8, 75 \text{ kN}] = 499.2 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÁ HODNOTA TAHOVÝCH SIL V OBVODOVÉ VAZBĚ

$$T_p = \max[0.4 \cdot (g_k + \Psi \cdot q_k) \cdot s \cdot L, 75 \text{ kN}] = \max[0.4 \times (5 + 0.5 \times 3) \times 12 \times 8, 75 \text{ kN}] = 249.6 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ (NOSNÍKY)

Posouzení (IPE 360)

$$U_i = \frac{T_i}{N_{pl,i}} = \frac{499.2}{2581} = 0.19$$

Posouzení (IPE 450)

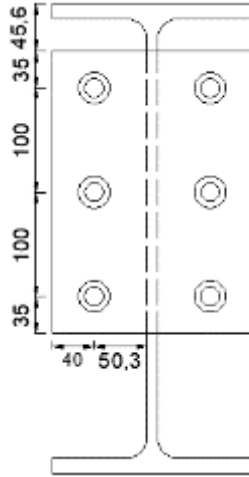
$$U_p = \frac{T_p}{N_{pl,p}} = \frac{249.6}{3507.4} = 0.07$$

OK

Nosníky uvažované pro metodu vazby

■ POSOUZENÍ STYČNÍKŮ

Čelní deska



Šrouby:

M16 Gr.8.8 (6 šroubů)

Plate:

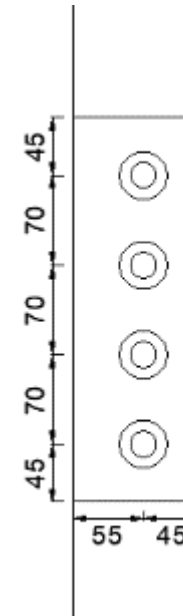
Tloušťka $t_p = 10\text{mm}$

Výška $h_p = 270\text{mm}$

Šířka $b_p = 190\text{mm}$

Svar $a_w = 2 \times 6\text{mm}$

Plech



Šrouby:

M16 Gr.8.8 (4 šrouby)

Plate:

Tloušťka $t_p = 10\text{mm}$

Výška $h_p = 300\text{mm}$

Šířka $b_p = 100\text{mm}$

Svar $a_w = 2 \times 6\text{mm}$

POSOUZENÍ (STYČNÍK V TAHU)

$$U = \frac{T_p}{N_u} = 0.92$$

$$U = \frac{T_p}{N_u} = 0.71$$

■ ZÁVĚR

- Styčníky dokáží přenést zatížení dané normou.
- Kloubové styčníky (zanedbání kompozitního působení: výztuže na úrovni spojů mohou působit jako vazné prvky, pokud je uspořádání výztuže souvislé v celém podlaží budovy).

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Klíčový prvek

Normativní přístup

■ Zatížení pro případ mimořádné návrhové situace

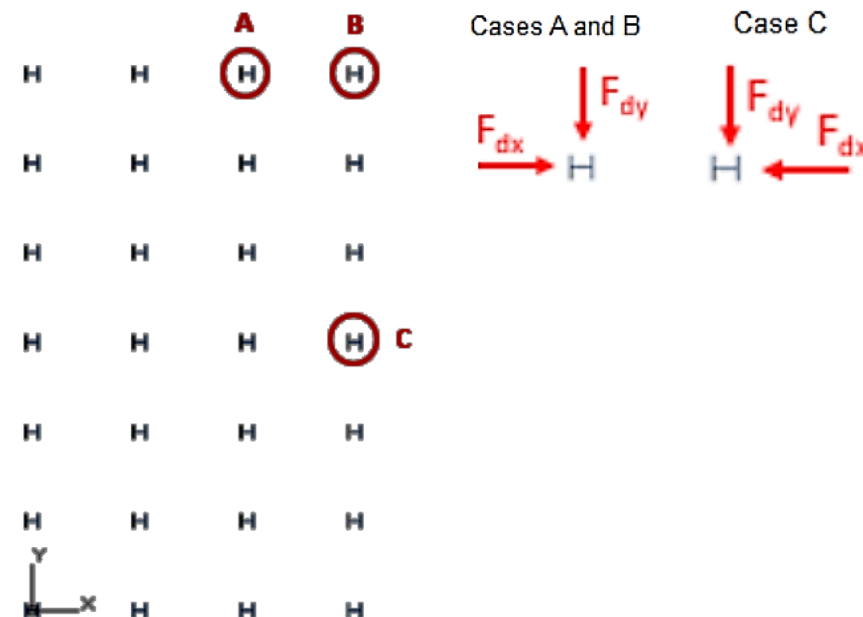
- Stálá zatížení DL;
- Užitná zatížení LL;
- mimořádné zatížení A_d .

■ COMBINATION OF ACTIONS FOR THE ACCIDENTAL DESIGN SITUATION

$$DL + 0.5 \times LL + A_d$$

■ Definice klíčových prvků

- V tomto příkladu je jako klíčové prvky označena sada sloupů (A, B a C).
- Podle (EN 1991-1-7 2006) je velikost náhodného návrhového zásahu pro kontrolu klíčových prvků 34 kN/m² aplikovaného v jakémkoli směru (individuálně).



■ VÝPOČET

- Pro posouzení sil, které budou působit na sloup, se uvažují geometrické charakteristiky sloupu spolu s panelem o šířce 5 m.
- Podobně jsou uvedeny dvě alternativy sloupů: ocelové sloupy a kompozitní sloupy.

mimořádná zatížení použitá pro klíčové prvky –
Ocelové sloupy

Případ	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
A.1	50.46	0
B.1	50.46	0
C.1	680	0

Případ	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
A.2	0	680
B.2	0	680
C.2	0	49.5

mimořádná zatížení použitá pro klíčové prvky –
Kompozitní sloupy

Případ	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
A.1	61.2	0
B.1	61.2	0
C.1	680	0

Případ	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
A.2	0	680
B.2	0	680
C.2	0	61.2

Analýza konstrukce

- Bodová zatížení jsou aplikována přímo jako horizontální zatížení v modelu SCIA® (model ocelových sloupů) ve středu výšky každého sloupu klíčového prvku (A, B a C) podél obou os jednotlivě, s ohledem na náhodnou kombinaci zatížení.

VÝSLEDKY

- Výsledky jsou uvedeny pro obě řešení. Kromě toho byla použita vyšší třída oceli (S460), aby se zvýšila únosnost ocelového průřezu bez změny průřezu.

Výsledky – ocelový sloup

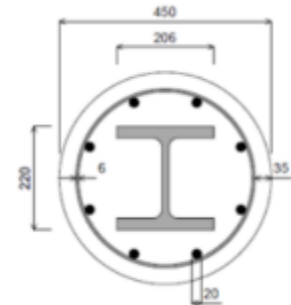
Případ	Průřez	Zatížení		Podpora	UF (-)		Vodorovná deformace* S355 (mm)
		F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)		S355	S460	
A.1	HD 360x162	50.46	0	Pevné	0.39	0.28	0.7
				Kloubové	0.39	0.28	0.8
A.2	HD 360x162	0	680	Pevné	1.03	0.82	-
				Kloubové	1.25	1.00	-
B.1	HD 360x162	50.46	0	Pevné	0.22	0.16	0.7
				Kloubové	0.23	0.17	0.8
B.2	HD 360x162	0	680	Pevné	0.95	0.75	9.1
				Kloubové	1.14	0.92	-
C.1	HD 360x162	680	0	Pevné	0.68	0.54	5.0
				Kloubové	0.83	0.65	8.1
C.2	HD 360x162	0	49.5	Pevné	0.40	0.29	1.4
				Kloubové	0.42	0.31	1.4

Výsledky – spřažený sloup

Případ	Zatížení		Podpory	UF (-) S355
	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)		
A.1	61.2	0	Kloubové	0.42
A.2	0	680	Kloubové	2.29
B.1	61.2	0	Kloubové	0.24
B.2	0	680	Kloubové	1.84
C.1	680	0	Kloubové	1.34
C.2	0	49.5	Kloubové	0.40

Podrobnosti o průřezu sloupu:

- Ocelový profil - HE200M
- Třída betonu - C30/37
- Výztuž (A500) - $\varnothing 20$ mm / $\varnothing 6$ mm



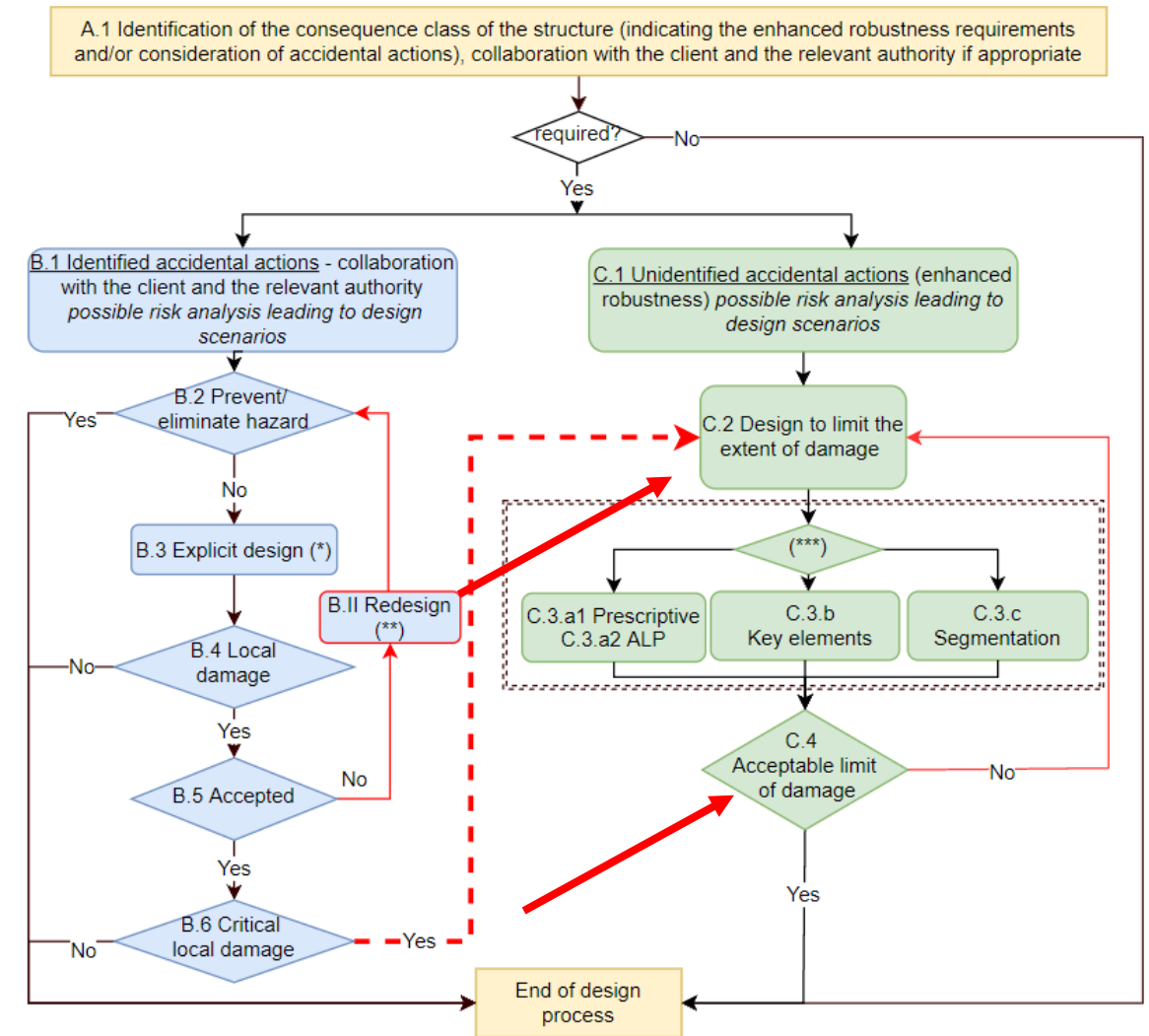
ZÁVĚR

Ocelové sloupy

- Výsledky ukazují, že u ocelových sloupů používajících pevné podpěry únosnost nepřekračuje mez kluzu (lze připustit 1,03).
- U kloubových podpěr pro případy A.2 a B.2 je však tento limit překročen

Spřažené ocelobetonové sloupy

- Pokud jde o spřažené sloupy využití je podstatně vyšší, jak bylo vysvětleno dříve pro analýzu nárazu.



■ Závěr (pokračování)

- Celkově lze konstatovat, že u ocelových sloupů, které nejsou kompozitní, může standardní konstrukce odolávat vyvinutým zatížením, pokud je pata sloupu vetknutá.
- Spražené sloupy však vykazují nejhorší výsledky, protože hlavní příspěvek k únosnosti bude pocházet z ocelového prvku, který je podstatně menší než prvek použitý pro standardní ocelovou konstrukci.
- Jak bylo ukázáno dříve, hlavním zlepšením, kterého lze dosáhnout, je zvýšení třídy oceli na S460; tím se všechny využití sloupů dostanou pod hodnotu 1,0 pro standardní ocelové profily nebo se jí rovnají.
- Za účelem zlepšení odezvy klíčového prvku lze provést soubor dalších změn:
 - Zvětšit velikost profilů;
 - Navrhnout s ohledem na výhodnější okrajové podmínky;
 - U kompozitních sloupů by se mohlo uvažovat o kombinaci předchozích řešení.

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Plně numerický přístup

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na neidentifikované hrozby pomocí metody ALPM prostřednictvím plně numerického přístupu..

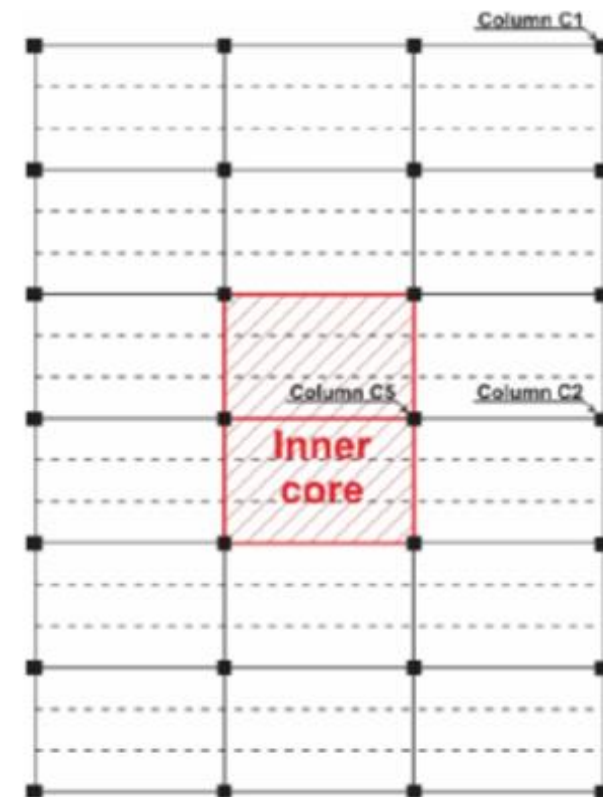
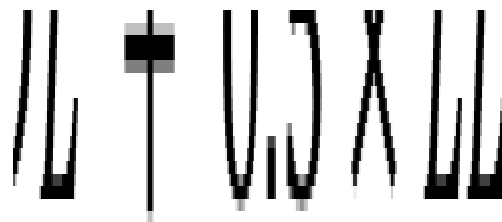
ZATÍŽENÍ

- Stálé zatížení DL
- Proměnné zatížení LL

$$\rightarrow DL + 0.5 \times LL$$

UVAŽOVANÉ SCÉNÁŘE:

- Krajní sloup (C1) podlaží 0, 1, 3 a 5;
- Fasádní sloup (C2) podlaží 0, 1, 3 a 5;
- Sloup ztužidla (C5) podlaží 0, 1, 3 a 5.



ANALÝZA KONSTRUKCE

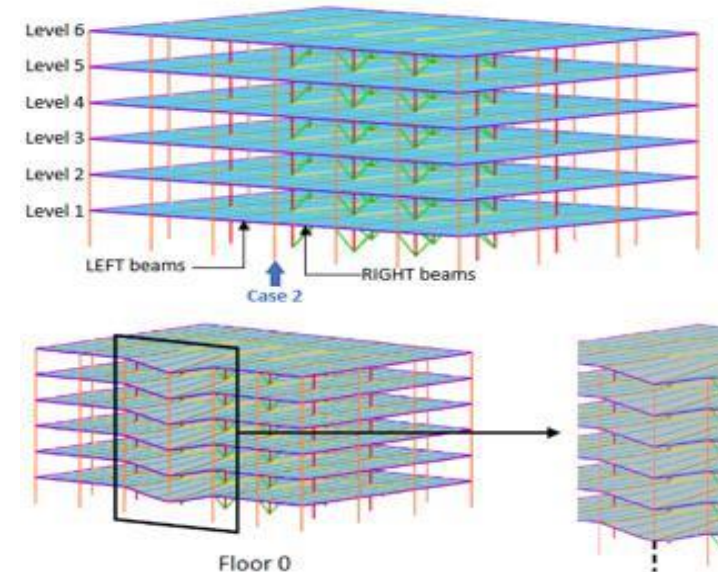
- Cílem této analýzy je vyhodnotit chování budovy v případě mimořádné situace (odstranění sloupu). Výpočty se provádějí pomocí softwaru SAFIR®.
- Celkem je provedeno 20 simulací, které jsou rozděleny do 2 různých skupin podle předpokládané konfigurace spoje nosníku se sloupem:
 - 12 simulací se všemi kloubovými spoji nosníku se sloupem.
 - 8 simulací s tuhými spoji nosníku se sloupem.
- V případech, kdy je sloup C1 odstraněn, jsou definovány dva různé předpoklady:
 - Všechny přípoje nosníku na sloup jsou kloubové (C1 "Všechny kloubové styčníky");
 - Tuhé přípoje nosníku na sloup v rohu, kde je sloup odstraněn (C1 "Tuhé spoje").
- V případech, kdy je sloup C2 odstraněn, jsou definovány dva různé předpoklady:
 - Všechny přípoje nosníku na sloup jsou kloubové (C2 "Všechny kloubové styčníky");
 - Tuhé přípoje nosníku na sloup, kde je sloup odstraněn (C2 "Tuhé spoje").

Maximální posun

Maximální posun(m)	Podlaží	Kloubové styčníky	Tuhé styčníky
Sloup C1	F0	1.340	0.081
	F1	1.340	0.083
	F3	1.320	0.088
	F5	1.380	0.720
Sloup C2	F0	0.670	0.610
	F1	0.670	0.600
	F3	0.670	0.550
	F5	0.670	0.250
Sloup C5	F0	0.016	-
	F1	0.017	
	F3	0.018	
	F5	0.018	

Detailed results for case C2

Maximální osová síla v nosníku (případ C2)	Kloubové styčníky	
	Levý nosník (kN)	Pravý nosník (kN)
Level 1	1381.6	1381.2
Level 2	1327.6	1326.8
Level 3	1340.4	1339.5
Level 4	1338.2	1337.4
Level 5	1337.6	1336.7
Level 6	1332.5	1331.7



■ Závěr

■ Ztráta sloupu C1:

- Konstrukce vykazuje velmi vysoký svislý posun, protože jediný příspěvek k odolávání gravitačnímu zatížení poskytuje vykonzolovaná betonová deska (nosníky mají kloubové styčníky);
- Robustní chování lze zlepšit:
 - Vyztužením přípoje nosníku na sloup podél svislého uspořádání sloupů (kloubové -> polotuhé - > tuhé).
 - Použití polotuhých/tuhých spojů poskytuje dodatečnou ohybovou únosnost;
 - zlepšení únosnosti desky (dodatečné vyztužení v rozích budovy).

■ Ztráta sloupů C2 a C5:

- Posuny jsou mnohem menší než v případě ztráty rohového sloupu a zatížení se rozkládá po podlažích nad chybějícím sloupem;
- Boční posuny ve sloupech sousedících se ztraceným sloupem jsou malé, což naznačuje, že zatížení je relativně rovnoměrně přerozděleno do všech podlaží nad chybějícím sloupem;
- Tyto scénáře ztráty sloupu nevedou k progresivnímu kolapsu konstrukce, ale pouze k lokálnímu poškození.

4. OCELOVÁ KONSTRUKCE V SEISMICKÉ OBLASTI

■ Návrhové přístupy

■ Identifikovaná zatížení

■ Vnější výbuch:

- Ekvivalentní analýza s jedním stupněm volnosti
- Plně dynamický přístup

■ Vnitřní výbuch:

- Ekvivalentní statická síla
- Dynamický přístup (metoda ekvivalentu TNT)

■ Zemětřesení:

- Pokročilá numerická analýza (multi-hazard)

■ Neidentifikovaná zatížení

■ Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM):

- Preskriptivní metoda (metoda vazeb)
- Zjednodušená dynamická analýza
- Plně numerický přístup

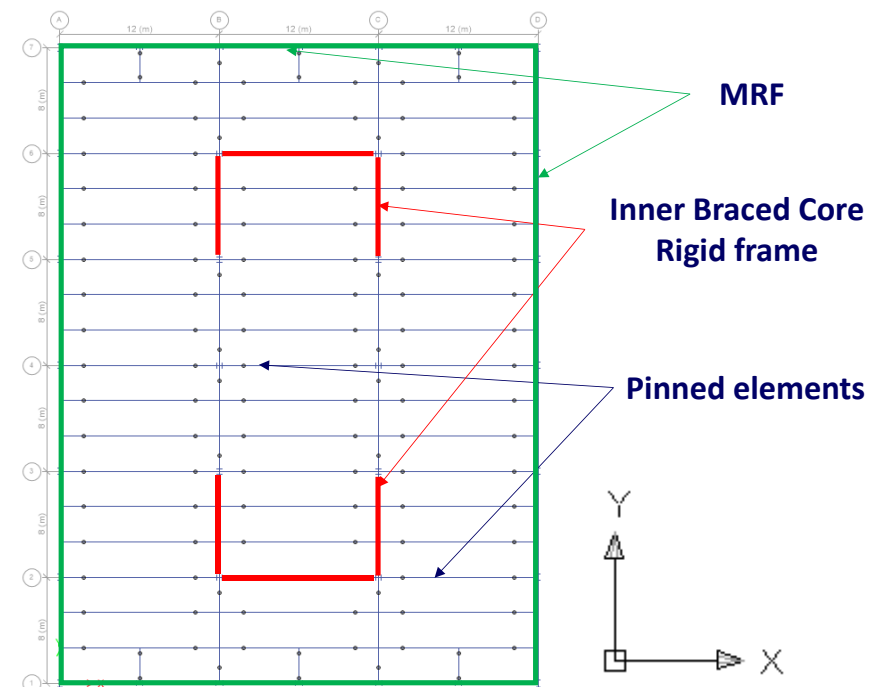
1. Úvod
2. Ocelová konstrukce v neseismické oblasti
3. Kompozitní konstrukce v neseismické oblasti
- 4. Ocelová konstrukce v seismické oblasti**
5. Kompozitní konstrukce v seismické oblasti

PŘUŘEZY-VYUŽITÍ

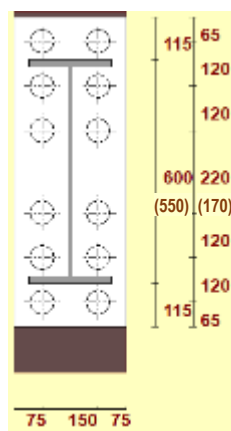
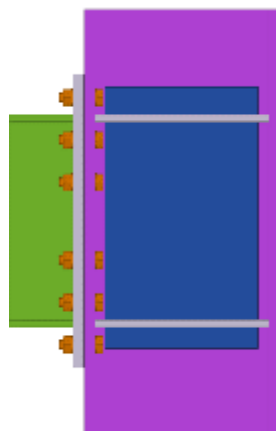
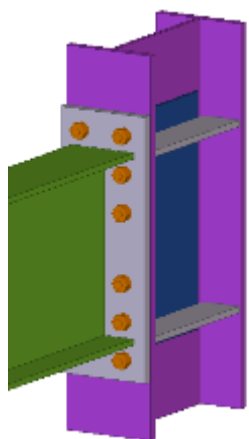
Sloupy	Průřez	Třída oceli	Využití
Rohový sloup	HE550B	S355	0.49
Obvodový sloup	HE500B	S355	0.71
Vnitřní sloup	HD400X463	S355	0.95

Nosníky	Orientace ¹	Podlaží	Průřez	Třída oceli	Využití	Průřez
					Únosnost	Deformace ²
Obvodový nosník	X	1-6	IPE550	S355	0.278	0.023
	Y	1-6	IPE600	S355	0.302	0.153
Vnitřní nosník	X	1-6	IPE550	S355	0.546	0.85
	Y	1-6	IPE550	S355	0.909	0.928
Nosník ztužidla	X	1-3	³ H800	S460	0.936	-
		4-5	HEM800	S460	0.953	-
		6	HEM700	S460	0.789	-
	Y	1-3	HEM500	S460	0.859	-
		4-6	HEB500	S460	0.878	-

Ztužidla	Podlaží	Průřez	Třída oceli	Využití
Směr Y	1-3	HEA320	S355	0.41
	4	HEA260	S355	0.43
	5	HEA220	S355	0.46
	6	HEA200	S355	0.39
Směr X	1-3	HEB340	S355	0.41
	4-5	HEA320	S355	0.27
	6	HEA260	S355 </td <td>0.26</td>	0.26



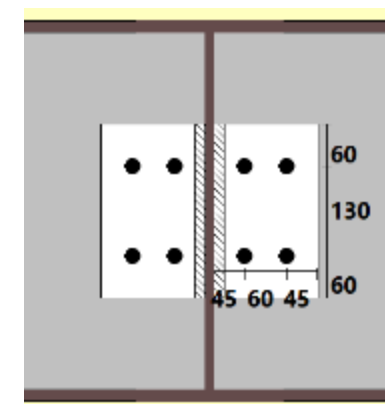
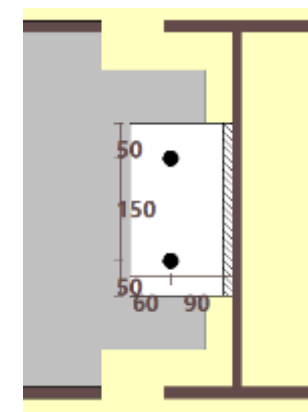
Přípoje



Tuhé

Pozice	Typ přípoje	Únosnost v ohybu $M_{j,Rd}$ (kNm)	Únosnost ve smyku (kN)	Způsob porušení	UF*	$\frac{M_{j,Rd}}{M_{pl,b}^{**}}$
A/1, A/7 IPE600-HEB550	Čelní deska	1173	1516	Čelní deska v ohybu	0.29	0.94
A/1, A/7, A/2-6 IPE600-HEB500	Čelní deska	1169	1387	Čelní deska v ohybu	0.26	0.94
1/A - 1/D IPE550-HEB500	Čelní deska	957	1409	Čelní deska v ohybu	0.15	0.97

Note:
 * Utilisation factor is defined for ULS, persistent design situation
 ** $M_{pl,b}$ is the plastic resistance of the beam



Kloubové

Pozice	Podlaží	Typ přípoje	Únosnost ve smyku (kN)	Způsob porušení	UF*
A/1-7, D/1-7 IPE550-IPE600	1-6	Šroubovaný úhelník	196	Šrouby sek. Nosníku ve smyku	0.72
B/1-7, C/1-7 IPE550-IPE550	1-6	Šroubovaný úhelník	196	Šrouby sek. Nosníku ve smyku	0.72
B/2, B/5, C/2, C/5 IPE550-HEM500	1-3	Šroubovaný úhelník	196	Šrouby sek. Nosníku ve smyku	0.67
B/2, B/5, C/2, C/5 IPE550-HEB500	4-6	Šroubovaný úhelník	196	Šrouby sek. Nosníku ve smyku	0.65

Note:
 * Utilisation factor is defined for ULS, persistent design situation

IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Externí výbuch

Ekvivalentní analýza s jedním stupněm volnosti

■ ZATÍŽENÍ PRO PŘÍPAD mimořádné NÁVRHOVÉ SITU

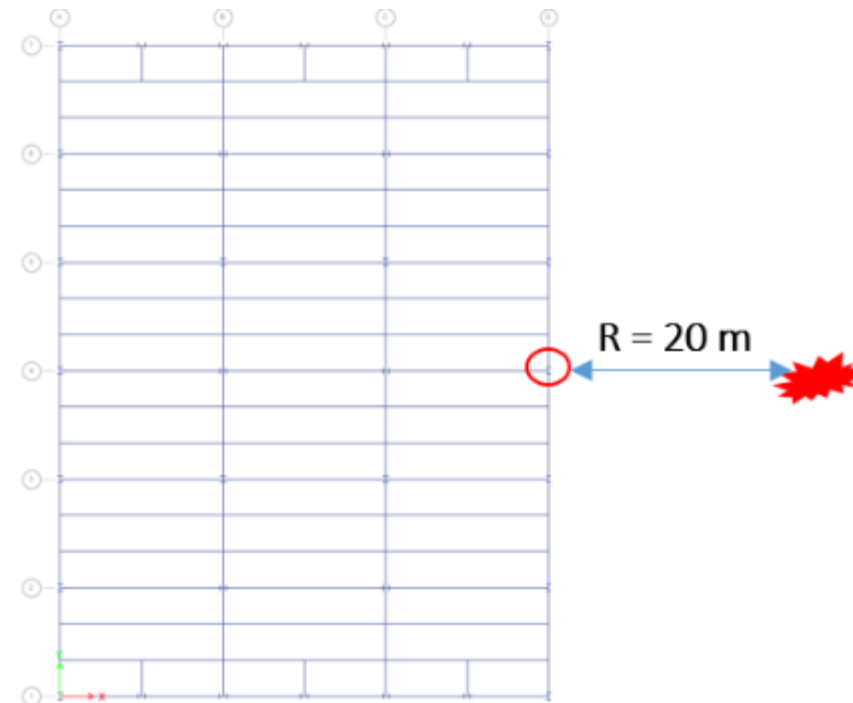
- Výbuch A_{Ed}

■ Definice scénáře výbuchu

- Sloup uvažovaný v analýze je obvodový sloup umístěný uprostřed nejdelšího průčelí budovy
- Odstupová vzdálenost 20 m
- Výbušnina ekvivalent **100 kg TNT**

■ Analýza konstrukce

Lineární elastická analýza se provádí pomocí zjednodušeného dynamického přístupu.



■ Parametry tlakové vlny

■ Měřítka vzdálenosti a úhlu dopadu se vypočítá na základě:

■ Hmotnost nálože;

■ Odstupová vzdálenost;

■ Bod detonace (od povrchu země).

TNT ekvivalentní hmotnost výbušné náplně

→

$$W = 100 \text{ kg}$$

Odstupová vzdálenost

→

$$R = 20 \text{ m}$$

Výška výbuchu

→

$$H_c = 1 \text{ m}$$

Zmenšená vzdálenost

→

$$Z = \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} = \frac{20}{100^{\frac{1}{3}}} = 4.309 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{\frac{1}{3}}}$$

Vzdálenost od zdroje výbuchu

→

$$R_h = \sqrt{R^2 + H_c^2} = \sqrt{20^2 + 1^2} = 20.025 \text{ m}$$

Úhel dopadu

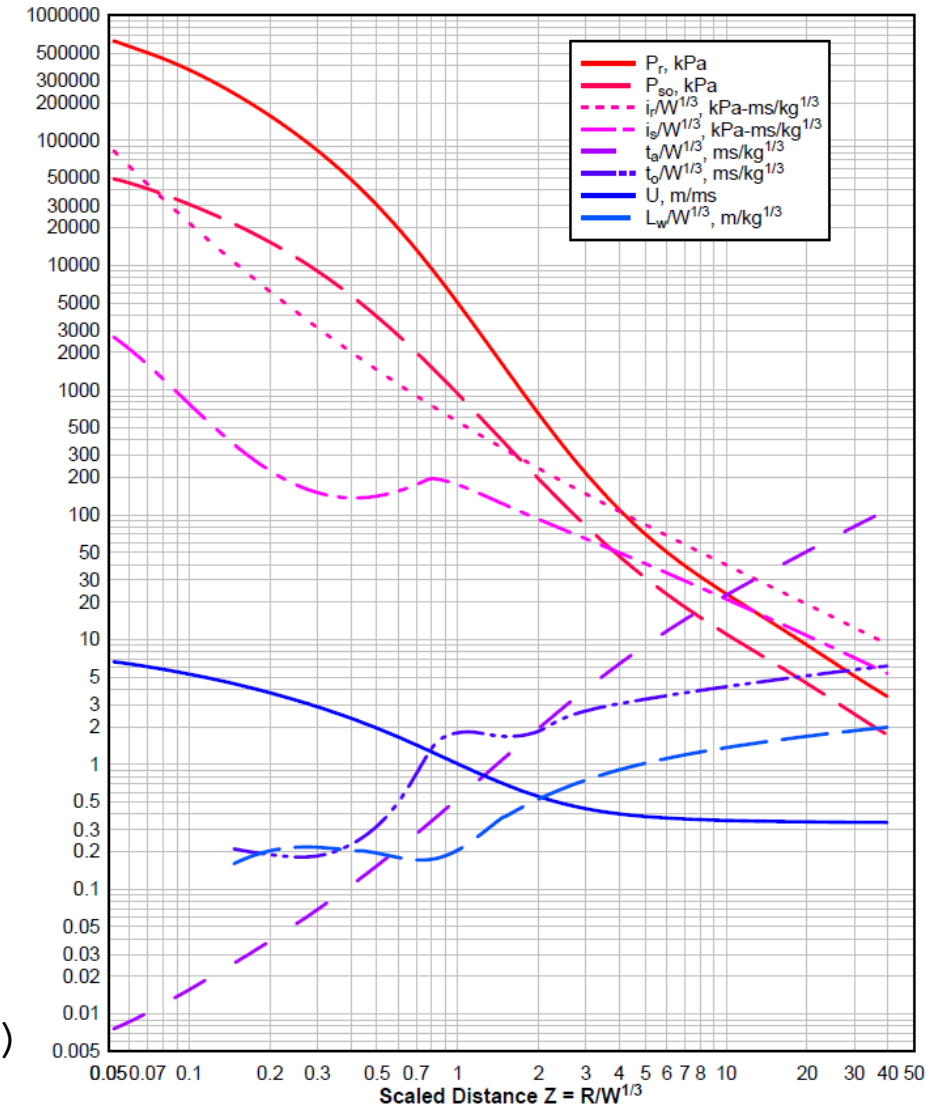
→

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{H_c}{W^{\frac{1}{3}}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{100^{\frac{1}{3}}} \right) = 12.158^\circ$$

Parametry tlakové vlny (2)

Dále se pomocí grafu pro výbuchy volným vzduchem určí parametry zatížení výbuchem:

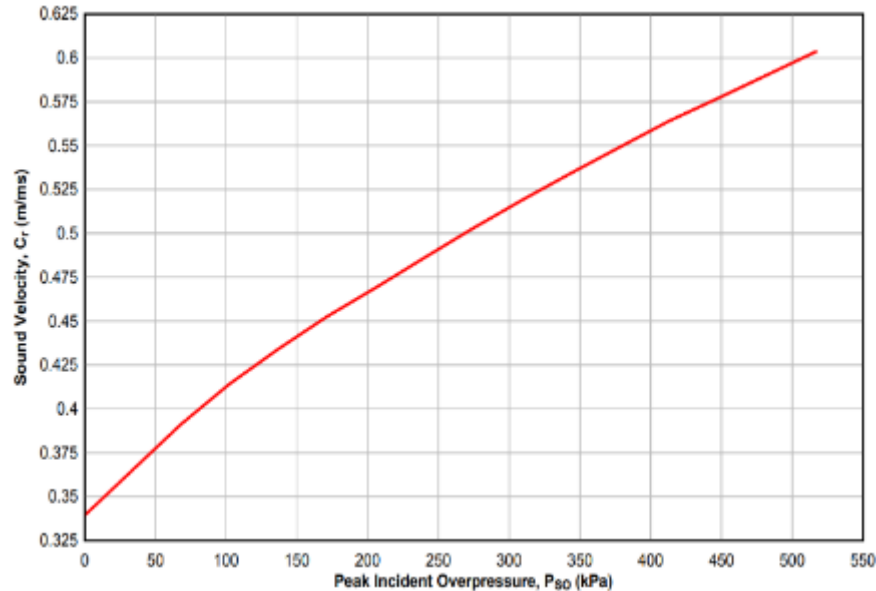
Dopadový tlak	→	$P_{so} = 56.44 \text{ kPa}$
Dopadový impuls	→	$I_s = 313.71 \text{ kPa}\cdot\text{ms}$
Odražený tlak	→	$P_r = 137.37 \text{ kPa}$
Odražený impuls	→	$I_r = 688.09 \text{ kPa}\cdot\text{ms}$
Čas příjezdu	→	$t_a = 30.29 \text{ ms}\cdot W^{\frac{1}{3}} = 140.59 \text{ ms}$
Trvání kladné fáze	→	$t_0 = 16.49 \text{ ms}$
Vlnová délka výbuchu	→	$L_w = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{\frac{1}{3}}}$
Rychlost čela nárazu	→	$U = 413.93 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



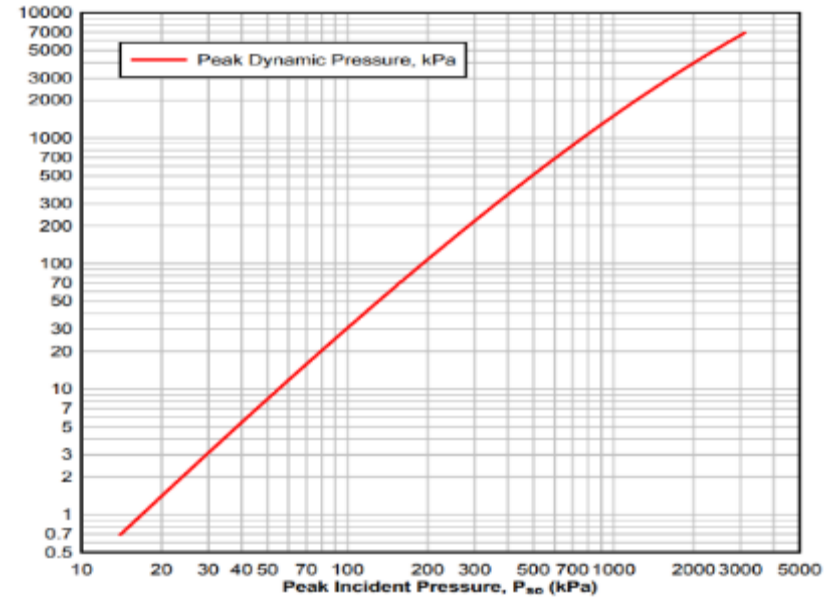
(JRC, 2013)

■ Parametry tlakové vlny (3)

- S ohledem na dříve definovaný dopadající tlak (P_{so}) se rychlost zvuku (C_r) a špičkový dynamický tlak (q) získají pomocí následujících grafů:



(JRC, 2013)



(JRC, 2013)

Rychlost zvuku $\rightarrow C_r = 0.38 \frac{m}{ms}$

Maximální dynamický tlak $\rightarrow q = 8.5 kPa$

■ Parametry tlakové vlny (4)

■ Poté se vypočítají fiktivní zkrácené časové intervaly:

Doba trvání fiktivní pozitivní fáze → $t_{0f} = 2 \frac{I_s}{P_{s0}} = 2 \times \frac{313.71}{56.44} = 11.12 \text{ ms}$

Fiktivní doba trvání odražené vlny → $t_{rf} = 2 \frac{I_r}{P_r} = 2 \times \frac{688.09}{137.37} = 10.02 \text{ ms}$

■ Nakonec se určí doba uvolnění a maximální tlak působící na stěnu:

Výška prvku → $h_s = 4 \text{ m}$

Šírka stěny → $w_s = 4 \text{ m}$

Koeficient odporu vzduchu → $C_D = 1$

Nejmenší rozměr (výška versus šířka) → $s_d = \min\left(h_s, \frac{w_s}{2}\right) = \min\left(4, \frac{4}{2}\right) = 2 \text{ m}$

Největší rozměr (výška versus šířka) → $l_d = \max\left(h_s, \frac{w_s}{2}\right) = \max\left(4, \frac{4}{2}\right) = 4 \text{ m}$

Poměr (nejmenší/největší) → $r_{s,l} = \frac{s_d}{l_d} = \frac{2}{4} = 0.5$

Clearing time → $t_c = \frac{4s_d}{(1 + r_{s,l})C_r} = \frac{4 \times 2}{(1 + 0.5) \times 0.38} = 14.04 \text{ ms}$

Maximální tlak působící na stěnu → $P = P_{s0} + q \cdot C_D = 56.44 + 8.5 \times 1 = 64.94 \text{ kPa}$

■ Parametry tlakové vlny (5)

Poznámka: Při návrhu se uvažuje nejneprůzračnější situace - **největší hodnota tlaku** (odražený tlak) a **nejmenší doba trvání** (fiktivní doba trvání odražené vlny), což má za následek krycí aproximaci tlakově-impulzního zatížení.

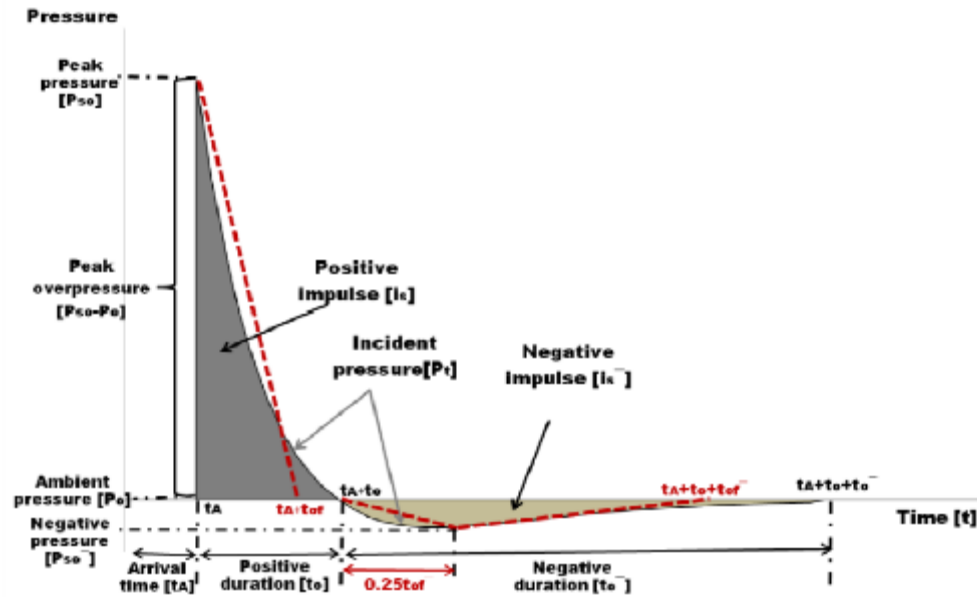


Figure 18: Substitution of actual incident pressure curve by triangular pulses and definition of relevant fictitious times.

(JRC, 2013)

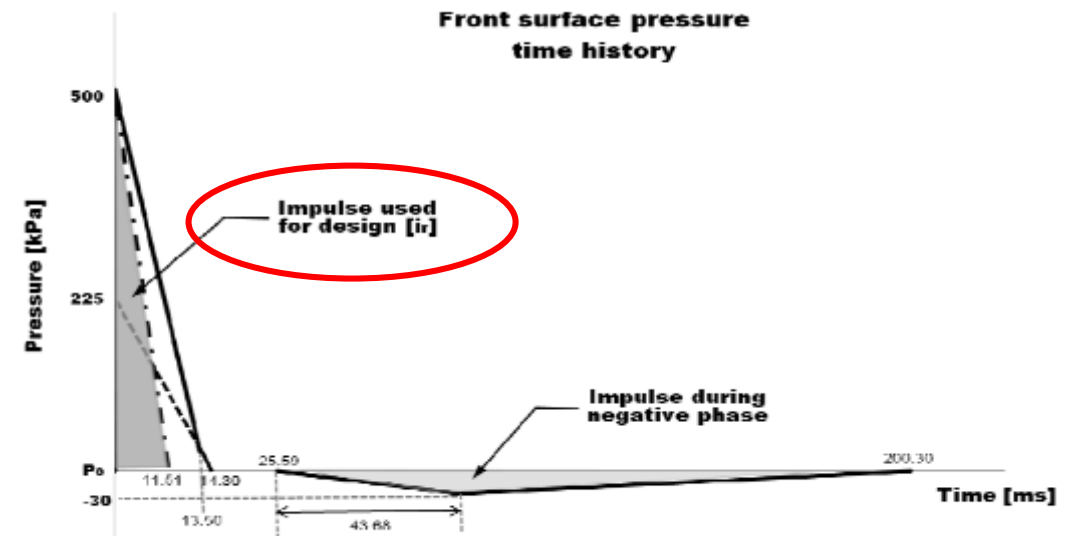


Figure 28: Blast pressure time history at front wall of the structure.

(JRC, 2013)

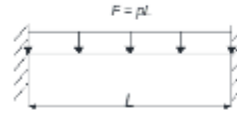
■ EKVIVALENTNÍ ANALÝZA S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI

- V této fázi se sloup transformuje na ekvivalentní systém SDOF.
- První krok při aplikaci metody SDOF spočívá ve výpočtu rovnoměrně rozloženého zatížení a bodového zatížení způsobeného otřesem sloupu.
- Protože se jedná o statickou analýzu, je pro zohlednění dynamických účinků použit faktor DLF. První iterace se provede s **DLF 1,45**, aby se zesílilo zatížení. Kromě toho lze na mez kluzu použít **součinitel DIF 1,2** kvůli účinku rychlosti deformace.
- Pro stanovení odezvy systému SDOF z hlediska mezní únosnosti R_m se používají různé transformační součinitele (zatížení K_L , hmotnost K_M atd.) pro nosníky a jednosměrně pnuté desky.

Rozložená zátěž z výbuchu na sloup $\rightarrow F_d = P_r w_p = 137.37 \times 5 = 686.85 \frac{kN}{m}$

Bodová síla od výbuchu $\rightarrow F_p = F_d h_c = 686.85 \times 3.5 = 2404 kN$

Table 67. Transformation Factors for Beams and One-way Slabs double fixed beam (Biggs and Biggs, 1964)

Loading diagram	Strain range	Loading factor K_L	Mass factor K_M		Load-mass factor K_{LM}		Maximum resistance R_m	Spring constant k	Effective spring constant k_e	Dynamic reaction V
			Concentrated mass*	Uniform mass	Concentrated mass*	Uniform mass				
	Elastic	0.53	...	0.41	...	0.77	$\frac{12M_{pr}}{L}$	$\frac{384EI}{L^3}$...	$0.36R+0.14F$
	Elastic-plastic	0.64	...	0.50	...	0.78	$\frac{8}{L}(M_{pr} + M_{pm})$	$\frac{384EI}{5L^3}$	$\frac{307EI}{L^3}$	$0.39R+0.11F$
	Plastic	0.50	...	0.33	...	0.66	$\frac{8}{L}(M_{pr} + M_{pm})$	0	...	$0.38R_m+0.12F$

■ EKVIVALENTNÍ ANALÝZA S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI

■ Na základě předchozích údajů se získá vlastní perioda kmitání a poměr mezi dobou trvání odražených kmitů a periodou kmitání. Na základě tohoto poměru lze provést druhou iteraci pro DLF.

- Efektivní hmota → $M_e = \frac{G_c \cdot h_c \cdot K_M}{g} = \frac{1.834 \times 3.5 \times 0.50}{9.81} = 327.3 \text{ kg}$

- Efektivní tuhost → $K_e = K_c K_L = 47471.8 \times 0.64 = 30382 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- Vlastní frekvence → $T_c = 2\pi \sqrt{\frac{M_e}{K_e}} = 2 \times \pi \sqrt{\frac{327.3}{30382}} = 0.0206$

- Poměr mezi fiktivním trváním odražené vlny a přirozenou periodou → $\frac{t_{rf}}{T_c} = 0.49$



- Druhá iterace →

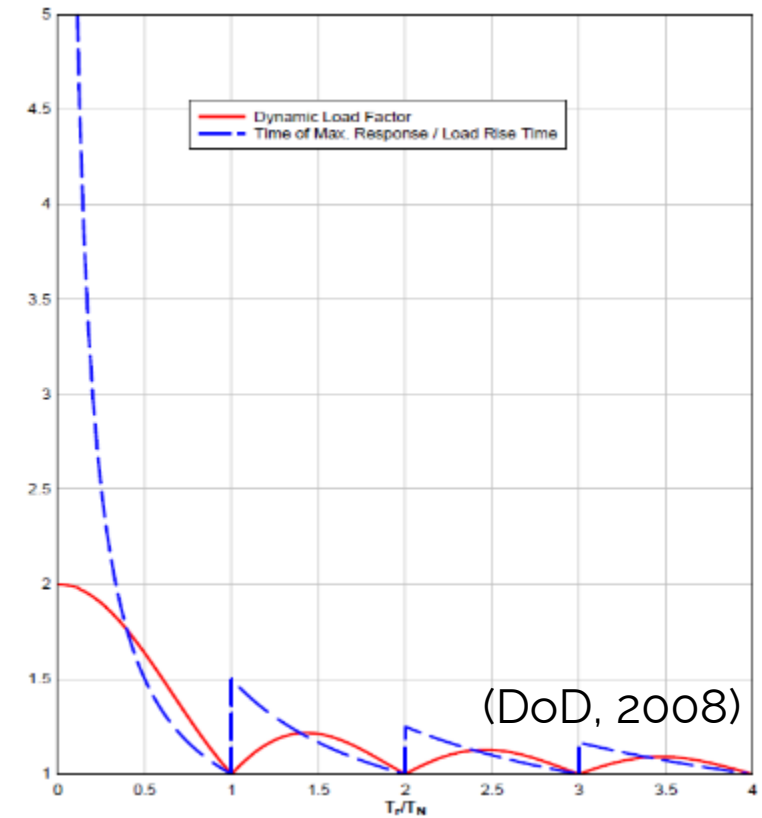
DLF = 1.6

- Maximální moment →

$$M_{max} = \frac{F_p \cdot h_c}{8} DLF = \frac{2747.4 \times 3.5}{8} \times 1.6 = 1683 \text{ kNm}$$

- Únosnost →

$$R_m = \frac{8(2M_{Rd})}{h_c} = \frac{8 \times 2 \times 550.4}{3.5} = 2516 \text{ kN}$$



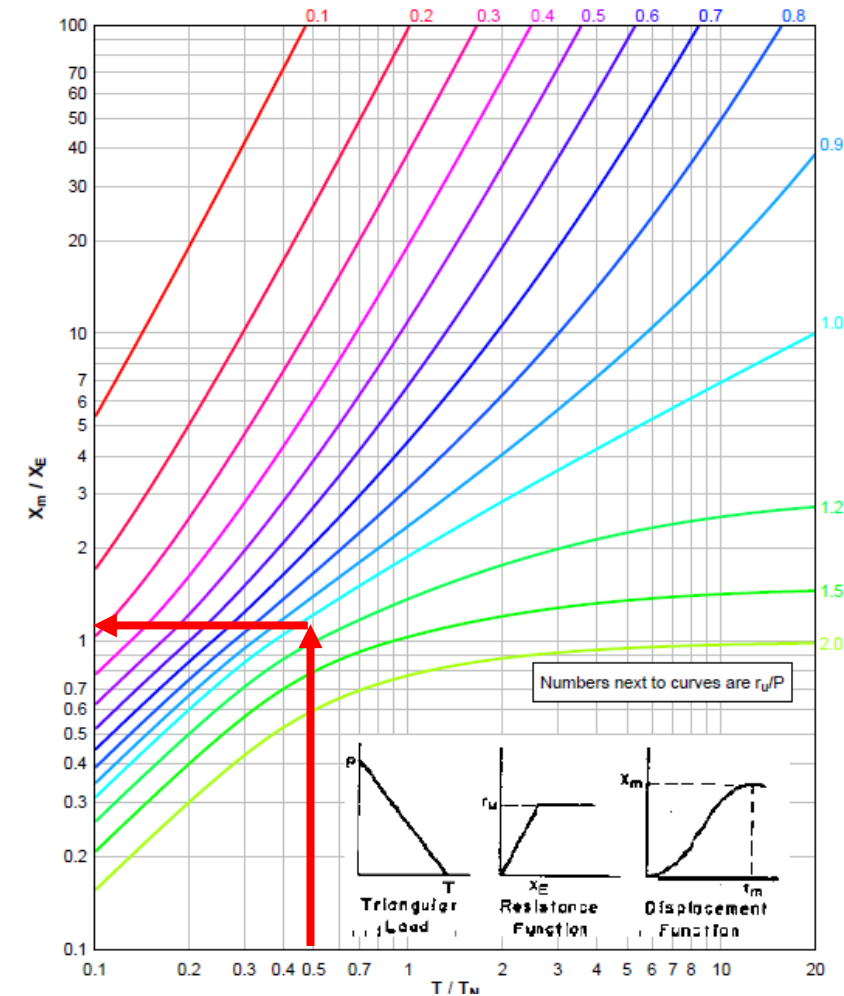
VÝSLEDKY

- Poměr maximální únosnosti a se použije k určení požadavku na tažnost μ pomocí následujícího grafu.
- Proto se použijí tyto poměry:

$$\text{Ratio} \quad \frac{R_m}{F_P} = 1.05 \quad \frac{t_{rf}}{T_c} = 0.49$$

Bylo dosaženo požadavku na tažnost $\mu_1 = 1,05$ (χ_M/χ_E). Po stanovení pružného posunu byl tedy získán maximální posun 87 mm.

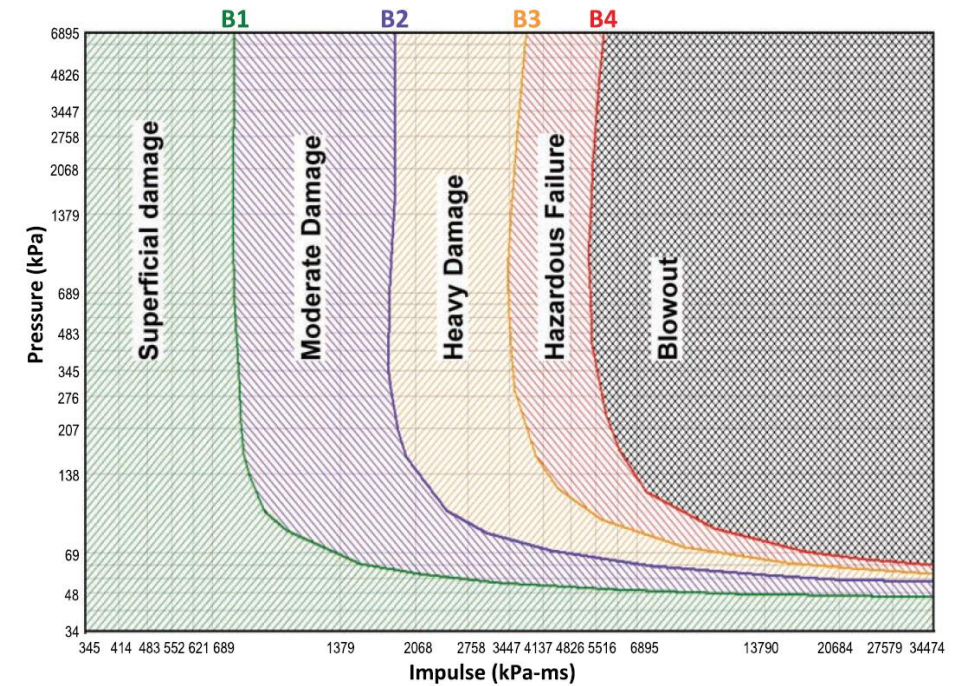
- Podobně se postupuje i pro maximální dobu trvání odezvy.



(DoD, 2008)

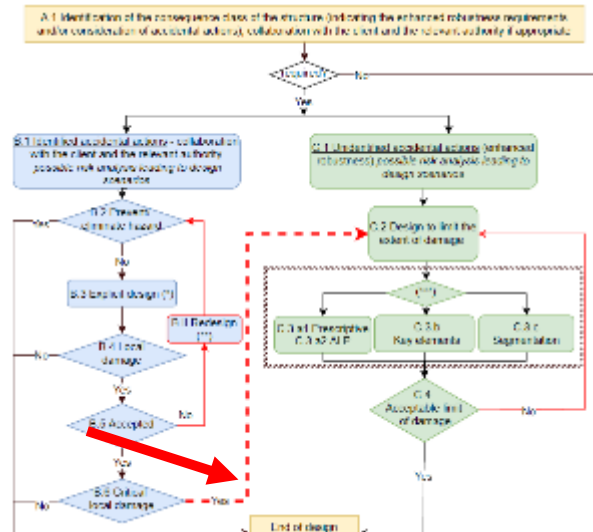
VÝSLEDKY (POKRAČOVÁNÍ)

- Požadavek na tažnost se porovná s únosností, aby se posoudilo, zda je poškození přijatelné.
- Pomocí vztahů tlakových impulsů a mezních hodnot odezvy lze stanovit návrhový cíl.
- Proto byl pro tento příklad zvolen cíl B1 (povrchové poškození) a byl získán poměr $\frac{\mu_1}{\mu_{max}} = 1.05$.
- Poškození lze proto považovat za přijatelné.
- Podle tabulky pro posouzení únosnosti z rámečku B.6 je výsledkem tohoto příkladu KONEC návrhového rámečku, protože všechny požadavky jsou považovány za splněné.



(CSA S850-12)

Element type		B1		B2		B3		B4	
		m _{max}	q _{max}	m _{max}	q _{max}	m _{max}	q _{max}	m _{max}	q _{max}
Flexure	Beam with ductile cross-section	1	-	3	3	12	10	25	20
	Beam with limited ductility cross-section	0.7	-	0.85	3	1	-	1.2	-
	Plate bent about weak axis	4	1	8	2	20	6	40	12
Compr.	Beam-column with ductile cross-section	1	-	3	3	3	3	3	°
	Beam-column with limited ductility cross-section	0.7	-	0.85	3	0.85	3	0.85	3
	Column (axial failure)	0.9	-	1.3	-	2	-	3	-



IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ **Vnější výbuch**

Plně dynamický přístup

■ **Zatížení pro případ mimořádné návrhové situace**

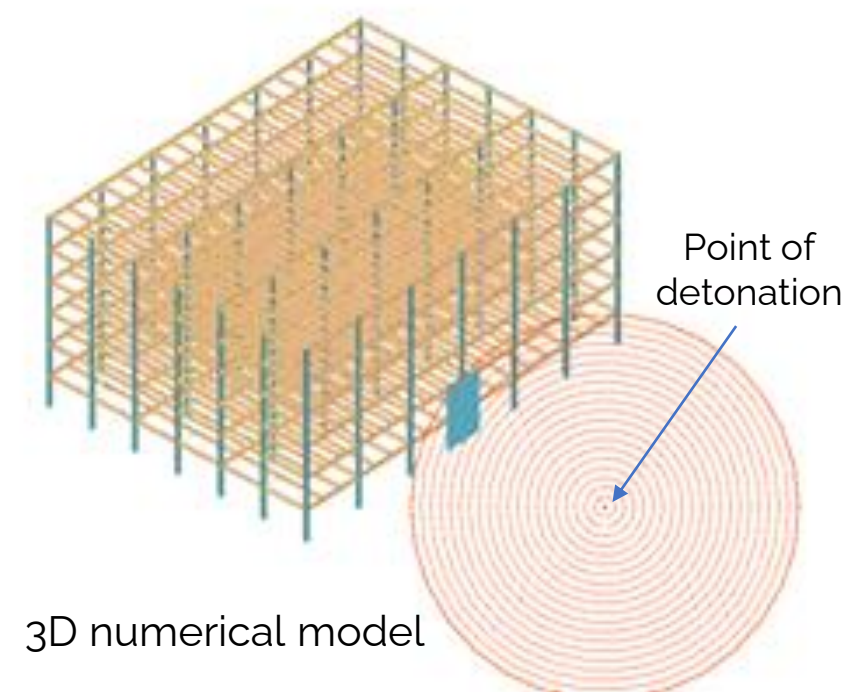
- Výbuch A_{Ed}

■ **DEFINICE SCÉNÁŘE VÝBUCHU**

- Pro relevantní srovnání je scénář výbuchu stejný jako u ekvivalentního přístupu SDOF.
- Parametry zatěžování:
 - odstup = 20 m;
 - výbušná látka = 100 kg of TNT;
 - zatěžovací šířka sloupu 5 m (2,5 m na každou stranu);
 - Uvažuje se, že tlak z výbuchu působí na sloupy 1. a 2. patra.

ANALÝZA KONSTRUKCE

- Numerická analýza byla provedena v softwaru ELS (Extreme Loading for Structure) s použitím plného 3D modelu, kde byla vymodelována celá konstrukce).



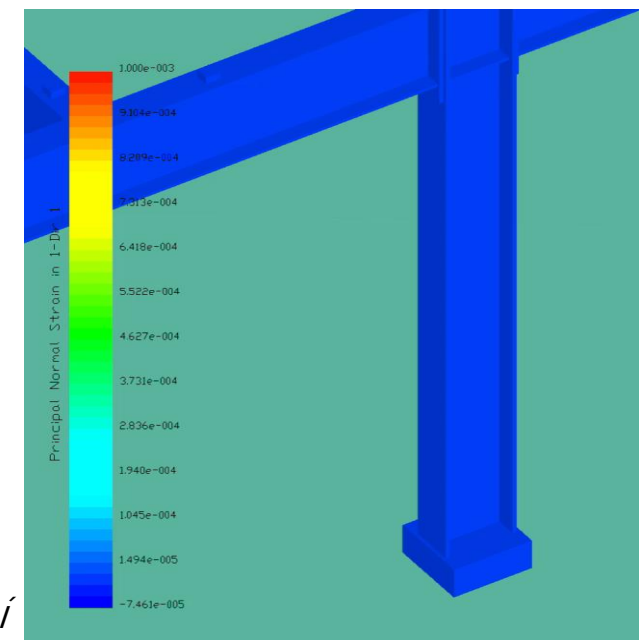
VÝPOČET

ANALÝZA SE PROVÁDÍ VE DVOU KROCÍCH:

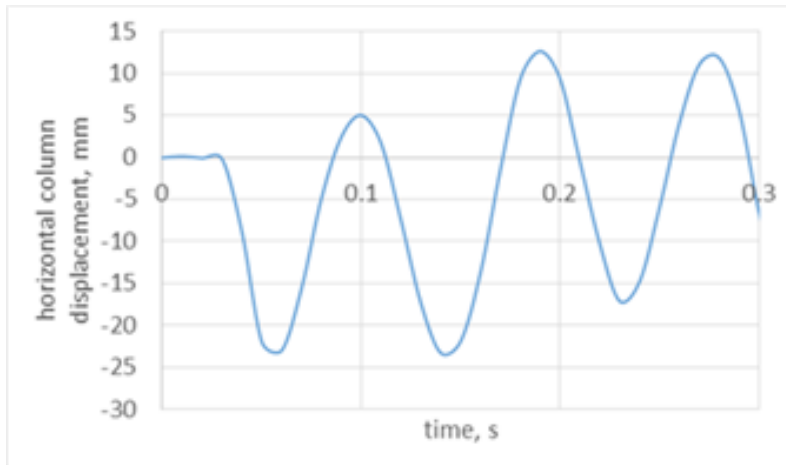
- **1. krok:** Stálá a užitná zatížení jsou aplikována na konstrukci v nelineární statické analýze.
- **2. krok:** nálož je detonována a tlakové zatížení je aplikováno v nelineární dynamické analýze:
 - Časový krok pro tuto analýzu je $1E-6$ s
 - Uvažuje se pouze pozitivní fáze výbuchu;
 - Při analýze není uvažován odraz od země

■ VÝSLEDKY

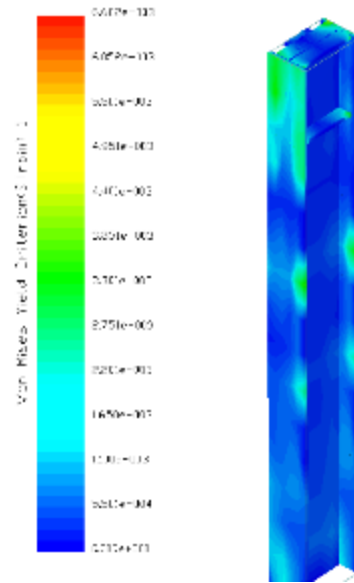
- Maximální horizontální deformace ve středu výšky sloupu je 24 mm.
- Maximální dosažená plastická deformace je 1 %.



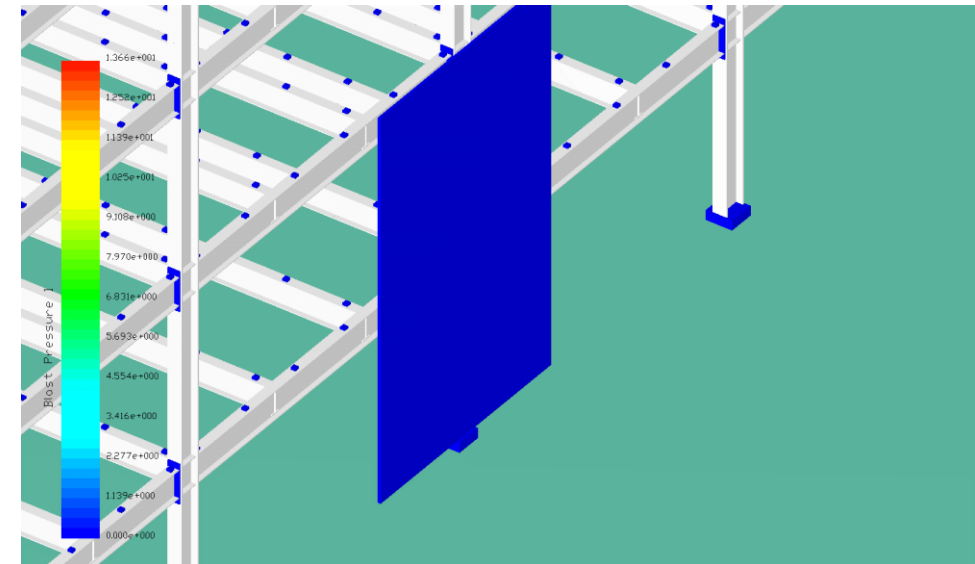
Historie přetvoření



Závislost horizontální deformace na čase ve středu výšky sloupu



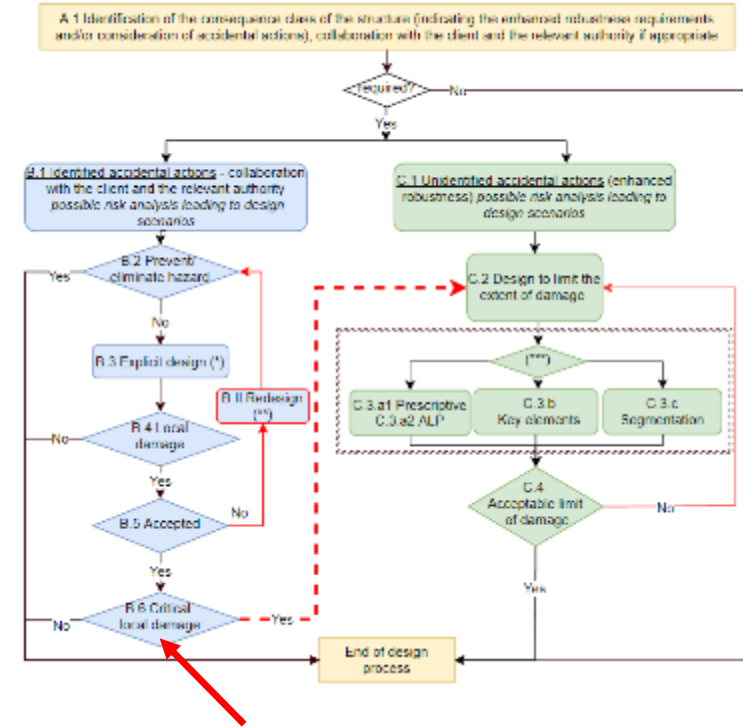
Maximální plastické přetvoření



Průběh tlaku na čase

Plně dynamický přístup vs. ekvivalentní přístup SDOF

- Deformace v plně nelineární dynamické analýze je menší než hodnota získaná pomocí tabulkové metody (24 mm vs. 87 mm);
- Nelineární analýza může zohledňovat rozvoj plastických deformací v prvku;
- Plný 3D model může zohledňovat skutečné okrajové podmínky a interakce mezi prvky;
- Plně dynamický přístup a 3D modelování může zohlednit postupnou aplikaci zatížení (různé doby působení podél délky sloupu).



- Všimněte si, že v případě výbuchů v blízké oblasti mohou být účinky zesíleny vztlakem proti přilehlým podlažím, což může mít za následek vyšší dynamické účinky a dokonce riziko progresivního kolapsu (Dinu et al. 2018).

IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Vnější výbuch

Ekvivalentní statická síla

■ Zatížení pro případ mimořádné návrhové situac

- Stálá zatížení DL;
- Užitná zatížení LL;
- Tlak plynu A_{ed} .

■ KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

$$DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$$

■ DEFINICE SCÉNÁŘE VÝBUCHU PLYNU

- Prostor se nachází v přízemí.
- Větrací plocha je uvažována na vnější stěně a je tvořena skleněnými výlohami, ostatní 3 vnitřní stěny jsou vyrobeny z pevnějších materiálů. Sloup uvažovaný pro ověření je zakroužkován zeleně.



Gas compartment

Column checked

■ VÝPOČET

- Větraný prostor a objem obestavby byly stanoveny s ohledem na to, že prosklená stěna je umístěna na oplocení objektu a na celou výšku podlaží.

L	12	m	length
B	8	m	width
H	4	m	height
A_v	48	m ²	venting area
V	384	m ³	compartment volume

- Po úspěšné kontrole, že model tlaku plynu z EN 1991-1-7 lze použít pro aktuální příklad (omezení funkce ventilační plochy a objemu prostoru), byl získán následující ekvivalentní statický tlak pro vnitřní výbuch plynu:

$$p_d = 3 + p_{stat}$$
$$p_d = 3 + \frac{p_{stat}}{2} + \frac{0.04}{(A_v/V)^2}$$

- Předpokládalo se, že $p_{stat}=3 \text{ kN/m}^2$, což představuje statické rovnoměrně rozložené zatížení, při kterém selhávají ventilační komponenty.
- V důsledku toho je návrhové zatížení v případě mimořádné situace $p_d = 7.06 \text{ kN/m}^2$

ANALÝZA KONSTRUKCE

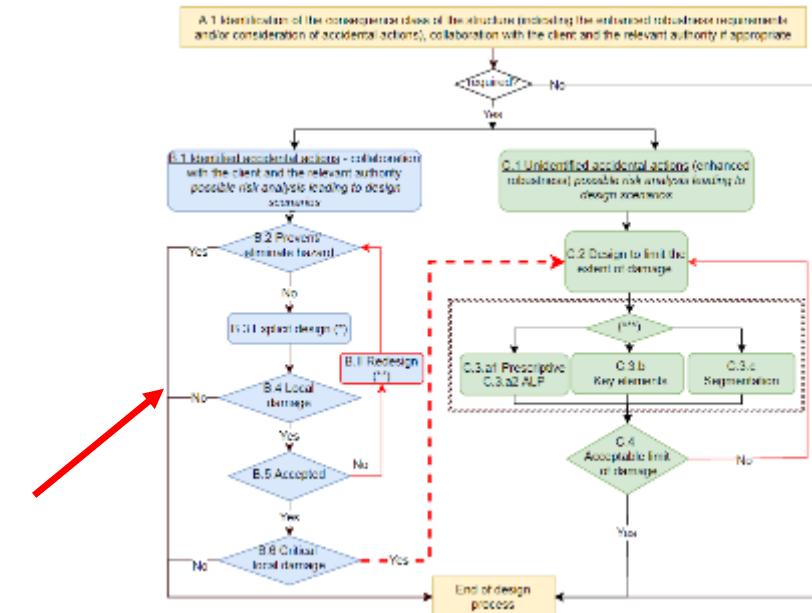
- Lineární elastická analýza se provádí na úplném 3D modelu pomocí softwaru SAP2000. Průřezy prvků jsou vyplývají z počátečního návrhu (trvalé a seismické návrhové situace). Kritéria posouzení jsou uvedena ve smyslu koeficientů využití (UF) pouze pro mimořádné kombinace.

RESULTS

Průřez	osa	Spodní podpora	N (kN)	M (kNm)	UF	Deformace (mm)
HEB500	Měkká	Pevná	612	72	0.279	0.57

ZÁVĚR

- Sloup analyzovaný tímto přístupem nepřekračuje svou únosnost a nevyžaduje přepracování.
- Protože však nedochází k místním škodám, lze ke kvantifikaci škod, které by se mohly objevit, použít sofistikovanější přístupy.



IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ Vnitřní výbuch

Dynamický přístup (metoda ekvivalentu TNT)

Poznámka:

- *Navržený postup je zjednodušením skutečného postupu (zanedbává se vliv propustnosti stěn, únik tlaku z prostoru atd.).*
- *Objem plynu je ve výpočtech nahrazen ekvivalentní náloží TNT. Dále se v tomto případě použije postup z vnějšího výbuchu.*

■ ZATÍŽENÍ

- Působení plynu A_{Ed}

■ DEFINICE SCÉNÁŘE VÝBUCHU PLYNU

- Pro scénář vnitřního výbuchu byl uvažován prostor o objemu 48 m^3 s koncentrací metanu 6 %.
- Hmotnost metanu lze vypočítat pomocí následujícího postupu $W_g = V_{enclosure} \cdot \gamma_{methane} \cdot 6/100$

■ VÝPOČET

■ Ekvivalentní hmotnost TNT se stanoví podle následujícího vztahu:

$$W_{TNT} = \eta \frac{W_g \times E_c}{E_{TNT}}$$

where:

η	0.2 [-]	rychlost uvolnění energie
E_c	55 MJ/kg	teplo metanu
W_g	1.91 kg	celkový únik paliva
E_{TNT}	4.2 MJ/kg	detonační teplo TNT

■ ANALÝZA KONSTRUKCE

- Lineární elastická analýza se provádí pomocí přístupu SDOF podle postupu v případě vnějšího výbuchu.
- Předpokládá se, že nálož bude umístěna uprostřed prostoru, což umožňuje vzdálenost 4 m od sloupu.

■ SOUČINITELE ZATÍŽENÍ

- Pokud jde o vnější výbuch, parametry zatížení jsou funkcí vzdálenosti mezi nimi.
- Poté se získá rychlost zvuku C_r a maximální dynamický tlak q a následně fiktivní zkrácené časové intervaly, doba odeznění a maximální tlak působící na stěnu

■ ANALÝZA SDOF

- Pro panel před sloupem se předpokládala šířka přítoku 4 m.
- Pro zatížení byla použita hodnota **DLF 1,4** a pro mez kluzu byla použita hodnota **DIF 1,2**.

Incident pressure	$P_{so} = 198.87 \text{ kPa}$
Incident impulse	$I_s = 198.46 \text{ kPa.ms}$
Reflected pressure	$P_r = 663.44 \text{ kPa}$
Reflected impulse	$I_r = 514.65 \text{ kPa.ms}$
Time of arrival	$t_a = 3.87 \text{ ms} \cdot W^{\frac{1}{3}} = 6.62 \text{ ms}$
Positive phase duration	$t_0 = 3.7 \text{ ms} \cdot W^{\frac{1}{3}} = 6.33 \text{ ms}$
Blast wavelength	$L_w = 0.85 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{\frac{1}{3}}}$
Shock front velocity	$U = 557.06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Sound velocity	$C_r = 0.47 \frac{\text{m}}{\text{ms}}$
Peak dynamic pressure	$q = 100 \text{ kPa}$

Fictitious positive phase duration	$t_{of} = 2 \frac{I_s}{P_{so}} = \frac{396.96 \text{ kPa.ms}}{198.87 \text{ kPa}} = 1.996 \text{ ms}$
Fictitious duration for the reflected wave	$t_{rf} = 2 \frac{I_r}{P_r} = \frac{1029.3 \text{ kPa.ms}}{663.44 \text{ kPa}} = 1.551 \text{ ms}$

Clearing time	$t_c = \frac{4s_d}{(1 + r_{s,l})C_r} = \frac{4 \times 2}{(1 + 0.5)0.47} = 11.348 \text{ ms}$
Peak pressure acting on the wall	$P = P_{so} + q \cdot C_D = 198.87 + 100 \times 1 = 298.87 \text{ kPa}$

ANALÝZA SDOF

- Po několika iteracích byly získány následující poměry:

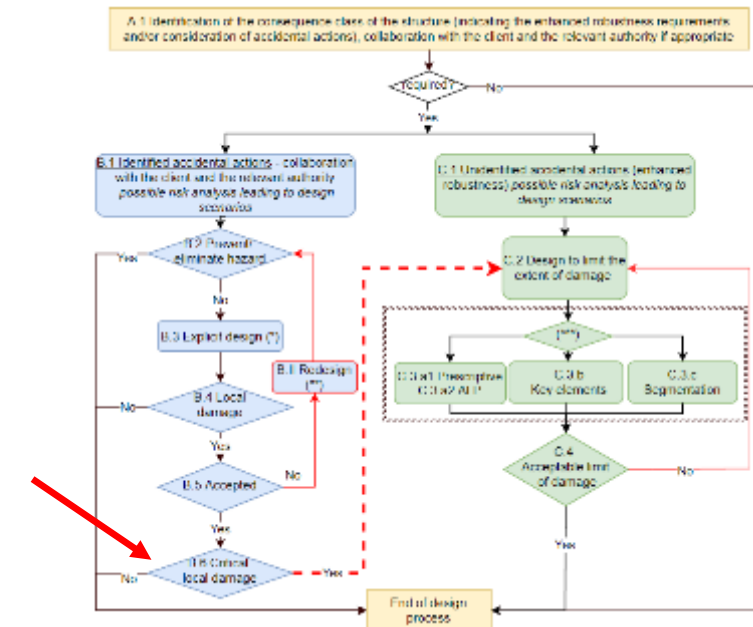
Ratio	$\frac{t_{rf}}{T_c} = 0.08$
Ratio	$\frac{R_m}{F_p} = 0.27$

VÝSLEDKY

- Pro posun mimo rovinu byl získán poměr požadavku na tažnost $\mu_1=0,9$.
- Byl zvolen návrhový cíl B1 (těžké poškození), který odpovídá únosnosti $\mu_{max}=1$.

ZÁVĚR

- Při použití metody ekvivalentu TNT dochází k lokálnímu poškození, které však není kritické pro stabilitu konstrukce, sloup má poměr požadavku na duktilitu 0,9, tedy méně než 1.
- V důsledku toho je podle vývojového diagramu posouzení odolnosti z rámečku B.6 výsledkem pro tento příklad KONEC návrhového rámečku, protože byly splněny všechny uložené požadavky.



IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Zemětřesení

Pokročilá numerická analýza (multi-hazard)

ZATÍŽENÍ

- Stálá zatížení DL;
- Užitná zatížení LL;
- Seismické působení A_{Ed} odpovídající ULS.

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO SEISMICKOU NÁVRHOVOU SITUACI

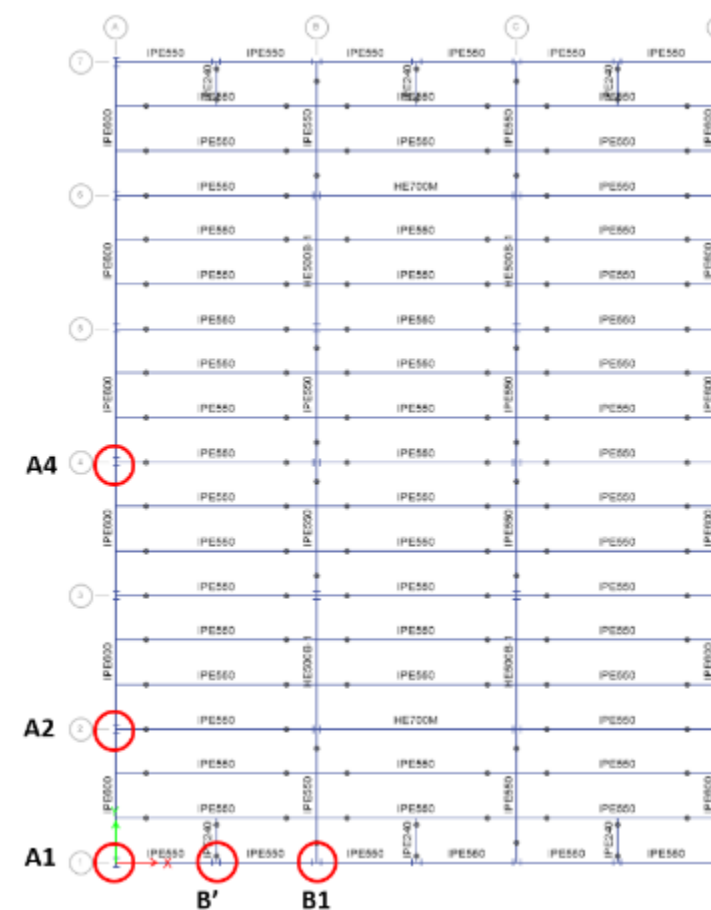
$$DL + 0.3 \times LL + A_{Ed}$$

DEFINICE SCÉNÁŘE

Poté, co je konstrukce vystavena zemětřesení, může dojít ke ztrátě sloupu, čímž se konstrukce stane zranitelnou vůči následným nebezpečím. V následujícím textu je tento postup použit k ověření schopnosti konstrukce odolávat progresivnímu zhroucení scénáře ztráty sloupu.

Krok 1: Seismická analýza – Konstrukce je vystavena návrhovému zemětřesení

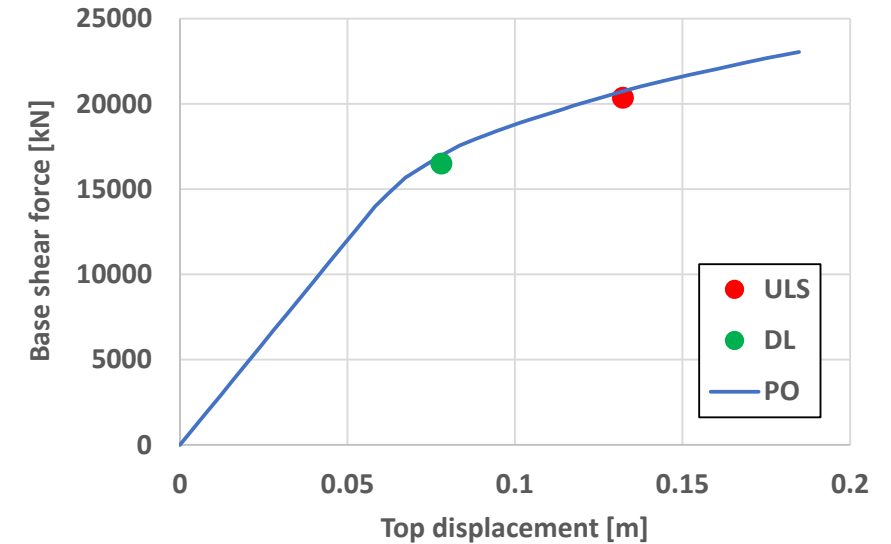
Krok 2: Scénáře ztráty sloupů: Ztracené sloupy jsou umístěny na polích A1, A2, A4, B1, B' – předpokládá se, že dochází ke kolapsu jednoho sloupu po druhém



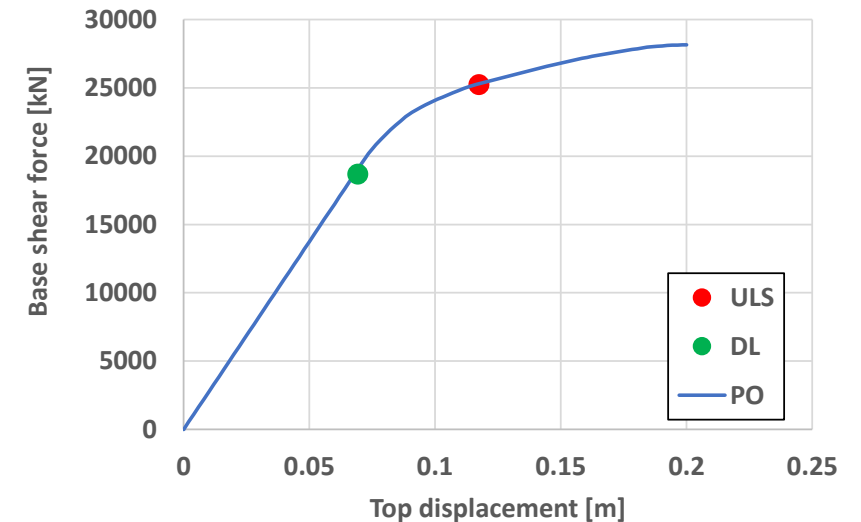
ANALÝZA KONSTRUKCE

- Seismická analýza je provedena pomocí push-over analýzy .
- Posouzení poškození se provádí pomocí metody N2 (EN 1998).
- Po působení gravitačního zatížení je konstrukce vystavena monotónně rostoucím bočním silám.
- Měly by se použít minimálně dva vzorce vodorovných sil:
 - rovnoměrné
 - proměnné
- Výsledky se uvádějí pro rozdělení s vyššími účinky.

PO analysis- target displacement - X direction

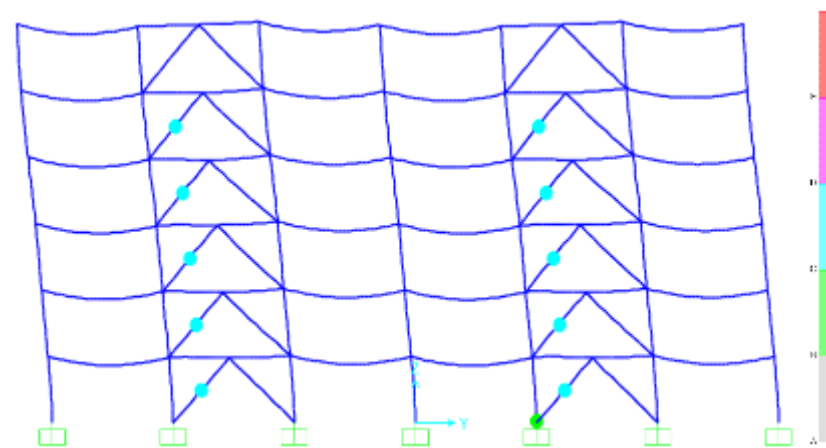


PO analysis - target displacement - Y direction

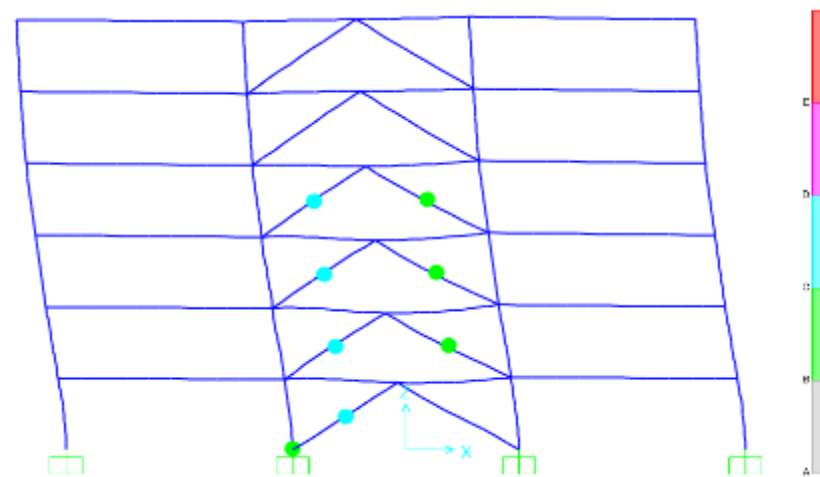


POŽADAVKY

- Pro vyhodnocení seismických požadavků na ULS se v konstrukci vyvodí deformace D_t .
- Při ULS vznikají plastické klouby pouze ve vyztužených rámech.



Longitudinal braced frame

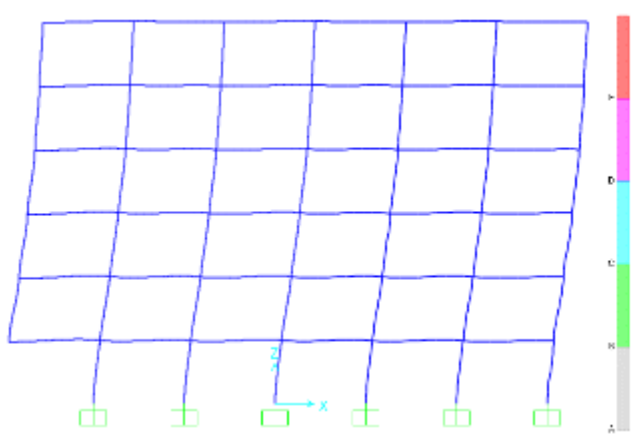


Transversal braced frame

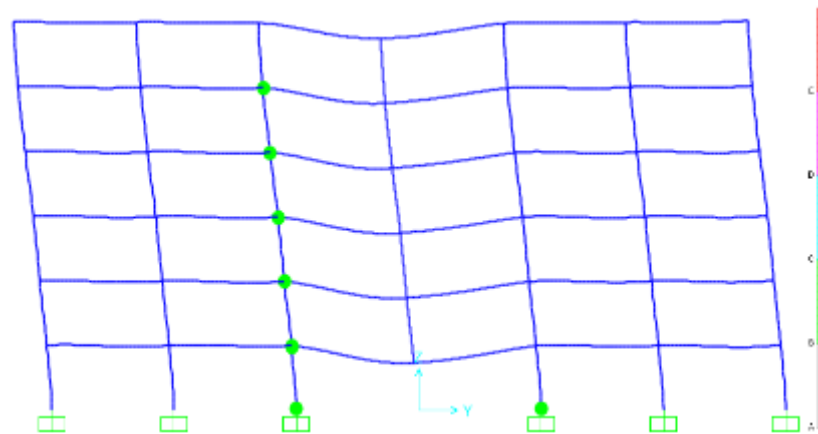
■ Odstranění sloupu po zemětřesení

- Posouzení únosnosti na progresivní kolaps se provádí pomocí metody alternativního přenosu zatížení (ALP) a nelineární dynamické procedury (NDP) v souladu s pokyny UFC 4-023-03.
- V první fázi jsou aplikována gravitační zatížení; ve druhé fázi je prvek odstraněn téměř okamžitě (trvání odstranění 0,005 sekundy).

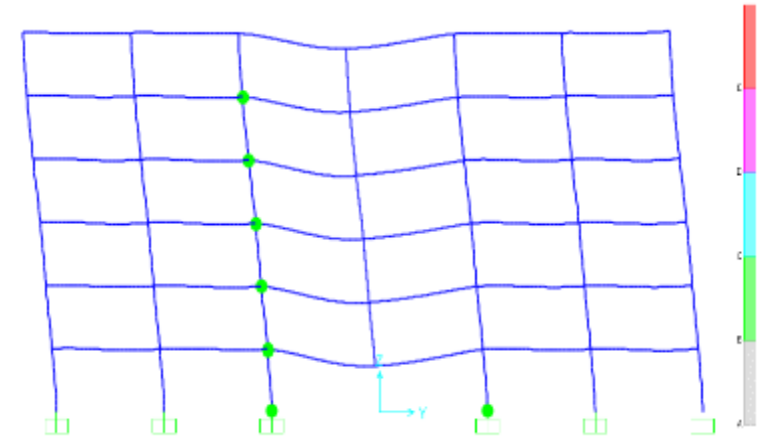
PLASTIC MECHANISM AFTER COLUMN REMOVAL FOR THE CONSIDERED SCENARIOS



Case A1



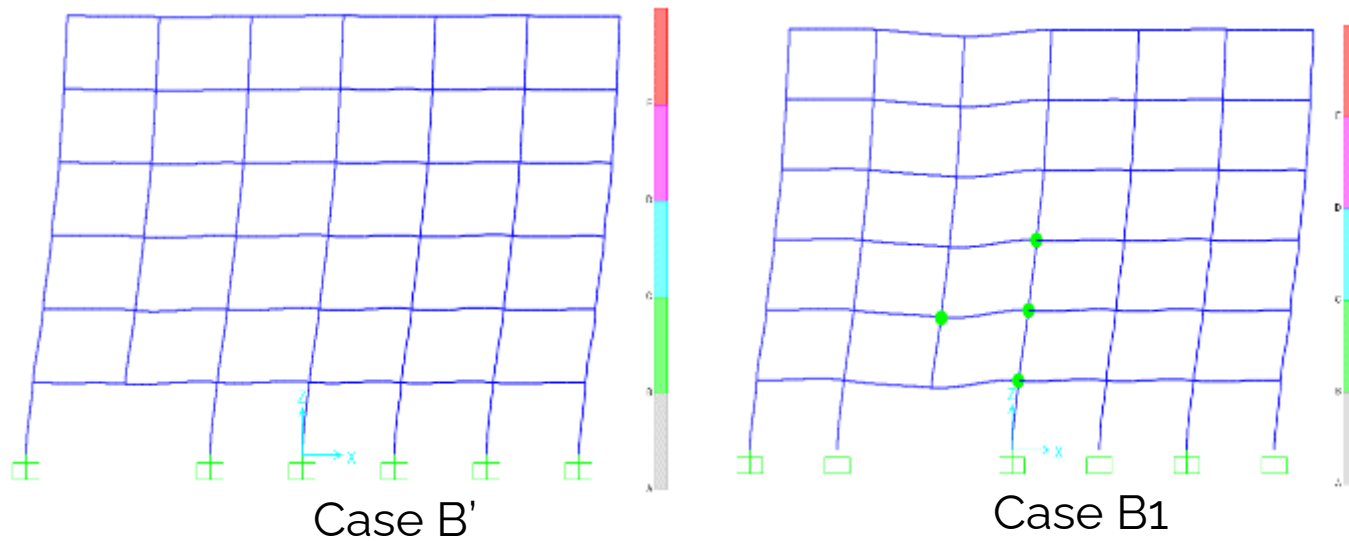
Case A2



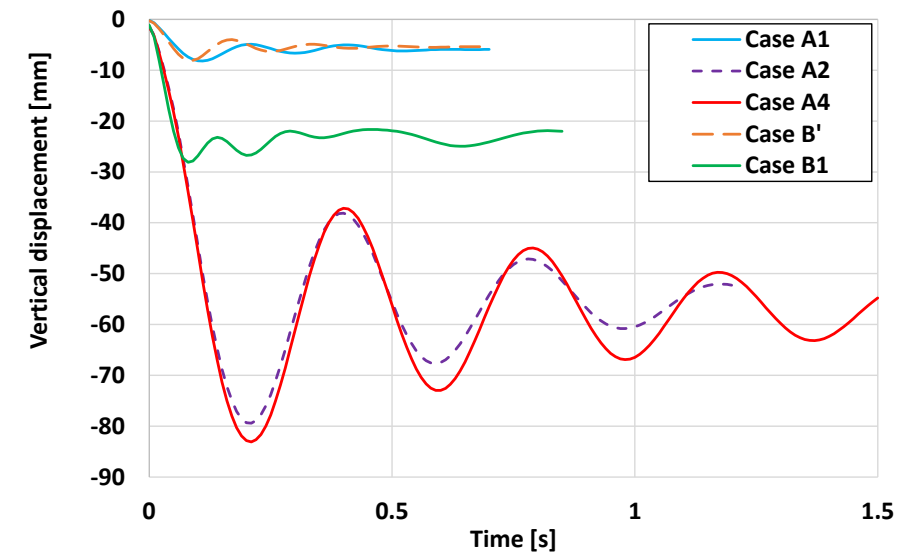
Case A4

VÝSLEDKY

Plastický mechanismus po odstranění sloupu pro uvažované scénáře

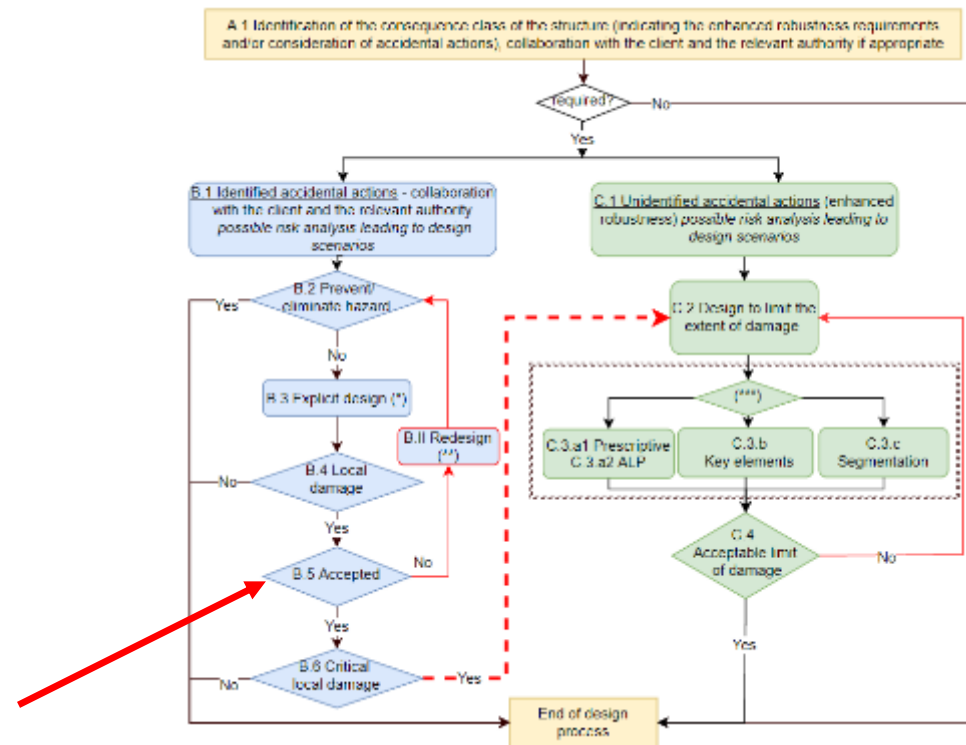


Odezva časové historie pro scénáře odstranění sloupu



■ ZÁVĚR

- Lze dojít k závěru, že konstrukce má schopnost odolat progresivnímu kolapsu i při ztrátě sloupu po zemětřesení.
- Míra poškození prvků (daná mírou plastické deformace v plastických kloubech) je malá.
- K posouzení chování konstrukce může být použit jiný výkonnostní cíl (např. prevence kolapsu).



NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení

Preskriptivní metoda – metoda vazby

Tento příklad ukazuje použití metody vazby pro nosníky a jejich styčníky (horizontální vazby)

ZATÍŽENÍ PRO PŘÍPAD mimořádné NÁVRHOVÉ SITUACE

- Stálá zatížení DL
- Užitná zatížení LL

KOMBINACE ZATÍŽENÍ

$$DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$$

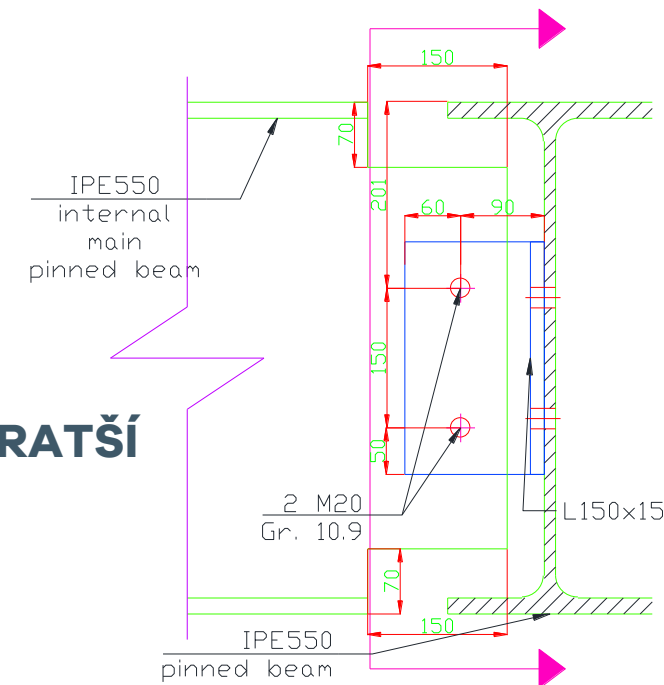
VNITŘNÍ KLOUBOVÉ PŘÍPOJE SEKUNDÁRNÍCH NOSNÍKŮ (IPE550, NA KRATŠÍ ROZPON)

Vzdálenost mezi vazbami $s = 12 \text{ m}$

Rozpon vazby $L = 8 \text{ m}$

Návrhová hodnota tahové síly ve vazbě, T_i :

$$T_i = \max[0.8 \times (g_k + \Psi \times q_k) \times s \times L; 75 \text{ kN}] = \max[0.8 \times (5 + 0.5 \times 3) \times 2.66 \times 12; 75 \text{ kN}] = 166 \text{ kN}$$



■ VNITŘNÍ KLOBOVÉ PŘÍPOJE SEKUNDÁRNÍCH NOSNÍKŮ (IPE550, NA DELŠÍ ROZPON)

Vzdálenost mezi vazbami	$s = 2.66 \text{ m}$
Rozpon vazby	$L = 8 \text{ m}$

Návrhová hodnota tahové síly ve vazbě, T_i

$$T_i = \max[0.8(g_k + \Psi \cdot q_k)s \cdot L; 75 \text{ kN}] = \max[0.8(5 + 0.5 \times 3)12 \times 8; 75 \text{ kN}] = 499.2 \text{ kN}$$

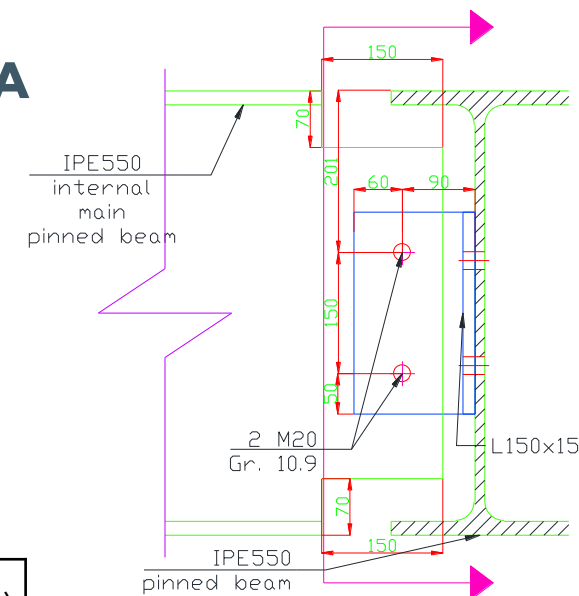
■ SMYKOVÁ ÚNOSNOST A VYUŽITÍ STYČNÍKU VNITŘNÍCH VAZEB

Prvek	Síla ve vazbě (kN)	Únosnost ve smyku (kN)	Způsob porušení	UF (-)
Vnitřní kloubově uložené sekundární nosníky	166	392	Sek. Nosník v otláčení	0.42
Vnitřní kloubově uložené hlavní nosníky	499.2	392	šrouby sek. nosníku ve smyku	1.99

■ Pro kloubové styčníky vnitřních sekundárních nosníků je UF 0,42.

■ pro kloubové přípoje vnitřních hlavních nosníků je třeba přepracovat návrh (UF 1,27). V důsledku toho se zavede další řada šroubů (celkem 3 řady), čímž se zvýší smyková únosnost na 588 kN, což pro přepracovanou konfiguraci dává UF 0,85.

ZÁVĚR: Původní návrh spojů na gravitační zatížení na ULS v trvalé návrhové situaci může být nedostatečný pro požadavky na vaznou sílu v případě velkých oblastí.



NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Zjednodušená dynamická analýza

ZATÍŽENÍ

- Stálé zatížení DL;
- Proměnná zatížení LL

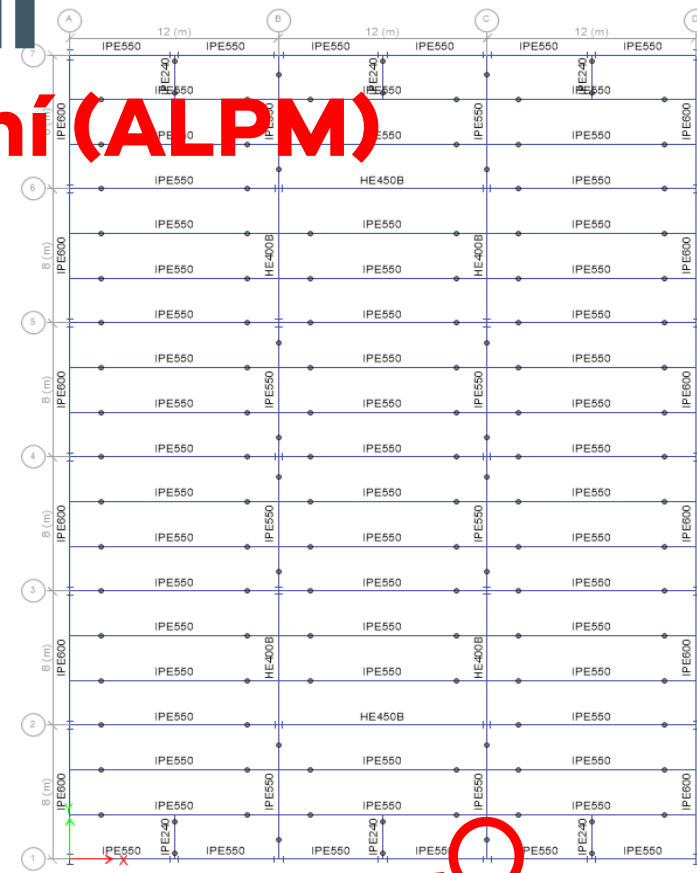
Kombinace zatížení pro náhodnou návrhovou situaci

$$DL + 0.5 \times LL$$

DEFINICE SCÉNÁŘE

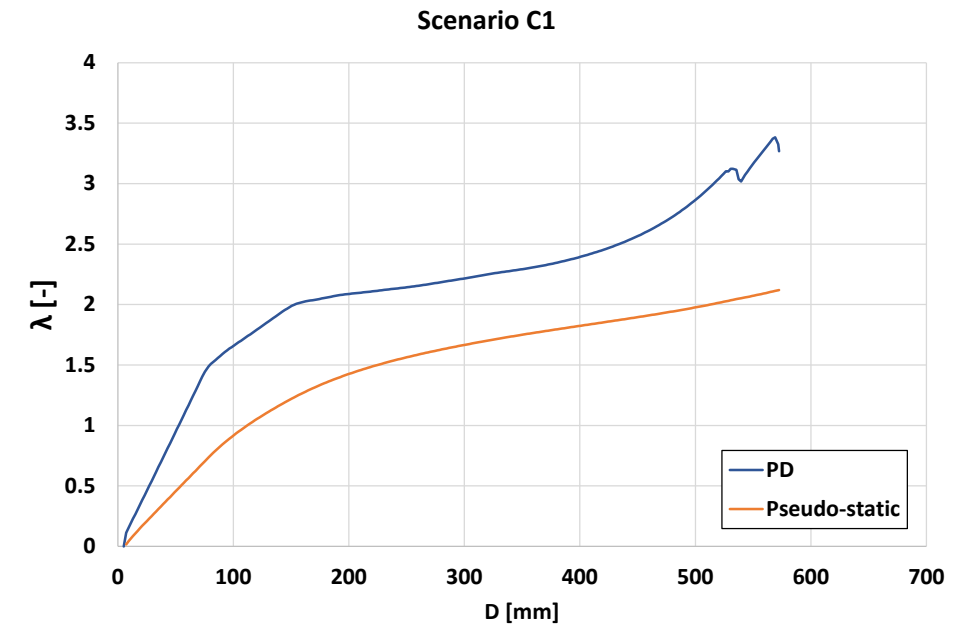
Zjednodušená numerická metoda použitá pro tento příklad umožňuje stanovit maximální požadavek na tažnost a ověřit poměr požadavku a únosnosti. Pro stanovení odezvy konstrukce pro scénář ztráty sloupu však byla provedena nelineární statická analýza.

Podle scénáře se sloup, který má být odstraněn, nachází v přízemí - C1.



■ Analýza konstrukce

- Pro tuto metodu byla provedena 3D nelineární statická numerická analýza v softwaru SAP2000.
- Gravitační zatížení bylo přiřazeno podle dříve uvedené kombinace. Zatížení bylo aplikováno pouze na zónu spojenou se sloupem - první dva rámy ve směru Y a první rám ve směru Z.
- Posunutí sloupu navíc působilo směrem dolů až do dosažení poruchy.
- Při analýze byly zohledněny nelinearity geometrie a materiálu.



■ VÝSLEDKY

- Pracovní diagram pro scénář C1 je křivka PD (modrá). Na svislé ose byla síla normalizována pomocí násobitele gravitačního zatížení λ ($\lambda=1$ pro působící zatížení 1,0 DL + 0,5 LL).
- Po provedení energetické bilance (Izzuddin et al., 2008) byla určena pseudostatická křivka, která byla vynesena do srovnávacího grafu s křivkou tlačení - Pseudostatická křivka (**oranžová**).

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení ALPM

Plně numerický přístup

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na neidentifikované hrozby pomocí ALPM a nelineární dynamické analýzy.

ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

- Stálé zatížení DL;
- Proměnná zatížení LL;
- Žádné specifické mimořádné zatížení se nezohledňuje

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

$$DL + 0.5 \times LL$$

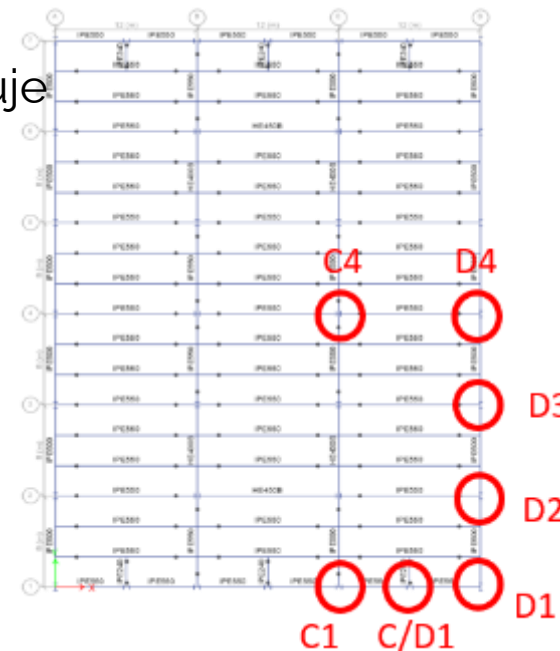
DEFINICE SCÉNÁŘE ZTRÁTY SLOUPU

- Uvažuje se o 7 místech pro odstranění sloupů, viz obrázek
- Všechna místa jsou v přízemí

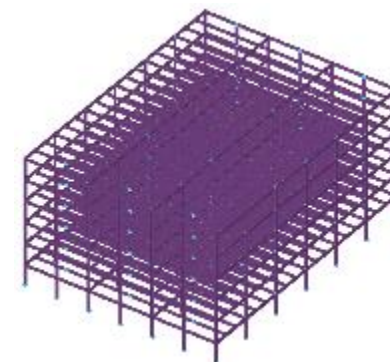
ANALÝZA KONSTRUKCE

- 3D model
- Extreme loading for structure ELS software

Definice scénáře



Pohled na 3D model



Dynamické účinky způsobené ztrátou sloupu jsou implicitně zohledněny pomocí parametru doby trvání odstranění.

KALIBRACE NUMERICKÉHO MODELU

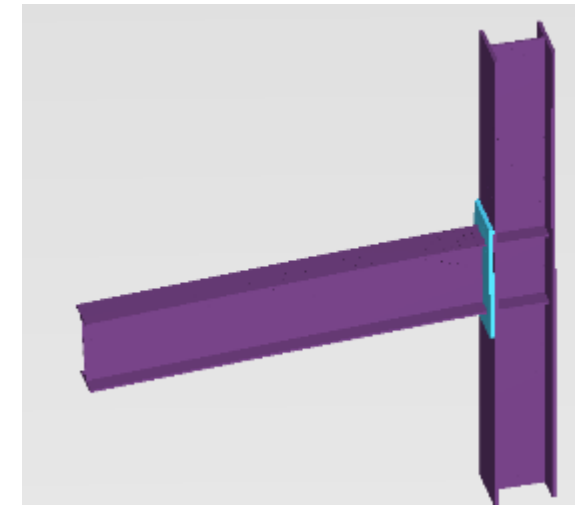
■ Ke kalibraci numerického modelu byly použity dva experimentální testy:

■ CODEC project:

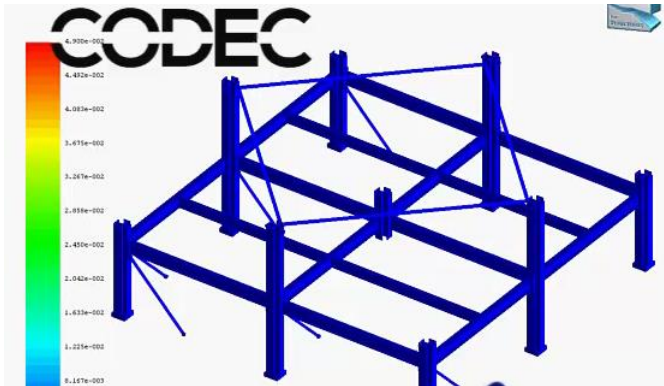
- Experimentální testování 3D ocelového rámového systému při ztrátě sloupu
- Relevantní pro lokální odezvu spojů a globální chování (přechod z ohybové na katenickou odezvu, mezní únosnost)

■ Equaljoints project:

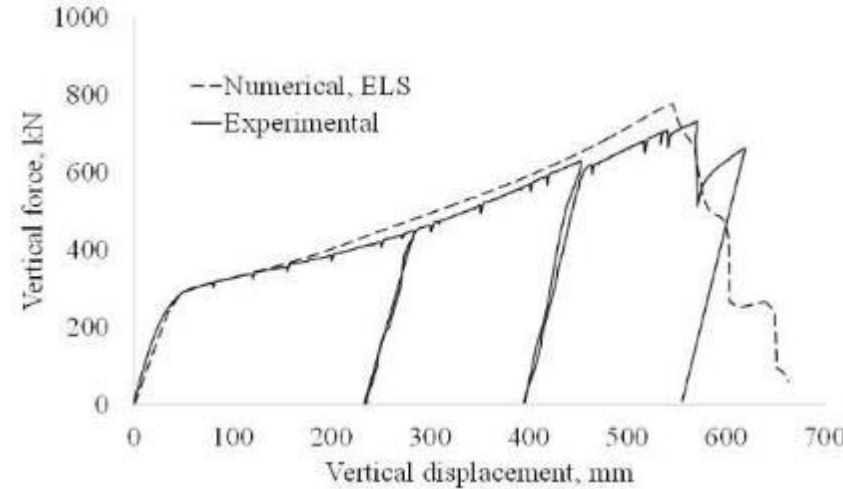
- Monotónní a cyklické zkoušky seismických spojů nosníku se sloupem
- Relevantní pro odezvu velkorozměrových spojů nosníku se sloupem podobného uspořádání.
- Všimněte si, že spoje byly zkoušeny pouze v ohybu.



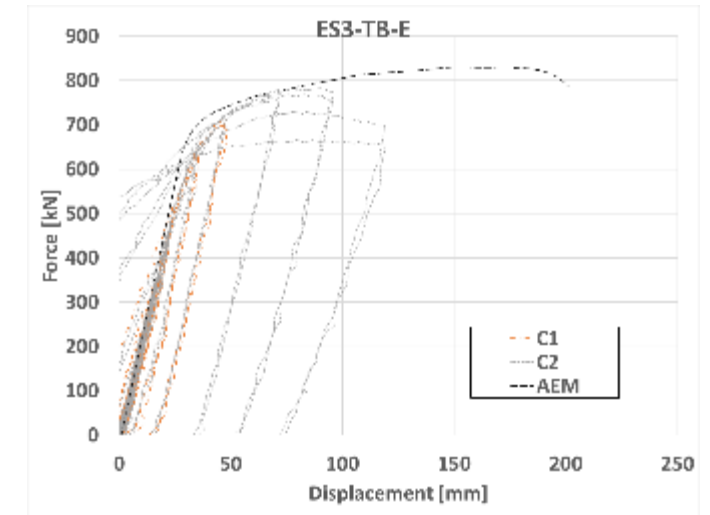
Joint configuration tested in Equaljoints



3D model tested in CODEC (stress map colours)



Force-displacement, experimental vs. numerical (CODEC)

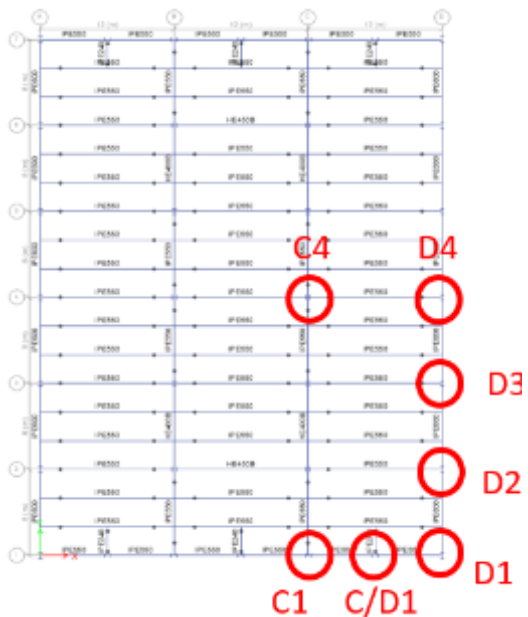


Force - displacement curves, experimental vs. numerical (Equaljoints)

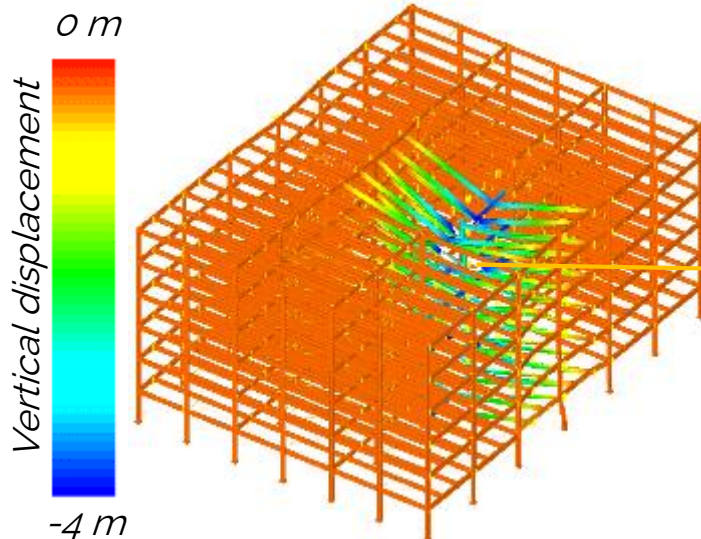
ANALÝZA

- 1. **krok:** Veškerá gravitační zatížení přiřazená podlahám pomocí statické analýzy
- 2. **krok:** Doba trvání odstranění sloupu je 0,001 sekundy

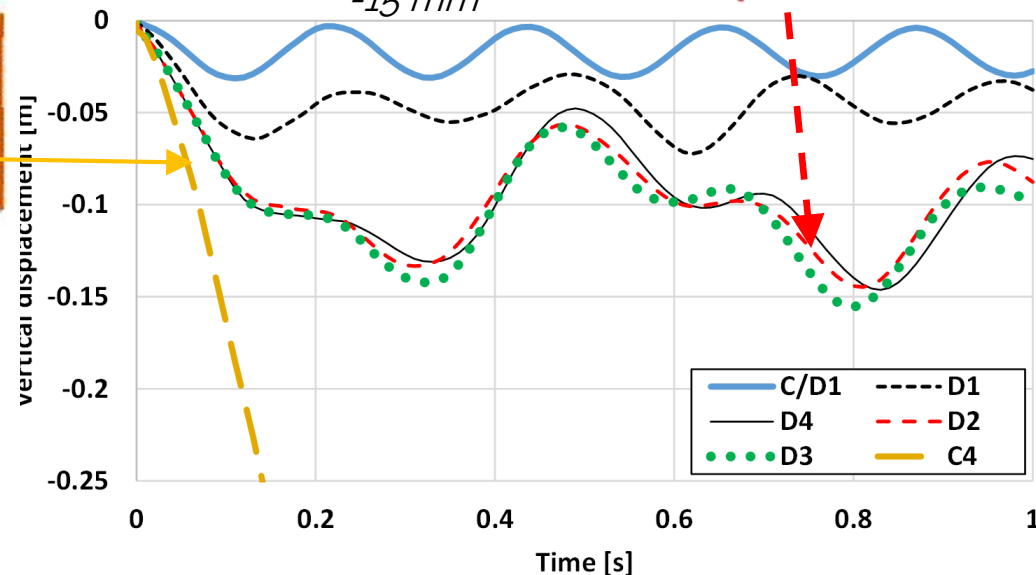
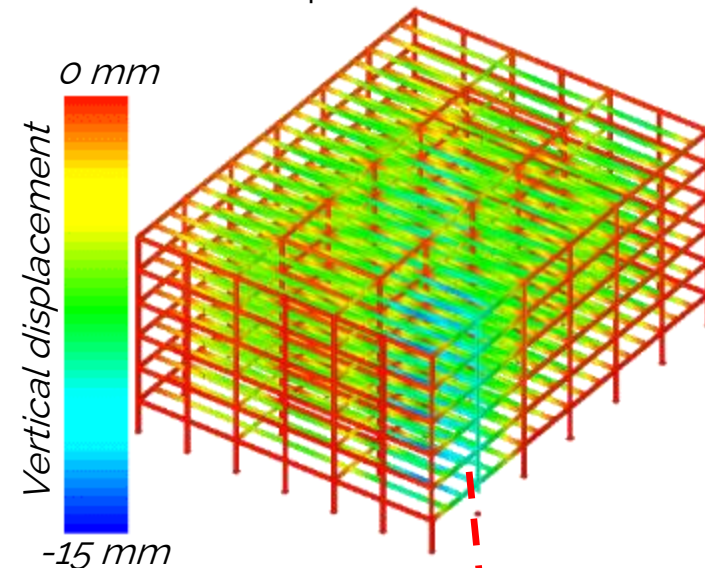
VÝSLEDKY



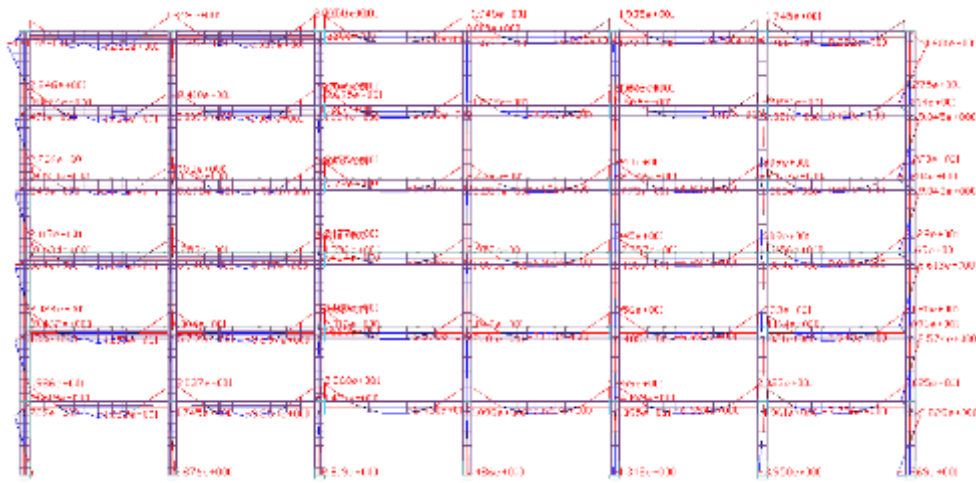
odstranění sloupu C4 → progresivní zřícení celé oblasti



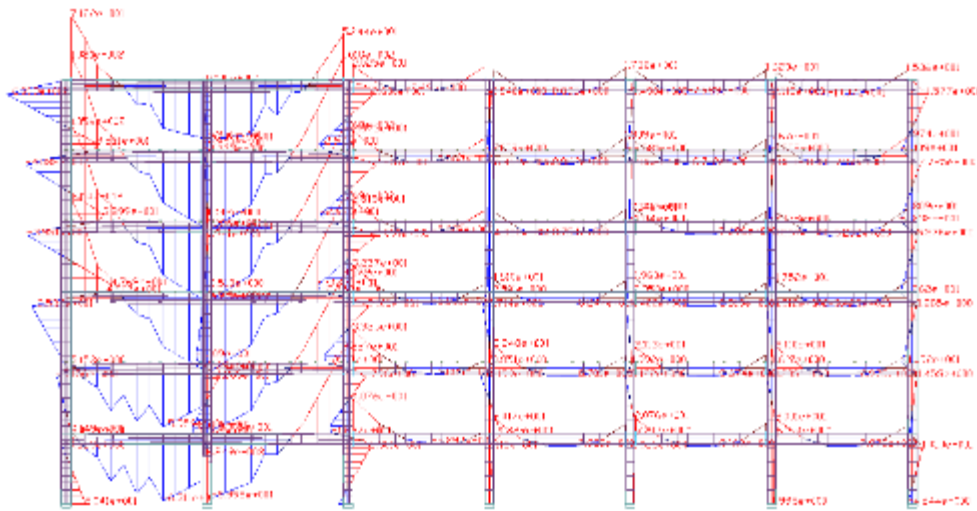
Pro případy C/D1, D1, D2, D3, D4 má konstrukce schopnost odolat progresivnímu kolapsu (Způsob porušení po odstranění sloupu D2)



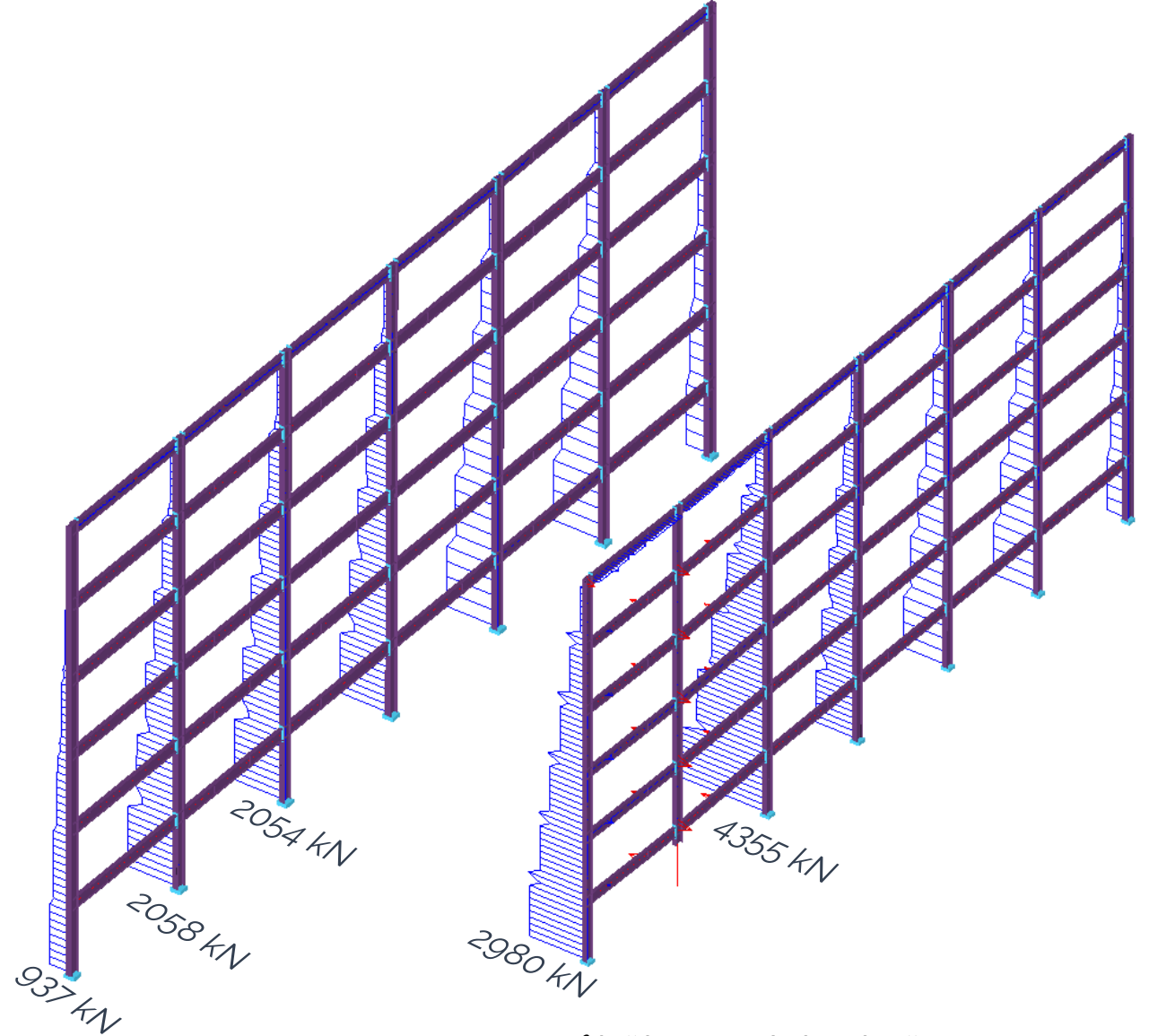
Zde uvedené výsledky byly získány při použití návrhové hodnoty gravitačního zatížení: $DL + 0.5 \times LL$ ($\lambda = 1$).



Průběh ohybových momentů před odstraněním sloupu D2 [tf, m]



Průběh ohybových momentů po odstranění sloupu D2 [tf, m]



Průběh osových sil pře a po odstranění sloupu D2 [tf]

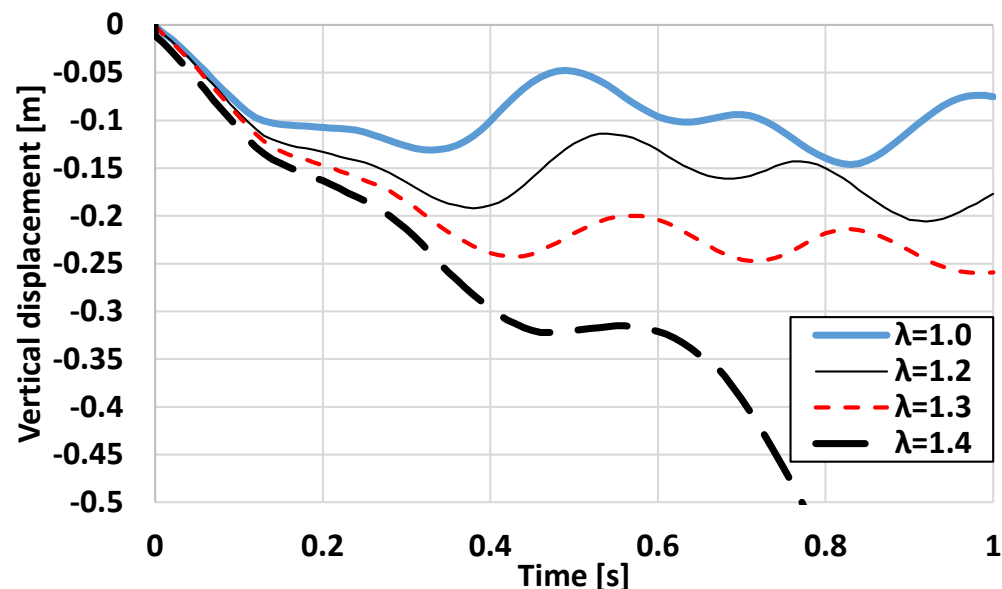
The results presented here were obtained using the design level of gravity loads: $DL + 0.5 \times LL$ ($\lambda = 1$).

- Výše uvedené výsledky byly získány při použití návrhové hodnoty gravitačního zatížení:

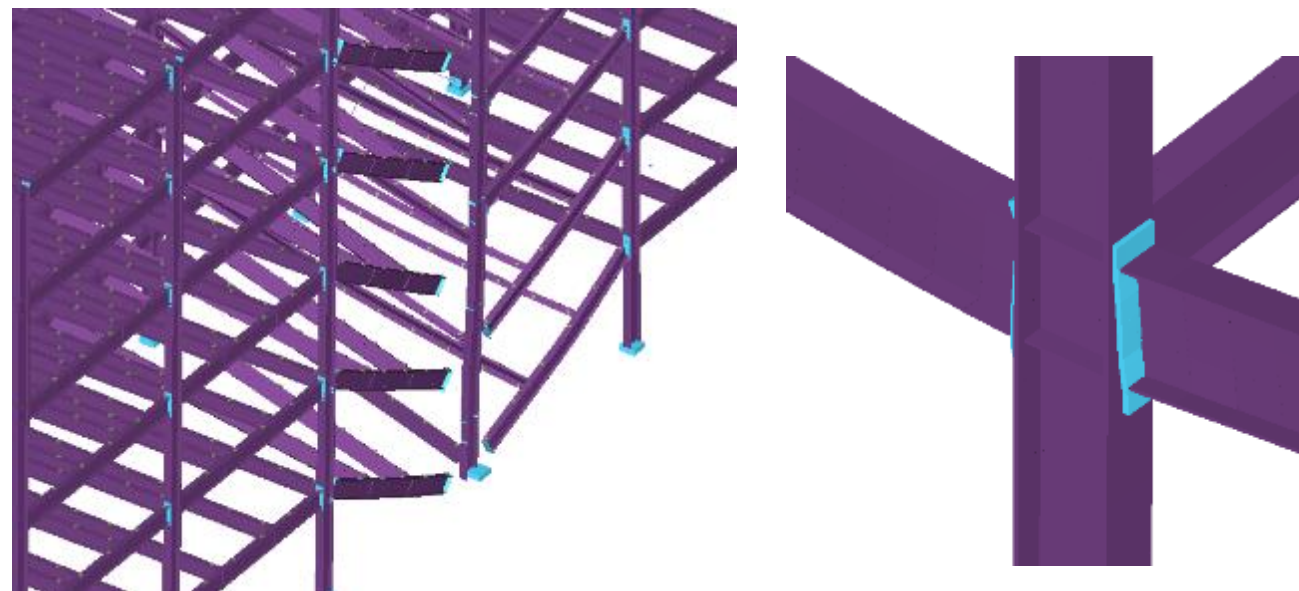
$$DL + 0.5 \times LL$$

(součinitel stálého zatížení $\lambda = 1$)

- Pro vyhodnocení rezervy v únosnosti proti progresivnímu kolapsu byla gravitační zatížení zvýšena pomocí násobitele gravitačního zatížení λ
- Dynamická analýza byla provedena pro každou hodnotu součinitele λ
- Výsledky jsou prezentovány pro příklad D4



Závislost svislého posunu na čase pro scénář D4 s různými hodnotami násobitele λ



Porušením připoje nosníku na sloup dojde k progresivnímu zhroucení konstrukce (scénář D4, $\lambda = 1.4$)

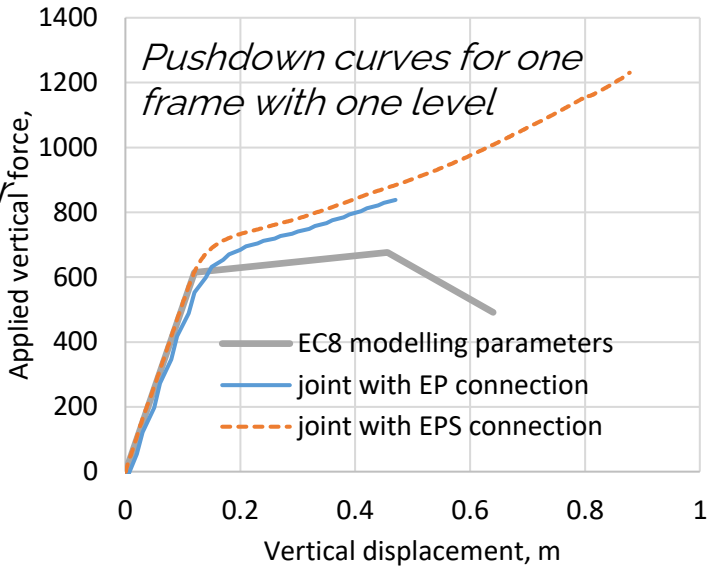
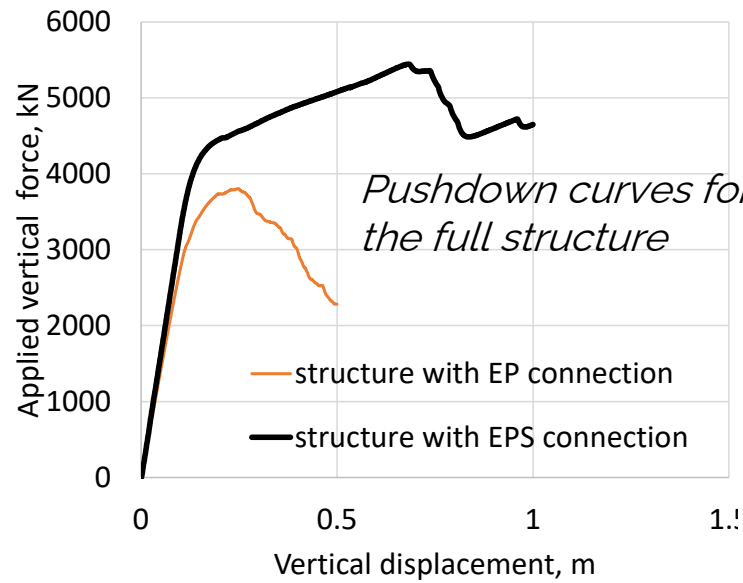
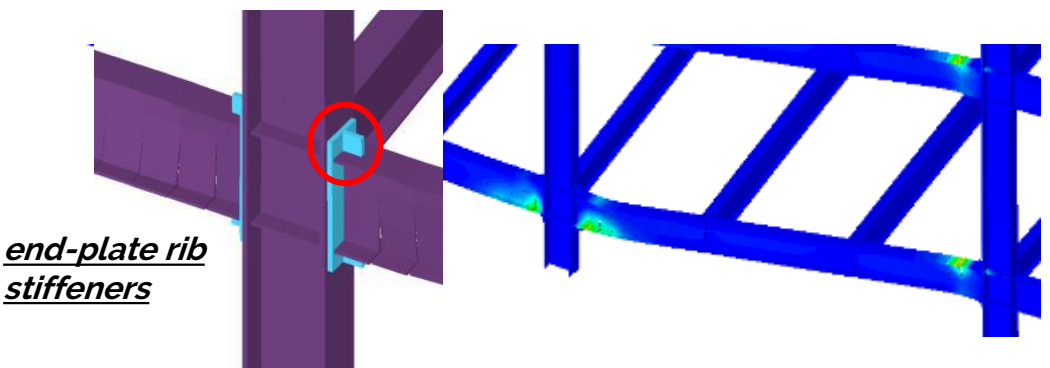
Poznámky

- V případě odstranění sloupu C4, kdy jsou všechny sousední nosníky spřaženy, není konstrukce schopna přenášet zatížení, a dochází tak k progresivnímu kolapsu. Konstrukci je třeba přepracovat.
- Všechny ostatní scénáře vedou k bezpečné odezvě konstrukce (dochází k plastickým deformacím, ale je zabráněno progresivnímu kolapsu);
- Pokud na konstrukci působí větší tíhové zatížení, může také dojít k progresivnímu kolapsu - viz případ D4, $\lambda = 1,4$.

Nový návrh lze provést pomocí různých strategií. Nejúčinnější strategie je založena na aktivaci katenárních efektů. Vzhledem k tomu, že slabým místem je únosnost přípoje nosníku na sloup, měla by strategie zesílení zahrnovat zesílení styčnicku

zesílení styčnicku pomocí výztuh na horní i dolní straně nosníku.

Pro porovnání účinnosti techniky vyztužení se provede push down analýza na konstrukci s přípoji EP a konstrukci s vyztuženými přípoji (EPS).



■ ZÁVĚR

- Ztráta obvodového sloupu nevede k progresivnímu zřícení a konstrukce je schopna ztrátě odolat.
 - Obvodové sloupy nemají problémy s nalezením alternativní cesty pro přerozdělení zatížení pro násobek gravitačního zatížení $\lambda = 1$ a vydrží téměř dvojnásobné zatížení.
- Pokud ztráta sloupu postihne seizmicky odolný rám (tj. obvodový rám), je poškození omezeno na přímo postiženou oblast a postupnému kolapsu je zabráněno.
- V případech kdy lokální poškození (tj. ztráta sloupu) zasáhne vnitřní konstrukci s kloubovými styčníky (B4 a C4), poškození se šíří a progresivní kolaps se rozvíjí na celé zasažené ploše.
 - Kloubové styčníky nemohou přenést značnou osovou sílu způsobenou ztrátou sloupu.
 - Aby se omezilo poškození a zabránilo progresivnímu kolapsu, jsou alternativami ke zvýšení únosnosti kloubových styčníků (které mohou být obtížně dosažitelné):
 - použití momentových styčníků místo kloubových;
 - použití spřažení s betonovou deskou;
 - návrh sloupů jako klíčových prvků;
 - snížení nebo vyloučení nebezpečí vedoucího ke ztrátě sloupu

5. KOMPOZITNÍ KONSTRUKCE V SEISMICKÉ OBLASTI

1. Úvod
2. Ocelová konstrukce v neseismické oblasti
3. Kompozitní konstrukce v neseismické oblasti
4. Ocelová konstrukce v seismické oblasti
- 5. Kompozitní konstrukce v seismické oblasti**

■ Návrhové přístupy:

■ Identifikovaná zatížení

■ Náraz

- Ekvivalentní statická síla
- Zjednodušená dynamická analýza
- Úplná dynamická analýza

■ Unidentified actions

■ Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

- Preskriptivní metoda (metoda vazby)
- Plně numerický přístup

PRŮŘEZY - VYUŽITÍ

Sloupy	Průřez	Třída oceli	Využití
Rohový sloup	HE550B	S355	0.48
Obvodový sloup	HE500B	S355	0.71
Vnitřní sloup	HD400X463	S355	0.95

Ocelové nosníky jsou propojeny s žb deskou tl. 120 mm spřahovacími trny $\varnothing=19\text{mm}$, $h=100\text{ mm}$ / $a=160\text{ mm}$

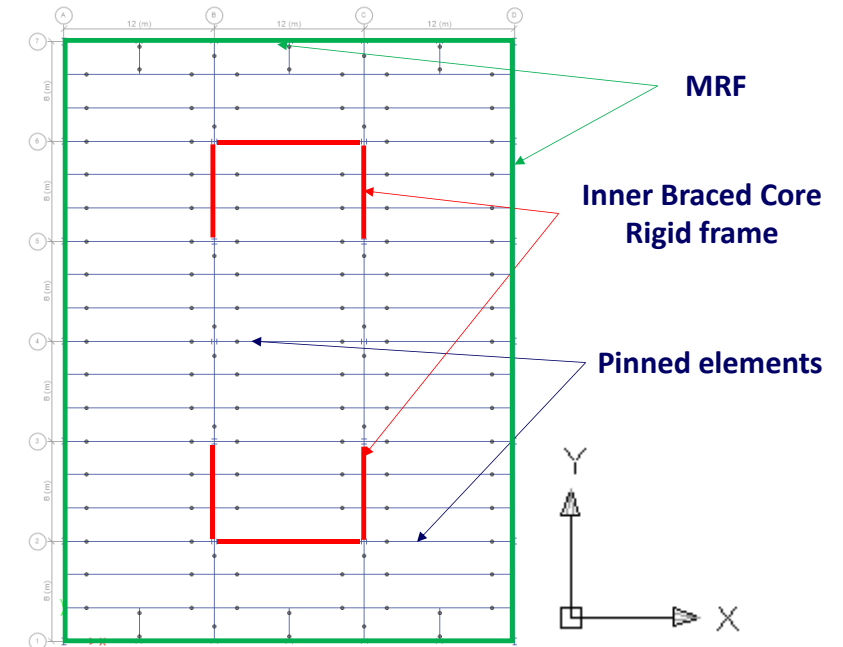
Beams	Orientace ^{e1}	Podlaží	Průřez	Třída oceli	Využití	Průřez
					Únosnost	Deformace ²
Obvodový nosník	X	1-6	IPE550	S355	0.278	0.178
	Y	1-6	IPE600	S355	0.302	0.157
Vnitřní nosník	X	1-6	IPE550	S355	0.627	0.971
	Y	1-6	IPE550	S355	0.874	0.94
Nosník ztužidla	X	1-3	³ H800*	S420	0.936	-
		4-5	HEM800	S420	0.953	-
		6	HEM700	S420	0.789	-
	Y	1-3	HEM500	S420	0.859	-
		4-6	HEB500	S420	0.878	-

¹See Figure for the orientation of the axes

²Deflection verification criteria: $L/250$ for secondary beams, $L/350$ for main beams

³H800* is a built-up section, $h=814\text{ mm}$, $b=380\text{ mm}$, $t_f=50\text{ mm}$, and $t_w=30\text{ mm}$.

Ztužidla	Podlaží	Průřez	Třída oceli	Využití
Směr Y	1-3	HEA320	S355	0.41
	4	HEA260	S355	0.43
	5	HEA220	S355	0.46
	6	HEA200	S355	0.40
Směr X	1-3	HEB340	S355	0.41
	4-5	HEA320	S355	0.39
	6	HEA260	S355	0.26



IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ NÁRAZ

Ekvivalentní statická síla

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce proti nárazu v důsledku náhodného nárazu vozidla

■ ACTIONS CONSIDERED FOR THE ACCIDENTAL DESIGN SITUATION

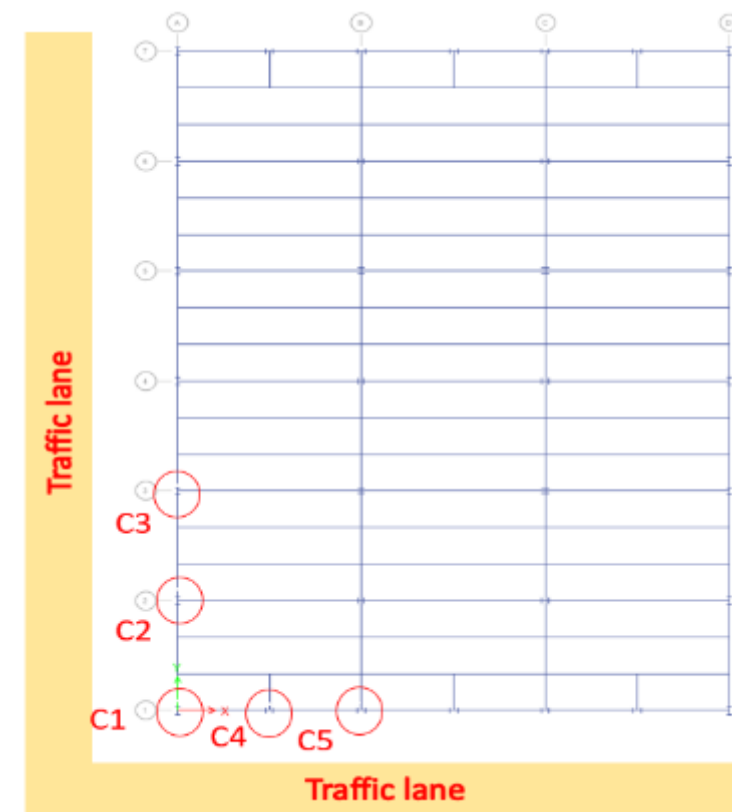
- Stálá zatížení DL
- Užitná zatížení LL
- Účinek nárazu A_{Ed}

■ Kombinace akcí pro náhodnou návrhovou situaci

$$DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$$

■ DEFINICE SCÉNÁŘŮ NÁRAZU

- Scénáře nárazu zahrnují obvodové sloupy podél jízdnic pruhů.
- V tomto příkladu jsou odkryty jak po dlouhé (podél svislého jízdnic pruhu), tak po krátké straně fasády (podél vodorovného jízdnic pruhu)



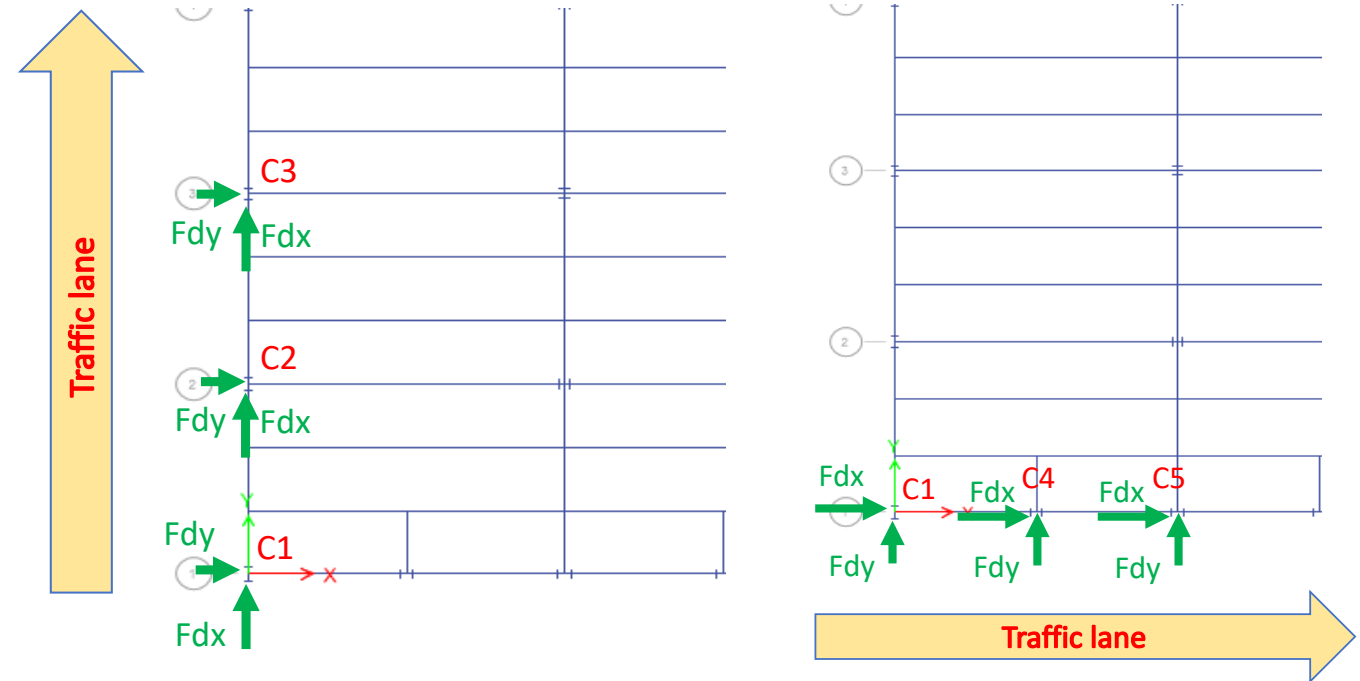
ZATÍŽENÍ NÁRAZEM

- Jsou vypočteny na základě údajů z tabulky 4.1 normy (EN 1991-1-7 2006), přičemž se bere v úvahu případ: Dálnice a vnitrostátní hlavní silnice.

PŘEDPOKLADY NÁRAZU

- Exponované sloupy: první patro (C1-C5)
- Výška bodu dopadu: 1.5m
- Sily nárazu (viz tabulka)

Case	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
C1	1000	500
	500	100
C2	1000	500
C3	1000	500
C4	1000	500
C5	1000	500



ANALÝZA KONSTRUKCE

- Lineární pružná analýza** se provádí na 3D modelu pomocí softwaru SAP2000. Průřezy prvků jsou ty, které vyplývají z počátečního návrhu (trvalé a seismické návrhové situace).

■ VÝSLEDKY

Případ	Sekce	Nárazová síla (kN)	Osa	Spodní podpora	N (kNm)	M (kNm)	UF (-)	Kritická síla nárazu ** (kN)	
C1	HEB550	1000	Hlavní	Pevná	1048	670	0.478	2700	
		500	Hlavní	Pevná	1053	230	0.656	800	
		500	Hlavní	Pevná	*				
		1000	Hlavní	Pevná	1074	625	1.313	-	
C2	HEB500	1000	Hlavní	Pevná	2218	677	0.899	1250	
		500	Hlavní	Pevná	2216	342	1.044	-	
C3	HEB500	1000	Hlavní	Pevná	2229	681	0.9	1250	
		500	Hlavní	Pevná	2238	342	1.048	-	
C4	HEB500	1000	Hlavní	Pevná	591	755	0.63	1300	
		500	Hlavní	Pevná	647	339	0.74	700	
C5	HEB500	1000	Hlavní	Pevná	1687	787	0.864	1800	
		500	Hlavní	Pevná	1696	340	0.954	550	

* Scénář je méně náročný, protože sloup byl již ověřen na stejné rázové zatížení aplikované podle slabé osy řezu.
 ** Nárazová síla, která způsobí selhání sloupu (UF=1)

- Šest z devíti scénářů nárazu splňuje kritérium UF, což vede ke správnému návrhu.
- Tři z devíti scénářů nárazu vedou k překročení únosnosti. Výsledky však mohou být konzervativní, protože jsou získány pomocí zjednodušené statické analýzy.
- Za účelem zlepšení návrhu a reakce na nárazové zatížení lze implementovat další opatření:
 - Návrh vyšší třídy oceli pro sloupy;
 - Orientace sloupů (podle jejich silné osy průřezu) pro maximalizaci únosnosti v nárazu

IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ NÁRAZ

Zjednodušená dynamická analýza

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce proti nárazu v důsledku mimořádné srážky vozidla

■ ACTIONS CONSIDERED FOR THE ACCIDENTAL DESIGN SITUATION

- Stálá zatížení DL
- Užitná zatížení LL
- Účinek nárazu A_{Ed}

■ Kombinace akcí pro náhodnou návrhovou situaci

$$DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$$

■ DEFINICE SCÉNÁŘŮ NÁRAZU

Scénáře nárazu zahrnují obvodové sloupy podél jízdnic pruhů, jak bylo dříve definováno. V tomto příkladu je však podrobný jeden scénář, tj. sloup C1 (UF = 1,31).

■ PŘEDPOKLADY NÁRAZU

- Směr nárazu: podél slabé osy: $m=3,5$ tuny (hmotnost vozidla); $v_r=90$ km/h (rychlost vozidla).
- Sloup je vyroben z oceli S355, HEB500 a je vysoký 4,0 m s následujícími okrajovými podmínkami:
 - Patka sloupu je vetknuta
 - Horní část sloupu má všechny stupně volnosti pevné, s výjimkou svislého posunutí bez omezení.

ANALÝZA KONSTRUKCE

- Nelineární dynamická analýza se provádí na jednom sloupu (izolovaného od konstrukce) pomocí softwaru SAP2000.

- Analýza se provádí ve dvou krocích:

- 1. krok: svislé zatížení v uzlu odpovídající hlavě sloupu získané ze statického výpočtu pro náhodnou kombinaci (DL + 0.5×LL) je aplikováno staticky jako osová tlaková síla.
- 2. krok: rázová síla je aplikována příčně ve směru slabé osy pomocí dynamické nelineární analýzy a přístupu rázu následovně:

$$F = v_r \sqrt{k \cdot m}$$

$$\Delta t = \sqrt{m/k}$$

- v_r - nárazová rychlost
- m - nárazová hmota
- k - tuhost objektu

- $v_r = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ [m/s]}$
- $m = 3500 \text{ kg}$
- $K = 300 \text{ [kN/m]} = 300000 \text{ [N/m]}$

$$\rightarrow F = v_r \sqrt{k \cdot m} = 25 \sqrt{300000 \cdot 3500} = 810 \text{ kN}$$

- Při dynamické analýze se síla aplikuje pomocí funkce s okamžitým nárůstem a dobou trvání $\Delta t = 0,07 \text{ s}$.
- Celková doba trvání dynamické analýzy je jedna sekunda (větší než doba trvání náběhové funkce Δt), aby se ověřilo, zda sloup zůstane stabilní i po skončení náběhové funkce.
- Nelineární chování se modeluje pomocí plastických kloubů na každém konci sloupu a v místě nárazu s využitím interakce P-M2-M3. Plastické klouby jsou modelovány pomocí vláken.

- Účinky rychlého rázového zatížení (efekty rychlosti deformace) jsou uvažovány pomocí faktoru dynamického nárůstu (DIF) aplikovaného na pevnost materiálu.
- Složení DIF pro ocel válcovanou za tepla s mezí kluzu do 420 N/mm² lze vyjádřit podle metody (CEB 1988).

$$\text{DIF} = \frac{f_{dy}}{f_y} = 1 + \frac{6.0}{f_y} \ln \frac{\dot{\epsilon}}{5 \times 10^{-5}}$$

$$\text{DIF} = \frac{f_{du}}{f_u} = 1 + \frac{7.0}{f_u} \ln \frac{\dot{\epsilon}}{5 \times 10^{-5}}$$

Rychlost deformace ($\dot{\epsilon}$) se získá iterativním postupem.

V první iteraci je poměr mezi specifickou deformací a dobou do bodu poddajnosti vypočítán na základě výsledků analýzy bez použití DIF.

Poté se znovu provede analýza s upravenými materiálovými vlastnostmi pomocí DIF a následným přepočtem DIF.

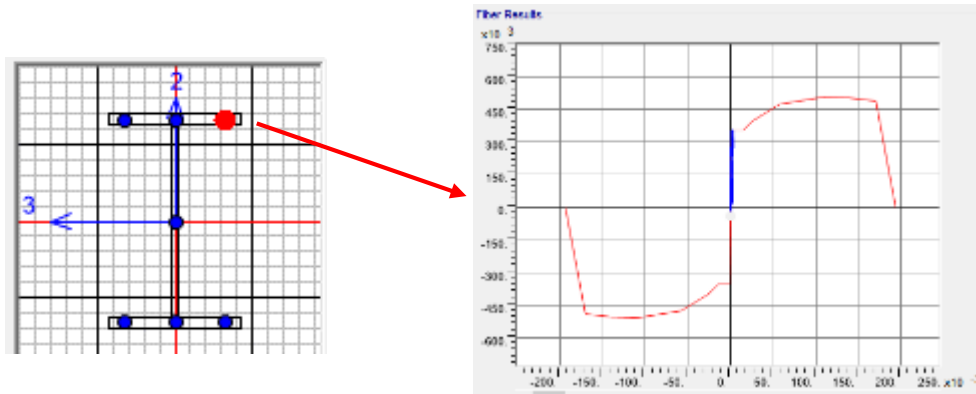
Pokud jsou nové hodnoty DIF srovnatelné s hodnotami z předchozího kroku (konvergence), není třeba dalších iterací.

$$\text{DIF (for } f_y) = 1.118$$

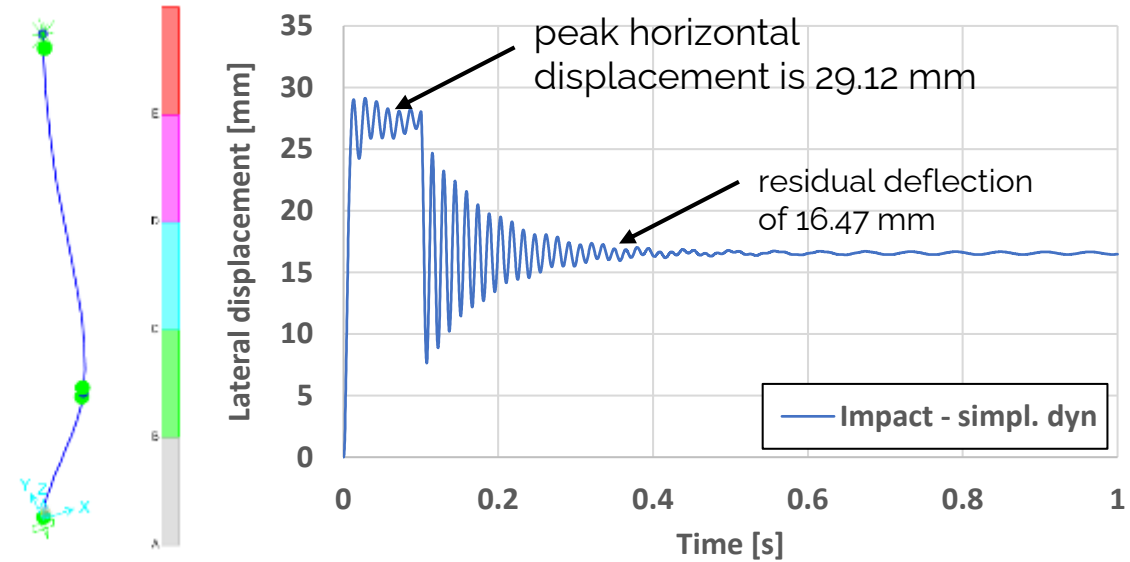
VÝSLEDKY

Sloup je schopen přenést nárazovou sílu, ale s počínajícími plastickými deformacemi:

- v bodě nárazu 0,054 %
- s přetvořením 0,073 % v patě
- 0,036 % v hlavě sloupu.



Fiber definition (left) and maximum development of strain on the cross section (right)



Deformed shape of the column (left) and the lateral displacement vs. time (right)

ZÁVĚR

odle tabulky pro návrh na odolnost z rámečku B.6 je výsledkem pro tento příklad KONEC návrhového rámečku, protože všechny požadavky jsou považovány za splněné (tj. poškození není kritické).

IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

■ NÁRAZ

Úplná dynamická analýza

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na účinky nárazu v důsledku náhodného nárazu vozidla

■ ACTIONS CONSIDERED FOR THE ACCIDENTAL DESIGN SITUATION

- Stálá zatížení DL
- Užitná zatížení LL
- Účinek nárazu A_{Ed}

■ Kombinace akcí pro náhodnou návrhovou situaci

- $DL + 0.5 \times LL + A_{Ed}$

■ DEFINICE SCÉNÁŘŮ NÁRAZU

Podrobně je popsán jediný scénář, tj. sloup C1 (UF = 1,313), náraz k měkké ose, který má nejvyšší U.F. podle ekvivalentního statického posouzení.

■ PŘEDPOKLAD NÁRAZU

- Směr nárazu: měkká osa: **m=3.5 tun** (hmotnost vozidla); **v_r= 90 km/h** (rychlost vozidla)

■ ANALÝZA KONSTRUKCE

Pro analýzu komplexního chování konstrukce, jako je kolize předmětu s následným oddělením prvků a možným zhroucením, byl náraz s vozidlem modelován explicitně. Byla provedena nelineární dynamická analýza na 3D modelu pomocí **softwaru ELS**.

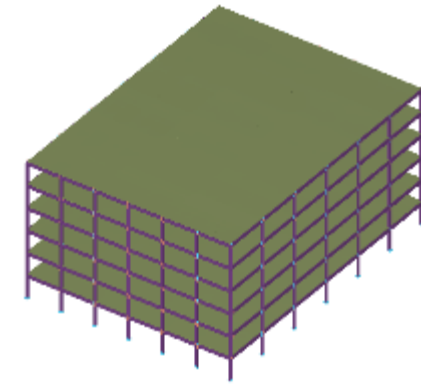
MODELOVÁNÍ KONSTRUKCE A ANALÝZA

ELS využívá nelineární řešič založený na AEM (Tagel-Din a Meguro, 2000) a umožňuje automatickou detekci a výpočet poddajnosti, zpevnění, porušení materiálů, oddělení prvků či kontaktu při nárazu, vybočení, pokritické chování, šíření trhlin, membránové působení a P- Δ efekt.

V případě setrvačných účinků byla stálá a proměnná zatížení přiřazena pomocí jednotlivých hmotností.

Analýza se provádí ve dvou krocích.

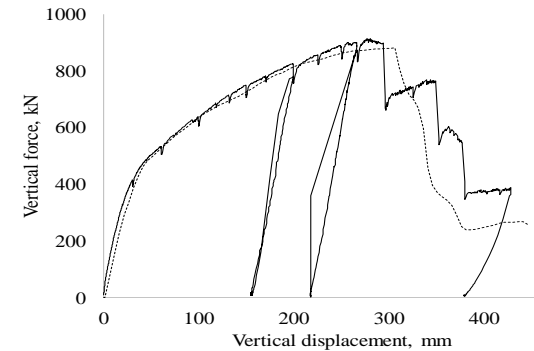
- 1. krok:** Stálá a užitná zatížení jsou aplikována na konstrukci ve statické nelineární analýze
- 2. krok:** nárazové těleso koliduje se sloupem C2 v dynamické nelineární analýze.



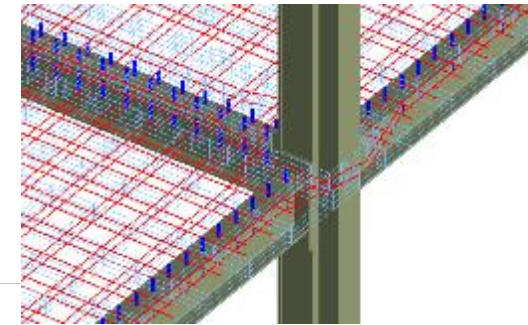
General view of CS/S structural model



Connection detail



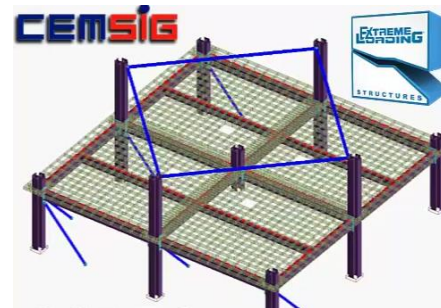
Calibration curves



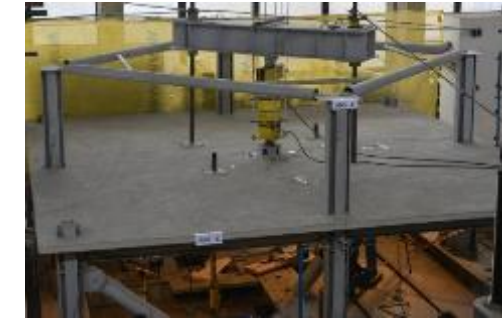
Slab model

MODELOVÉ PŘEDPOKLADY NÁRAZU

Narážejícímu tělesu (tj. vozidlo) je umožněn pokluz pouze po vodorovné rovině ve výšce 1,5 m a má hmotnost 3,5 tuny. Počáteční rychlost objektu je 25 m/s.



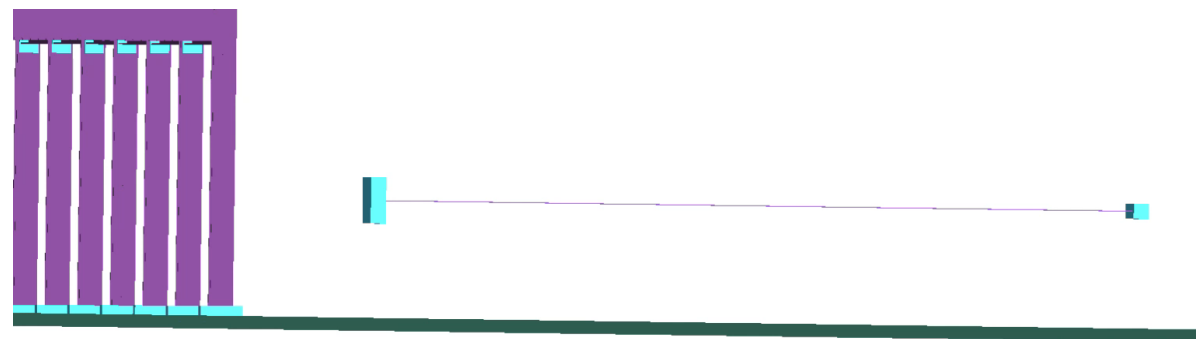
Calibrated model



Experimental specimen before and after r.c. slab pouring

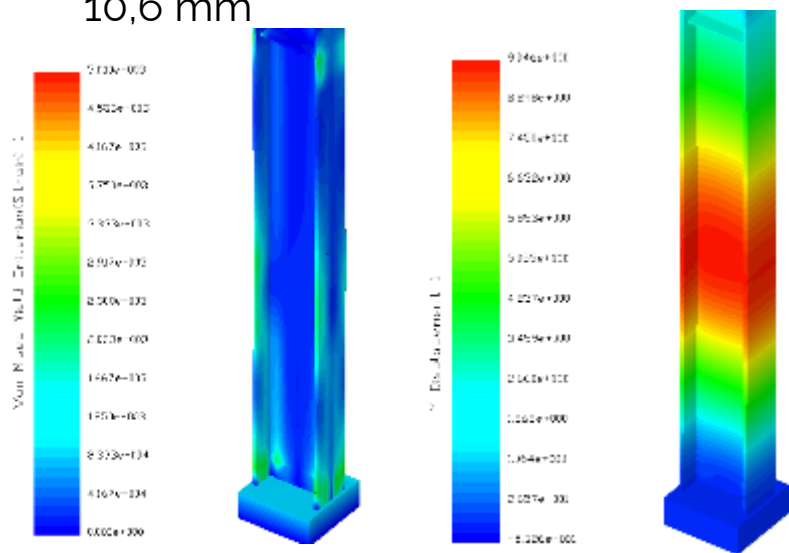
MODELOVÉ PŘEDPOKLADY NÁRAZU

Narážecí těleso se skládá z kontaktní desky, desky s přiřazenou hmotností a axiálních pružin mezi nimi. Výška kontaktní zóny mezi nákladním vozidlem a sloupem je uvažována 0,6 m. Tuhost 300 kN/m je modelována pomocí pružin s lineárním chováním

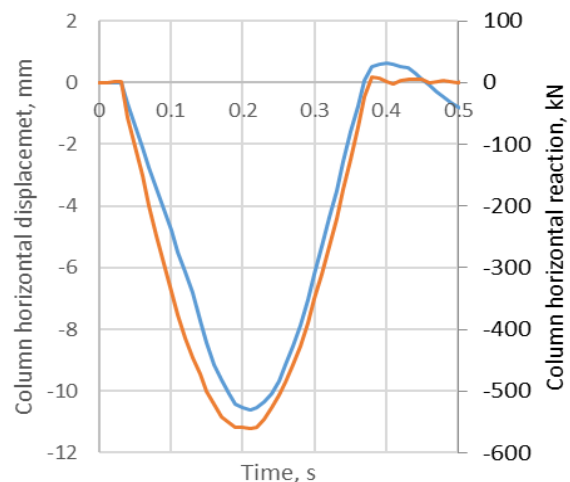


VÝSLEDKY

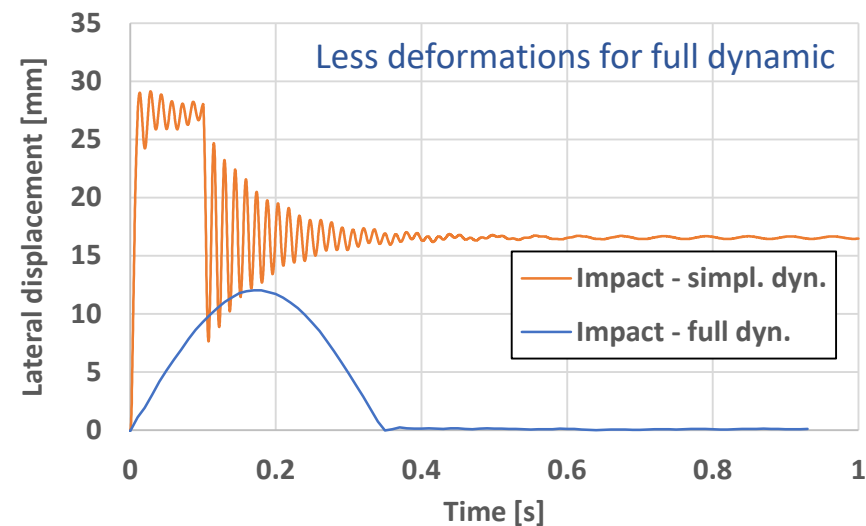
Výsledky ukazují omezené plastické deformace v zasaženém sloupu s maximálním vodorovnou deformací 10,6 mm



deformace



horizontální síla v patce (oranžová) a horizontální posunutí v bodě nárazu (modrá)



Boční posun v čase – srovnání dynamických přístupů

IDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení (ALPM)

Preskriptivní metoda (metoda vazby)

Příklad ukazuje řešení metodou vazebných sil.

Zatížení pro mimořádnou návrhové situace

Stálé zatížení

Proměnné zatížení

Žádná specifická zatížení nebyla uvažována

Vzdálenost mezi vazbami	$s = 12 \text{ m}$	Rozpon vazby	$L = 8 \text{ m}$
-------------------------	--------------------	--------------	-------------------

Návrhová hodnota tahové síly ve vazbě $\rightarrow T_i = \max[0.8(g_k + \Psi \cdot q_k)s \cdot L; 75 \text{ kN}] = \max[0.8(5 + 0.5 \times 3)12 \times 8; 75 \text{ kN}] = 499.2 \text{ kN}$

Osová únosnost hlavního styčnicku je součtem tahové síly přenášené šrouby a podélnou výztuží v účinné šířce železobetonové desky.

$$N_u = 392 \text{ kN} + 73 \text{ kN} = 465 < T_i = 499.2 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{JE NUTNÝ NOVÝ NÁVRH}$$

$$N_u^* = 661 \text{ kN} > T_i = 499.2 \text{ kN}, \text{ UF} = 0.76$$

Byly navrženy 3 šrouby M20 10.9 místo původních 2

Vnitřní hlavní kloubové nosníky a jejich přípoje splňují posouzení na požadované vázné síly s omezenými změnami v návrhu.

ZÁVĚR: návrh na svislé zatížení na vazebné síly nevyhoví. Přidán jeden šroub.

NEIDENTIFIKOVANÁ ZATÍŽENÍ

Metoda alternativního přenosu zatížení ALPM

Úplná dynamická analýza

Tento příklad poskytuje informace o návrhu konstrukce na neidentifikované hrozby pomocí ALPM a nelineární dynamické analýzy.

ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

- Stálé zatížení DL;
- Proměnná zatížení LL;
- Žádné specifické mimořádné zatížení se nezohledňuje

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNOU NÁVRHOVOU SITUACI

$$DL + 0.5 \times LL$$

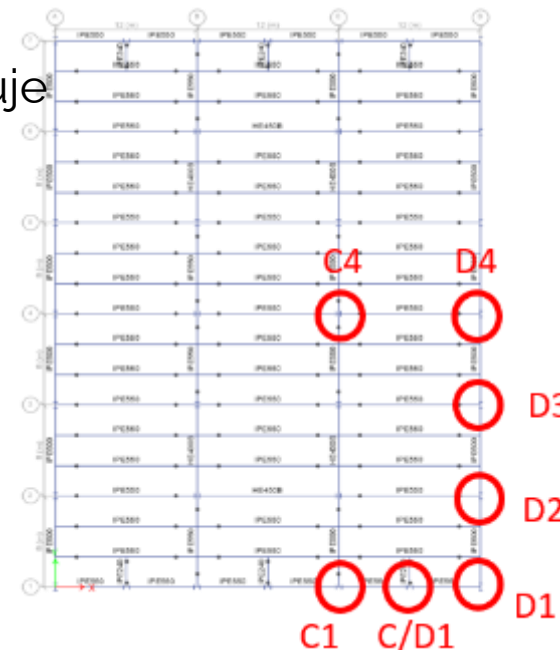
DEFINICE SCÉNÁŘE ZTRÁTY SLOUPU

- Uvažuje se o 7 místech pro odstranění sloupů, viz obrázek
- Všechna místa jsou v přízemí

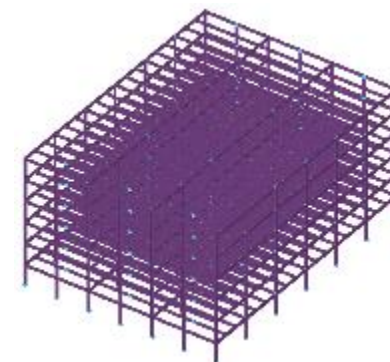
ANALÝZA KONSTRUKCE

- 3D model
- Extreme loading for structure ELS software

Definice scénáře



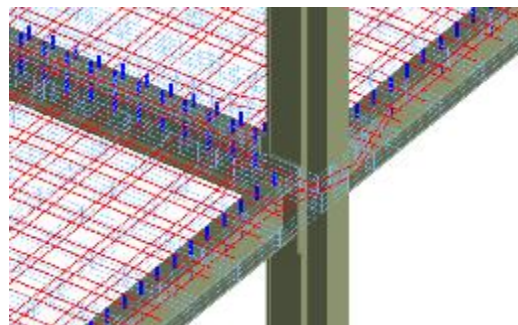
Pohled na 3D model



Dynamické účinky způsobené ztrátou sloupu jsou implicitně zohledněny pomocí parametru doby trvání odstranění.

VALIDACE NUMERICKÉHO MODELU

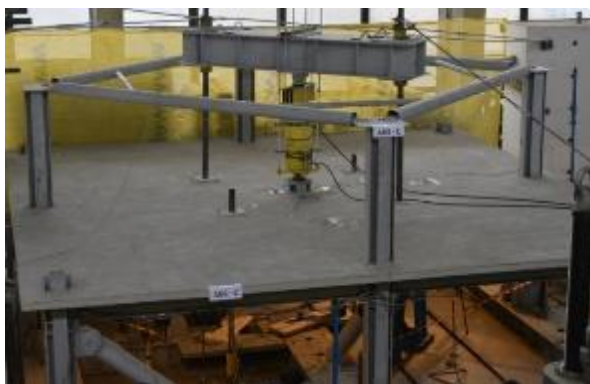
- Model byl validován na experimentálních výsledcích z projektu CODEC.
- Na ztrátu sloupu se zkoušel prostorový vzorek s ocelovými sloupy a ocelobetonovými nosníky
- Zkouška vypovídá o lokální odezvě spojů a globálním chování, při přechodu z ohybového na membránové chování po odstranění sloupu.



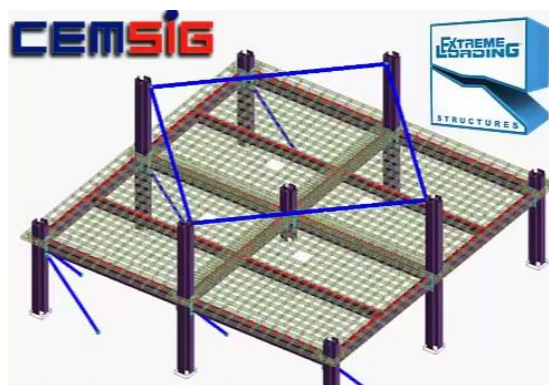
Slab model



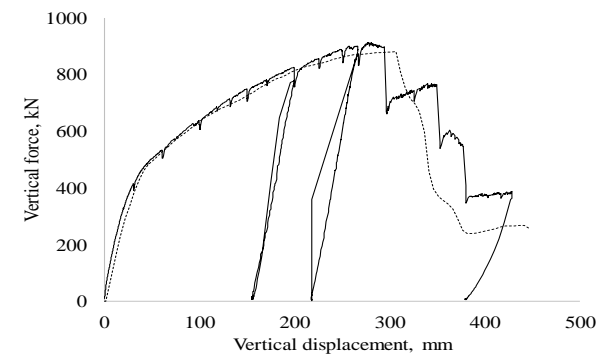
Connection detail



Experimentální vzorek před a po betonáži



3D model testovný v CODEC – způsob porušení



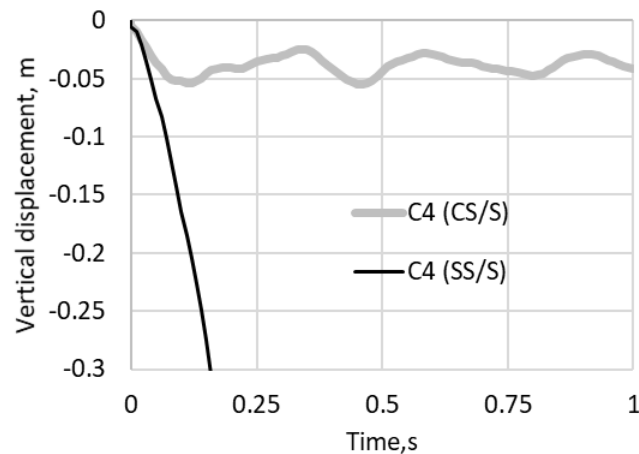
Pracovní d

ANALÝZA

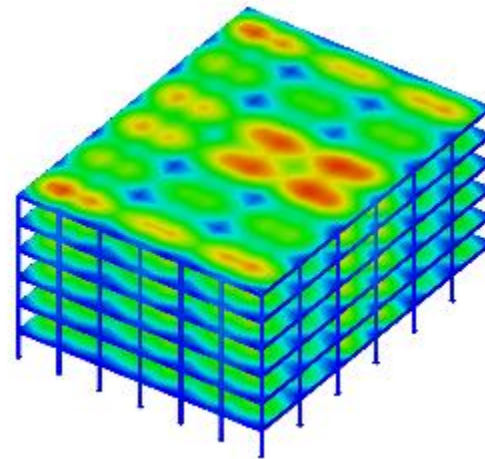
- **1. krok:** eškerá gravitační zatížení přiřazená stropním deskám pomocí statické analýzy
- **2. krok:** Doba trvání odstranění sloupu je 0,001 sekundy - nelineární dynamická analýza

VÝSLEDKY

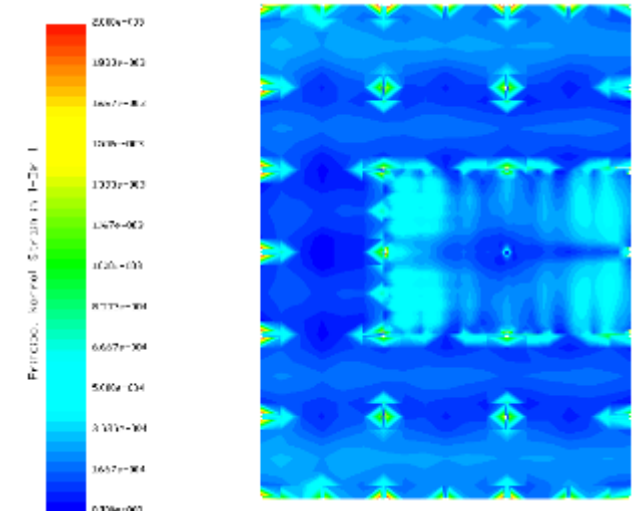
- Výsledky jsou porovnány s výsledky získanými pro konstrukci SS/S.
- Výsledky nelineární dynamické analýzy ukazují, že konstrukce CS/S je schopna odolat progresivnímu kolapsu pro všechny scénáře odstranění, včetně scénáře C4 (který je pro konstrukci SS/S kritický).



Svislá síla vs. svislý posun, CS/S vs SS/S



Deformovaný tvar konstrukce



Půdorys 1. podlaží

ZÁVĚR

- Vzájemné působení oceli a betonu poskytuje dodatečnou únosnost, která je odolná proti ztrátě sloupu.
- Interakce je výhodná zejména u rámců s kloubovými styčnicí.

WORKED EXAMPLES

V Praze

18.5.2022

**Děkuji! Dank je! Thank you! Merci!
Dankeschön! Grazie! Dziękuję Ci!
Obrigado! Mulțumesc! Gracias!**

Marta KUŘÍKOVÁ, Matyáš KOŽICH,
Zuzana KUBÍKOVÁ a František WALD

<http://steel.fsv.cvut.cz/FAILNOMORE/index.htm>

steelconstruct.com/eu-projects/failnomore



Research Fund for Coal & Steel

FAIL **NO**
MORE

