

## 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

# Spolehlivost stavebních konstrukcí

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

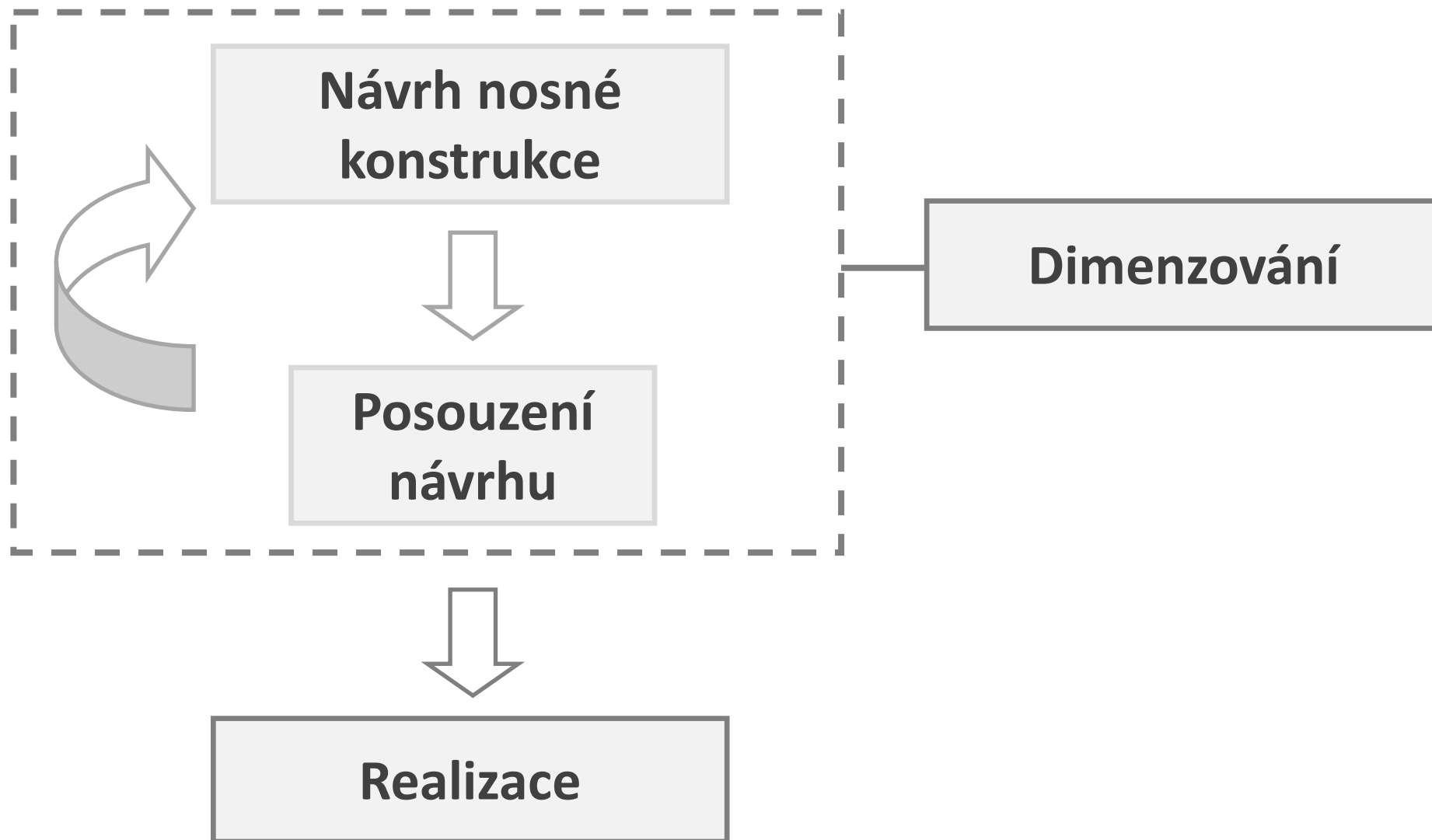
**Spolehlivost konstrukce** nebo **nosného prvku** – schopnost plnit stanovené požadavky za určených podmínek během návrhové životnosti:

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

Foto: doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.



# Princip navrhování stavebních konstrukcí



# 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 poznacích** 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:

- a) **Metoda dovolených namáhání,**
- b) **Metoda stupně bezpečnosti,**
- c) **Metoda mezních stavů.**

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

# 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**  $\sigma_{dov}$  dělené součinitelem  $\mu$ :

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

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

# Metoda stupně bezpečnosti

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

Metoda vycházela 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 přihlédnout k nejistotám jednotlivých základních veličin a teoretických modelů (stejně jako u metody dovolených namáhání).

# Metoda mezních stavů

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



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

Konrád Jaroslav HRUBAN  
(1893 - 1977)



## 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.

# 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

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA  
ICS 91.010.30, 91.080.10

2006

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

ČSN  
EN 1993-1-1

73 1401

Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings

Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 1993-1-1:2005 včetně její opravy EN 1993-1-1:2005/AC:2006. Překlad byl zajištěn Českým normalizačním institutem. Má stejný status jako oficiální verze.

This standard is the Czech version of the European Standard EN 1993-1-1:2005 including its Corrigendum EN 1993-1-1:2005/AC:2006. It was translated by Czech Standards Institute. It has the same status as the official version.

Nahrazení předchozích norem

Touto normou se nahrazuje ČSN EN 1993-1-1 (73 1401) ze srpna 2005.



© Český normalizační institut, 2006  
Podle zákona č. 22/1997 Sb. smí být české technické normy rozmnožovány  
a rozšiřovány jen se souhlasem Českého normalizačního institutu.



# Eurokódy pro navrhování konstrukcí



## ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

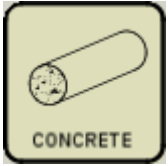
## ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí



- 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 dopravou
- ČSN EN 1991-3 Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- ČSN EN 1991-4 Zatížení zásobníků a nádrží

# 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



# 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).



# Nahodile proměnné veličiny

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

## Konstrukce:

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

## Zatížení:

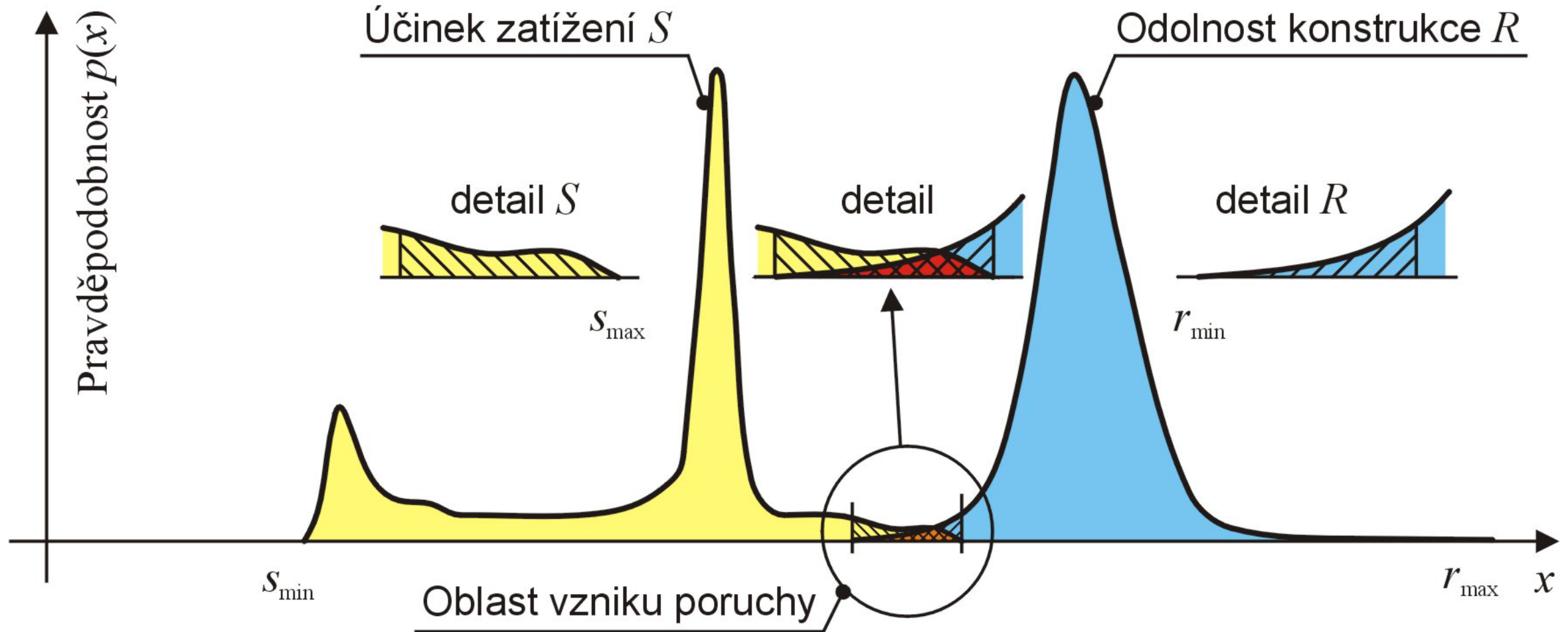
- stálé zatížení
- užitné zatížení
- klimatická zatížení (vítr, sníh)

## Prostředí:

- vlhkost (koroze)



# Mezní stav únosnosti



# 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**  $\gamma$ :

$$\gamma \geq 1$$

$$E_d = E_k \cdot \gamma$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

- **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**.

# 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.



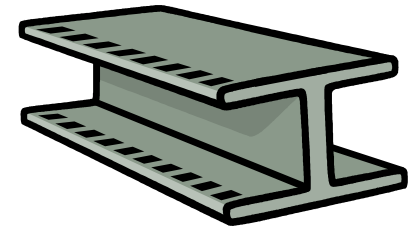
# Dílčí součinitele spolehlivosti

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

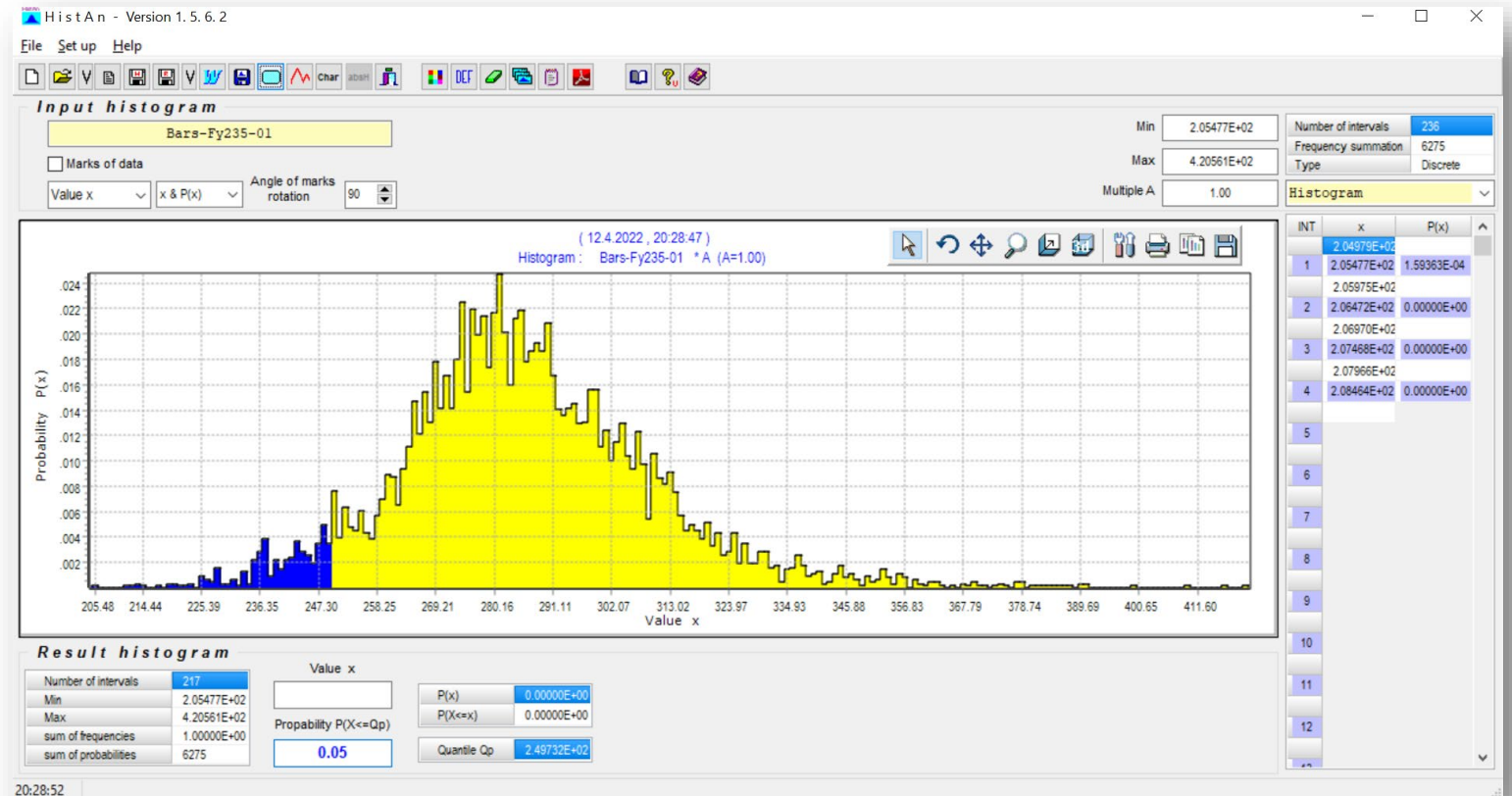
Pevnostní třída	$\gamma_M$			$t \leq 40$ mm		$40$ mm $< t \leq 80$ mm	
	ČSN 731401	P ENV 1993-1-1	ČSN EN 1993-1-1	$f_{yk}$ [MPa]	$f_{uk}$ [MPa]	$f_{yk}$ [MPa]	$f_{uk}$ [MPa]
<b>S235</b>	1,10	1,15	1,00	<b>235</b>	360	215	360
<b>S275</b>	1,15	1,15	1,00	<b>275</b>	430	255	410
<b>S355</b>	1,20	1,15	1,00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



# 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**



# Dílčí součinitele spolehlivosti

## Dřevo

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

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

$k_{\text{mod}}$  ... **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**  $k_{\text{mod}} = 0,8$ .

**Dílčí součinitel vlastnosti 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.



# Dílčí součinitele spolehlivosti

## Beton

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

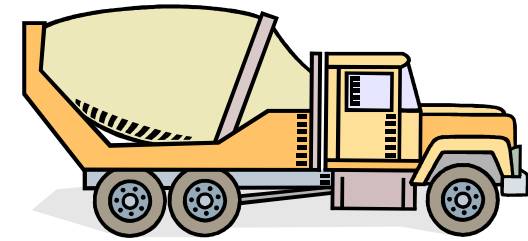
$f_k$  ... závisí na třídě betonu

$f_c$  ... **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**:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

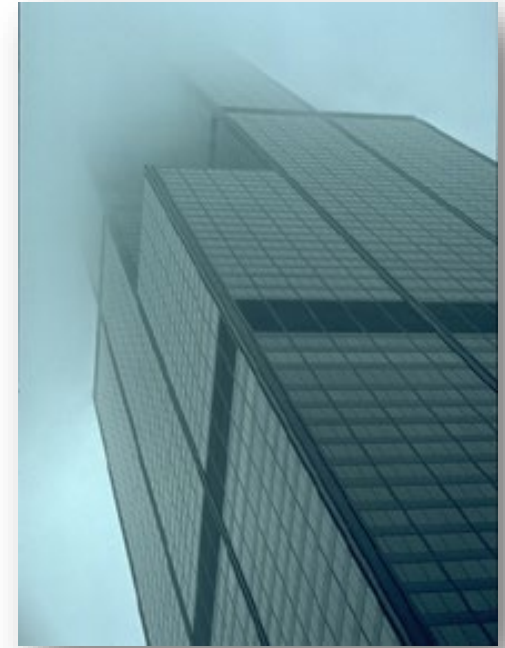
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

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

# Zatížení stavebních konstrukcí

## Rozdělení zatížení:

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



# Zatížení stavebních konstrukcí

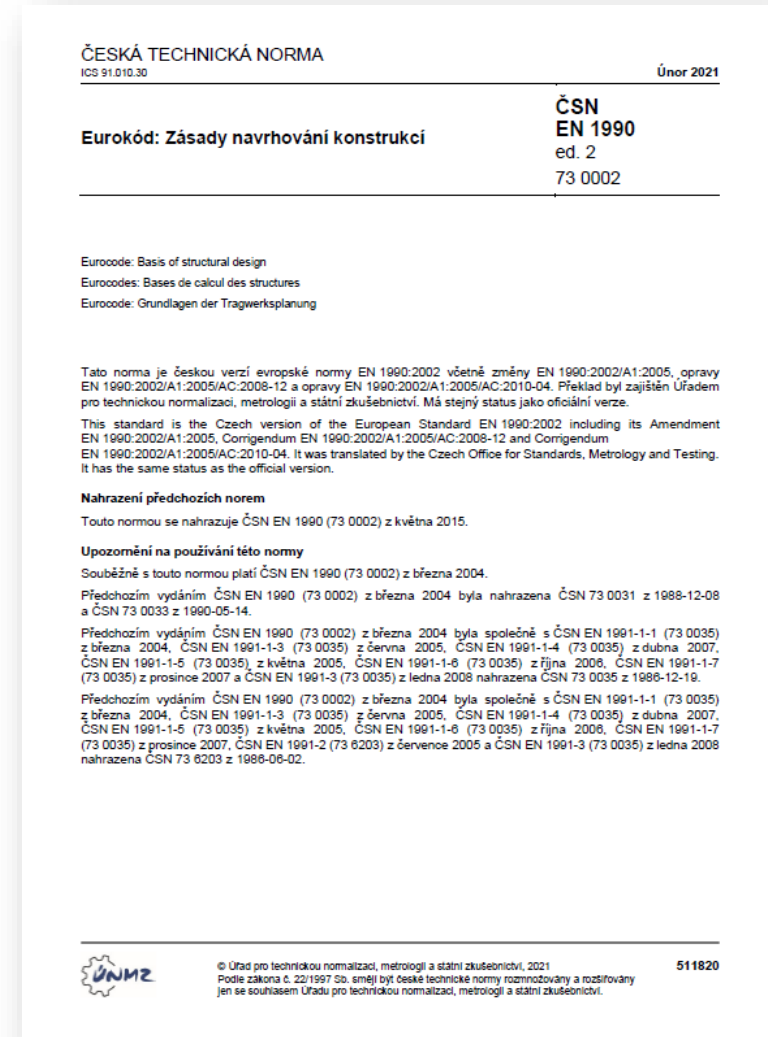
## Klasifikace zatížení podle ČSN EN 1990:

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

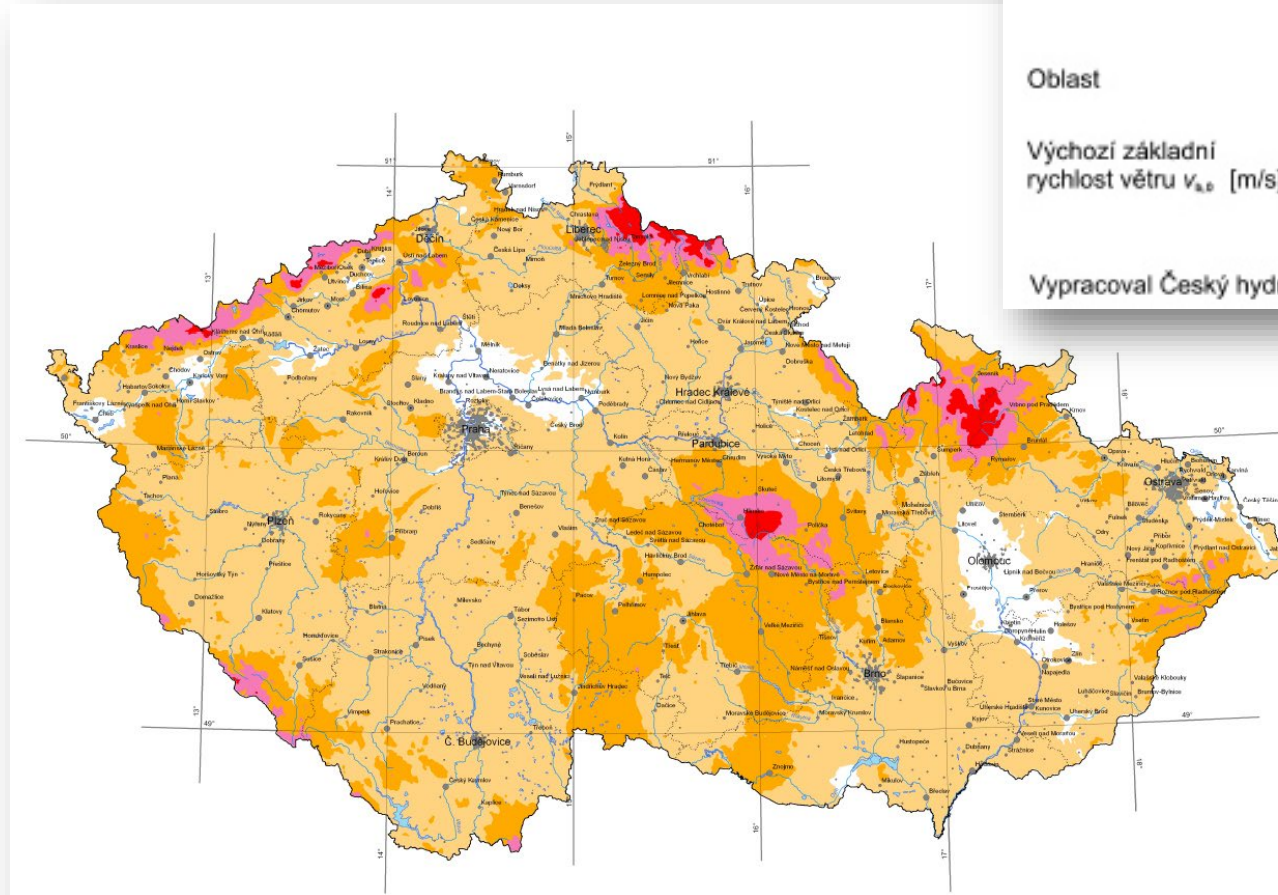


# Zatížení stavebních konstrukcí, Vítr

**Proměnné zatížení** – rovnoměrně rozložené **kolmo** k povrchu konstrukce [ $\text{kN/m}^2$ ]

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

Oblast

Výchozí základní rychlost větru  $v_{k,0}$  [m/s]

I	II	III	IV	V
22,5	25	27,5	30	36 <sup>*)</sup>

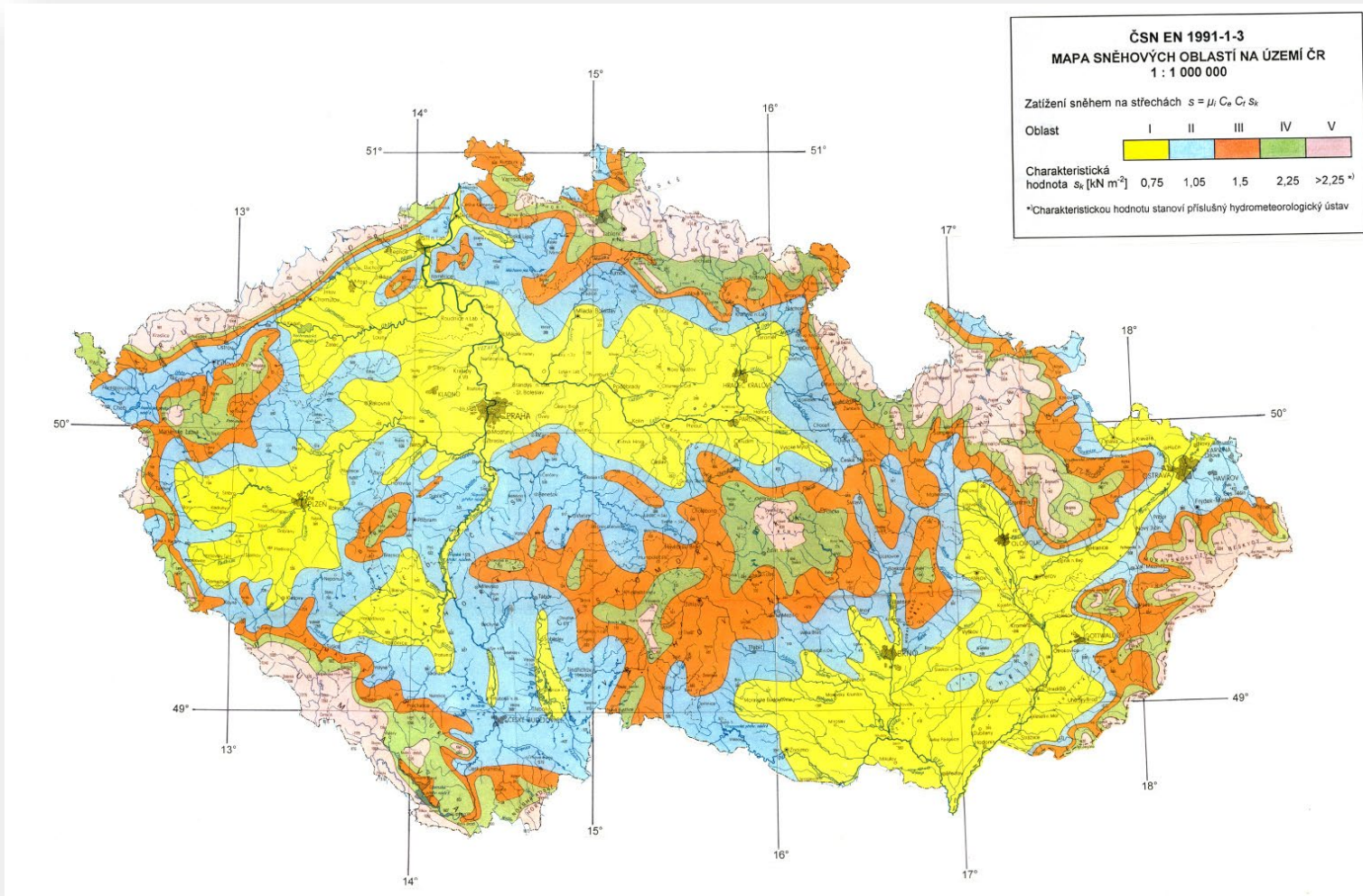
\*) Charakteristickou hodnotu určí příslušná pobočka Českého hydrometeorologického ústavu

Vypracoval Český hydrometeorologický ústav v roce 2006

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

# 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**

# Characteristické 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.



# Příklad výpočtu kombinace zatížení

## Zatěžovací údaje:

Zatížení	Charakteristická hodnota [kN]	Dílní součinitel zatížení $\gamma$	Návrhová hodnota [kN]
Stálé zatížení	59,26	1,35	80,00
Dlouhodobé nahodilé	195,67	1,5	293,50
Krátkodobé nahodilé	53,33	1,5	80,00
Vítr	46,67	1,5	70,00
Sníh	26,67	1,5	40,00

## Kombinace zatížení:

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

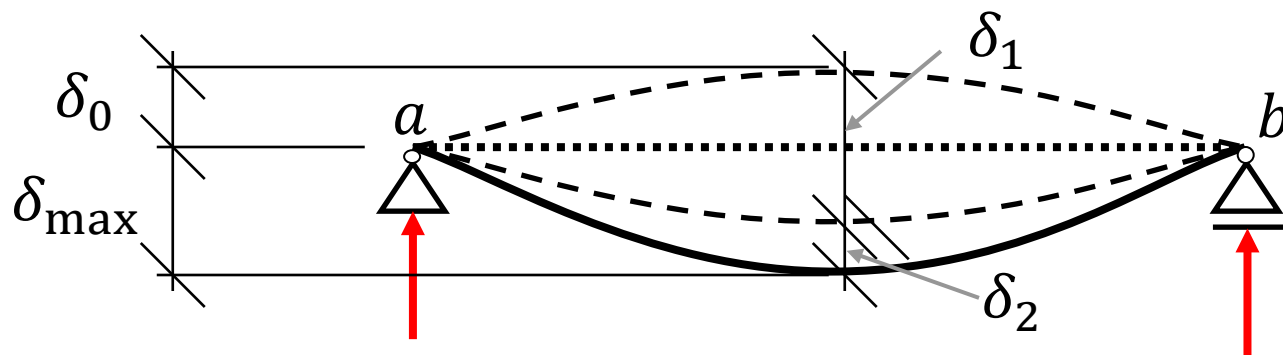
Vztah pro určení **kombinace zatížení** podle ČSN EN 1990:

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

# 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



$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

$\delta_0$  ... 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 vztažený k přímce spojující podpory (celkový průhyb bez nadvýšení)

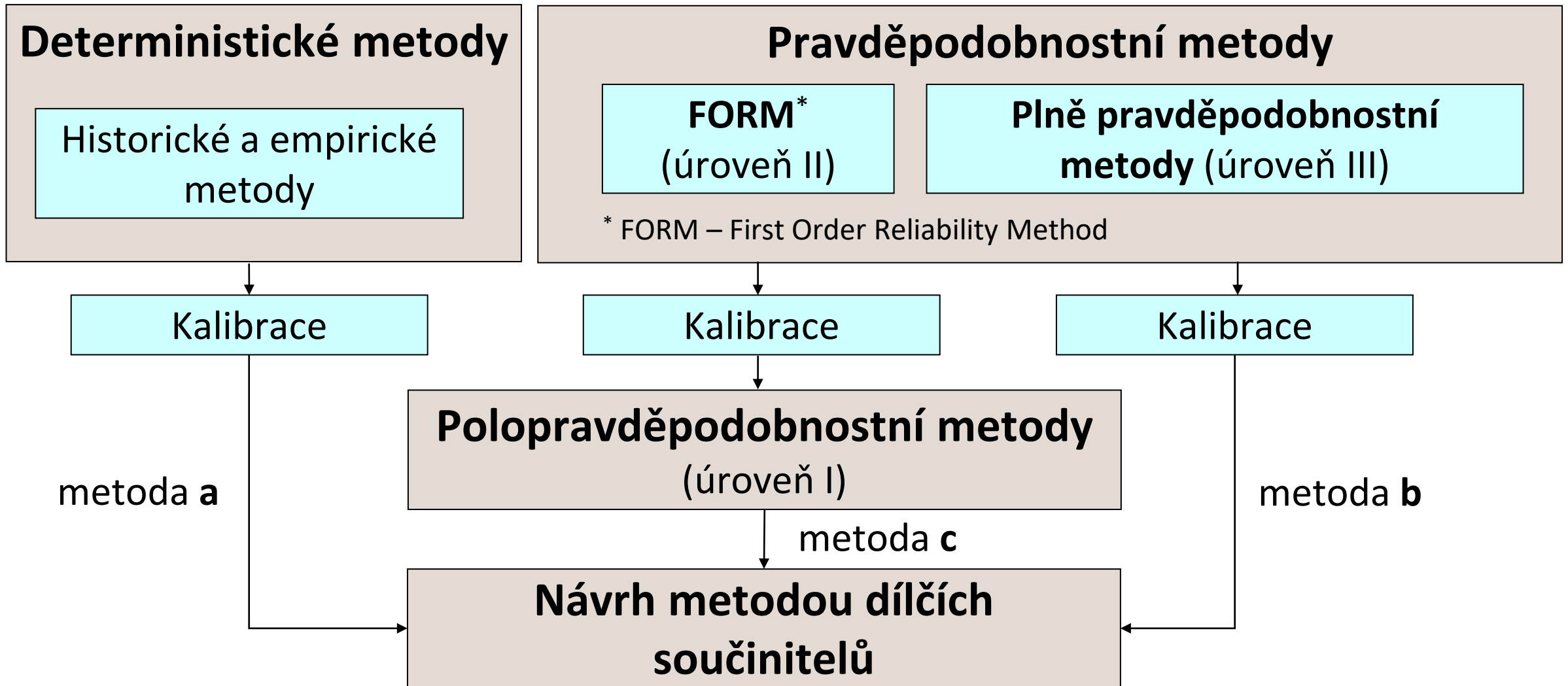
# Mezní stav použitelnosti

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

Konstrukce, dílce	Mezní hodnoty	
	$\delta_{\max}$	$\delta_2$
<b>Střešní konstrukce</b> <ul style="list-style-type: none"><li>vaznice</li><li>vazníky</li><li>s častým výskytem osob</li></ul>	- - $L/250$	$L/200$ $L/250$ $L/300$
<b>Stropní konstrukce</b> <ul style="list-style-type: none"><li>stropnice</li><li>průvlaky</li><li>nesoucí sloupy, pokud nebyl průhyb zahrnut v posouzení mezního stavu únosnosti</li></ul>	- - $L/400$	$L/250$ $L/400$ $L/500$
<b>Stropní a střešní konstrukce</b> <ul style="list-style-type: none"><li>nesoucí dlažby, omítky nebo jiné křehké obklady a nepoddajné příčky</li></ul>	$L/250$	$L/350$
<b>Stěny</b> <ul style="list-style-type: none"><li>překlady</li></ul>	-	$L/600$

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

# Přehled spolehlivostních metod podle ČSN EN 1990

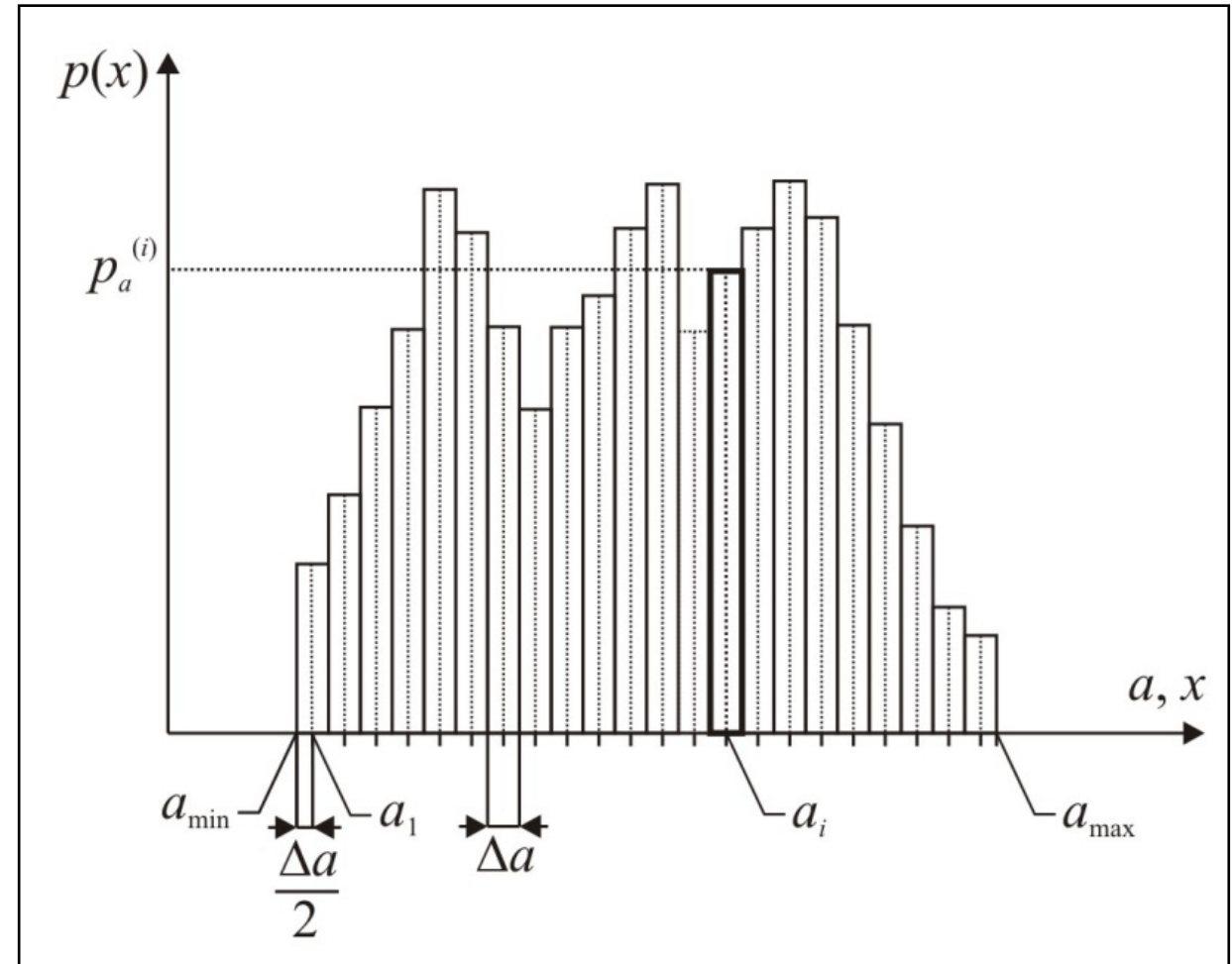


# Způsoby vyjádření vstupních veličin

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

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

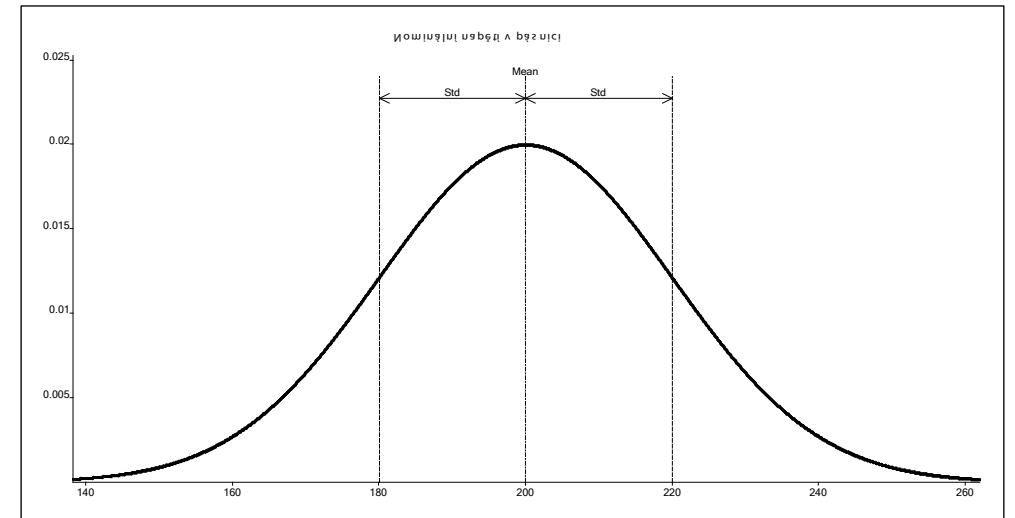
Histogram náhodně proměnné veličiny



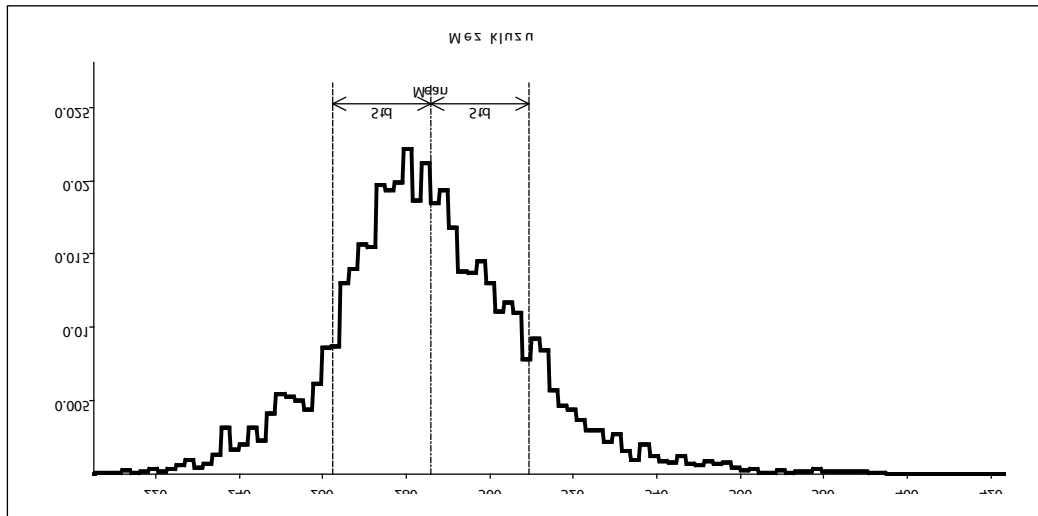
# Rozdělení pravděpodobnosti

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 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:**

$$RF = R - E$$

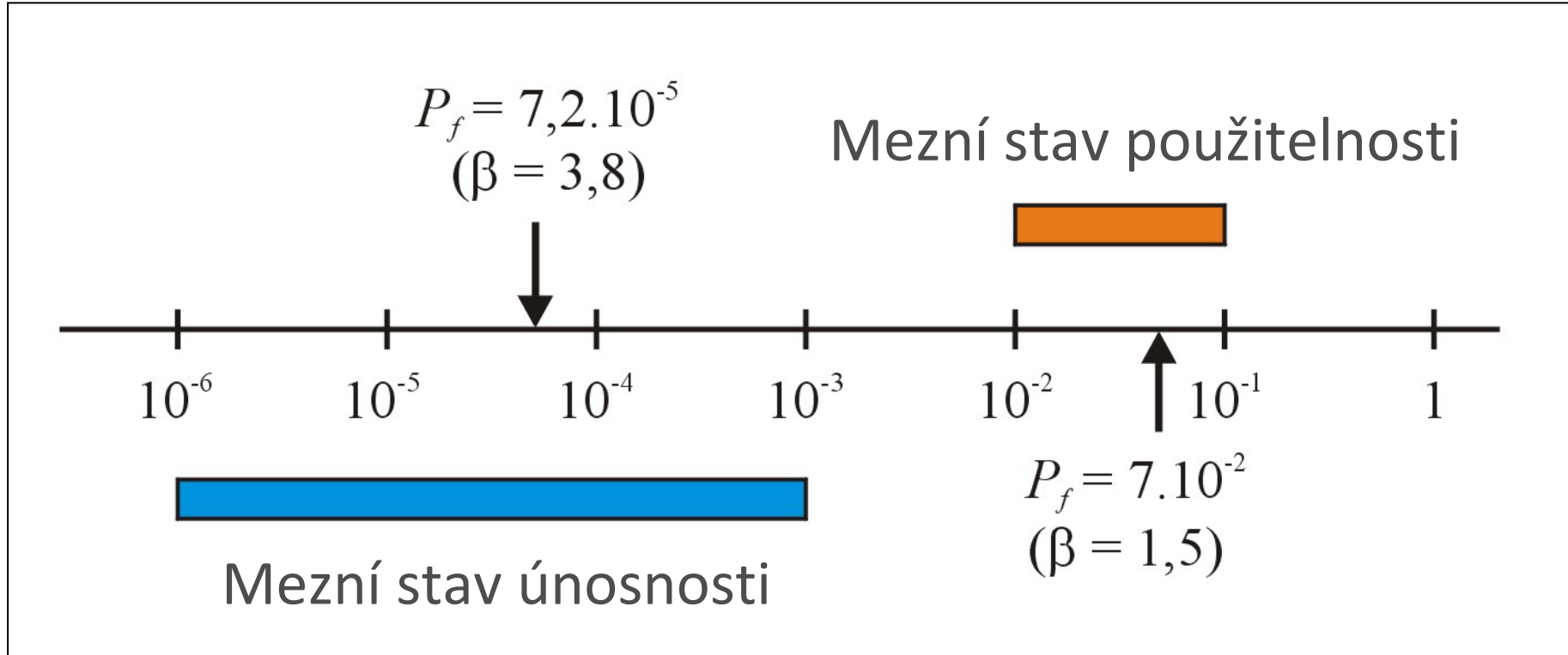
$R$  ... odolnost konstrukce

$E$  ... účinek zatížení

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



# 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)



# 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).

# Definice tříd následků a spolehlivosti podle ČSN EN 1990

Třída spolehlivosti (následků)	Popis	Příklady staveb
<b>RC3/CC3</b>	<b>Velké</b> 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>
<b>RC2/CC2</b>	<b>Střední</b> 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>
<b>RC1/CC1</b>	<b>Malé</b> 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>• skleníky, pařeniště apod.</li> </ul>

# Návrhová hodnota pravděpodobnosti poruchy

Doporučené minimální hodnoty **indexu spolehlivosti**  $\beta$  a **návrhové hodnoty pravděpodobnosti poruchy**  $P_d$  (mezní stavy 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	$4,8 \cdot 10^{-4}$

# Návrhová hodnota pravděpodobnosti poruchy

Doporučené minimální hodnoty **indexu spolehlivosti**  $\beta$  a **návrhové hodnoty pravděpodobnosti poruchy**  $P_d$  (mezní stav 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

# 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:**

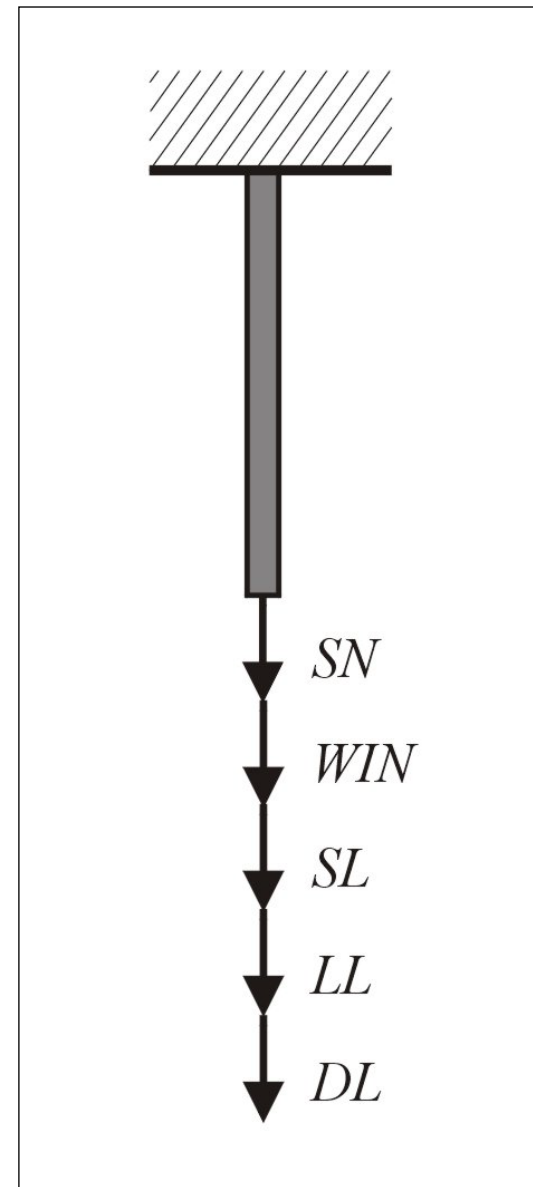
**Funkce spolehlivosti:**  $RF = R - S$

**Odolnost konstrukce** (únosnost v osovém namáhání):

$$R = N_{Rd} = A_{\text{nom}} \cdot A_{\text{var}} \cdot f_y$$

**Účinek zatížení** (normálová síla):

$$S = N_{Ed} = 80 \cdot DL + 293,5 \cdot LL + 80 \cdot SL + 70 \cdot WIN + 40 \cdot SN$$



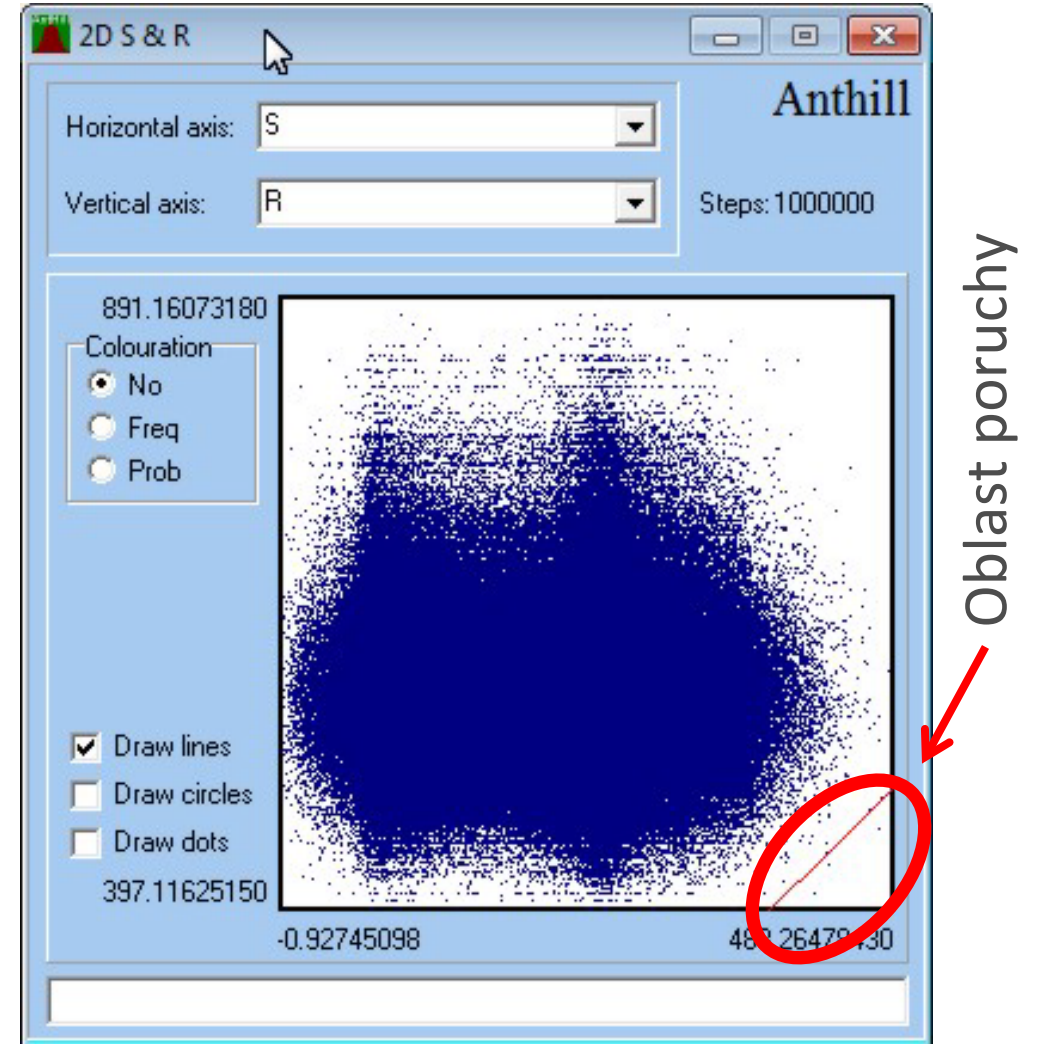
# Simulation Based Reliability Assessment (SBRA)

## 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:

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

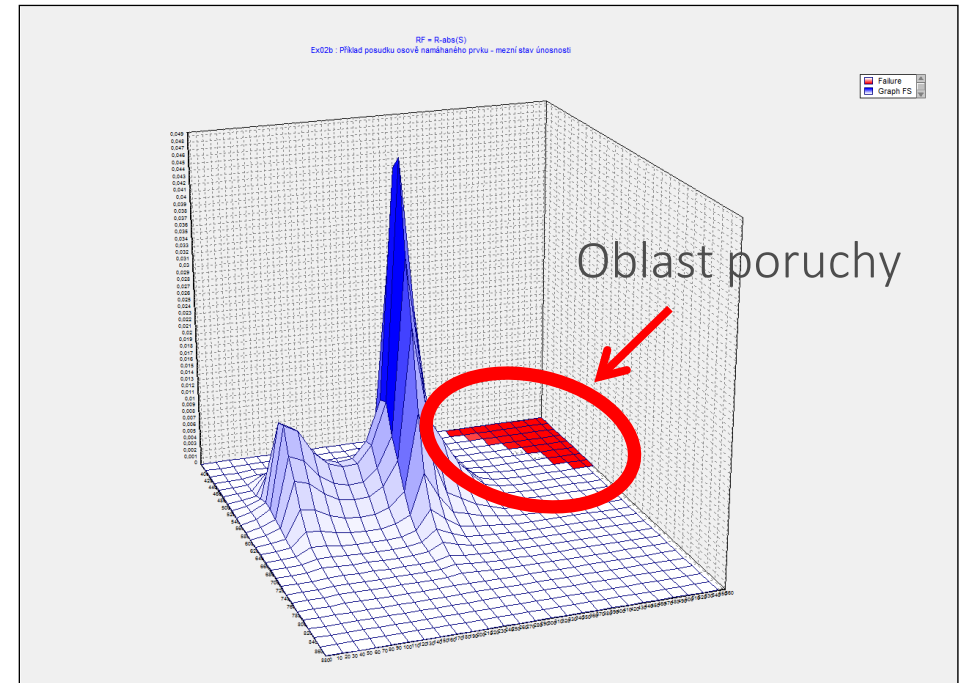
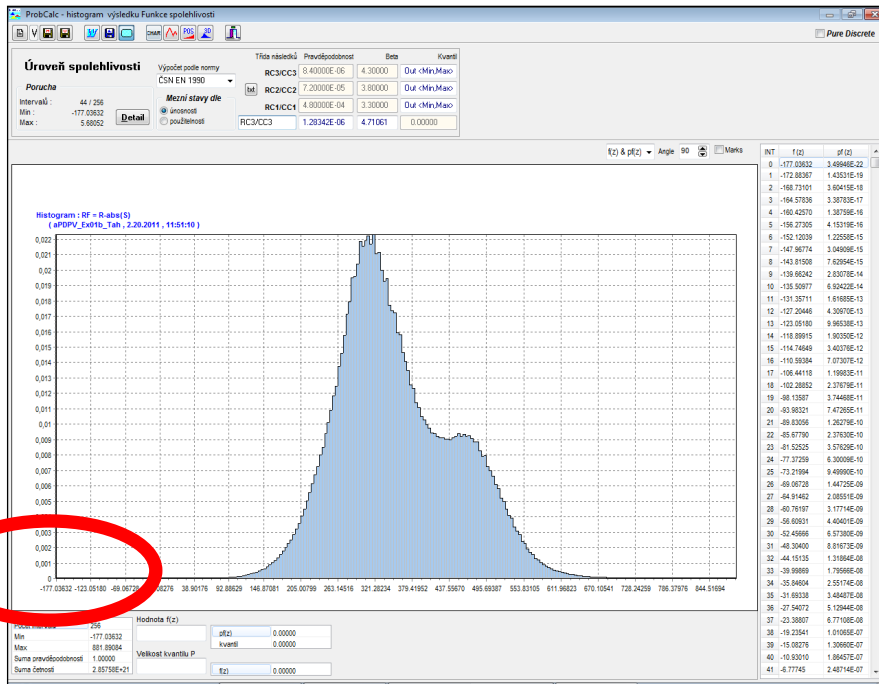
výstup programu Anthill



# Direct Optimized Probabilistic Calculation (DOProC)

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

Oblast poruchy



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