

Zásady hodnocení robustnosti



M. Sýkora, M. Holický,
ČVUT v Praze, Kloknerův ústav



Motivace

Definice a hodnocení robustnosti

Zatížení a modely konstrukce

Zásady navrhování

Rozhodování o opatřeních pro zajištění robustnosti

Numerický příklad

Závěrečné poznámky

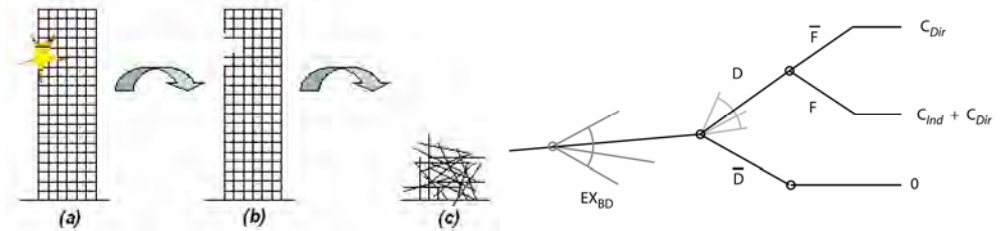
Motivace

- Rozvoj materiálů, technologií a metod analýzy konstrukcí - **složitě** a **štíhlé konstrukce** citlivé na extrémní zatížení
- Robustní** konstrukce **omezené následky** poruch
- Požadavky** na robustnost a metody hodnocení - **obecné** a **nedostatečné** pro praktické účely
- Akce **COST TU0601**- rozvoj metod hodnocení robustnosti
- Příspěvek založený na podkladových materiálech Akce COST:
 - **shrnutí** dostupných **poznatků**
 - rozhodování o opatřeních - numerický příklad

Definice robustnosti

- ČSN EN 1990 - spolehlivost může být dosažena kombinací různých opatření včetně zajištění stupně **robustnosti** (**celistvosti**) konstrukce
- ČSN EN 1991-1-7 – robustnost - schopnost konstrukce odolat nepříznivým jevům jako požár, výbuch, náraz nebo následek lidské chyby, aniž by nastalo **porušení nepřiměřené původní příčině**
- Dvě **definice** nejvíce rozšířené:
 - 1) Robustnost - **schopnost konstrukce** mít odezvu přiměřenou mimořádné situaci
 - 2) Robustnost - **schopnost systému** zahrnujícím konstrukci působit přiměřeně v případě mimořádné situace konstrukce

Hodnocení robustnosti



- Identifikace a **modelování** extrémních **zatížení**
- Lokální porucha** (přímé následky)
- Progresivní kolaps** (nepřímé následky - společenské, ekonomické, ekologické, psychologické, další)

Modely extrémních zatížení **EX**
Porucha **D**, nebo neporušený stav **\tilde{D}**
Progresivní kolaps **F**, nebo poškozená konstrukce může zatížení přenést **\tilde{F}**

Index robustnosti:
$$I_{\text{rob}} = \frac{R_{\text{Dir}}}{R_{\text{Dir}} + R_{\text{Ind}}}$$

Zatížení

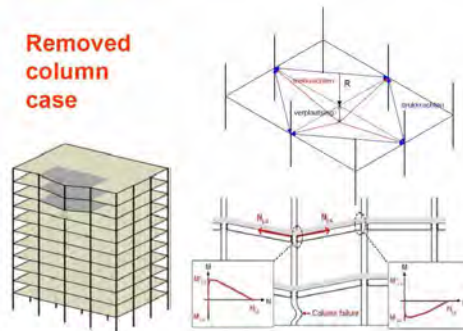
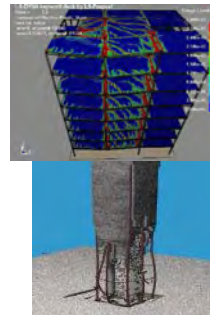
- Pravděpodobnostní charakteristiky **zatížení**:
 - **uvažovaná** v návrhu (obvyklá, příp. přírodní a antropogenní mimořádná zatížení)
 - známá, avšak **nerozpoznaná** nebo **zanedbaná** (mimořádná zatížení, lidské chyby) – obecná pravidla, omezené informace o intenzitě a frekvenci
 - **neznámá** (nedostatečné poznání) nebo **nepředvídatelná** (např. některé lidské chyby) – rozbory poruch konstrukcí, klasifikace příčin v době návrhu neznámých nebo nepředvídatelných

Nebezpečí	Pravděpodobnost výskytu během 50 let	Pravděpodobnost odstranění sloupu
Výbuch (nehoda)	0.002	0.1
Výbuch (záměrný čin)	0.0001	neuvedeno
Náraz vozidla	0.03	neuvedeno
Požár	0.02	0.1

5

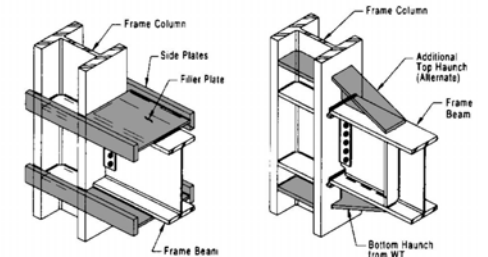
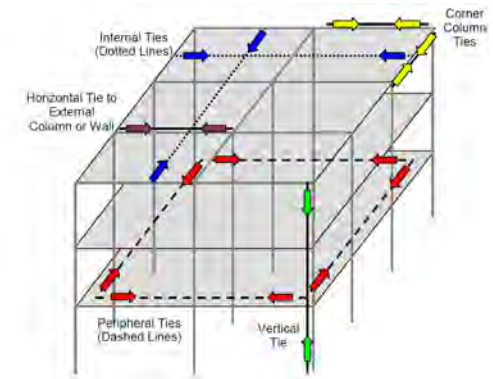
Modely konstrukce

- Pokročilé modely - chování konstrukce při **různých scénářích poškození** (odstranění sloupu), odhad **pravděpodobnosti** progresivního **kolapsu**
- Modelování:
 - částečně **poškozené konstrukce**
 - vznik velkých trhlin
 - plastické a **nadměrné deformace**
 - **řetězové působení** prvků
 - membránové působení
 - vliv vysokých teplot
 - **dynamické účinky** apod.
- Rozvoj výpočetních programů ověřených experimenty
- Velká výpočetní náročnost - **zjednodušená pravidla** pro vybrané případy

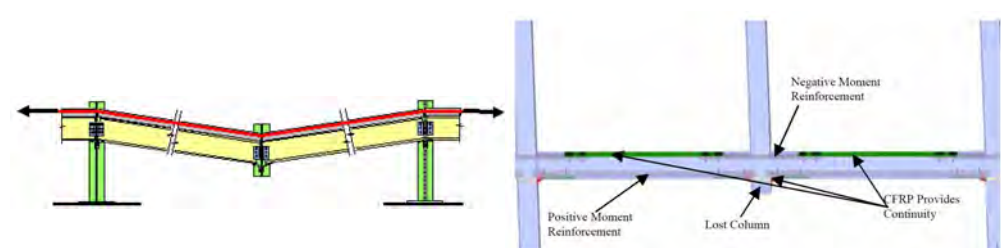
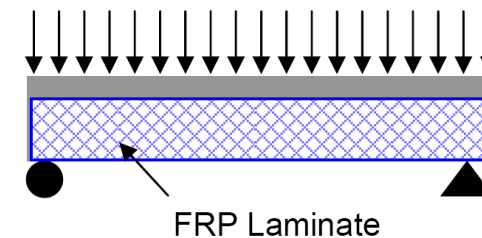


Zásady navrhování

- Množství scénářů nebezpečí - obtížné navrhnout **obecný** postup zajištění robustnosti
- Snížení pravděpodobnosti progresivního kolapsu:
 - statická neurčitost umožňující **alternativní přenos zatížení**
 - systémová opatření (prostorové **provázání**, oslabení vazeb)
 - **duktilita** (odolnost při velkých deformacích, redistribuce napětí)
 - **spolehlivost** klíčových prvků
 - vnější sloupy a zdi stabilní i při selhání horizontálních podpěr
 - **kontrola** jakosti a kvality, dostatečná **údržba**



Příklady použití



8

Rozhodování o opatřeních pro zajištění robustnosti

- **Opatření** pro zajištění robustnosti:
 - **malý vliv** na cenu konstrukce (vhodný systém, duktilní materiály)
 - nebo
 - výrazné **zvýšení nákladů** (vedlejší nosné systémy, obnovy existujících konstrukcí)

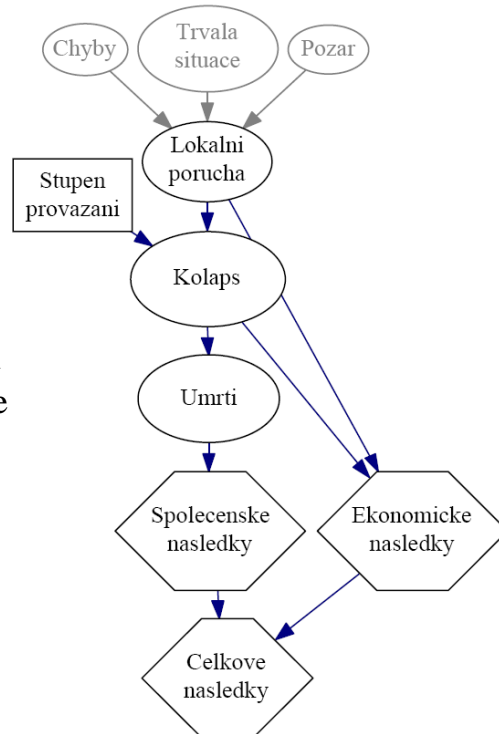
- Minimalizace celkových nákladů - postupy **analýzy rizik** (Bayesovské sítě), **pravděpodobnostní optimalizace**

$$\min_D E[C_{\text{tot}}(t_D; D)] = C_0(D) + \sum_i E[C_{f,i}(t_D; D)]$$

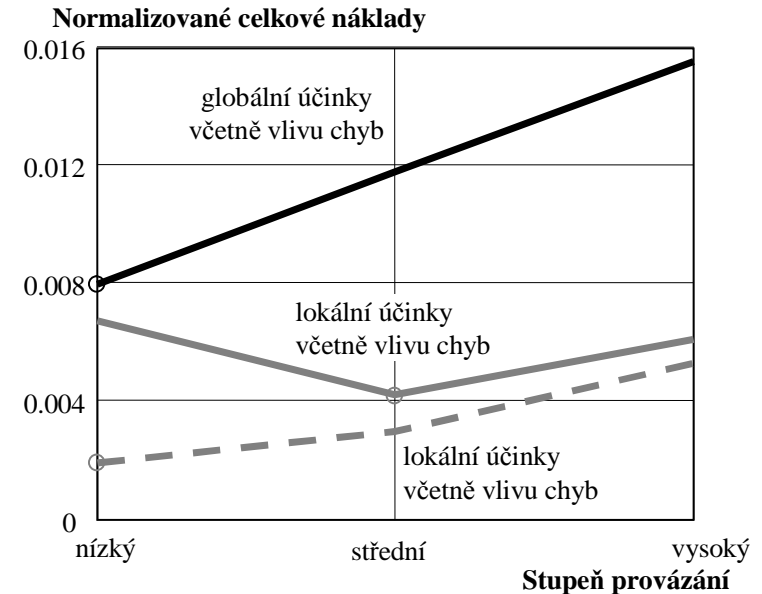
9

Numerický příklad

- rozhodování o opatřeních pro zajištění robustnosti (**provázání**) na základě **optimalizace** celkových nákladů
- administrativní budova, trvalá a mimořádná návrhová situace (**požár**)
- rozlišeny **lokální** a **globální účinky** nepříznivých jevů



Optimalizace nákladů



11

Povodně – důsledek lokální poruchy



12

Zatížení sněhem – lidské chyby



13

Výbuch – vliv robustnosti



14

Závěrečné poznámky

- **Robustnost** je klíčovou vlastností moderních konstrukcí.
- V současnosti je mezi odborníky **vnímána odlišně** (vlastnost konstrukce, nebo systému).
- Kvantitativní **ukazatele** i **metody** hodnocení robustnosti **nejsou sjednoceny**.
- Důležité je přijmout **vhodnou definici** robustnosti a jednoznačně **stanovit následky**, které mají být uvažovány.
- Metody **analýzy rizik** jsou vhodným nástrojem pro hodnocení robustnosti.
- Numerický příklad naznačuje, že je důležité odlišit **lokální** a **globální účinky** nepříznivých jevů.
- Pro praktické uplatnění je rozhodující kritické **stanovení přímých** a **nepřímých následků** poruchy s ohledem na podmínky sledované konstrukce.

15



Miroslav Sýkora, Milan Holický

Zásady hodnocení robustnosti

Literatura

- ČSN EN 1990. 2004. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
 ČSN EN 1991-1-7. 2007. Eurokód 1, Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení.
 VROUWENVELDER, A.C.W.M. & SØRENSEN, J.D. 2009. Robustness of structures, EU COST action TU0601: Proc. ICOSSAR 2009.
 BAKER, J.W., SCHUBERT, M. & FABER, M.H. 2008. On the assessment of robustness, Struct.Saf., roč. 30, č. 3, 253-267 s.

Děkuji za pozornost.

16