

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | FAKULTA STAVEBNÍ | KATEDRA STAVEBNÍ MECHANIKY

### Téma 5: Principy navrhování stavebních konstrukcí

- Metody pro navrhování stavebních konstrukcí
- Eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy
- Zatížení stavebních konstrukcí
- Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti nosných konstrukcí

8/9/22 Průžnost a plasticita 0

0

---

---

---

---

---

---

---

---

### Spolehlivost stavebních konstrukcí

**Spolehlivost** je obecně definovaná jako *vlastnost věci sloužit účelu, pro který byla zhotovena.*

**Spolehlivost konstrukce** nebo **nosného prvku** – schopnost plnit stanovené požadavky za určených podmínek během návrhové životnosti:

- **Bezpečnost,**
- **Hospodárnost,**
- **Životnost (trvanlivost) a použitelnost** dílců a soustav navrhované nebo posuzované konstrukce.




Foto: doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.

8/9/22 Principy navrhování stavebních konstrukcí 1

1

---

---

---

---

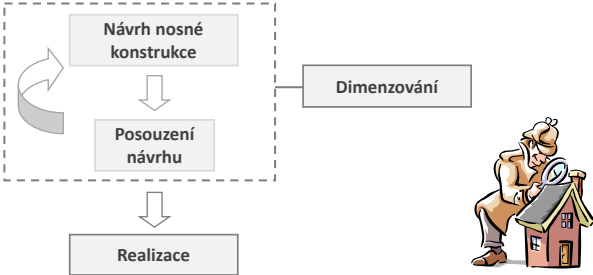
---

---

---

---

### Princip navrhování stavebních konstrukcí



8/9/22 Principy navrhování stavebních konstrukcí 2

2

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metody pro navrhování stavebních konstrukcí

Způsob zahrnutí nejistot a zajištění **spolehlivosti konstrukcí** při navrhování se neustále vyvíjí v úzké závislosti na dostupných **experimentálních** i **teoretických poznátcích** v oblasti stavební mechaniky, teoretické pružnosti a matematické statistiky.

Vývoj různých **metod pro navrhování stavebních konstrukcí** se postupně ustálil na třech všeobecně používaných metodách, které se v různých modifikacích uplatňují v normách pro navrhování konstrukcí dodnes:

- Metoda dovolených namáhání,**
- Metoda stupně bezpečnosti,**
- Metoda mezních stavů.**

Přijatelné meze požadavků na bezpečnost a provozuschopnost před vznikem poruchy se nazývají **mezní stav**.

8/9/22

Metody pro navrhování stavebních konstrukcí

3

3

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda dovolených namáhání

**Metoda dovolených namáhání:** První celosvětově rozšířená metoda pro navrhování stavebních konstrukcí. Vychází z podmínky, že **napětí**  $\sigma$  v konstrukci – účinek provozního zatížení, je menší než **dovolené namáhání materiálu**  $\sigma_{\text{dov}}$  dělené součinitelem  $\mu$ :

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\text{dov}}}{\mu}$$

Součinitel  $\mu$  byl určen s ohledem na **nejistoty** při stanovení účinku zatížení i odolnosti materiálu, a má tedy s dostatečnou zárukou zajistit **spolehlivost** celé konstrukce.

**Hlavní nedostatek:** Nemožnost individuálního přihlednutí k nejistotám jednotlivých základních veličin a výpočtových modelů pro stanovení účinku zatížení i odolnosti konstrukce.

8/9/22

Metody pro navrhování stavebních konstrukcí

4

4

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda stupně bezpečnosti

**Metoda stupně bezpečnosti:** Druhá všeobecně rozšířená metoda pro navrhování stavebních konstrukcí (např. u betonových konstrukcí), zaváděná po II. světové válce.

Metoda vychází z podmínky:  $s = \frac{\bar{R}}{\bar{S}} > s_0$

Metoda lépe vystihuje chování nosného prvku. Kritérium porovnává odolnost průřezu  $\bar{R}$  a účinek zatížení  $\bar{S}$ . **Stupeň bezpečnosti**  $s_0$  je předepsán odlišnými hodnotami pro různé způsoby namáhání.

**Hlavní nedostatek:** Nemožnost přihlednout k nejistotám jednotlivých základních veličin a teoretických modelů (stejně jako u metody dovolených namáhání).

8/9/22

Metody pro navrhování stavebních konstrukcí

5

5

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Metoda mezních stavů

Metoda mezních stavů: Do praxe zaváděna přibližně v polovině minulého století (v ČR od počátku 60.let, prof. Hruban).



Konrád Jaroslav HRUBAN (1893 - 1977)



Hangár „F“ Ruzyně – první hala v ČR, která byla navržena podle metody mezních stavů (1966, M. Horák)

#### Hlavní přínosy:

- Progresivní přístup k hodnocení **jednotlivých nahodile proměnných veličin**, které vstupují do podmínek spolehlivosti,
- Komplexní pohled na soubor **kritérií únosnosti a použitelnosti**, opírajících se o statistiku a pravděpodobnostní počet.

6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Metoda mezních stavů

Spolehlivost konstrukce se ověřuje pomocí **dílčích součinitelů spolehlivosti** (metoda dílčích součinitelů spolehlivosti - polopravděpodobnostní metoda).

Konstrukce ztrácí spolehlivost jestliže překročí některý z mezních stavů:

- **Mezní stav únosnosti,**
- **Mezní stav použitelnosti.**

Metoda mezních stavů se používá v **Eurokódech**.

Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby



7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eurokódy pro navrhování konstrukcí



ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí



- ČSN EN 1991-1-1 Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-2 Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru
- ČSN EN 1991-1-3 Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Obecná zatížení - Zatížení větrem
- ČSN EN 1991-1-5 Obecná zatížení - Zatížení teplotou
- ČSN EN 1991-1-6 Obecná zatížení - Zatížení během provádění
- ČSN EN 1991-1-7 Obecná zatížení - Mimořádná zatížení
- ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravy
- ČSN EN 1991-3 Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- ČSN EN 1991-4 Zatížení zásobníků a nádrží

8

---

---

---

---

---

---

---









---

---

---

## Eurokódy pro navrhování konstrukcí

Soubor celkem **57 evropských norem** pro navrhování konstrukcí

-  **ČSN EN 1992** Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí
-  **ČSN EN 1993** Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí
-  **ČSN EN 1994** Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí
-  **ČSN EN 1995** Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí
-  **ČSN EN 1996** Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí
-  **ČSN EN 1997** Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí
-  **ČSN EN 1998** Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení
-  **ČSN EN 1999** Eurokód 9: Navrhování hliníkových konstrukcí

8/9/22 Eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy 9

9

---

---

---

---

---

---


---

---

## Mezní stav únosnosti

Překročení mezního stavu únosnosti má za následek **porušení konstrukce** a většinou vyvolá potřebu významné opravy nebo odstranění konstrukce:

- Úplné nebo částečné **zřícení** (kolaps),
- **Porušení celistvosti prvků** (zlomení, přetržení),
- **Ztráta stability** jako celku (překlopení opěrné zdi, sesuv objektu).



8/9/22 Eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy 10

10

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nahodile proměnné veličiny

**Náhodnost** se uplatňuje u každé části nosného systému, zejména u:

**Konstrukce:**


- vlastnosti materiálu
- geometrické nepřesnosti (imperfekce, průřezové charakteristiky)

**Zatížení:**

- stálé zatížení
- užité zatížení
- klimatická zatížení (vítr, sníh)

**Prostředí:**

- vlhkost (koroze)



8/9/22 Eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy 11

11

---

---

---

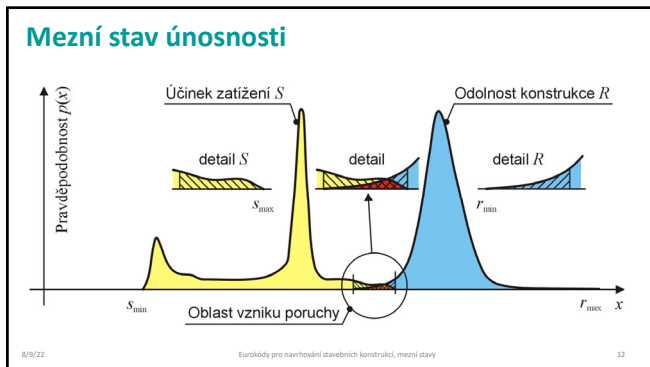
---

---

---

---

---



12

---

---

---

---

---

---

---

---

### Dílčí součinitele spolehlivosti

- Snížení pravděpodobnosti překročení mezního stavu únosnosti se provádí úpravou **charakteristických hodnot** zatížení a vlastností materiálu, tedy zaváděním **návrhových hodnot**, s využitím **dílčích součinitelů spolehlivosti**  $\gamma$ :

$$\gamma \geq 1 \quad E_d = E_k \cdot \gamma \quad R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

- **Charakteristické hodnoty** základních veličin (zatížení, geometrické a materiálové vlastnosti) jsou odvozeny ze statistických charakteristik těchto veličin.
- Metodika výpočtu se podle EC zavádí v celé EU, ale některé číselné hodnoty se volí v každé zemi individuálně – **Národní předmluva** a **Národní příloha**.

8/9/22 Eurokódový pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy 13

13

---

---

---

---

---

---

---

---

### Dílčí součinitele spolehlivosti

Dílčí součinitele spolehlivosti  $\gamma$  lze získat:

- **Kalibrací** těchto součinitelů na základě:
  - **dlouhodobých zkušeností** ze stavební praxe,
  - srovnáním s **národními normami**,
  - porovnávacími analýzami včetně **pravděpodobnostních postupů**, které se opírají o pravděpodobnostní metody teorie spolehlivosti.
- **Statistickým vyhodnocením** experimentálních údajů a zkoušek.

8/9/22 Eurokódový pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy 14

14

---

---

---

---

---

---

---

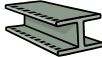
---

### Dílčí součinitele spolehlivosti

Pevnost materiálu se rozlišuje **charakteristická**  $f_k$  a **návrhová**  $f_d$  (design).

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  ... dílčí součinitel vlastností materiálu  $\gamma \geq 1$



**Ocel**  $f_k = f_y$   $f_y$  ... napětí na mezi kluzu,  $f_u$  ... pevnost na mezi únosnosti

Pevnostní třída	$\gamma_M$			$t \leq 40$ mm		$40$ mm $<$ $t \leq 80$ mm	
	ČSN 731401	P ENV 1993-1-1	ČSN EN 1993-1-1	$f_{yk}$ [MPa]	$f_{uk}$ [MPa]	$f_{yk}$ [MPa]	$f_{uk}$ [MPa]
S235	1,10	1,15	1,00	<b>235</b>	360	215	360
S275	1,15	1,15	1,00	<b>275</b>	430	255	410
S355	1,20	1,15	1,00	<b>355</b>	490	335	470
S450			1,00	<b>440</b>	550	410	550

8/9/22 Eurokódový pro navrhování stavebních konstrukcí, meziní stavy 15

---

---

---

---

---

---

---

---

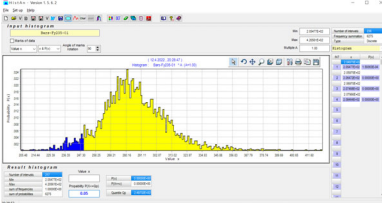
---

---

15

### Dílčí součinitele spolehlivosti

Pevnost oceli  $f_k$  je v normách vyjádřena **charakteristickou hodnotou**, kterou lze získat např. podrobnou analýzou **histogramu** meze kluzu oceli S235 pomocí **pětiprocentního kvantilu**  $x_{0,05}$  (výsledný kvantil  $x_{0,05} = 249,732$  MPa).



Pracovní plocha programu **Histan**

8/9/22 Eurokódový pro navrhování stavebních konstrukcí, meziní stavy 16

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

16

### Dílčí součinitele spolehlivosti

**Dřevo**


$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  ... **dílčí součinitel vlastností materiálu** (např. pro rostlé dřevo 1,30)

$k_{mod}$  ... **modifikační součinitel** zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

**Například:** Pro rostlé dřevo a střednědobé zatížení ve třídě provozu 1 a 2 je hodnota **modifikačního součinitele**  $k_{mod} = 0,8$ .

**Dílčí součinitel vlastností materiálu** pro dřevo  $\gamma_M$  se volí 1,2 pro překližku a OSB, 1,25 pro lepené lamelové dřevo a 1,3 pro rostlé dřevo, třískové a vláknité desky.



8/9/22 Eurokódový pro navrhování stavebních konstrukcí, meziní stavy 17

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

17

## Dílčí součinitele spolehlivosti

### Beton

$\gamma_c$  ... **dílčí součinitel materiálu** pro beton 1,50

$f_{ck}$  ... závisí na třídě betonu

$f_c$  ... **pevnost betonu v tlaku**

$f_t$  ... **pevnost betonu v tahu**

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 1,8 \text{ MPa}$$



Například pro **C25/30**:

$$f_{cd} = \frac{25}{1,5} = 16,6 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti** pro **mezní stav únosnosti**: na úrovni vnitřních sil.

**Indexy**:  $E_d$  ... návrhové hodnoty účinků zatížení,  $R_d$  ... návrhové hodnoty odolnosti konstrukce

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$T_{Ed} \leq T_{Rd}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1$$

8/9/22

Eurokód pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy

18

18

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zatížení stavebních konstrukcí

### Rozdělení zatížení:

- silové** - vnější síly a momenty
- deformační** - oteplení, sedání, poddolování, nelze řešit s předpokladem dokonale tuhé konstrukce
- statické** - velikost, směr a umístění sil se v čase nemění, např. zatížení obytných budov
- dynamické** - vyvoláno rychlou změnou velikosti, polohy nebo směru sil, vede k rozkmitání konstrukce, např. zatížení mostů jezdoucími vozidly
- deterministické** - vlastnosti jednoznačně vymezeny normou, např. měrné tíhy stávků
- stochastické** (pravděpodobnostní přístup) - velikost zatížení není předepsáno jednou hodnotou, nýbrž pravděpodobnostní funkcí



8/9/22

Zatížení stavebních konstrukcí

19

19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zatížení stavebních konstrukcí

### Klasifikace zatížení podle ČSN EN 1990:

Zatížení se musí klasifikovat podle jejich proměnnosti v čase:

- Stálá zatížení (G)**, např. vlastní tíha konstrukcí, pevné vybavení, obrusná vrstva vozovky a nepřímá zatížení způsobená smršťováním a nerovnoměrným sedáním;
- Proměnná zatížení (Q)**, např. užitná zatížení stropních konstrukcí, nosníků a střech budov, zatížení větrem nebo sněhem;
- Mimořádná zatížení (A)**, např. výbuchy nebo nárazy vozidel.

ČSN EN 1990:

Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí



8/9/22

Zatížení stavebních konstrukcí

20

20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Zatížení stavebních konstrukcí, Vítr

**Proměnné zatížení** – rovnoměrně rozložené kolmo k povrchu konstrukce [kN/m<sup>2</sup>]

Výchozí údaj pro určení zatížení: **Základní rychlost větru** – charakteristická desetiminutová střední rychlost větru, nezávislá na směru větru a ročním období, ve výšce 10 m nad zemí v terénu bez překážek.

Data z let **1961 až 2000** - výsledky měření z **46 stanic ČHMÚ** a několika zahraničních stanic.

ČSN EN 1991-1-4:2007  
MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČR

Období: I II III IV V  
Výchozí základní rychlost větru v<sub>10</sub> [m/s]

Mapa větrných oblastí na území České republiky podle ČSN EN 1991-1-4

Zatížení stavebních konstrukcí 21

21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Zatížení stavebních konstrukcí, Sníh

**Proměnné zatížení** – rovnoměrně rozložené do půdorysné plochy [kN/m<sup>2</sup>]

Data z let **1961 až 2009**

Digitální mapa: <https://clima-maps.info/snehovamapa/>

Mapa sněhových oblastí na území České republiky podle ČSN EN 1991-1-3

Zatížení stavebních konstrukcí 22

22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Charakteristické a návrhové hodnoty zatížení

**Charakteristická hodnota zatížení**  $F_k$ : předpokládané skutečné, normami stanovené zatížení.

**Návrhová hodnota zatížení**  $F_d$ : charakteristická hodnota zatížení se vynásobí dílčím součinitelem zatížení  $\gamma$ , který předepisuje norma.

$$F_d = F_k \cdot \gamma \quad \gamma \geq 1$$

Dílčí součinitele zatížení podle ČSN EN 1990	
$\gamma_G$	1,35
$\gamma_Q$	1,50

$\gamma_G$  ... dílčí součinitel **stálého zatížení**  
 $\gamma_Q$  ... dílčí součinitel **proměnného zatížení**

**Kombinace zatěžovacích stavů**, nejúčinnější kombinace – extrémní hodnoty výsledných statických veličin.

Zatížení stavebních konstrukcí 23

23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Příklad výpočtu kombinace zatížení

Zatěžovací údaje:

Zatížení	Charakteristická hodnota [kN]	Dílčí součinitel zatížení $\gamma$	Návrhová hodnota [kN]
Stálé zatížení	59,26	1,35	<b>80,00</b>
Dlouhodobé nahodilé	195,67	1,5	<b>293,50</b>
Krátkodobé nahodilé	53,33	1,5	<b>80,00</b>
Vitr	46,67	1,5	<b>70,00</b>
Snih	26,67	1,5	<b>40,00</b>

Kombinace zatížení:

Součinitel kombinace $\psi_0$	0,7
Výsledná kombinace zatížení $F_d$ [kN]	<b>506,50</b>

Vztah pro určení **kombinace zatížení** podle ČSN EN 1990:

$$F_d = \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

8/9/22

Zatížení stavebních konstrukcí

24

24

---

---

---

---

---

---

---

---

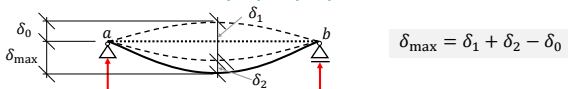
---

---

## Mezní stav použitelnosti

Mezní stavy použitelnosti se týkají funkce konstrukce nebo nosných prvků za běžného užívání, pohody osob a vzhledu stavby. Posudek spolehlivosti se zaměřuje na **vznik nadměrných deformací** (např. průhyb, protažení) nebo nepříjemných vibrací a jiných dynamických stavů konstrukce. Přetvoření se posuzuje na účinky **charakteristického zatížení!**

Definování svislých průhybů podle ČSN EN 1993-1-1



- $\delta_0$  ... nadvýšení nosníku v nezatíženém stavu
- $\delta_1$  ... průhyb nosníku od stálých zatížení bezprostředně po zatížení
- $\delta_2$  ... součet průhybů nosníku od proměnných zatížení a časový nárůst průhybu od stálých zatížení (**beton** - dotvarování a smršťování, **dřevo**)
- $\delta_{max}$  ... největší průhyb vztahený k přímce spojující podpory (celkový průhyb bez nadvýšení)

8/9/22

Eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy

25

25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mezní stav použitelnosti

Některé doporučené největší hodnoty svislých průhybů podle ČSN EN 1993-1-1

Konstrukce, dílce	Mezní hodnoty	
	$\delta_{max}$	$\delta_2$
<b>Střešní konstrukce</b> • vaznice • vazníky • s častým výskytem osob	- - $L/250$	$L/200$ $L/250$ $L/300$
<b>Stropní konstrukce</b> • stropnice • průvlaky • nesoucí sloupce, pokud nebyl průhyb zahrnut v posouzení mezního stavu únosnosti	- - $L/400$	$L/250$ $L/400$ $L/500$
<b>Stropní a střešní konstrukce</b> • nesoucí dlažby, omítky nebo jiné křehké obklady a nepoddajné příčky	$L/250$	$L/350$
<b>Stěny</b> • překlady	-	$L/600$

Poznámka: Pro konzoly je nutné uvažovat délku  $L$  rovnou dvojnásobku délky konzoly

8/9/22

Eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí, mezní stavy

26

26

---

---

---

---

---

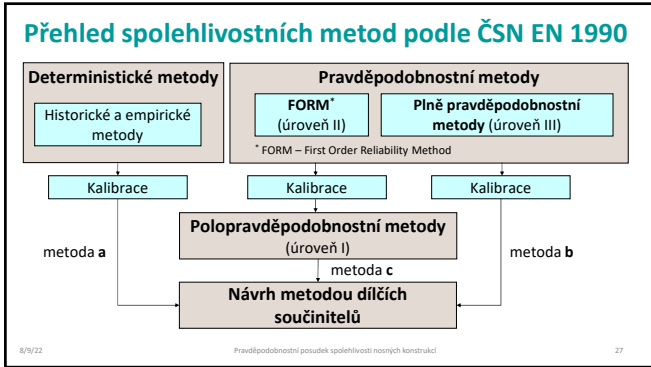
---

---

---

---

---



27

---

---

---

---

---

---

---

---

### Způsoby vyjádření vstupních veličin

**Deterministické:** Veličiny jsou popsány 1 číselnou hodnotou.

**Pravděpodobnostní:** Náhodně proměnné veličiny jsou definovány variabilní hodnotou – např. **histogramem** (matematický popis náhodných vlastností)

Histogram náhodně proměnné veličiny

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti nosných konstrukcí

28

---

---

---

---

---

---

---

---

### Rozdělení pravděpodobnosti

**Parametrická rozdělení pravděpodobnosti** jsou popsána analytickou funkcí – např. obecný vzorec funkce hustoty **normálního** (Gaussova) rozdělení:

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Parametry - charakteristiky rozdělení náhodné veličiny (např.  $\mu$  **střední hodnota** a  $\sigma$  **směrodatná odchylka**)

**Neparametrická (empirická) rozdělení pravděpodobnosti** jsou definována na základě měření, často i dlouhodobých

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti nosných konstrukcí

29

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pravděpodobnostní přístup

Míra spolehlivosti se v metodách II. a III. úrovně vyjadřuje prostřednictvím **pravděpodobnostních ukazatelů spolehlivosti** (index spolehlivosti  $\beta$ , pravděpodobnost poruchy  $P_f$ ).

**Kritérium spolehlivosti:**  $P_f \leq P_d$        $\beta_d < \beta$

$P_f$  ... pravděpodobnost poruchy  
 $P_d$  ... návrhová hodnota pravděpodobnosti poruchy

**Funkce spolehlivosti:**  $RF = R - E$

$R$  ... odolnost konstrukce

$E$  ... účinek zatížení

$$P_f = P(RF < 0) = P(R < E)$$



8/9/22

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti nosných konstrukcí

30

30

---

---

---

---

---

---

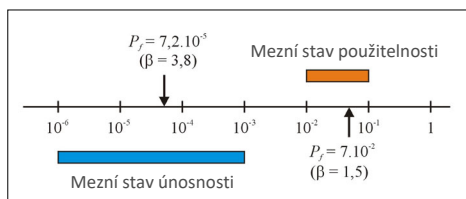
---

---

---

---

## Ukazatel spolehlivosti



Obvyklý rozsah hodnot pravděpodobnosti poruchy  $P_f$  pro návrhovou životnost 50 let a mezní stavy únosnosti a použitelnosti (a doporučené hodnoty pravděpodobnosti poruchy)

8/9/22

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti nosných konstrukcí

31

31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Diferenciace spolehlivosti konstrukcí

Diferenciace spolehlivosti konstrukcí je založena na:

- volbě hodnot **indexů spolehlivosti**,
- úpravě **dílčích součinitelů** pro zatížení nebo vlastností týkajících se odolnosti,
- úrovni **kontroly při navrhování**,
- úrovni **kontroly během provádění**,
- úrovni **inspekce** a dodržování postupů podle projektové dokumentace.

Pro účely **diferenciace spolehlivosti konstrukcí** jsou v **ČSN EN 1990** doporučeny tři třídy následků **CC1 až CC3** (consequences classes).

8/9/22

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti nosných konstrukcí

32

32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Definice tříd následků a spolehlivosti podle ČSN EN 1990		
Třída spolehlivosti (následků)	Popis	Příklady staveb
RC3/CC3	Velké následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo <b>velmi významné</b> následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí.	Stavby, kde jsou následky poruchy <b>vysoké</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• stadióny, slavnostní tribuny, divadla, koncertní sály, kina, nemocnice, školy, předškolní zařízení,</li> <li>• obchodní domy, nádražní haly, čekárny apod.</li> <li>• inženýrské stavby pro dopravu jako mosty, tunely apod.</li> <li>• vodohospodářské stavby</li> <li>• budovy muzeí, státních archivů, státních knihoven apod.</li> <li>• hlavní budovy elektráren apod.</li> <li>• stavby vysokých pecí, vysoké komíny apod.</li> <li>• nádrže na ropu, nádrže a zásobníky na ropné výrobky a chemikálie apod.</li> </ul>
RC2/CC2	Střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo <b>značné</b> následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí.	Obytné a administrativní budovy a budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy <b>středně závažné</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• stavby obytné, kancelářské apod.</li> <li>• stavby pro průmyslovou, rostlinnou nebo živočišnou výrobu</li> <li>• ústřední sklady pro zásobování obyvatel, třídírny a balírny</li> <li>• sklady cenných technických zařízení a přístrojů apod.</li> <li>• dočasné a přenosné stavby pro tělovýchovu a sport apod.</li> </ul>
RC1/CC1	Malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo <b>malé/zanedbatelné</b> následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Stavby, kam lidé běžně nevstupují a jsou <b>menšího významu</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• sklady (pokud nepatří do vyšších tříd následků)</li> <li>• stavby pro skladování zemědělských výrobků, hnojiv, uhlí, rašeliny apod.</li> <li>• skleník, pařeniště apod.</li> </ul>

33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Návrhová hodnota pravděpodobnosti poruchy

Doporučené minimální hodnoty **indexu spolehlivosti  $\beta$**  a **návrhové hodnoty pravděpodobnosti poruchy  $P_d$**  (mezí stavů únosnosti) podle ČSN EN 1990:

Třída spolehlivosti	Minimální hodnoty $\beta$		$P_d$
	Referenční doba 1 rok	Referenční doba 50 let	
<b>RC3</b> (velké následky)	5,2	4,3	$8,4 \cdot 10^{-6}$
<b>RC2</b> (střední následky)	4,7	3,8	$7,2 \cdot 10^{-5}$
<b>RC1</b> (malé následky)	4,2	3,3	$4,8 \cdot 10^{-4}$

34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Návrhová hodnota pravděpodobnosti poruchy

Doporučené minimální hodnoty **indexu spolehlivosti  $\beta$**  a **návrhové hodnoty pravděpodobnosti poruchy  $P_d$**  (mezí stavů použitelnosti) podle ČSN EN 1990:

Třída spolehlivosti	Minimální hodnoty $\beta$		$P_d$
	Referenční doba 1 rok	Referenční doba 50 let	
<b>RC2</b> (střední následky)	2,9	1,5	$6,7 \cdot 10^{-2}$

Vztah mezi  $\beta$  a  $P_f$  (ČSN EN 1990)

$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
$\beta$	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Příklad pravděpodobnostního posudku

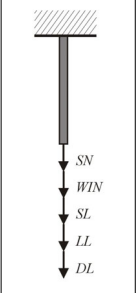
**Výpočetní model:** Vyjádření a idealizace skutečného statického či dynamického působení konstrukce v prostoru a čase matematicko-fyzikálními vztahy s použitím metod určujících napjatost, přetvoření, zrychlení apod. od zatížení obecně proměnného s časem.

**Např. pro táhlo:**

**Funkce spolehlivosti:**  $RF = R - S$

**Odolnost konstrukce** (únosnost v osovém namáhání):  
 $R = N_{Rd} = A_{nom} \cdot A_{var} \cdot f_y$

**Účinek zatížení** (normálová síla):  
 $S = N_{Ed} = 80 \cdot DL + 293,5 \cdot LL + 80 \cdot SL + 70 \cdot WIN + 40 \cdot SN$



8/9/22 36

36

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

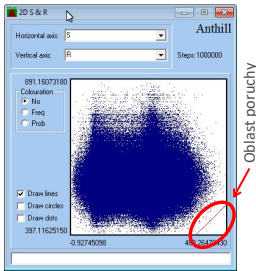
### Simulation Based Reliability Assessment (SBRA)

**Shrnutí:**

- Vstupní náhodné proměnné jsou vyjádřeny **neparametrickým rozdělením pravděpodobnosti** ve formě **useknutých histogramů**,
- Analýza funkce spolehlivosti se provádí metodou **Monte Carlo**,
- Spolehlivost je vyjádřena vztahem:

$$p_f = \frac{N_f}{N} \leq p_d$$

výstup programu Anhill



8/9/22 37

37

---

---

---

---

---

---

---

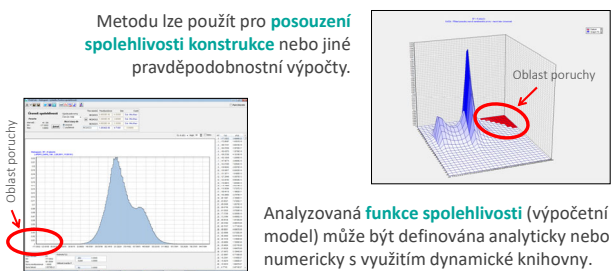
---

---

---

### Direct Optimized Probabilistic Calculation (DOProc)

Metodu lze použít pro **posouzení spolehlivosti konstrukce** nebo jiné pravděpodobnostní výpočty.



Analýzovaná **funkce spolehlivosti** (výpočetní model) může být definována analyticky nebo numericky s využitím dynamické knihovny.

8/9/22 38

38

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---