

# Spolehlivost konstrukcí

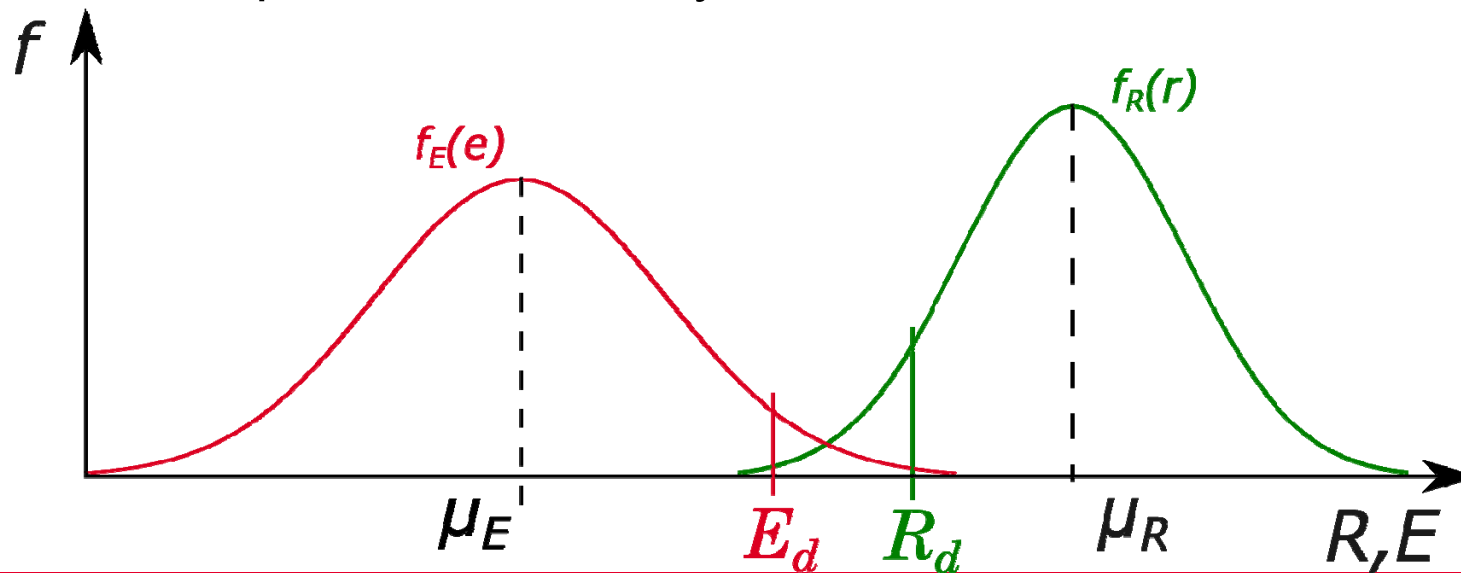
CVIČENÍ 8: DÍLČÍ SOUČINITELE BEZPEČNOSTI



# Dílčí součinitele bezpečnosti a spolehlivost

- odolnost  $R$  a účinky zatížení  $E$  jsou dvě náhodné veličiny
- **návrhová odolnost  $R_D$** : fce návrhové pevnosti atd.
- **návrhové účinky zatížení  $E_D$** : fce návrhových zatížení atd.
- dílčí součinitele bezpečnosti odvozeny na základě **FORM**

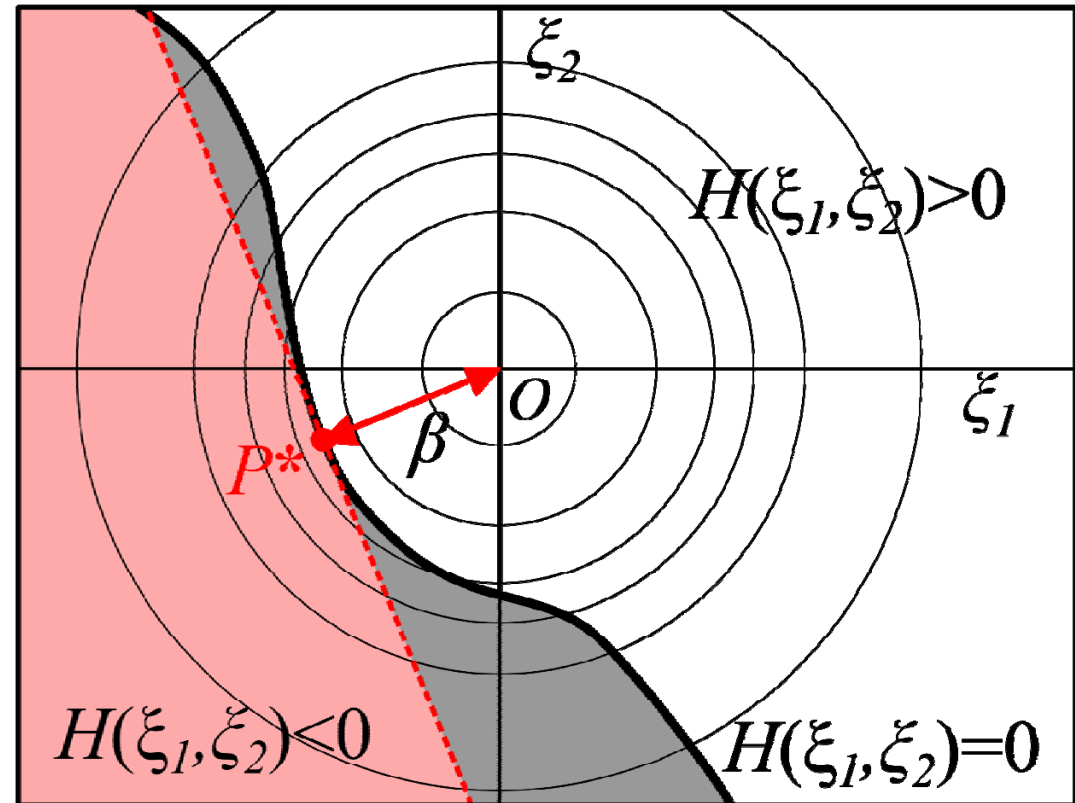
$$R_D \geq E_D$$





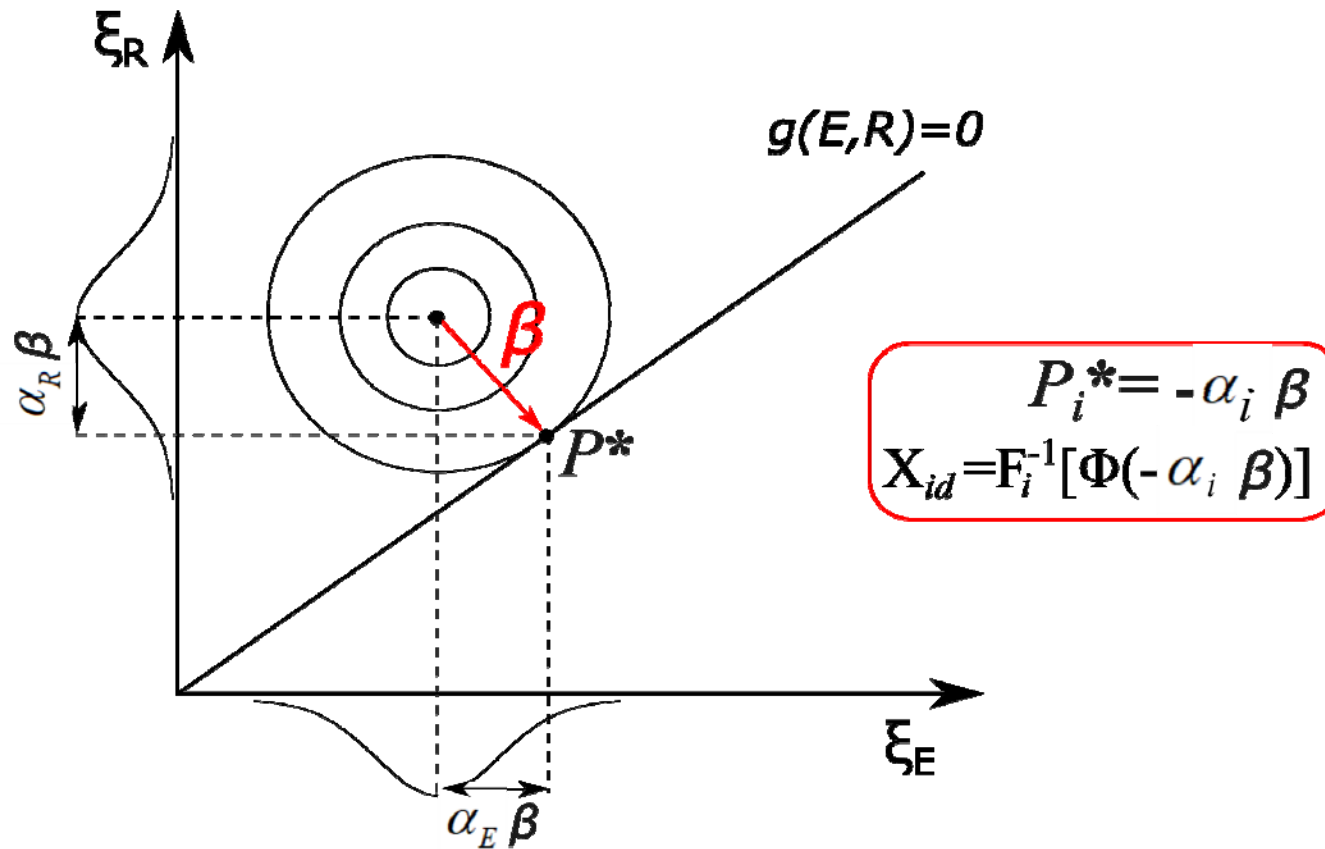
# First Order Reliability Method (FORM)

- Zkratka **FORM** z angl. **F**irst **O**rders **R**eliability **M**ethod
- Aproximační metoda (zjednodušení funkce poruchy na přímku)
- *Obecně 3 kroky:*
  - Transformace všech vstupních náhodných veličin  $\mathbf{X}$  do  $\xi$
  - Hledání návrhového bodu  $P^*$  na hranici fce poruchy  $g(\xi)=0$
  - Linearizace fce poruchy v  $P^*$  a výpočet pravděpodobnosti poruchy





# FORM: souřadnice návrhového bodu





# FORM, Návrhový bod a Eurodkód

- Návrhový bod je určen souřadnicemi v  $\xi$ :

$$P_i^* = -\alpha_i \beta$$

- V Eurocode byly statisticky stanoveny obecné hodnoty:

$$\alpha_R = 0.8$$
$$\alpha_E = -0.7$$

$$\widetilde{\alpha}_{R_1} = \widetilde{\alpha}_{E_1} = 1.0$$
$$\widetilde{\alpha}_{R_i} = \widetilde{\alpha}_{E_j} = 0.4$$

- Dle EN 1990 použitelné v hranicích:

$$0.15 < \frac{\sigma_E}{\sigma_R} < 7.6$$



# Podstata návrhových hodnot v EC

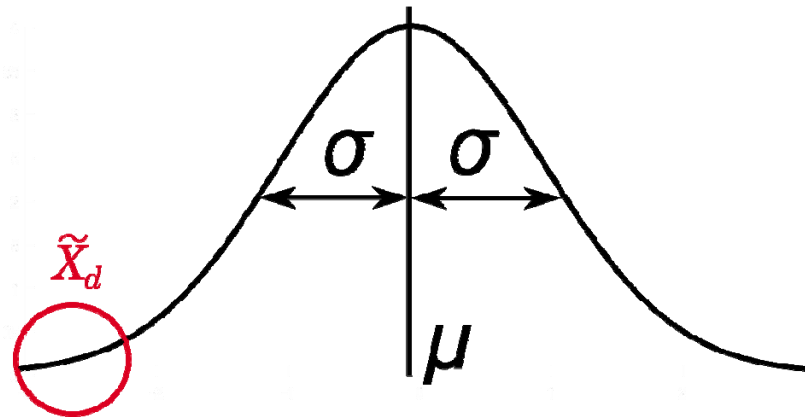
- odhad návrhové hodnoty materiálových vlastností  $X_d$  na základě EN 1990 příloha D „Návrhování pomocí zkoušek“
- odhad kvantilu za předpokladu Lognormální rozdělení

- odhad rozptylu  $\sigma_X^2 \approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_X)^2$

- odhad střední hodnoty  $\mu_X \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

- FORM  $\rightarrow \alpha_R = 0.8$

$$\tilde{X}_{id} = \mu_X \exp\left(-\alpha_{R_i} \beta \frac{\sigma_X}{\mu_X}\right)$$





# Stanovení návrhových hodnot dle EC

- dle EN 1990 úprava kvantilu  $\alpha_R \beta$  dle počtu provedených zkoušek materiálu  $k_{d,n}$

$$\tilde{X}_d = \mu_X \exp\left(-\alpha_R \beta \frac{\sigma_X}{\mu_X}\right) \rightarrow \mu_X \exp\left(-k_{d,n} \frac{\sigma_X}{\mu_X}\right)$$

- cílový index spolehlivosti závislý na třídě následků a návrhové životnosti

$$\beta_t = \Phi^{-1} \left\{ \Phi(\beta_{annual})^t \right\}$$

- nejistoty modelu odolnosti konstrukce (běžně výztuž  $V_\theta=0.02$ ; beton  $V_\theta=0.05$ )

$$X_d = \frac{\tilde{X}_d}{\gamma_{Rd}}$$

$$\gamma_{Rd} = \frac{1}{1 - \alpha_R \beta V_{\theta R}}$$

$$\gamma_M = \frac{X_k}{X_d}$$



# Tabulky pro stanovení návrhových hodnot

- Statistické momenty jednotlivých veličin a modelových nejistot v souladu s Eurocode lze nalézt např. ve fib Bulletin 80, JCSS: PMC 2001

[Převzato z fib Bulletin 80]

Variable	Notation	Type	$\mu_x / X_k$	$V_x$
<b>Load effects</b>				
Self-weight of <i>in situ</i> concrete	$g_{sw}$	N	1.00	0.04
Other permanent actions	$g_{pa}$	N	1.00	0.10
Imposed floor loads (sum of sustained and transient loads)	$q_{imp}$	Gumbel	0.68	0.26
Model uncertainties for load effect calculations:				
– bending moments	$\theta_{E,M}$	LN	1.00	0.10
– axial forces	$\theta_{E,N}$	LN	1.00	0.05
– shear forces	$\theta_{E,V}$	LN	1.00	0.10
<b>Resistance variables</b>				
Concrete compressive strength	$f_c$	LN	1.24	0.18
Yield strength of reinforcing steel	$f_{ys}$	LN	1.12	0.053
Area of reinforcing steel	$A_s, A_{sw}$	N	1.00	0.02
External dimensions of RC cross-sections	$a, b, h, b_w$	N	1.00	0.03
Effective depth	$d$	N	1.00	0.04
Resistance model uncertainties:				
– Bending moments	$\theta_{R,M}$	LN	1.00	0.05
– Axial compression	$\theta_{R,N}$	LN	1.00	0.05
– Tensile force in the web	$\theta_{R,Vs}$	LN	1.00	0.05
– Diagonal compression in the web	$\theta_{R,Vc}$	LN	1.40	0.25



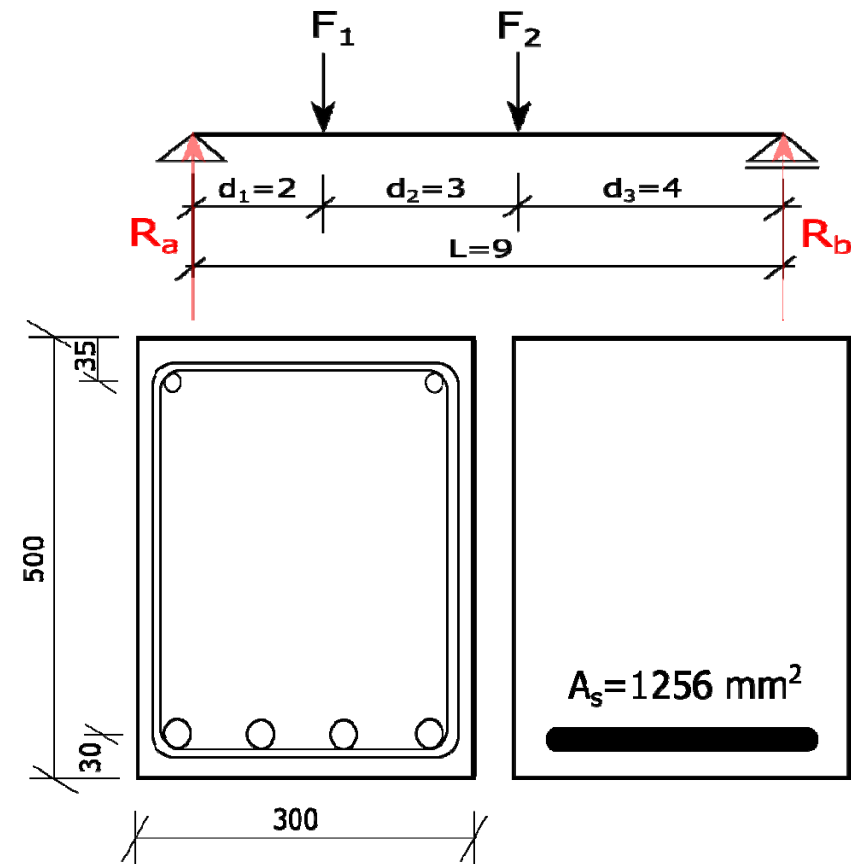


# Příklad 1. Úprava dílčích součinitelů

Stanovte návrhový ohybový moment  $M_{Rd}$  pro zadaný průřez, třídu betonu C25/30 a výztuž B500B. Porovnejte s výpočtem obsahující upravené dílčí součinitele materiálu získané na základě laboratorních zkoušek.

1. Stanovení  $M_{Rd}$  s využitím standardních součinitelů bezpečnosti
2. Statistické zpracování naměřených dat:

<http://www.fce.vutbr.cz/STM/novak.l/CD004/cv8data.xlsx>





# Příklad 1. Úprava dílčích součinitelů

## 3. Stanovení návrhové hodnoty za předpokladu lognormálního rozdělení

$$\tilde{X}_d = \mu_X \exp\left(-k_{d,n} \frac{\sigma_X}{\mu_X}\right) \quad X_d = \frac{\tilde{X}_d}{\gamma_{Rd}} \quad \gamma_{Rd} = \frac{1}{1 - \alpha_R \beta V_{\theta R}}$$

Hodnoty koeficientu  $k_{d,n}$  jsou uvedeny v *tab. D.2*; vycházejí z předpokladu, že návrhová hodnota odpovídá součinu  $\alpha_R \beta = 0,8 \times 3,8 = 3,04$  (viz příloha C)

*Tab. D.2* Hodnoty koeficientu  $k_{d,n}$  pro návrhové hodnoty

[*tab. D.2*]

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_X$ známý	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,04
$V_X$ neznámý	–	–	–	11,4	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,04