

Praha

18.5.2022

NEIDENTIFIKOVANÉ HROZBY

*Marta Kuříková, František Wald,
Matyáš Kožich, Zuzana Kubíková*

České vysoké učení technické v Praze

FAILNOMORE

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



Research Fund for Coal & Steel

FAIL **NO
MORE**



1. ÚVOD

■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod

2. Výběr návrhového postupu

3. Identifikace místních škod

4. Metoda alternativního přenosu zatížení

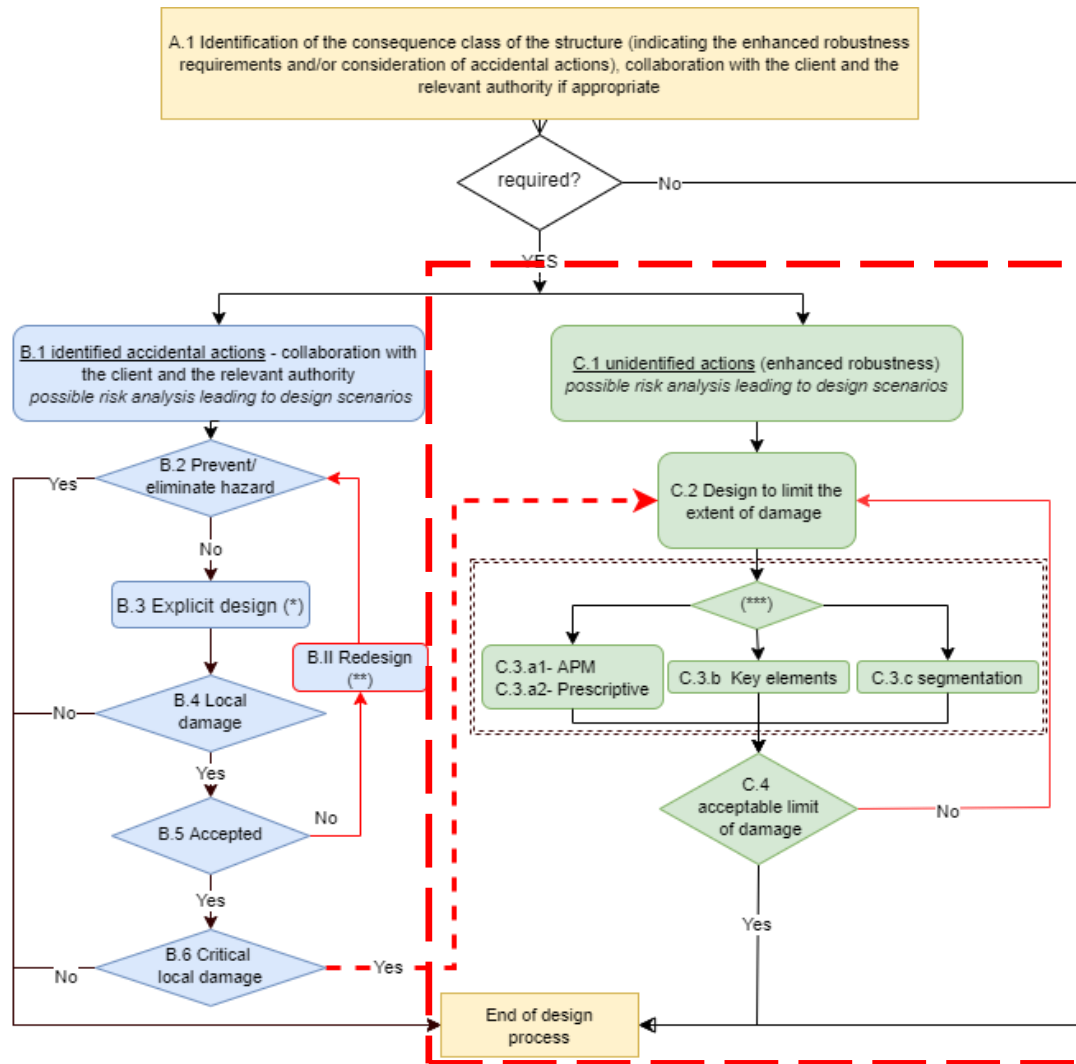
5. Metoda návrhu klíčových prvků

6. Metoda segmentace

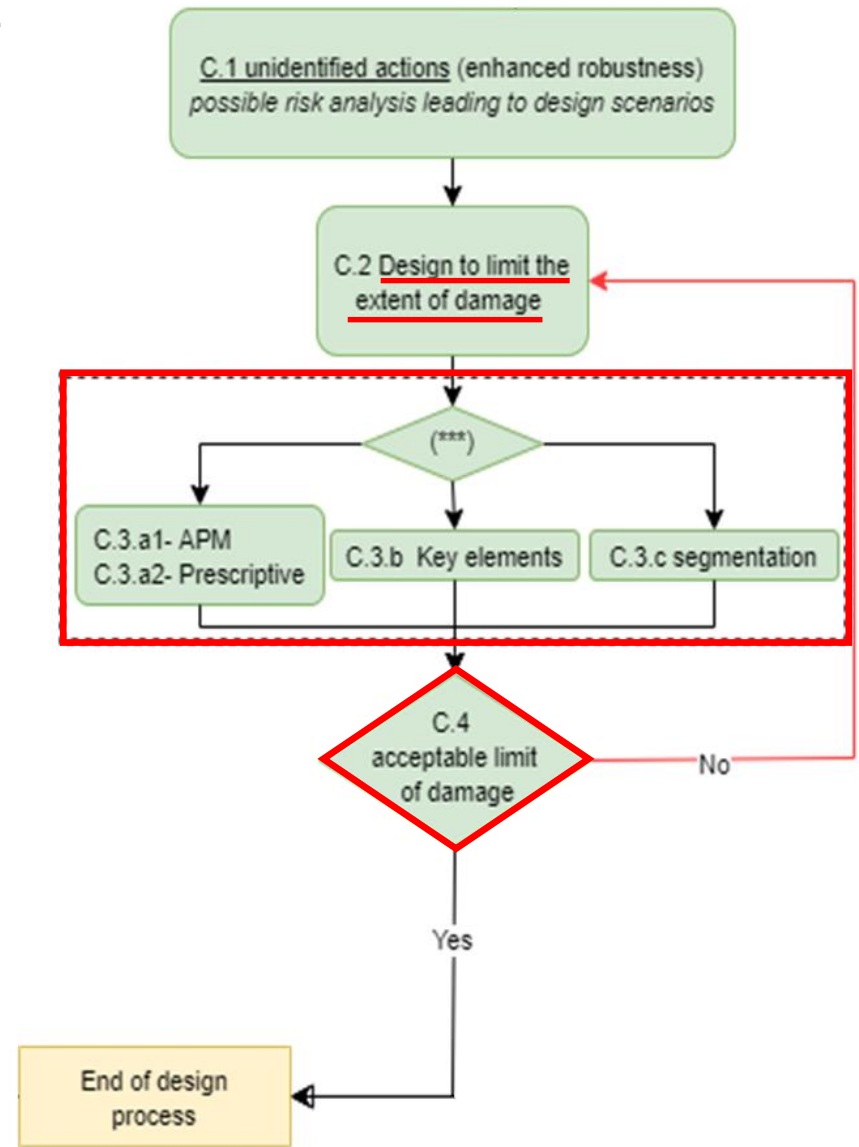
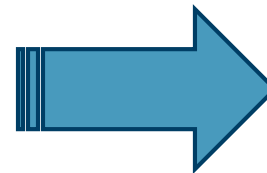
7. Závěr

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

1. ÚVOD



Postup pro
neidentifikované
hrozby



OBSAH

■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod
 2. **Výběr návrhového postupu**
 3. Identifikace místních škod
 4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 5. Metoda návrhu klíčových prvků
 6. Metoda segmentace
 7. Závěr
1. Úvod
 2. Výběr návrhového postupu
 3. Identifikace místních škod
 4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
 5. Metoda návrhu klíčových prvků
 6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
 7. Závěr

2. VÝBĚR NÁVRHOVÉHO POSTUPU

- Neidentifikované hrozby se vztahují k mimořádným zatížením, které nejsou konkrétně „identifikovány“ klientem nebo jinými dotčenými stranami
- Podle definice nelze neidentifikované hrozby popsat a jsou tak nespecifikovatelné
- Strategie návrhu se snaží především omezit rozsah lokálního poškození, ať už je iniciační příčina jakákoli
- Výběr návrhového postupu, který má být použitý, závisí na třídě následků (CC), do které uvažovaná konstrukce patří

2. VÝBĚR NÁVRHOVÉHO POSTUPU

■ Pro konstrukce třídy CC1:

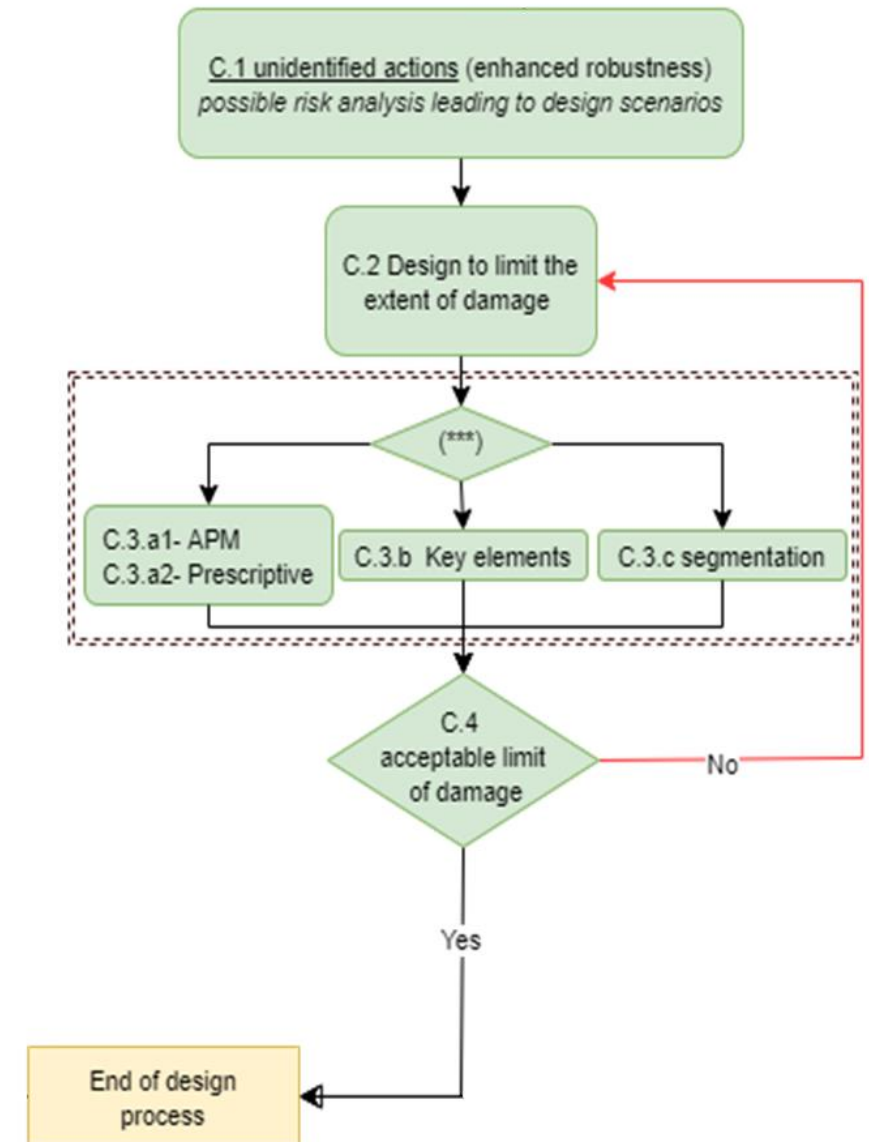
- Žádné specifické požadavky

■ Pro konstrukce třídy CC2 – skupina menšího rizika (CC2a):

- Metoda vazeb pro zajištění vodorovných vazeb

■ Pro konstrukce třídy CC2 – skupina většího rizika (CC2b):

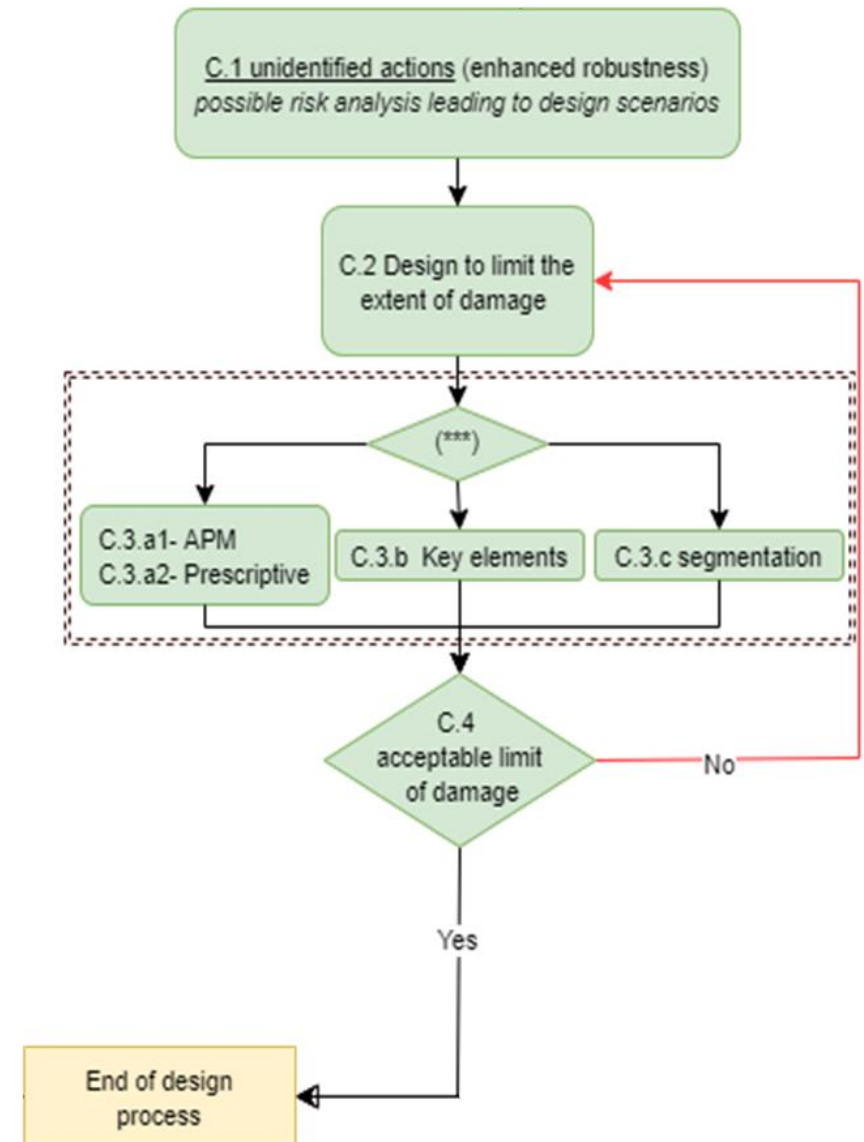
- Metoda vazeb pro zajištění vodorovných a svislých vazeb nebo ...
- Metoda alternativního přenosu zatížení nebo ...
- Metoda návrhu klíčových prvků nebo ...
- Metoda rozdělení konstrukce



2. VÝBĚR NÁVRHOVÉHO POSTUPU

■ Pro konstrukce třídy CC3:

- Návrhové přístupy uvedené pro třídu CC2, skupinu většího rizika (CC2b), zůstávají platné, **ale...**
- Může být vyžadována analýza rizik a použití zpřesněných metod, tj. úplné dynamické analýzy, nelineární modely...



1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
- 3. Identifikace místních škod**
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
7. Závěr

OBSAH

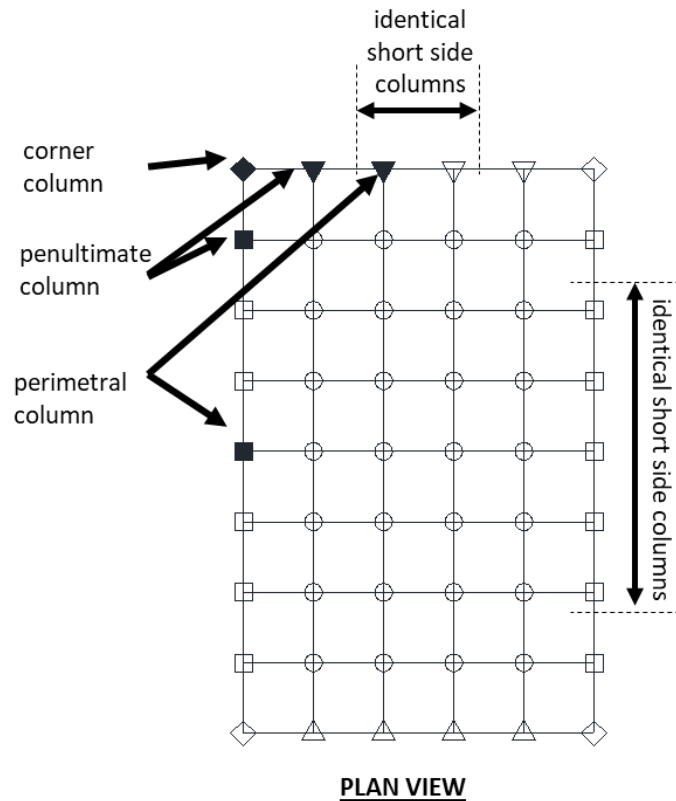
■ Prezentace je rozdělena následovně:

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

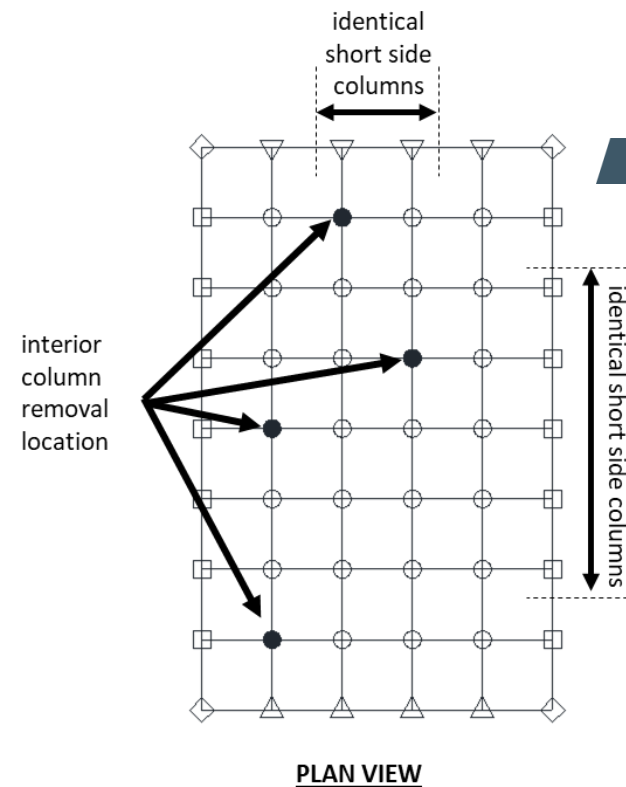
3. LOKÁLNÍ POŠKOZENÍ

- Podle EN 1991-1-7 je lokálním poškozením, které je třeba vzít v úvahu pro stavební konstrukce zahrnuté v CC2b, pomyslné odstranění každého nosného sloupu nebo každého nosníku nesoucího sloup.
- To by mohlo představovat značné množství práce!
- Existují možnosti, jak snížit počet uvažovaných scénářů ztráty sloupu, zejména u běžných budov

3. IDENTIFIKACE MÍSTNÍHO POŠKOZENÍ



(DoD 2016)



■ Pro oblasti z hlediska podlaží:

- první nadzemní podlaží;
- podlaží pod střechou;
- podlaží ve střední výšce;
- podlaží nad místem přípoje sloupu nebo změnou velikosti sloupu

3. IDENTIFIKACE MÍSTNÍHO POŠKOZENÍ

- V EN 1991-1-7 není uvedeno, zda se odstranění sloupu má považovat za okamžité nebo jako « kvazistatické »
- Uvažujeme-li kvazistatickou ztrátu sloupu:
 - Je možné použití jednodušších analytických nástrojů, protože není třeba počítat s dynamickými vlivy
 - Získáváme dobrý přehled o schopnosti konstrukce aktivovat alternativní přenos zatížení
- Zohlednění okamžité ztráty sloupu poskytuje horní hranici odezvy stavebních konstrukcí

■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod
 2. Výběr návrhového postupu
 3. Identifikace místních škod
 - 4. Metoda alternativního přenosu zatížení**
 5. Metoda návrhu klíčových prvků
 6. Metoda segmentace
 7. Závěr
1. Úvod
 2. Výběr návrhového postupu
 3. Identifikace místních škod
 4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
 5. Metoda návrhu klíčových prvků
 6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
 7. Závěr

4.1 OBECNĚ

- Konstrukční přístupy mají za cíl poskytnout konstrukci alternativní přenos zatížení, které umožní redistribuci zatížení v případě lokálního selhání nosného prvku
- Konstrukce je ideálně navržena s dostatečnou tažností, deformační kapacitou a tvarovou přeurčitostí a/nebo lze použít normová návrhová doporučení, jako je metoda vazeb
- Metoda alternativního přenosu zatížení je použitelná pro konstrukce pravidelného tvaru
- EN 1991-1-7 ➔ Metoda alternativního přenosu zatížení je založena na omezení rozsahu lokálního porušení zvýšením tvarové přeurčitosti a uvážením pomyslného odstranění sloupů

4.1 OBECNĚ

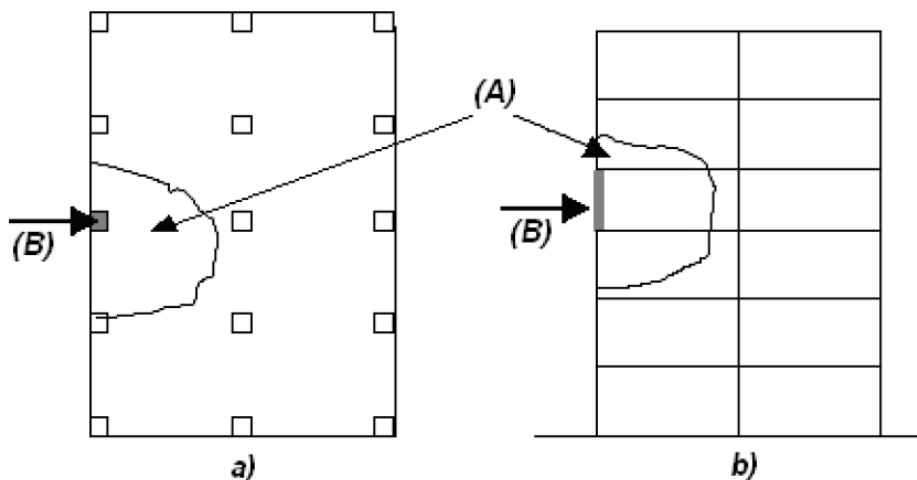
■ Při použití metody alternativního přenosu zatížení podle EN 1991-1-7 má být prokázáno, že nedojde k porušení nepřiměřené původní příčině

■ Přijatelná mez poškození:

■ 15% podlahové plochy nebo ...

■ 100 m²

Podle toho, která z hodnot je menší, a to na každém ze dvou přilehlých podlaží



(A) Lokální poškození

(B) Pomyslně odstraněný sloup

4.1 OBECNĚ

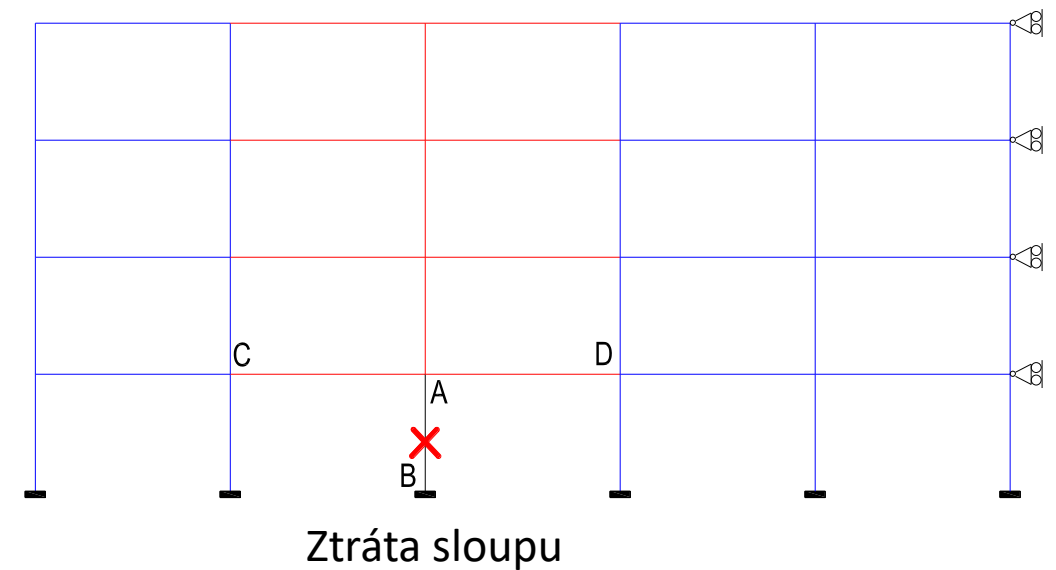
■ Předpokládaný scénář: ztráta sloupu

■ Stavební konstrukci, která je vystavena ztrátě sloupu, lze rozdělit na dvě hlavní části:

■ **Ovlivněná** (Directly Affected Path, DAP), představuje část budovy ovlivněnou ztrátou sloupu, tj. nosníky, sloupy a styčníky mezi nosníky a sloupy, které jsou těsně nad porušeným sloupem

■ **Neovlivněná** (Indirectly Affected Path, IAP) zahrnuje zbytek konstrukce

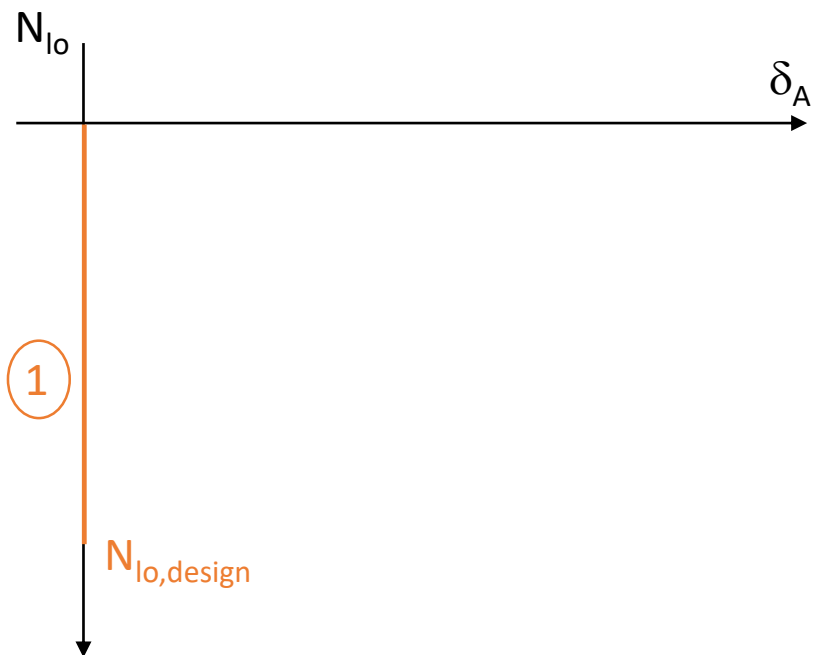
Červeně: přímo ovlivněná část
Modře: nepřímo ovlivněná část



4.1 OBECNĚ

■ Odezva rámové konstrukce na ztrátu sloupu může být rozdělena do různých po sobě jdoucích fází

■ Průběh svislého posunutí δ_A pro sílu N_{lo} v porušeném sloupu

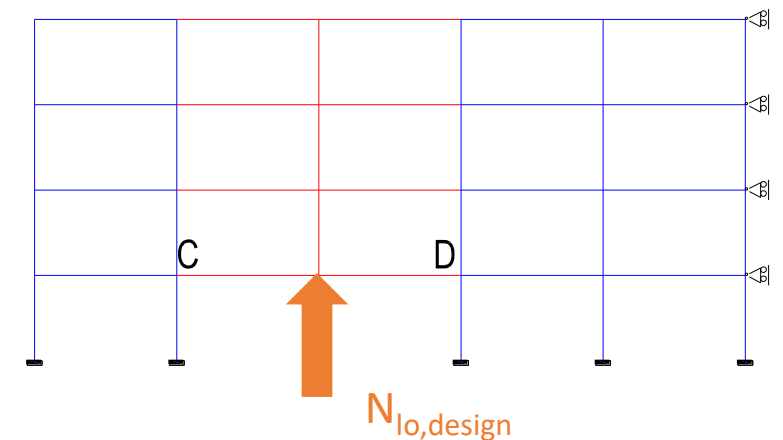


Fáze 1

➡ Budova zatížena mimořádnou kombinací zatížení

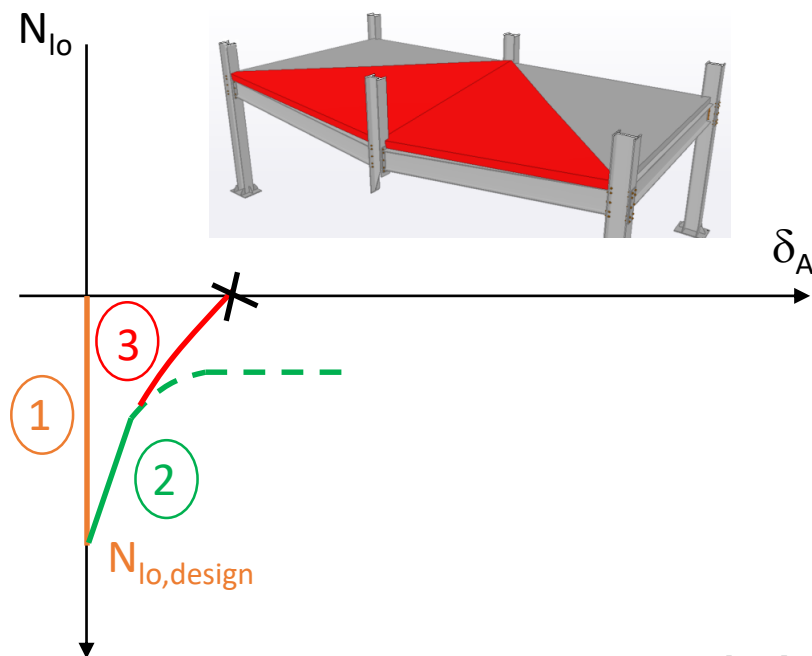


Sloup zatížený osovou silou $N_{lo,design}$



4.1 OBECNĚ

■ Robustnost může být případně zajištěna pouze deskami, pokud jsou přítomny (desky připojené nebo nepřipojené k ocelovým nosníkům)



Fáze 2

➡ Počátek ztráty sloupu



Nejdříve lze pozorovat elastické chování
Poté vzniká plastický mechanismus

Fáze 3

➡ Objevují se značné deformace

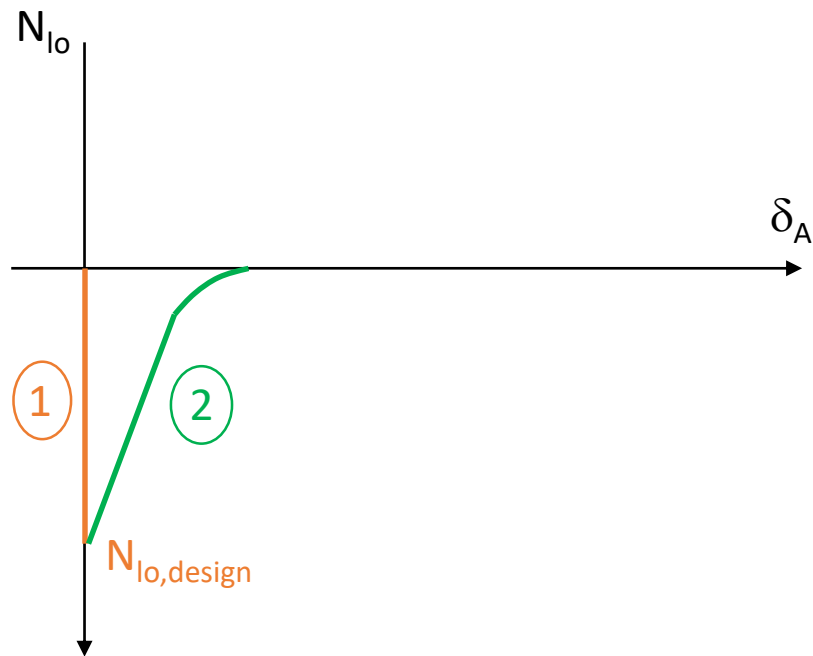


Ve spodních nosnících v zasažené části se vyvine výrazná tažená membrána dokud nedojde ke křehkému porušení v důsledku nedostatečné tažnosti výztuže (např.)

Poznámka: pokud robustnost není dostatečná, pak musí být aktivovány další příspěvky, což vyžaduje značné posuny, které si deska nemůže dovolit. V tomto případě bude muset být « Fáze 3 » na desce ignorována

4.1 OBECNĚ

■ Pokud robustnost není zajištěna samotnými deskami, lze uvažovat vznik plastického mechanismu v deskách a nosnících



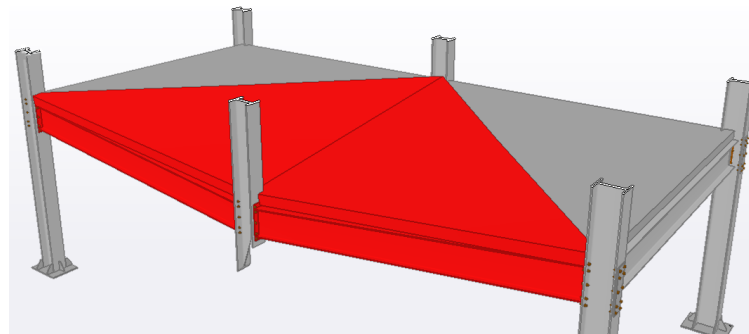
Fáze 2:



Počátek ztráty sloupu

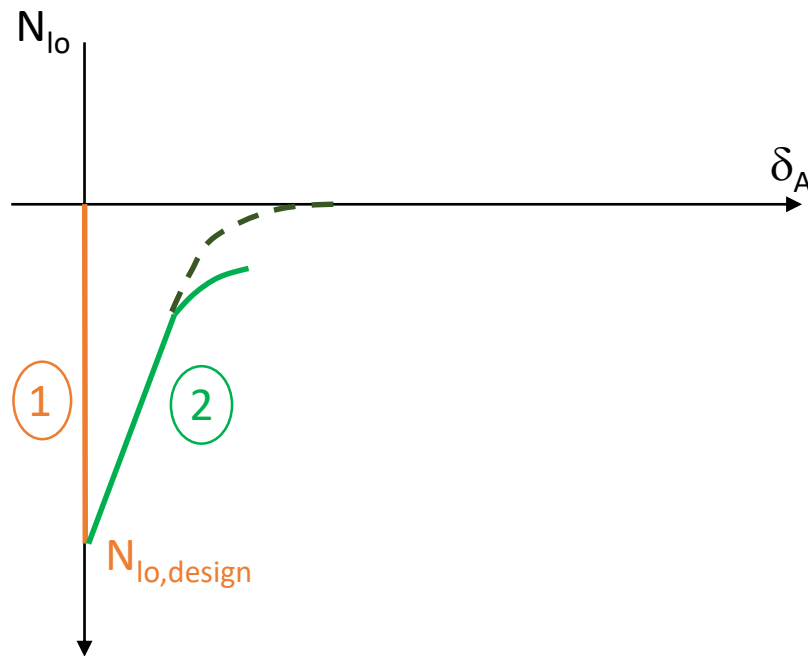


- Plastický mechanismus v deskách (Johansen)
- Plastický mechanismus nosníku v ovlivněné oblasti (ocelový nebo ocelobetonový nosník, pokud jsou desky připojeny k ocelovým nosníkům)



4.1 OBECNĚ

■ Pokud robustnost není zajištěna samotnými deskami, lze uvažovat vznik plastického mechanismu v deskách a nosnících + vznik klenbového efektu



Fáze 2:

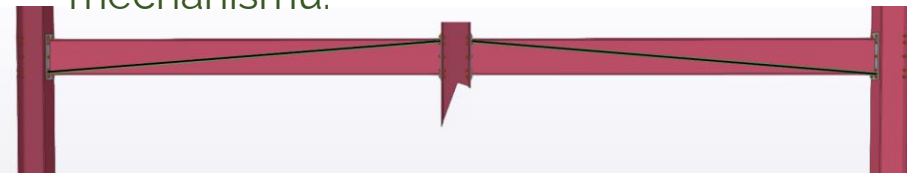


Počátek ztráty sloupu



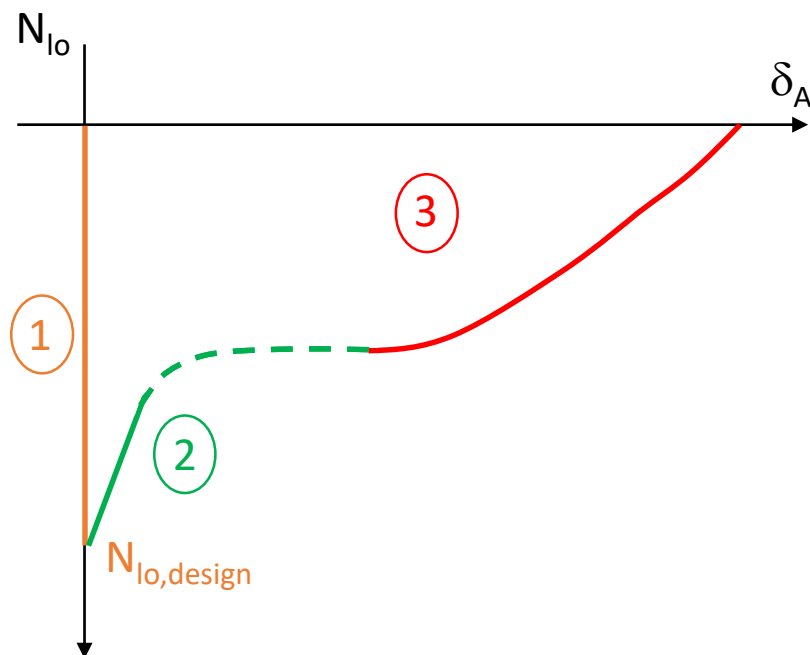
- Plastický mechanismus v deskách (Johansen)
- Plastický mechanismus nosníku v ovlivněné oblasti (ocelový nebo ocelobetonový nosník, pokud jsou desky připojeny k ocelovým nosníkům)

Kromě toho v některých specifických případech (definovaných později) mohou v nosnících vzniknout klenbové efekty v návaznosti na vývoj plastických mechanismů.



4.1 OBECNĚ

■ Pokud není robustnost dostatečná, může v nosnících vzniknout tažená membrána



Fáze 2: ➡ Ztráta sloupu



- Plastický mechanismus v deskách (Johansen)
- Plastický mechanismus nosníku v ovlivněné oblasti (ocelový nebo ocelobetonový nosník, pokud jsou desky připojeny k ocelovým nosníkům)
- Klenbový efekt v nosníku

Snížení únosnosti je uvažováno jako výsledek „**prolomení**“ v nosnících; po něm následuje pokles v důsledku křehkého porušení výztuže v deskách, pokud jsou přítomny

Fáze 3: ➡ Objevuje se značná deformace

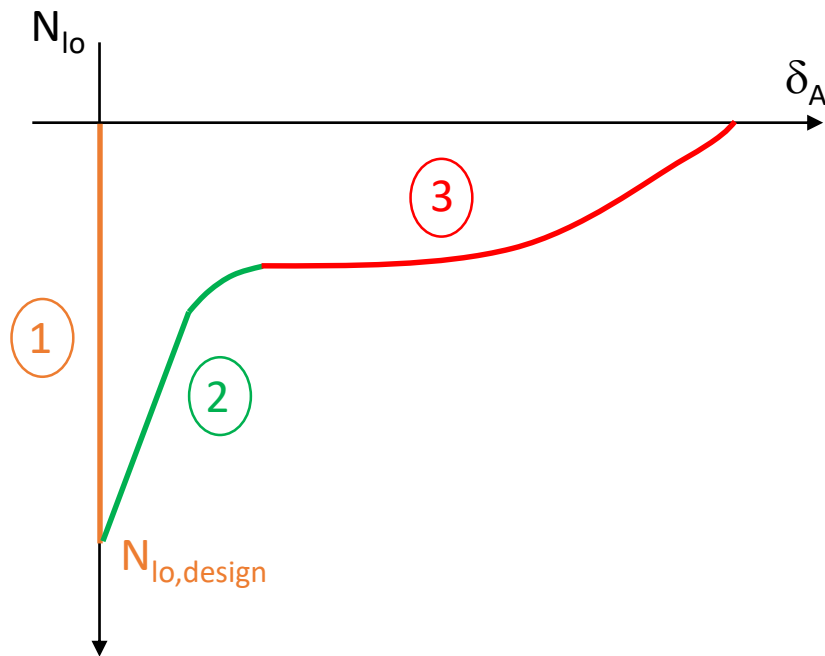


Vzniká tažená membrána v ocelovém nebo ocelobetonovém nosníku v ovlivněné oblasti

Poznámka: Jsou uvažovány dva příspěvky k robustnosti : **mechanismus nosníku** a **tažená membrána** v nosnících v ovlivněné oblasti

4.1 OBECNĚ

■ Zobrazení globální odezvy konstrukce



Fáze 1: ➡ Budova zatížena mimořádnou kombinací zatížení

➡ Na sloup působí osová síla $N_{lo,design}$

Fáze 2: ➡ Počátek ztráty sloupu

➡ Nejdříve lze pozorovat elastické chování

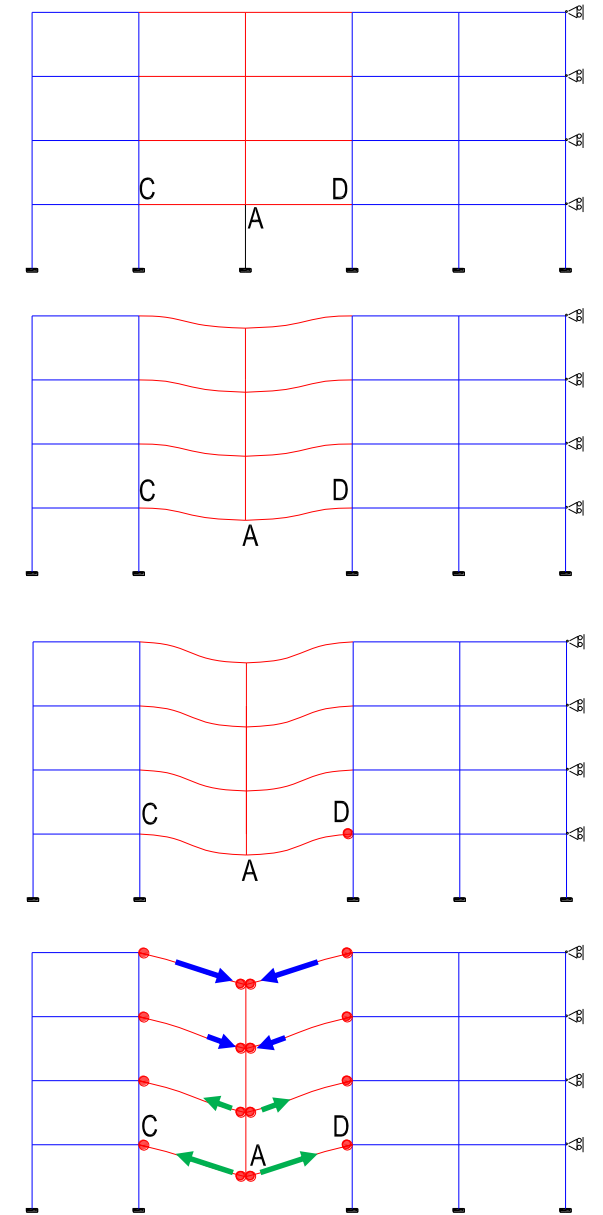
➡ Poté vzniká plastický kloub

➡ Nakonec vzniká plastický mechanismus v ovlivněné oblasti

Fáze 3: ➡ Objevují se značné deformace

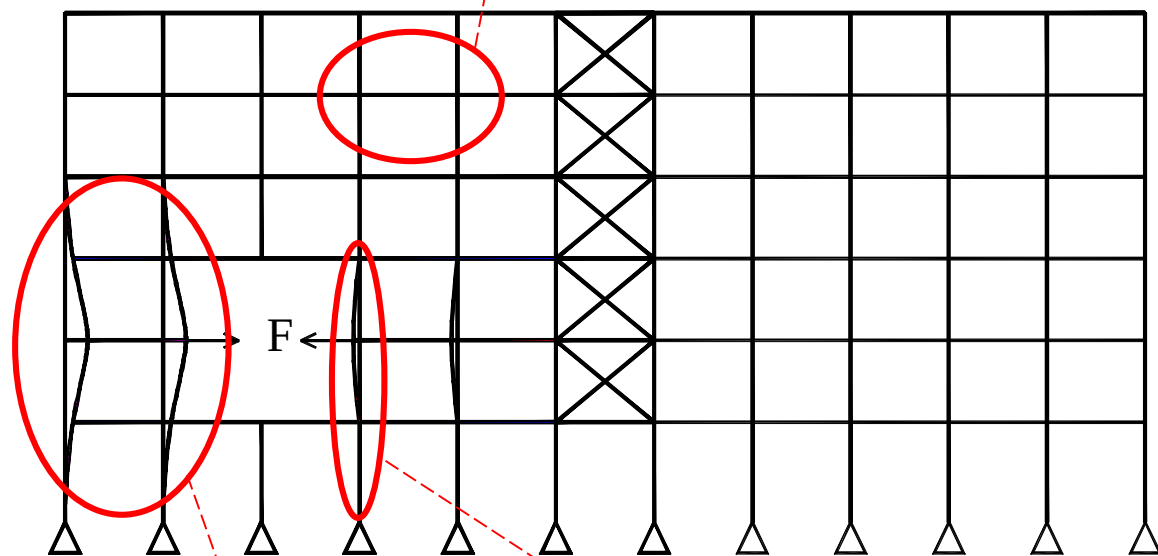
➡ Vznik efektů 2. řádu

➡ Objevují se osově síly v nosnících (membránové síly/tažená membrána)



4.1 OBECNĚ

Nestabilita nosníku jako výsledek globálního klenbového efektu



Plastický mechanismus

Ztráta stability sloupu

Je třeba zkontrolovat další možné způsoby selhání:

- **Vybočení sloupů v neovlivněné oblasti sousedících s porušeným sloupem**
- **Vývoj globálního plastického mechanismu v neovlivněné části působením membránových sil**
- **Vybočení v tlaku horních nosníků v ovlivněné části vlivem možného progresivního vývoje klenbového efektu**

4.1 OBECNĚ

- Pro implementaci alternativního návrhového přístupu pomocí přenosu zatížení lze použít různé metody návrhu, charakterizované různými úrovněmi složitosti.
- Následující metody návrhu lze použít:
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
- 4. Metoda alternativního přenosu zatížení**
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
7. Závěr

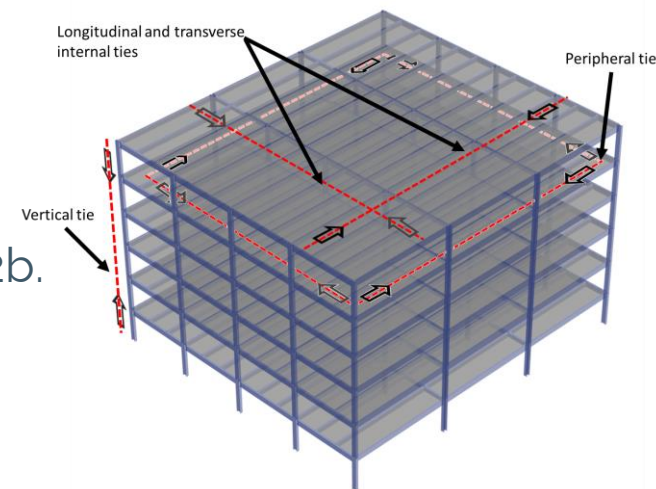
OBSAH

■ Prezentace je rozdělena následovně:

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

4.2 METODA VAZEB

- Cílem normových návrhových metod je poskytnout konstrukci minimální úroveň robustnosti a únosnosti proti postupnému zhroucení
- Jedná se o nepřímou návrhovou metodu
- Metoda vazeb je normová návrhová metoda, která:
 - poskytuje minimální úroveň pevnosti mezi konstrukčními prvky;
 - využívá vodorovných a svislých vazeb;
 - vybírá prvky vazby na základě úrovně rizika a tříd následků;
 - Je doporučena pro konstrukce s nízkým/středním rizikem.
- Tento přístup je uveden v EN 1991-1-7 a předepisuje :
 - Použití vodorovných vazeb v budovách s třídou následků CC2a;
 - Použití vodorovných a svislých vazeb v budovách s třídou následků CC2b.



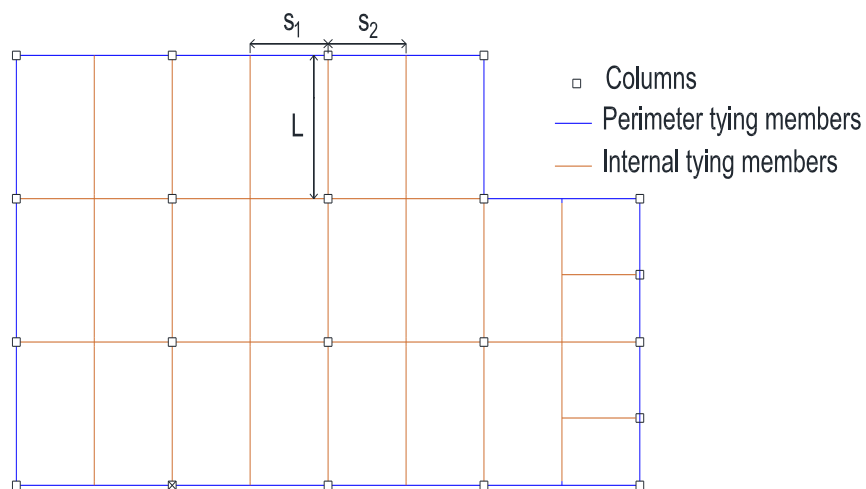
4.2 METODA VAZEB

■ Vodorovné vazby mají být umístěny v každém podlaží a v úrovni střechy

- Po obvodu půdorysu a...
- Vnitřní vazby ve dvou pravých úhlech k upnutí sloupů a stěnových prvků a...
- Lze použít ocelové nosníky, ocelovou výztuž a výztužné sítě v betonových deskách, profilované ocelové plechy v kompozitních podlahách

■ Prvky a styčníky musí být navrženy tak, aby byly schopny odolat minimálním úrovním vazných sil

POŽADAVKY PRO RÁMOVÉ KONSTRUKCE (EN 1991-1-7)



Vnitřní vazby $\Rightarrow T_i = 0.8(g_k + \psi q_k)sL \geq 75 \text{ kN}$

Obvodové vazby $\Rightarrow T_p = 0.4(g_k + \psi q_k)sL \geq 75 \text{ kN}$

g_k stálé plošné zatížení působící na uvažované podlaží

q_k proměnné plošné zatížení působící na uvažované podlaží

s průměrná vzdálenost sousedních vazeb ($s = (s_1 + s_2)/2$)

L rozpětí vazby

ψ je příslušný součinitel ve výrazu pro kombinaci účinků v mimořádné návrhové situaci (EN 1990)

4.2 METODA VAZEB

- Aby byla možná aktivace vazných prvků, je vyžadována minimální úroveň tažnosti.
- V EN1991-1-7, nejsou uvedena jasná doporučení.
- Návrhová příručka FAILNOMORE doplňuje potřebné informace:
 - Jsou-li na koncích nosníku použity styčníky s navýšenou pevností, doporučuje se použití průřezu třídy 1 při kladném a záporném ohybovém momentu;
 - Pokud se použijí styčníky s plnou únosností, požaduje se dostatečná tažnost styčníku a nosníku;
 - Pokud se použijí spoje s částečnou únosností nebo jednoduché styčníky, požaduje se dostatečná tažnost/deformační kapacita na úrovni styčnicků.
- Je-li požadována tažnost/deformační kapacita na úrovni styčnicků, doporučuje se použít kritéria pro zajištění minimální deformační kapacity, která již byla zmíněna v prezentaci „Návrh na robustnost“.

4.2 METODA VAZEB

- Minimální tahové návrhové síly vypočítané pomocí normové metody jsou definovány tak, aby byla zajištěna minimální úroveň kontinuity/tvarové přeurčitosti v podlaze.
- Tyto síly vůbec neodrážejí skutečnou úroveň tahových sil, které by mohly nastat v případě úplné ztráty sloupu (jak je zvýrazněno na zpracovaných příkladech)
- Konečně nelze stanovit vztah mezi vaznou silou a skutečnou únosností vůči progresivnímu kolapsu



Efektivita této metody zůstává diskutabilní

4.2 ALTERNATIVNÍ NORMOVÁ METODA

- Novou metodu nedávno vyvinul B. Izzuddin z Imperial College London
- Metoda umožňuje predikci tahových zatížení, která by nastala v případě scénáře ztráty sloupu
- Může být přizpůsobena jakémukoli konstrukčnímu systému prostřednictvím vhodné kalibrace některých koeficientů

$$T \geq \eta \cdot \rho \cdot \left(\frac{i_f}{\bar{\alpha}} \right) \cdot P$$

- T tahové zatížení, které má přenést uvažovaný vazebný prvek

- η součinitel zesílení pro zohlednění možných dynamických jevů

- ρ redukční součinitel pro zohlednění různých účinků, jako je deformační zpevnění nebo interakce mezi tahovým zatížením a ohybem

- i_f součinitel velikosti vazebné síly v závislosti na uvažovaném systému

- $\bar{\alpha} = \frac{\alpha}{0.2}$ součinitel rotační kapacity nosníku α (v rad) pro různé typologie konstrukce

- P je ekvivalentní zatížení zohledňující zatížení působící na uvažované podlaží

4.2 ALTERNATIVNÍ NORMOVÁ METODA

- Kompozitní podlahy jsou účinným konstrukčním řešením pro aktivaci alternativního přenosu zatížení v případě ztráty sloupu
- Umožňují aktivaci membránových sil v připojené desce, přičemž vyžadují mnohem menší deformační kapacitu na koncích nosníku
- Doporučuje se použití ocelových nosníkových roštů, horní pásnice nosníků je připojená k desce ve dvou hlavních směrech
- Pro spolupůsobení desky se navrhuje řídit se doporučeními z EN 1992-1-1, kde jsou uvedeny minimální požadavky na zajištění podlahy systémem vazeb
- Konkrétní konstrukční detaily pro desky vyrobené z prefabrikovaných betonových prvků jsou rovněž uvedeny v podkladech k projektu Failnomore

4.2 ALTERNATIVNÍ NORMOVÁ METODA

Požadavky EN 1992-1-1 pro betonové desky

■ Systém vazeb

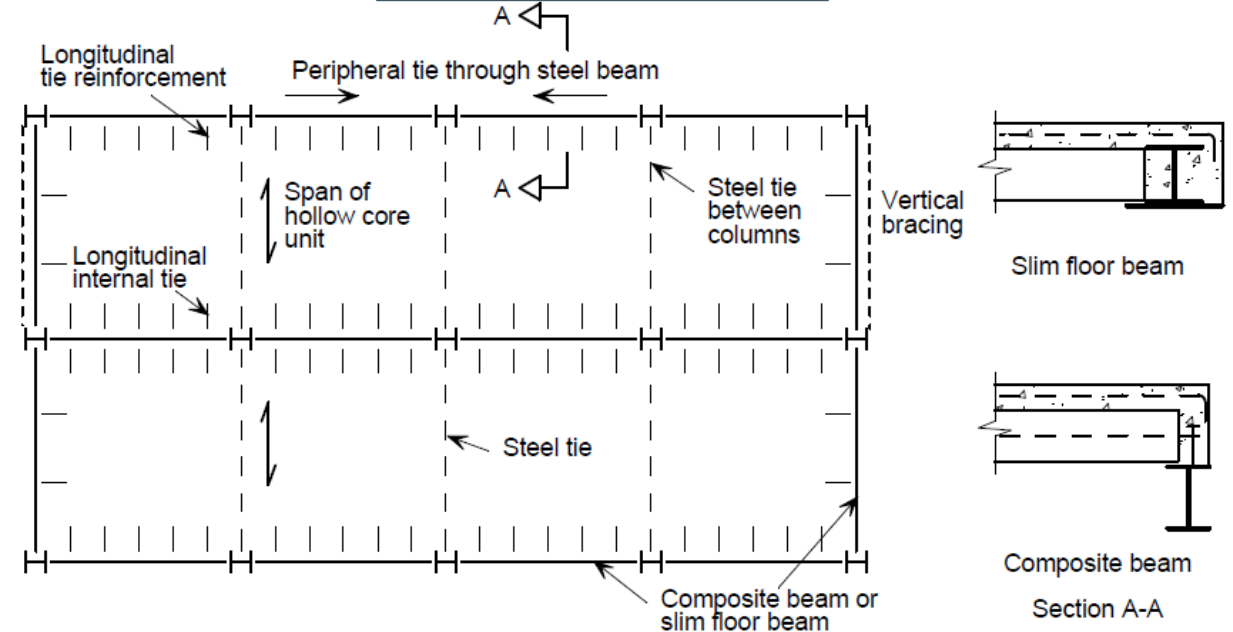
- Obvodové vazby
- Vnitřní vazby
- Vodorovné vazby mezi sloupy nebo stěnami
- Svislé vazby, pokud jsou požadovány (budovy s pěti a více podlažími)

■ Kritéria pro uspořádání prvků vazeb

■ Návrhové síly pro prvky vazby

■ Návaznost a ukotvení prvků vazeb

Příklad systému vazeb pro prefabrikovanou betonovou desku

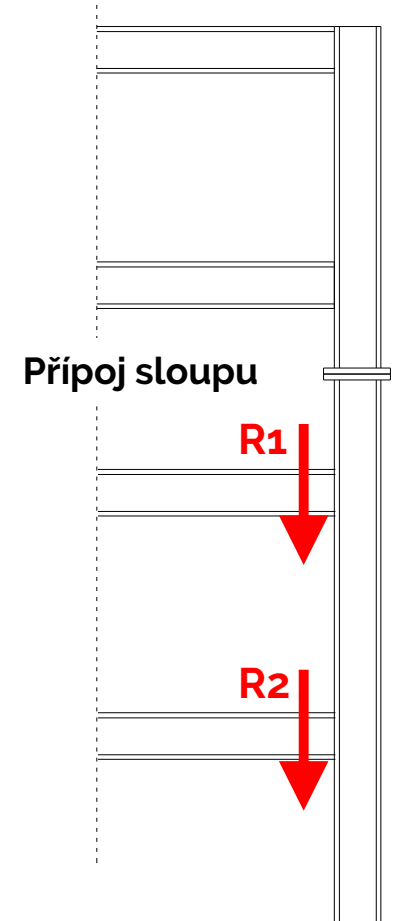


Ref.: CEN/TC250/SC4 2020

"N 2040 Other Flooring Types Using Precast Concrete Elements"

4.2 ALTERNATIVNÍ NORMOVÁ METODA

- Svislé vazby mají být použity pro konstrukce s třídou následků CC2b
- V rámových budovách by sloupy měly být schopny odolat mimořádné návrhové tahové síle rovné největší návrhové reakci pro svislé trvalé a proměnné zatížení působící na sloup z kteréhokoli podlaží
- V praxi jsou konstrukčními prvky, které mají být ověřeny, přípoje sloupů
- Spoje sloupů by měly být navrženy tak, aby přenesly reakce na koncích nosníku aplikované v jenom podlaží
- Koncové reakce se mají vypočítat pro normální návrhový případ a ne pro případ mimořádného zatížení
- Kontrola přípojí sloupů namáhaných tahem není v Eurokódech výslovně zahrnuta



■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
- 4. Metoda alternativního přenosu zatížení**
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

4.3 ANALYTICKÉ MODEL Y

■ Metody posouzení robustnosti navržené v projektu Failnomore jsou:

- Zjednodušené analytické metody pro konstrukce s kloubovými styčníky
- Zjednodušené analytické metody pro konstrukce se styčníky s částečnou únosností
- Zjednodušené analytické metody pro konstrukce se styčníky s navýšenou únosností
- Pokročilé metody

■ Zjednodušené metody jsou vysvětleny dále

■ Pokročilé metody jsou popsány v Příručce k projektu (Příloha A.8)

■ Pravidla pro použití jsou uvedena v Příručce k projektu

4.3 ANALYTICKÉ MODELY

Zjednodušené analytické metody pro konstrukce s kloubovými styčníky

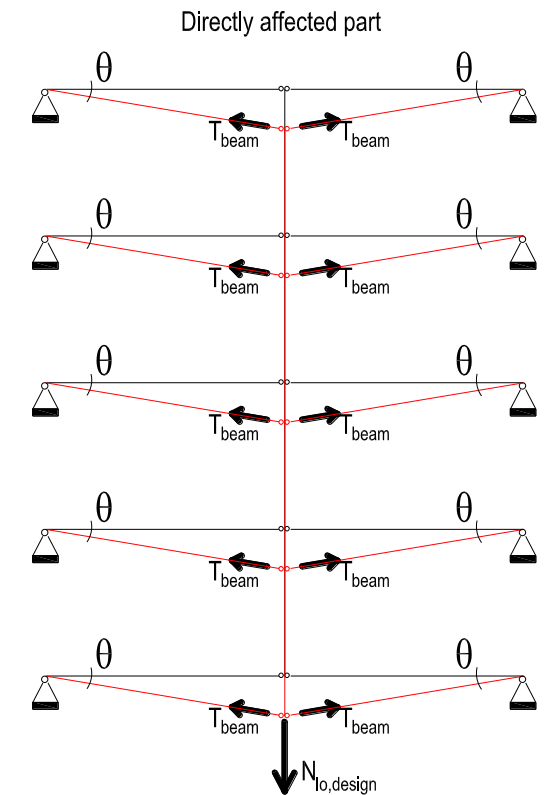
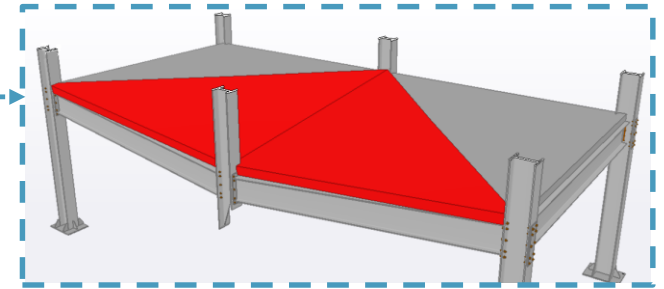
■ Betonové desky jsou uvažovány v každém podlaží (a fungují jako diafragma)

■ V úvahu připadají dvě možnosti:

■ Buď je robustnost zajištěna betonovými deskami (plastický mechanismus v desce + tažená membrána v desce)

■ Nebo je robustnost zajištěna v přímo ovlivněné oblasti (tažená membrána v nosnících)

■ Ověření v nepřímo ovlivněné oblasti: sloupy, které sousedí s porušeným sloupem



4.3 ANALYTICKÉ MODELÝ

Zjednodušené analytické metody pro konstrukce se styčníky s částečnou únosností

■ Betonové desky jsou uvažovány v každém podlaží (a fungují jako diafragma)

■ V úvahu připadají dvě možnosti:

■ Bud' je robustnost zajištěna betonovými deskami (plastický mechanismus v desce + tažená membrána v nosnících)

■ Nebo je robustnost zajištěna betonovými deskami a nosníky v ovlivněné oblasti (plastický mechanismus v desce a nosnících + klenbový efekt)

~~■ Nebo je robustnost zajištěna nosníky v ovlivněné oblasti (plastický mechanismus v nosníku + tažená membrána v nosníku)~~

■ Ověření v nepřímo ovlivněné oblasti: sloupy, které sousedí s porušeným sloupem

↑
Vyžaduje použití
pokročilých modelů

4.3 ANALYTICKÉ MODEL Y

Zjednodušené analytické metody pro konstrukce se styčníky s navýšenou únosností

■ Betonové desky jsou uvažovány v každém podlaží (a fungují jako diafragma)

■ V úvahu připadají dvě možnosti:

■ Bud' je robustnost zajištěna betonovými deskami (plastický mechanismus v desce + tažená membrána v nosnících)

■ Nebo je robustnost zajištěna betonovými deskami a nosníky v ovlivněné oblasti (plastický mechanismus v desce a nosnících)

~~■ Nebo je robustnost zajištěna nosníky v ovlivněné oblasti (plastický mechanismus v nosníku + tažená membrána v nosníku)~~

■ Ověření v nepřímo ovlivněné oblasti: sloupy, které sousedí s porušeným sloupem

↑
Vyžaduje použití
pokročilého modelu

■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
- 4. Metoda alternativního přenosu zatížení**
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

4.4 ZJEDNODUŠENÉ NUMERICKÉ PŘÍSTUPY

■ Mezní stav robustnosti

- Scénář náhlé ztráty sloupu
- Zabránění zřícení konstrukce vyšších podlaží
- Jsou přijatelné velké deformace
- Mez tažnosti

■ Víceúrovňové posouzení duktility

- Nelineární statická odezva
- Zjednodušené dynamické posouzení
- Posouzení tažnosti styčníků

■ Zohledňuje tažnost, tvarovou přeurčitost, absorpci energie a dynamické účinky

■ Praktický přístup

■ Není třeba pokročilé nelineární dynamické analýzy

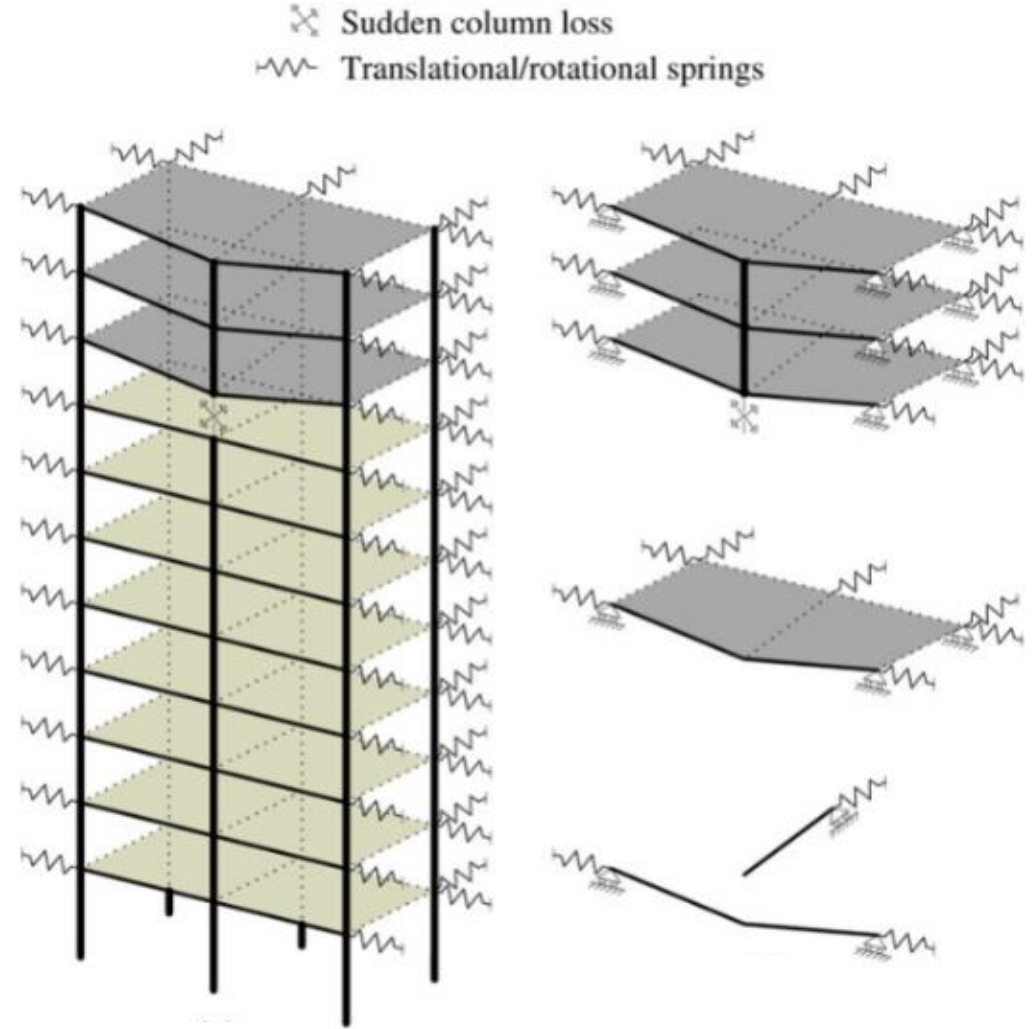
4.4 ZJEDNODUŠENÉ NUMERICKÉ PŘÍSTUPY

■ Idealizace konstrukce

- Postižená část
- Podlaží nad ztraceným sloupem
- Jedno podlaží nad ztraceným sloupem
- Jednotlivé ocelové/ocelobetonové nosníky nad traceným sloupem

■ Odezvu na vyšších úrovních lze sestavit pomocí zpětných modelů

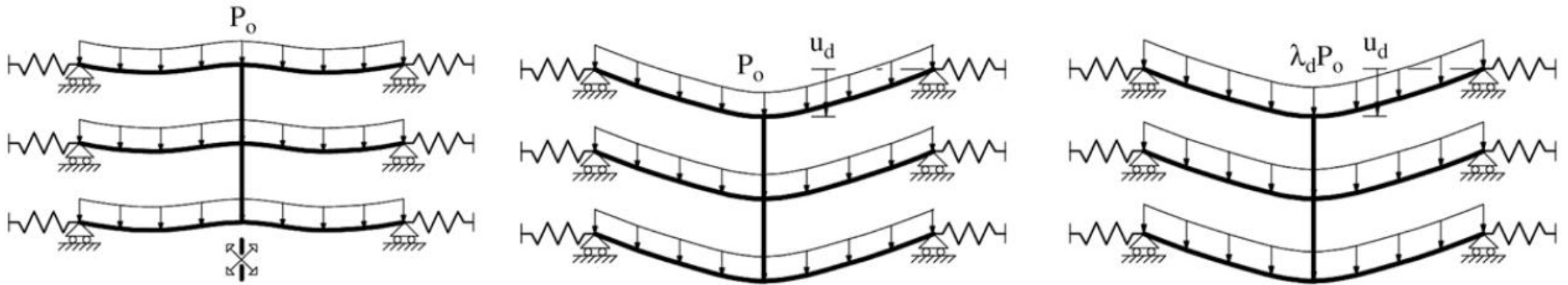
■ Odezvu soustavy s jedním stupněm volnosti pro více podlaží lze sestavit pomocí modelu podlaží, pokud se předpokládají tuhé sloupy



4.4 ZJEDNODUŠENÉ NUMERICKÉ PŘÍSTUPY

■ Nelineární statická odezva

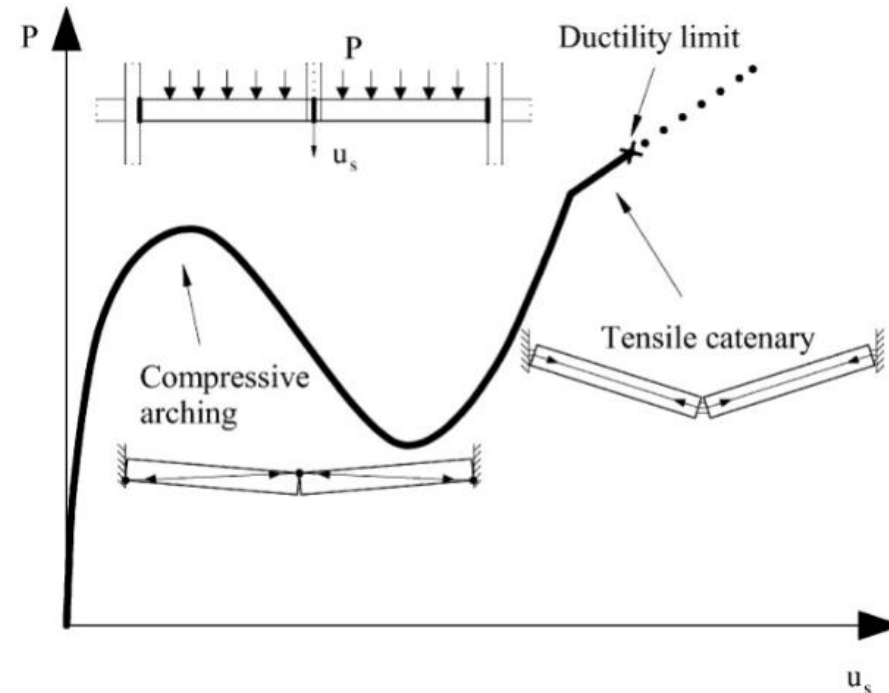
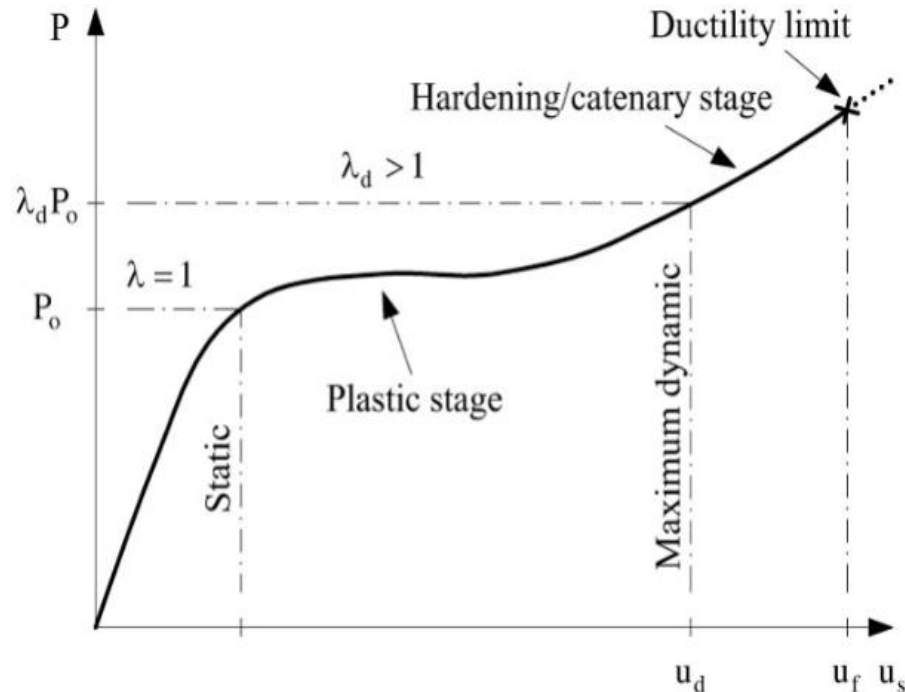
- Vliv náhlého odstranění sloupu lze považovat za podobný náhlému působení gravitačního zatížení (P_o) pro danou konstrukci.
- Navrhovaný postup umožňuje přesně odhadnout maximální dynamickou odezvu z nelineární statické odezvy při zesíleném gravitačním zatížení ($\lambda_d P_o$)



4.4 ZJEDNODUŠENÉ NUMERICKÉ PŘÍSTUPY

■ Nelineární statická odezva

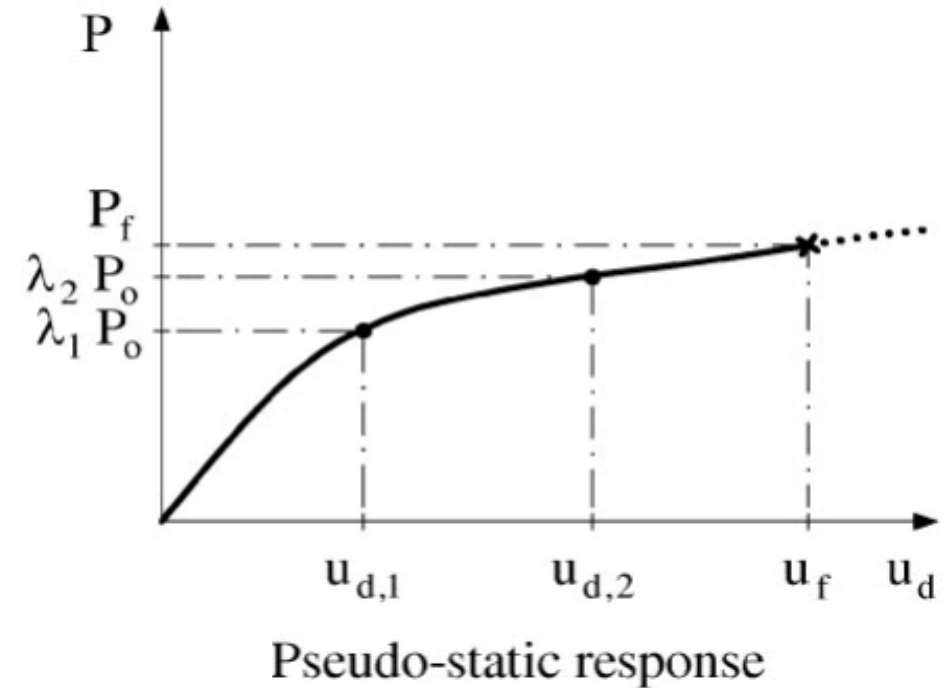
- Zohledňuje: zpevnění, tahovou membránu a klenbové efekty
- Na požadované úrovni idealizace konstrukce lze použít podrobné a zjednodušené modely



4.4 ZJEDNODUŠENÉ NUMERICKÉ PŘÍSTUPY

■ Zjednodušené dynamické posouzení

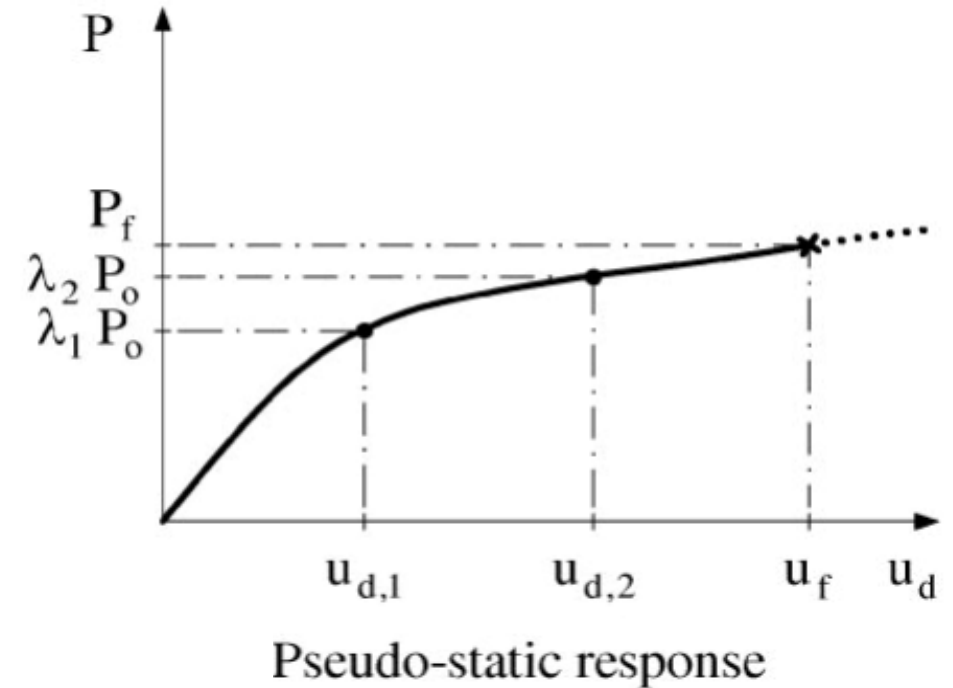
- Při posuzování požadavků na tažnost je třeba vzít v úvahu maximální dynamickou odezvu konstrukce
- Pro stanovení maximální dynamické odezvy se používá zjednodušený přístup
- Není potřeba sofistikovaná nelineární dynamická analýza
- Přístup je přesnější než tradiční přístup s dynamickým zesilovacím faktorem
- Stanovení pseudostatické odezvy a dynamického posunu (P, u_d) se získá pomocí nelineární statické odezvy (P, u_s)
- Více detailů je uvedeno dále



4.4 ZJEDNODUŠENÉ NUMERICKÉ PŘÍSTUPY

■ Posouzení tažnosti

- Maximální dynamický posun (u_d) získaný z pseudostatické odezvy při ($P=P_o$) je porovnán s mezí tažnosti (u_f)
- Mez tažnosti (u_f) je určena jako minimální hodnota posunu (u_d) tak, že požadavek na deformaci převyšuje kapacitu tažnosti v kterémkoli ze styčníků.
- Deformace, kterým jsou vystaveny styčníky, lze určit pro posuny na nejnižší úrovni uvažovaného subsystému
- Požadavky na tažnost v různých komponentách styčníku lze poté získat z celkových deformací styčníku a porovnat s tažností různých komponent.



1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
- 4. Metoda alternativního přenosu zatížení**
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
7. Závěr

OBSAH

■ Prezentace je rozdělena následovně:

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

4.5 NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

- Návrhová řešení založená na použití pokročilých numerických programů (FEM, AEM, DEM) jsou schopná postihnout odezvu budovy v podmínkách mimořádného zatížení
- Efektivita silně závisí na schopnosti projektanta identifikovat a modelovat klíčové otázky ovlivňující odezvu konstrukce
- Pozornost je třeba věnovat jevům spojeným s velkými posuny, disipací energie (plastické klouby a plastické linie) a poruchami souvisejícími s přijatými materiálovými modely.
- Numerický přístup je nejčastěji používán pro návrh denní praxe
- Složitost modelů konečných prvků závisí především na „rozměru“ zkoumaného problému a na přijaté úrovni aproximace

4.5 NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

Ve fázi modelování pomocí MKP je třeba věnovat pozornost:

■ Materiálové modely:

- Nelineární materiálové modely jsou nejvhodnější pro zkoumání scénářů velkých posunů vyvolaných progresivním kolapsem
- Složitější materiálové modely kumulativního poškození by umožnily zachytit místní porušení a také potenciální oddělení komponent
- V závislosti na zkoumaném problému je třeba vzít v úvahu teplotní závislost a citlivost na rychlost deformace materiálu

■ Konečné prvky (linie, plocha, objem nebo speciální prvky jako hmota, pružina...)

- Pořadí a typ zvolených konečných prvků podrobně souvisí s chováním konstrukce (velikost průhybů, deformací, rotací, napětí), se zvolenou metodou analýzy (lineární a nelineární) a s charakteristikou materiálu (lineární nebo nelineární).

■ Modely styčníků

- Styčníky mohou být modelovány buď „solistikovaně“ (tj. pomocí objemových nebo deskostěnových prvků) nebo pomocí zjednodušeného přístupu (tj. pomocí nosníkových prvků, vazeb, pružin)
- zjednodušené modely, jako je metoda komponent, mohou být použity s požadavkem, že tuhost, únosnost a deformační kapacita jsou zachyceny s dostatečnou přesností

4.5 NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

■ Okrajové podmínky

- Mají realistickým způsobem odrážet skutečné podmínky podepření poskytující kinematicky stabilní statický systém
- měly by být konzistentní s typem použitého konečného prvku a stupněm volnosti

■ Interakce mezi prvky

- Interakce mezi částmi nebo komponentami modelu obvykle vyžaduje definici kontaktů
- Programy MKP umožňují konstruktérovi vybrat různé typy modelů kontaktů
- Kalibrace kontaktů vyžaduje přesnou identifikaci sady parametrů
- Začlenění kontaktů mezi prvky umožňuje realističtější simulaci odezvy konstrukce, ale za cenu delšího času návrhu a výpočtu

■ Typ analýzy

- Lineární analýza je jednodušší a lze ji provádět prostřednictvím komerčního softwaru. Lineární analýza nemůže aktivovat hlavní zdroj nelinearit typických pro scénáře progresivního kolapsu
- Přednostně by měla být provedena nelineární analýza, která vyžaduje použití pokročilých návrhových nástrojů

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
- 4. Metoda alternativního přenosu zatížení**
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
7. Závěr

OBSAH

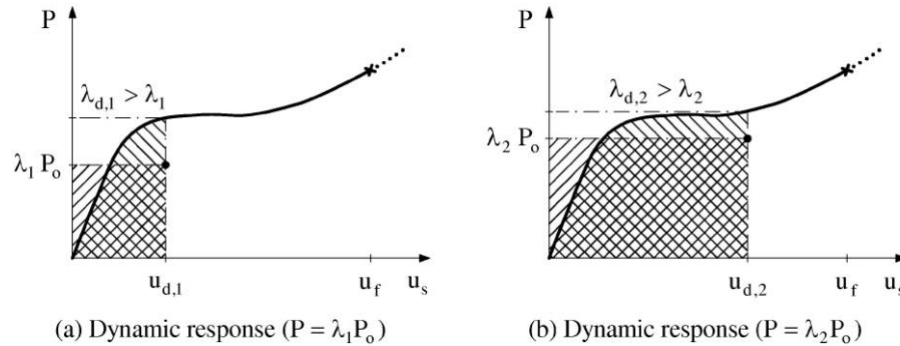
■ Prezentace je rozdělena následovně:

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

4.6 PŘEDPOVĚĎ DYNAMICKÉ ODEZVY

- Maximální dynamickou odezvu lze určit z nelineární odezvy pomocí zjednodušeného přístupu.
- **Výchozí bod: náhlá ztráta sloupu připomíná náhlé působení gravitačního zatížení na ovlivněnou část konstrukce.**
 - Ihned po ztrátě sloupu se konstrukce zrychluje z klidu. Gravitační zatížení převyšuje únosnost konstrukce a rozdíl mezi prací vykonanou zatížením a deformační energií se přeměňuje na kinetickou energii.
 - Deformace se zvyšují, únosnost převyšuje působící zatížení a uložená deformační energie je větší než práce vykonaná gravitačním zatížením. Kinetické energie se, dokud není konstrukce uvedena zpět do klidu při maximálním dynamické výchylce, stále snižuje.
 - Vzhledem k tomu, že odezva je ovládána jediným deformačním tvarem, největší dynamické odezvy je dosaženo, když se kinetická energie sníží zpět na nulu. Jinými slovy, když se práce vykonaná gravitačním zatížením rovná energii absorbované konstrukcí.
 - To je základem metody pseudostatické odezvy.

4.6 PŘEDPOVĚĎ DYNAMICKÉ ODEZVY



- Pseudostatickou odezvu lze získat pro náhle působící gravitační zatížení (P_n), které je vyneseno v závislosti na maximálním dynamickém posunu ($u_{d,n}$) pro různé úrovně zatížení (λ_n).

u_s až po $u_{d,n}$

- Největší dynamické posuny ($u_{d,1}$ $u_{d,2}$) spojené s náhlou aplikací gravitačního zatížení (λP_0) lze určit z energetické rovnováhy mezi prací vykonanou zatížením a vnitřní uloženou energií.
- Pro případ SDOF, lze ekvivalenci mezi externí prací (W_n) a vnitřní energií (U_n) získat porovnáním dvou zobrazených šrafovaných oblastí.

$$W_n = \alpha \lambda_n P_0 u_{d,n} \quad U_n = \int_0^{u_{d,n}} \alpha P du_s \quad W_n = U_n$$

$$P_n = \lambda_n P_0 = \frac{1}{u_{d,n}} \int_0^{u_{d,n}} P du_s$$

integrál představuje plochu pod nelineární křivkou (P, u_s) až po $u_{d,n}$

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
- 5. Metoda návrhu klíčových prvků**
6. Metoda segmentace
7. Závěr

■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

5. METODA NÁVRHU KLÍČOVÝCH PRVKŮ

- Alternativní metoda k metodě přenosu zatížení
- Klíčovým prvkem je takový konstrukční prvek nebo část konstrukce, jejíž selhání má za následek další poškození, které porušuje očekávané chování konstrukce
- Návrh klíčových prvků se provádí pro konkrétní úroveň zatížení
- Klíčové prvky, přípoje a připojené komponenty musí být navrženy tak, aby dosáhly únosnosti bez případného lokálního porušení
- Tento přístup je jediný použitelný při modernizaci stávajících budov

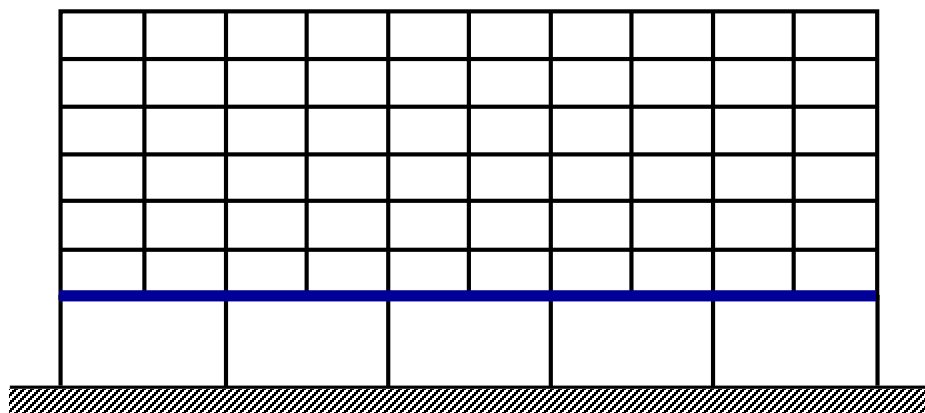
5. METODA NÁVRHU KLÍČOVÝCH PRVKŮ

Kroky návrhu

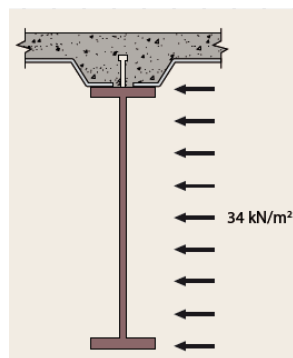
- Identifikace klíčových prvků
- Návrh klíčových prvků tak, aby odolávaly specifickému mimořádnému zatížení
 - Mimořádná kombinace zatížení podle EN 1990
 - EN1991-1-7 doporučuje zatížení 34 kN/m^2 působící v libovolném směru
- Mimořádné zatížení působící na klíčové prvky a na jakoukoli připojenou komponentu

PŘÍKLAD

Klíčový prvek → Hlavní nosník

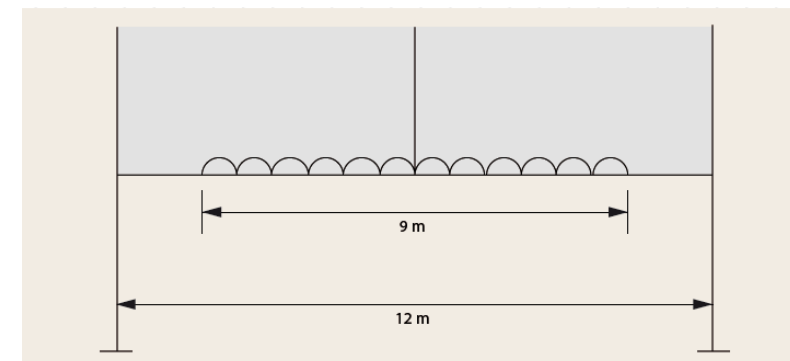


Mimořádné zatížení podle normy (34 kN/m^2)



Vodorovný směr:

- Strana nosníku



Svislý směr:

- Dolů na betonovou desku
- Nahoru na spodní stranu nosníku a desku

■ **Prezentace je rozdělena následovně:**

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
5. Metoda návrhu klíčových prvků
- 6. Metoda segmentace**
7. Závěr

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

6. METODA SEGMENTACE

- Šíření poruchy lze zabránit po počátečním poškození nebo jej omezit izolováním selhávající části konstrukce od zbývajících konstrukce pomocí hranice části konstrukce
- Přístup zajistí, že každá část se bude moci porušit nezávisle, aniž by to ovlivnilo bezpečnost ostatních částí.
- Segmentační strategie mohou být obecně založeny buď na slabých hranicích segmentů, nebo na silných hranicích segmentů
- Tato metoda je žádoucí, když se předpokládá, že počáteční velikost poškození je velká
- Segmentaci lze také kombinovat s metodami přenosu zatížení, kdy lze v rámci jednotlivých částí konstrukce zajistit alternativní přenos.

6. METODA SEGMENTACE

■ SLABÉ HRANICE ČÁSTÍ KONSTRUKCE

- Segmentace dosažená pomocí slabých hranic částí konstrukce umožňuje, aby došlo k selhání konkrétního segmentu bez progresu selhání do dalších sousedních segmentů.
- Této metody rozdělení konstrukce lze dosáhnout eliminací kontinuity mezi sousedními segmenty/odděleními nebo snížením tuhosti, která se přizpůsobí velkým deformacím a posunům na hranicích segmentů, a tím se omezí množství síly přenášené na okolní konstrukci
- V případě, kdy je použití metody alternativního přenosu zatížení nepraktické nebo příliš drahé, je výhodná metoda segmentace

■ SILNÉ HRANICE ČÁSTÍ KONSTRUKCE

- Segmentace založená na silných hranicích částí konstrukce je navržena tak, aby zabránila počínajícímu kolapsu. Poskytuje vysokou lokální únosnost, která je schopna přenést velké síly
- Rozdělení konstrukce nabízí alternativní přenos zatížení. Odolnosti vůči lokálnímu poškození je dosaženo při malých deformacích nebo lze zastavit zřícení části konstrukce
- Tuto formu segmentace lze uvažovat u vertikálních konstrukcí, jako je případ vícepodlažních budov s obvodovými nosníky v pravidelných intervalech, kde nosníky mohou působit spolu s vertikální vazbou a umožňují přerozdělit zatížení po místním poškození, které zadržuje padající úlomky a dodává stabilitu okolní konstrukci

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
- 7. Závěr**

OBSAH

■ Prezentace je rozdělena následovně:

1. Úvod
2. Výběr návrhového postupu
3. Identifikace místních škod
4. Metoda alternativního přenosu zatížení
 - 4.1 Obecně
 - 4.2 Metoda vazeb
 - 4.3 Analytické modely
 - 4.4 Zjednodušené numerické přístupy
 - 4.5 Numerické řešení
 - 4.6 Předpověď dynamické odezvy
5. Metoda návrhu klíčových prvků
6. Metoda segmentace
 - 5.1 Slabé hranice částí konstrukce
 - 5.2 Silné hranice částí konstrukce
7. Závěr

7. ZÁVĚR

- V této prezentaci byla představena filozofie návrhu pro robustnost v případě neidentifikovaných hrozeb
- Neidentifikované hrozby se vztahují k mimořádným zatížením, které nejsou konkrétně brány v úvahu normami nebo indikované klientem nebo jinými zúčastněnými stranami, nebo k jakýmkoli jiným zatížením vyplývajícím z nespecifikovatelných příčin.
- Kvůli nejistotám ohledně povahy, velikosti a působiště (oblasti) neidentifikovaného mimořádného zatížení je obvykle nemožné odhadnout požadované chování konstrukce.
- V současné době se strategie návrhu, které mají dosáhnout přiměřené úrovně robustnosti konstrukce, snaží především omezit rozsah lokálního poškození, ať už je počáteční příčina jakákoliv.

NEIDENTIFIKOVANÉ HROZBY

Praha

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**

