



Zásady navrhovania oceľových konštrukcií

prof. Ing. Josef Vičan, CSc

Požiadavky

Oceľové konštrukcie sa majú navrhovať a zhotovovať tak, aby pri zodpovedajúcej úrovni spoľahlivosti a hospodárnosti bezpečne prenášali všetky zaťaženia a iné vplyvy vyskytujúce sa počas ich životnosti a aby po tuto dobu zostali použiteľné pre účel, na ktorý boli navrhnuté.

Požiadavky

Dosiahne sa :

- elimináciou alebo redukciou rizika, ktorému sú konštrukcie vystavené;
- voľbou konštrukčných systémov málo citlivým na riziko poškodenia;
- voľbou typu a návrhu konštrukcie, ktorá je schopná preniesť mimoriadne premiestnenie konštrukčného prvku alebo časti konštrukcie, prípadne akceptovateľné lokálne poškodenie;
- nenavrhopvať konštrukčné systémy, ktoré môžu havarovať bez predchádzajúceho varovania;
- vhodným spájaním konštrukčných prvkov.

Zabezpečenie spoľahlivosti

Navrhovanie, zhotovovanie a používanie konštrukcií podľa príslušných noriem EN 1990 až 1999 zabezpečuje splnenie základných požiadaviek na spoľahlivosť stavebných konštrukcií a dosiahnutie ich požadovanej úrovne spoľahlivosti.

Úroveň spoľahlivosti závisí od:

- **možnej príčiny a/alebo spôsobu dosiahnutia medzného stavu;**
- **možných následkov poruchy v zmysle rizika života, zranenia alebo potenciálnych ekonomických strát;**
- **verejného odporu k poruchám;**
- **výdajov a postupov potrebných na redukciu rizika poruchy.**

Zabezpečenie spoľahlivosti

Požadovaná úroveň spoľahlivosti sa dosiahne vhodnou kombináciou:

- preventívnych a ochranných opatrení, napríklad použitím bezpečnostných zariadení, aktívnymi a pasívnymi ochrannými opatreniami proti požiaru, ochrana proti riziku korózie pomocou náterov, katódovou ochranou apod.;
- opatrení týkajúcimi sa výpočtov pri návrhu konštrukcie;
 - reprezentatívne hodnoty zaťaženia;
 - správny výber parciálnych súčiniteľov;

Zabezpečenie spoľahlivosti

- opatrení týkajúcich sa manažmentu kvality;
- opatrení s cieľom redukovať chyby pri návrhu a zhotovovaní konštrukcií a hrubé chyby ľudí;
- ďalších opatrení týkajúcich sa iných záležitostí pri návrhu akými môžu byť:
 - základné požiadavky;
 - stupeň masívnosti (konštrukčnej integrity);
 - trvanlivosť vrátane výberu návrhovej životnosti;
 - rozsah a kvalita úvodných geotechnických a environmentálnych prieskumov;
 - presnosť mechanických modelov;
 - riešenie detailov;
- správnych a efektívnych zhotovení konštrukcie, napr. podľa EN noriem;
- adekvátnej dohliadacej činnosti a údržby podľa postupov špecifikovaných v projektovej dokumentácii.

Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

Overovanie spôľahlivosti stavebných konštrukcií

Spôľahlivosťou konštrukcie sa rozumie jej schopnosť plniť požadované funkcie pri zachovaní prevádzkových ukazovateľov v daných podmienkach, medziach a v požadovanom časovom úseku.

Parciálnymi zložkami spôľahlivosti sú:

- bezpečnosť
- použiteľnosť
- trvanlivosť (životnosť)

Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

V priebehu životnosti sa konštrukcia nachádza v určitých stavoch:

- z hľadiska činnosti: - prevádzka
- prestoj
- z hľadiska poruchy: - bezporuchový stav
- stav poruchy.

Limitným stavom konštrukcie - medzný stav

- je to stav poruchového prestoja
- stav, ktorého vznik znamená prerušenie alebo obmedzenie používania konštrukcie

V prípade stavebných konštrukcií rozlišujeme:

- **medzné stavy únosnosti** - súvisia s bezpečnosťou a trvanlivosťou
- **medzné stavy použiteľnosti** - súvisia s použiteľnosťou.

Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

Medzné stavy únosnosti

Ich prekročenie vedie k porušeniu konštrukcie - kolapsu.

- strata statickej rovnováhy,**
- porušenie prierezu alebo prvku prekročením pevnosti materiálu alebo nadmernou deformáciou,**
- strata stability tvaru konštrukcie alebo jej časti,**
- únavové a krehkolomné porušenie.**

Spoločnosť stavebných konštrukcií

Medzné stavy použiteľnosti

Pri ich prekročení nebudú splnené prevádzkové požiadavky na konštrukciu.

- pružné správanie sa konštrukcie pod prevádzkovým zaťažením**
- nadmerné deformácie ovplyvňujúce vzhľad alebo využitie konštrukcie,**
- neprijateľné vibrácie ovplyvňujúce psychiku a pohodlie ľudí ako aj správanie konštrukcie**
- lokálne porušenie (trhliny) redukujúce trvanlivosť konštrukcie.**

Zamedzenie vzniku jednotlivých medzných stavov sa preukazuje splnením podmienok spoločnosti, ktoré sú pre tieto stavy predpísané normami pre navrhovanie stavebných konštrukcií.

Spôľahlivosť stavebných konštrukcií



Spoločnosť stavebných konštrukcií

- **Deterministické metódy:**
 - metóda dovolených namáhání
 - metóda stupňa bezpečnosti
- **Pravdepodobnostné metódy**
 - 1. úrovne - polopravdepodobnotné
 - 2. úrovne - inžinierske
 - 3. úrovne - matematické



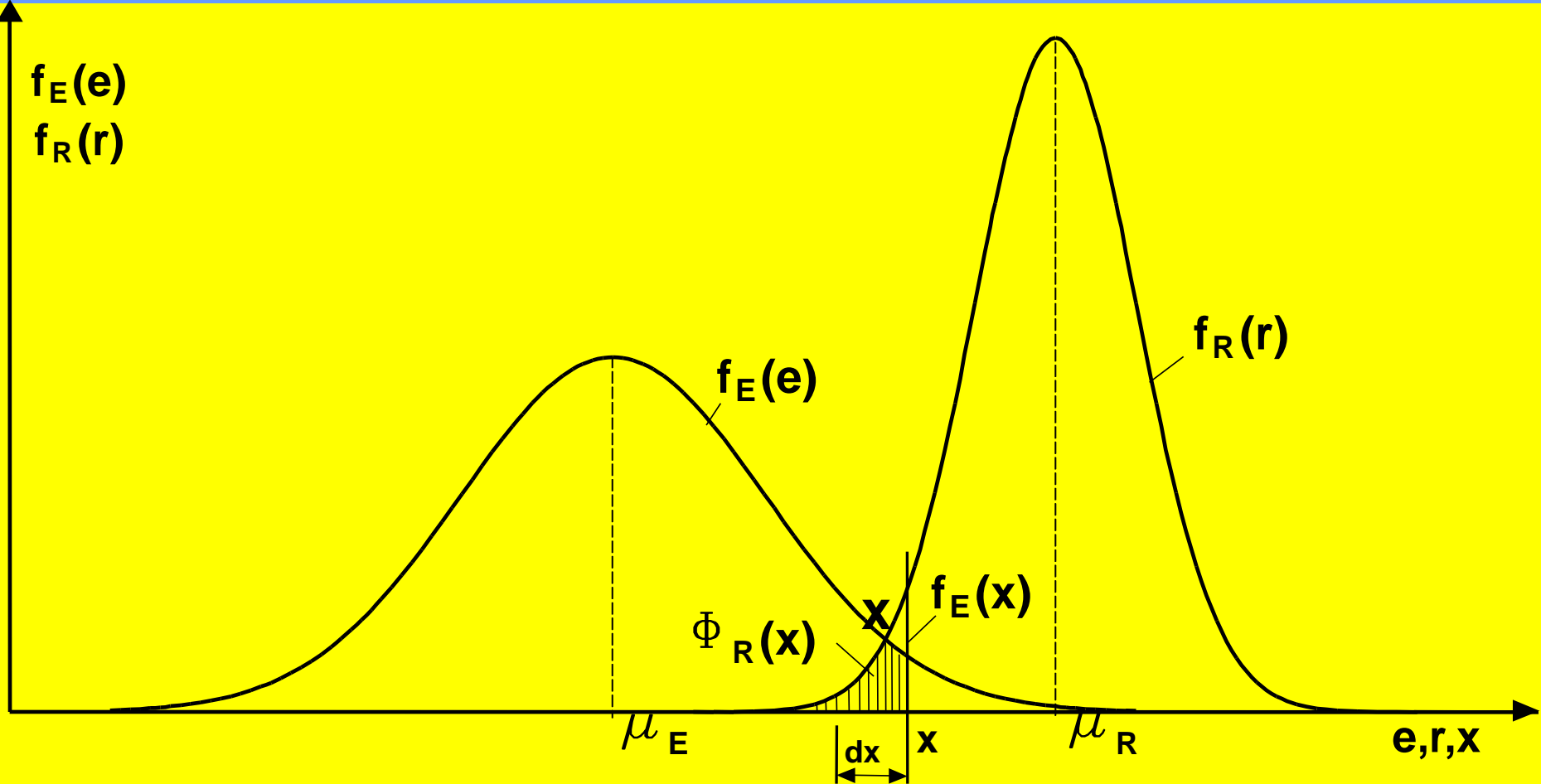
Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

Inžinierske metódy teórie spoľahlivosti

Predstavuje teoretickú a pravdepodobnostnú podstatu normových metód teórie spoľahlivosti. Spoľahlivosť sa hodnotí pomocou rezervy spoľahlivosti g v tvare

$$g = R - E \geq 0$$

- R** je odolnosť konštrukcie ako funkcia náhodných premenných vstupných parametrov;
- E** je odozva zaťaženia ako funkcia náhodných premenných vstupných parametrov.

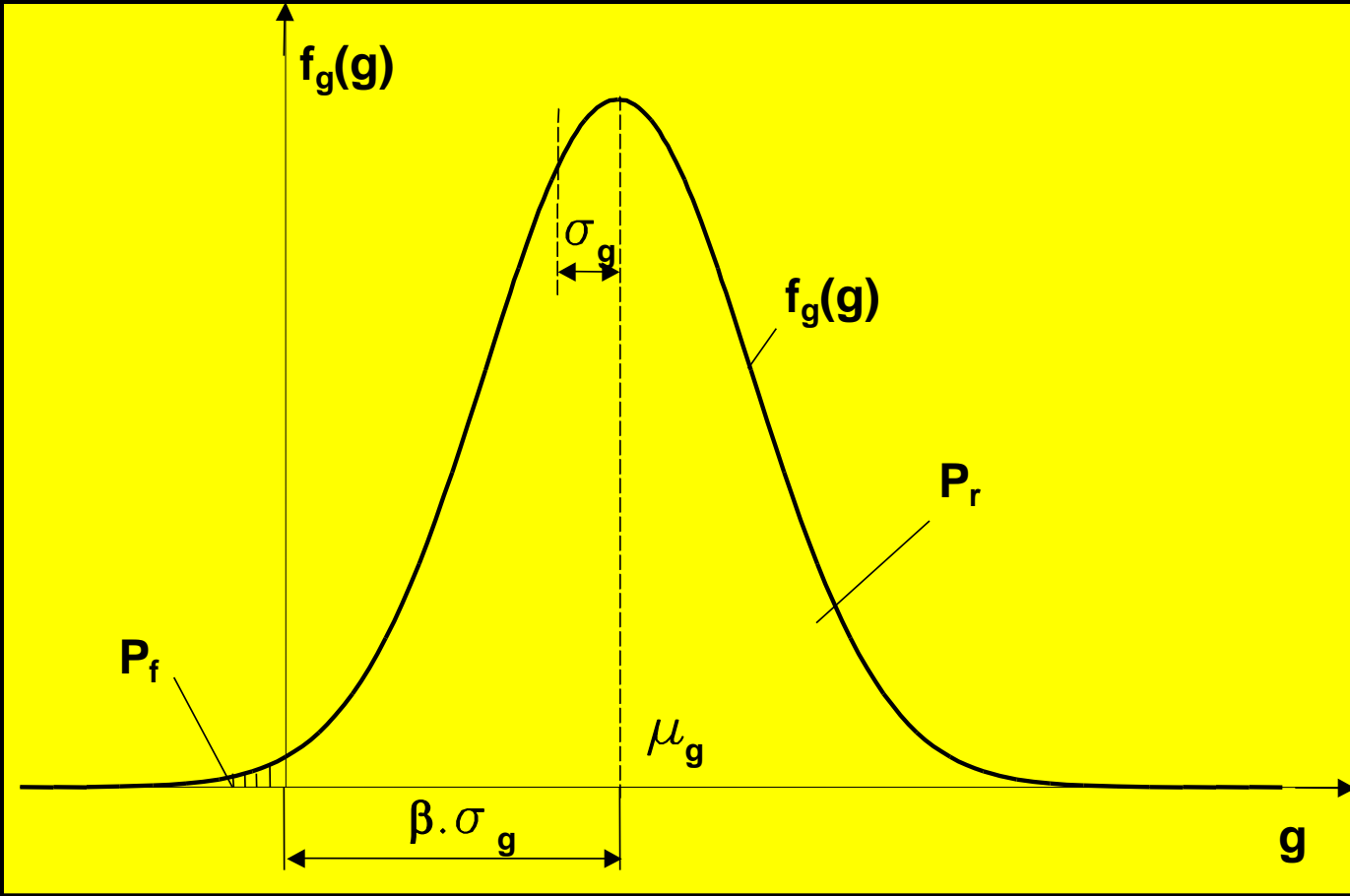


$$P_f = P(g < 0) = P(R - E < 0)$$

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_E(x) \phi_R(x) dx$$

$$P(R < x) = \phi_R(x)$$

$$P(x - dx/2 \leq E \leq x + dx/2) = f_E(x) dx$$



$$P_f = \int_{-\infty}^0 f_g(g) dg$$

$$P_r = \int_0^{\infty} f_g(g) dg$$

Index spoľahlivosti

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{\mu_R - \mu_E}{(\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0,5}}$$

Podmienka spoľahlivosti:

$$P_f \leq P_{fd}$$

$$\beta \geq \beta_d$$

Spol'ahlivosť stavebných konštrukcií

Hodnoty P_{fd} a β_d pre plánovanú životnosť $T_d = 50$ rokov

Úroveň spol'ahlivosti	Medzné stavy			
	únosnosti		používateľnosti	
	P_{fd}	β_d	P_{fd}	β_d
znížená	$5 \cdot 10^{-4}$	3,30	$1,6 \cdot 10^{-1}$	1,00
základná	$7 \cdot 10^{-5}$	3,80	$7 \cdot 10^{-2}$	1,50
zvýšená	$8 \cdot 10^{-6}$	4,30	$2,3 \cdot 10^{-2}$	2,00

$$P_f = \phi(-\beta) \approx 10^{\left[-0,198(-\beta-0,605)^2-0,297\right]}$$

(6)

$$\beta = \phi^{-1}(P_f) \approx -0,605 + \left[-\log(P_f)/0,198 - 1,5\right]^{0,5}$$

Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

Inžinierska pravdepodobnostná metóda

- predstavuje zjednodušený prístup - lineárna kombinácia dvoch výsledných náhodných premenných E a R.
- v skutočnosti ide o lineárne a nelineárne kombinácie zaťažení, pevnostných a geometrických štatisticky nezávislých aj závislých veličín.
- ide o systém n náhodných veličín X_i v n-rozmernom priestore.

Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

Rezerva spoľahlivosti je funkciou náhodných veličín X_1, \dots, X_n

$$g = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

a podmienka spoľahlivosti je v tvare:

$$g(X) = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0$$

Pravdepodobnosť poruchy

$$P_f = \int_{D_f} f(X_1, X_2, \dots, X_n) \cdot dX_1 \cdot dX_2 \cdot \dots \cdot dX_n$$

$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je funkcia združenej hustoty pravdepodobnosti náhodných veličín x_1, x_2, \dots, x_n

$$g = \prod_{i=1}^k X_i - \sum_{i=k+1}^n X_i, \quad g = \left(\prod_{i=1}^{k-1} X_i - \sum_{i=k+1}^n X_i \right) / X_k$$

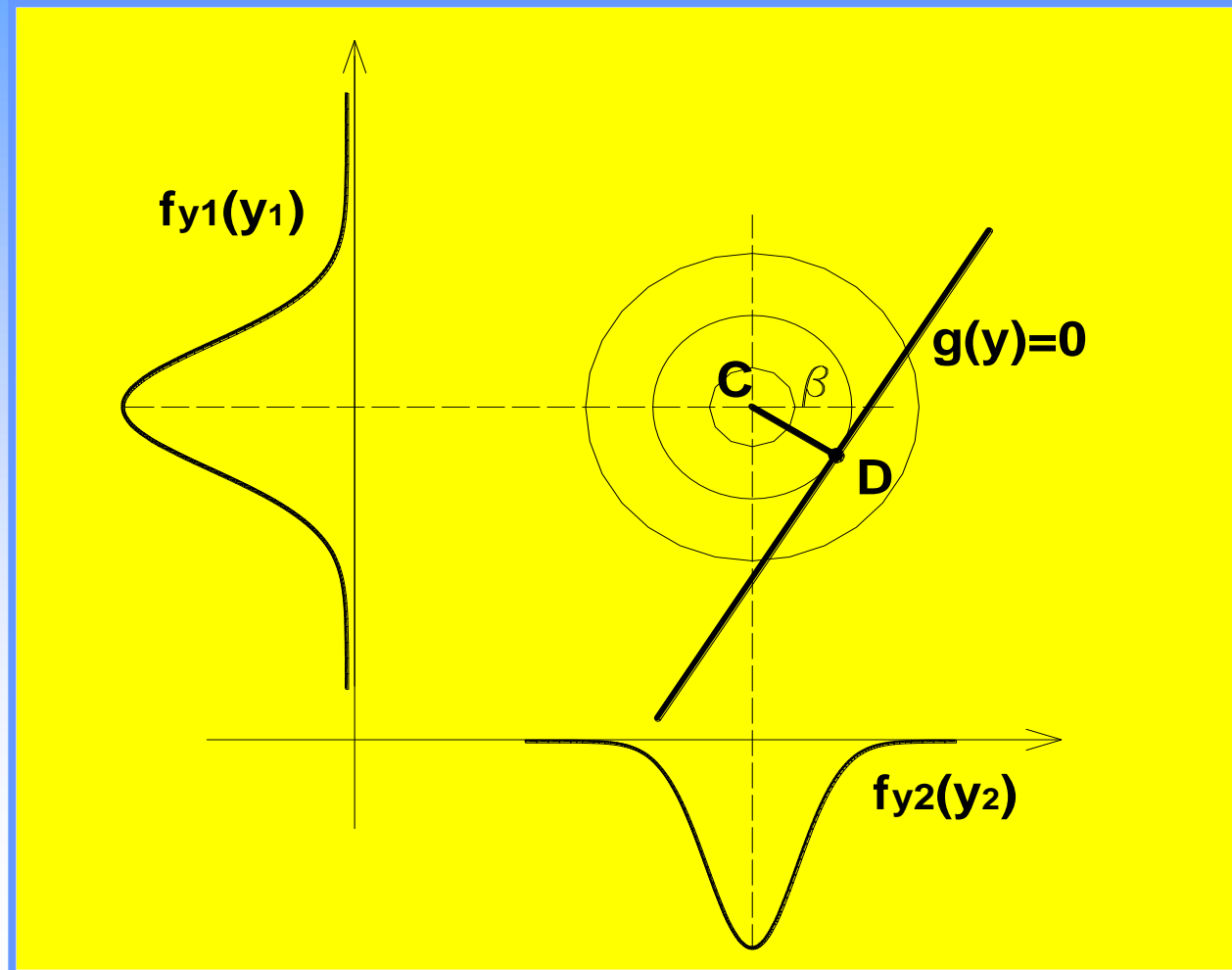
Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

Metódy riešenia:

- **aproximačné - FORM, SORM**
- **simulačné - Monte Carlo, Importance Sampling, Latin Hypercube Sampling apod.**

Spolahlivosť stavebných konštrukcií

- Aproximačné metódy



Spôľahlivosť stavebných konštrukcií

- Monte Carlo
- Opakovaná numerická simulácia riešenia funkcie poruchy $g(X)$ vždy s iným náhodne generovaným vektorom vstupných parametrov X_i .
- Získaný súbor g ($g_1, g_2 \dots g_n$) sa štatisticky vyhodnotí.

Pravdepodobnosť poruchy: $P_f = N_f / N$

kde N_f je počet simulácií s $g_j \leq 0$,

N je celkový počet simulácií.

Nevýhodou metódy Monte-Carlo je veľký počet simulácií, čo si vyžaduje vysokovýkonný počítač a veľa strojového času.

Overovanie pomocou metódy parciálnych súčiniteľov

Metóda parciálnych súčiniteľov sa zaraduje medzi polopravdepodobnostné metódy prvej úrovne a jej pravdepodobnostná podstata vychádza z inžinierskej pravdepodobnostnej metódy.

Zjednodušenie a tým aj redukcia úrovne pravdepodobnosti sa dosiahne pomocou:

- separácie náhodných premenných účinkov zat'azení a E a odolnosti konštrukcie R ;
- zavedením reprezentatívnych hodnôt.

Separovaná podmienka spoľahlivosti

Separácia náhodných premenných R a E sa vykoná s využitím separačných funkcií účinkov zaťaženia α_E a α_R

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2} = \frac{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \sigma_R + \frac{\sigma_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \sigma_E = \alpha_R \sigma_R + \alpha_E \sigma_E$$

$$\alpha_E = \frac{\sigma_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

$$\alpha_E = 0,7$$

$$\alpha_R = 0,8$$

$$0,16 < \sigma_E / \sigma_R < 7,6$$

Separovaná podmienka spoľahlivosti

Podmienka spoľahlivosti v separovanom tvare sa získa z rovnice:

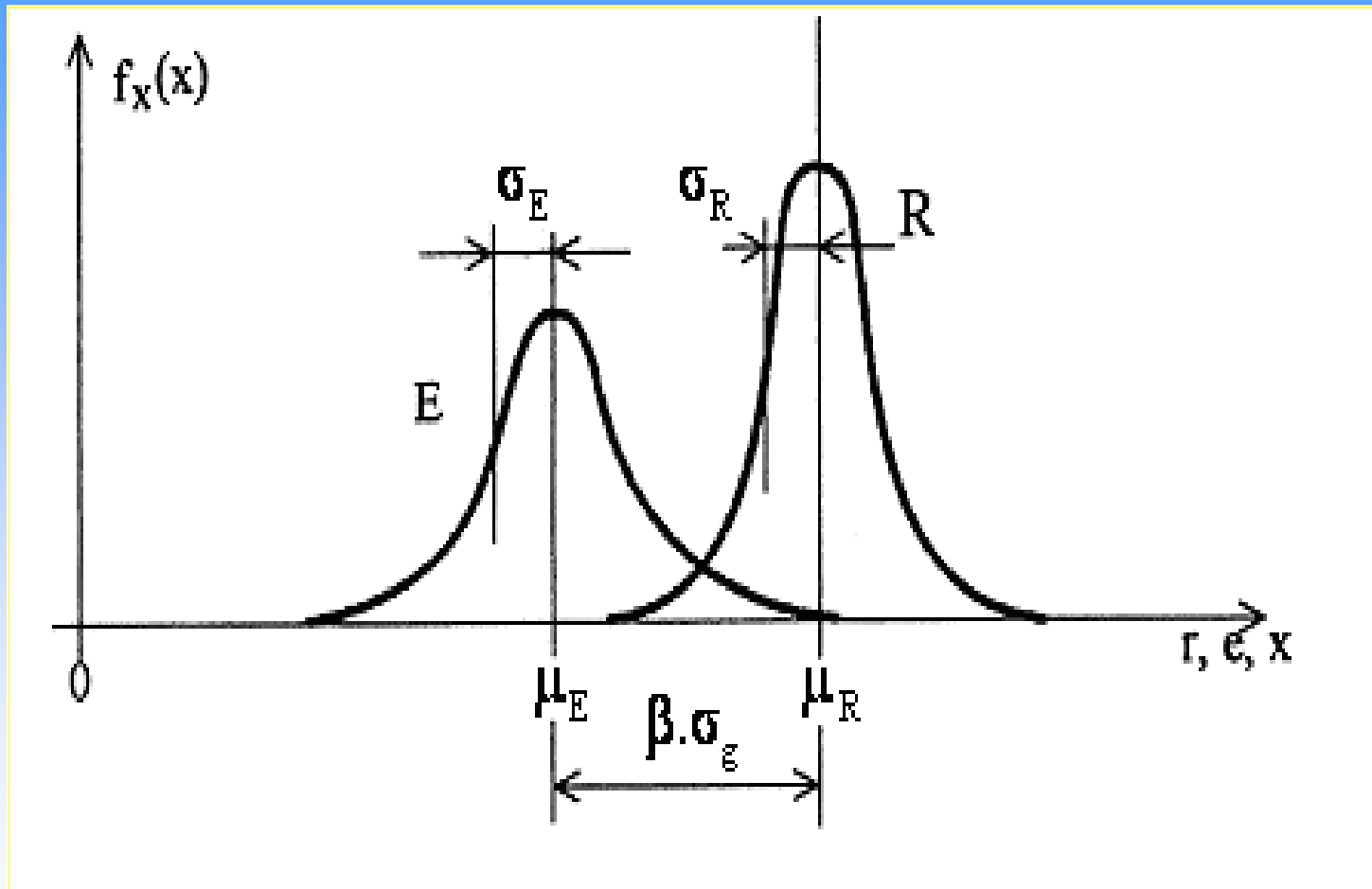
$$\beta \leq \beta_d$$

$$\mu_E + \alpha_E \beta_d \sigma_E \leq \mu_R - \alpha_R \beta_d \sigma_R$$

$$m_E (1 + a_E b_d n_E) \leq m_R (1 - a_R b_d n_R)$$

μ_E , σ_E a v_E sú stredná hodnota, smerodajná odchýlka a koeficient variácie účinkov zaťaženia E;
 μ_R , σ_R a v_R sú stredná hodnota, smerodajná odchýlka a koeficient variácie odolnosti R.

Separovaná podmienka spoľahlivosti



$$E_d \leq R_d$$

Zavedenie reprezentatívnych hodnôt

Reprezentatívne hodnoty sú:

Charakteristické hodnoty zaťaženia F_k a vlastností materiálu X_k definované s predpísanou štatistickou zárukou ich dodržania alebo pri neznámom štatistickom rozdelení nominálnymi hodnotami;

Sprievodné hodnoty, ktorými sú hodnoty premenných zaťažení sprevádzajúcich hlavné premenné zaťaženie v kombináciách zaťažení. Sprievodné hodnoty premenných zaťažení sú ich ***kombinačné hodnoty***, ***časté hodnoty*** alebo ***kvázistále hodnoty***.

Zavedenie reprezentatívnych hodnôt

Návrhové hodnoty účinkov zaťaženia a odolnosti materiálu sa stanovujú s využitím ich reprezentatívnych hodnôt a hodnôt parciálnych súčiniteľov spoľahlivosti.

$$E_d = \gamma_{Sd} E(\gamma_{f,i} F_{rep,i}, \mathbf{a}_d) = E(\gamma_{Fi} F_{rep,i}, \mathbf{a}_d)$$

$$R_d = R(X_{d,i}, \mathbf{a}_d) / \gamma_{Rd} = R(\eta_i X_{k,i} / \gamma_{m,i}, \mathbf{a}_d) / \gamma_{Rd} = R(X_{k,i} / \gamma_{M,i}, \mathbf{a}_d)$$

$$\mathbf{a}_d = \mathbf{a}_{nom} \pm \Delta \mathbf{a}$$

pričom $F_{rep,i} = \psi F_{k,i}$

Zavedenie reprezentatívnych hodnôt

- γ_{fi} parciálny súčiniteľ zaťaženia zohľadňujúci nepriaznivé odchýlky zaťaženia od jeho reprezentatívnych hodnôt;
- γ_{Fi} parciálny súčiniteľ spoľahlivosti zaťaženia zohľadňujúci aj modelové a rozmerové neistoty;
- γ_{mi} parciálny súčiniteľ vlastnosti materiálu zohľadňujúci vplyv nepriaznivých odchýlok materiálových vlastností od charakteristických hodnôt;
- γ_{Mi} parciálny súčiniteľ vlastnosti materiálu zohľadňujúci aj modelové a rozmerové neistoty;
- γ_{Sd} parciálny súčiniteľ zohľadňujúci neistoty v modeli odozvy zaťaženia;

Zavedenie reprezentatívnych hodnôt

- γ_{Rd} parciálny súčiniteľ zohľadňujúci neistoty v modeli odolnosti materiálu prierezu alebo prvku;
- Δa zohľadňuje vplyv nepriaznivých odchýlok od charakteristických hodnôt geometrických vlastností;
- η konverzný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv objemu a mierky skúšobných vzoriek, teploty a iných podstatných parametrov, ktorý sa zvyčajne zahŕňa do hodnoty parciálneho súčiniteľa.

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{Sd} \gamma_{f,i}$$

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{m,i} \gamma_{Rd}$$

$$E_d = E(\gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \leq R_d = R_k / \gamma_M$$

Základné premenné

Zaťaženia a environmentálne vplyvy

Zaťaženia sa klasifikujú podľa premennosti na:

zaťaženia stále – vlastná tiaž nosných a nenosných prvkov konštrukcie, nepriame zaťaženia ako sú zmrašťovanie alebo nerovnomerné sadanie apod.;

zaťaženia premenné – úžitkové zaťaženia budov, klimatické zaťaženia, zaťaženia dopravou apod.;

zaťaženia mimoriadne – explózie, nárazy vozidiel apod.

Zat'azenia a environmentálne vplyvy

Podľa pôvodu na :

- priame a nepriame

Podľa priestorovej premennosti na:

- pevné alebo voľné

Podľa charakteru odozvy na:

- statické alebo dynamické.

Zat'azenia a environmentálne vplyvy

Reprezentatívne hodnoty zat'azenia

Základnou reprezentatívnou hodnotou zat'azenia je charakteristická hodnota zat'azenia, ktorá by mala vo všeobecnosti zodpovedať predpísanej pravdepodobnosti výskytu. Vo výpočtoch sa deklaruje ako:

- stredná hodnota – pri stálych zat'azeniach s malou variabilitou $v_g < 0,10$;
- horný (95%, 98%) alebo dolný (5%) fraktíl - pri stálych zat'azeniach s výraznejšou variáciou alebo pri niektorých premenných zat'azeniach;
- nominálna hodnota - nie je štatisticky podložená.

Zaťaženia a environmentálne vplyvy

Charakteristické hodnoty klimatických zaťažení sú stanovené s pravdepodobnosťou 0,02, že ich časovo variabilné zložky budú prekročené pre referenčný časový interval 1 rok.

Charakteristické hodnoty zaťaženia cestnou dopravou na mostoch pozemných komunikácií sú stanovené s pravdepodobnosťou 5% ich prekročenia v rámci referenčného časového intervalu 50 rokov.

Pri viaczložkovom zaťažení, ako je napríklad zaťaženie dopravou, sa za charakteristické zaťaženie považujú skupiny zaťaženia, pričom každá z nich sa vo výpočtoch uvažuje separátne a kombinuje sa s ďalšími premennými zaťažzeniami.

Zat'azenia a environmentálne vplyvy

Ďalšie reprezentatívne hodnoty premenných zat'azení sú:

- kombináčn  hodnoty $\psi_0 Q_k$ používané pri overovaní medzných stavov únosnosti a nevratných medzných stavov používateľnosti;
- časté hodnoty $\psi_1 Q_k$ používané pri overovaní medzných stavov únosnosti pri mimoriadnych návrhových situáciách alebo pri overovaní vratných medzných stavov používateľnosti;
- kvázistále hodnoty $\psi_1 Q_k$ používané pri overovaní medzných stavov únosnosti pri mimoriadnych návrhových situáciách alebo pri overovaní vratných medzných stavov používateľnosti. Aplikujú sa tiež pri stanovení dlhodobých účinkov premenných zat'azení.

Vlastnosti materiálov a výrobkov

Definícia na základe štandardných skúšok a testov na zodpovedajúcom súbore prvkov.

Štatistickým vyhodnotením sa získajú charakteristické hodnoty materiálových vlastností, ktoré sa stanovia ako dolné hodnoty zodpovedajúce 5 % fraktilu (95% fraktil ak majú priaznivý efekt).

Tuhostné parametre konštrukčných prvkov (modul pružnosti) sa uvažujú strednými hodnotami, ak to nie je špecifikované inak z hľadiska príslušného medzného stavu. Potom sa uvažujú horné alebo dolné hodnoty zodpovedajúce príslušným fraktilom.

Geometrické parametre

Geometrické parametre prierezov a prvkov sa vo výpočtoch uvažujú charakteristickými hodnotami alebo, ako v prípade imperfekcií, priamo návrhovými hodnotami.

Za charakteristické hodnoty geometrických parametrov prierezov a konštrukčných prvkov sa považujú ich nominálne rozmery stanovené v projektovej dokumentácii.

Príklad : Stanovenie hodnoty parciálneho súčiniteľa účinkov stálego zaťaženia

$$\gamma_G = \gamma_{Sd} \frac{G_d}{G_k}$$

G_d je návrhová hodnota stálego zaťaženia;

G_k je charakteristická hodnota stálego zaťaženia;

γ_{Sd} je parciálny súčiniteľ modelovej neistoty.

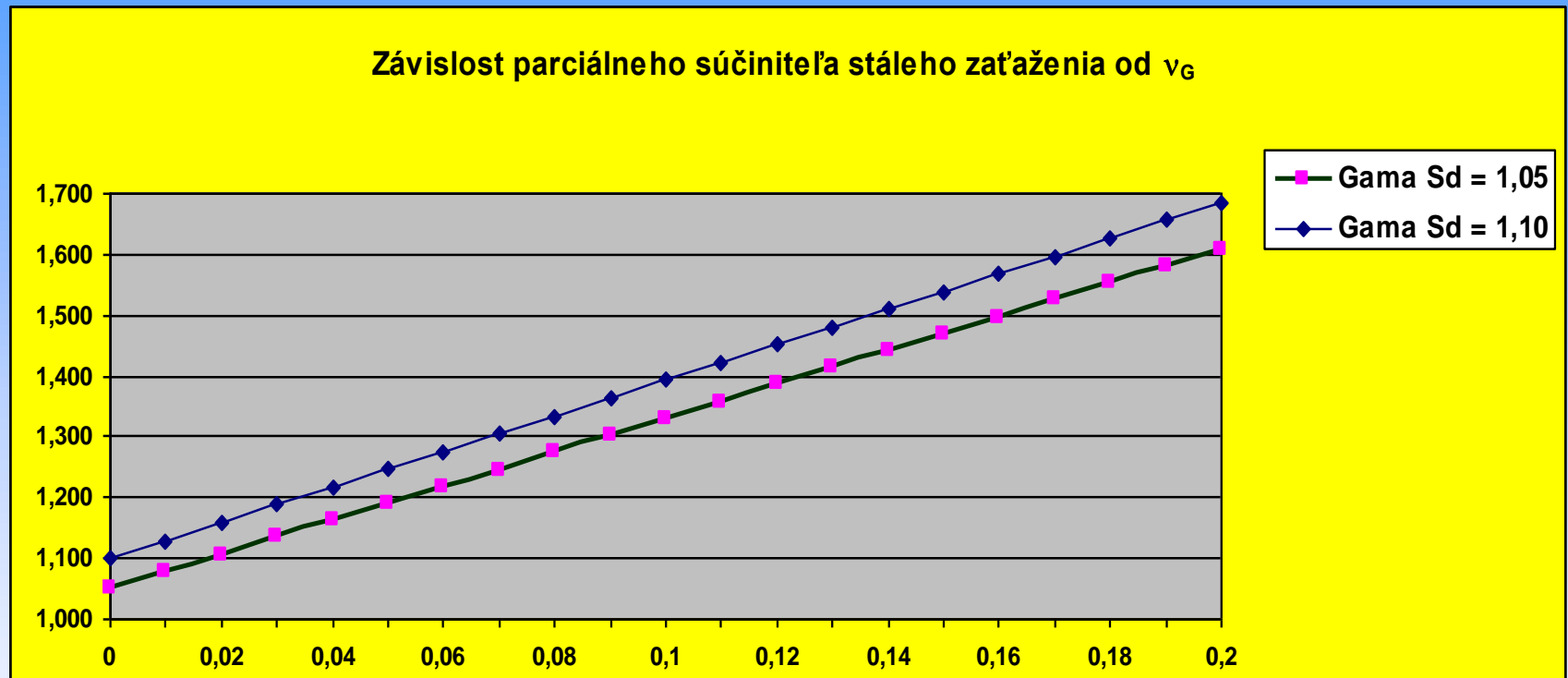
Pre normálne rozdelené stálego zaťaženie platí

$$G_d = \mu_G (1 + \alpha_E \beta_d v_G)$$

Ak charakteristickú hodnotu stálego zaťaženia deklaruujeme strednou hodnotou μ_G , potom pre parciálny súčiniteľ účinkov stálego zaťaženia platí

$$\gamma_G = \gamma_{Sd} (1 + \alpha_E \beta_d v_G) \quad \gamma_{Sd} = 1,05; 1,10$$

Príklad: Stanovenie hodnoty parciálneho súčiniteľa účinkov stálego zaťaženia



Pre praktické aplikácie v zmysle STN EN 1990 bola stanovená jednotná hodnota $\gamma_G = 1,35$, ktorá podľa obr. zodpovedá úrovni koeficientu variácie $v_G = 0,11$ - $\gamma_{Sd} = 1,05$ resp. $0,09$ - $\gamma_{Sd} = 1,05$.

Príklad : Stanovenie hodnoty parciálneho súčiniteľa účinkov premenného zaťaženia

Podľa STN EN 1990 sa premenné zaťaženia predpokladajú rozdelené podľa Gumbelovho rozdelenia. Pri tomto rozdelení sa charakteristická hodnota premenného zaťaženia Q_k stanoví zo vzťahu v tvare

$$Q_k = \mu_Q \left\{ 1 - \nu_Q \left[0,449 + 0,778 \ln(-\ln(0,98)) \right] \right\}$$

μ_Q je stredná hodnota premenného zaťaženia;
 ν_Q je koeficient variácie premenného zaťaženia.

Príklad: Stanovenie hodnoty parciálneho súčiniteľa účinkov premenného zaťaženia

Návrhová hodnota Q_d premenného zaťaženia sa definuje pre návrhovú životnosť T_d v tvare

$$Q_d = \mu_Q \left\{ 1 - v_Q \left[0,449 - 0,778\alpha_T \ln N + 0,778 \ln(-\ln \Phi(\alpha_E \beta_d)) \right] \right\}$$

N je pomer návrhovej životnosti a základného referenčného intervalu;

$\alpha_E = 0,7$ je citlivostný faktor;

α_T je citlivostný faktor pre pomer koeficientov variácie v_Q' / v_Q ;

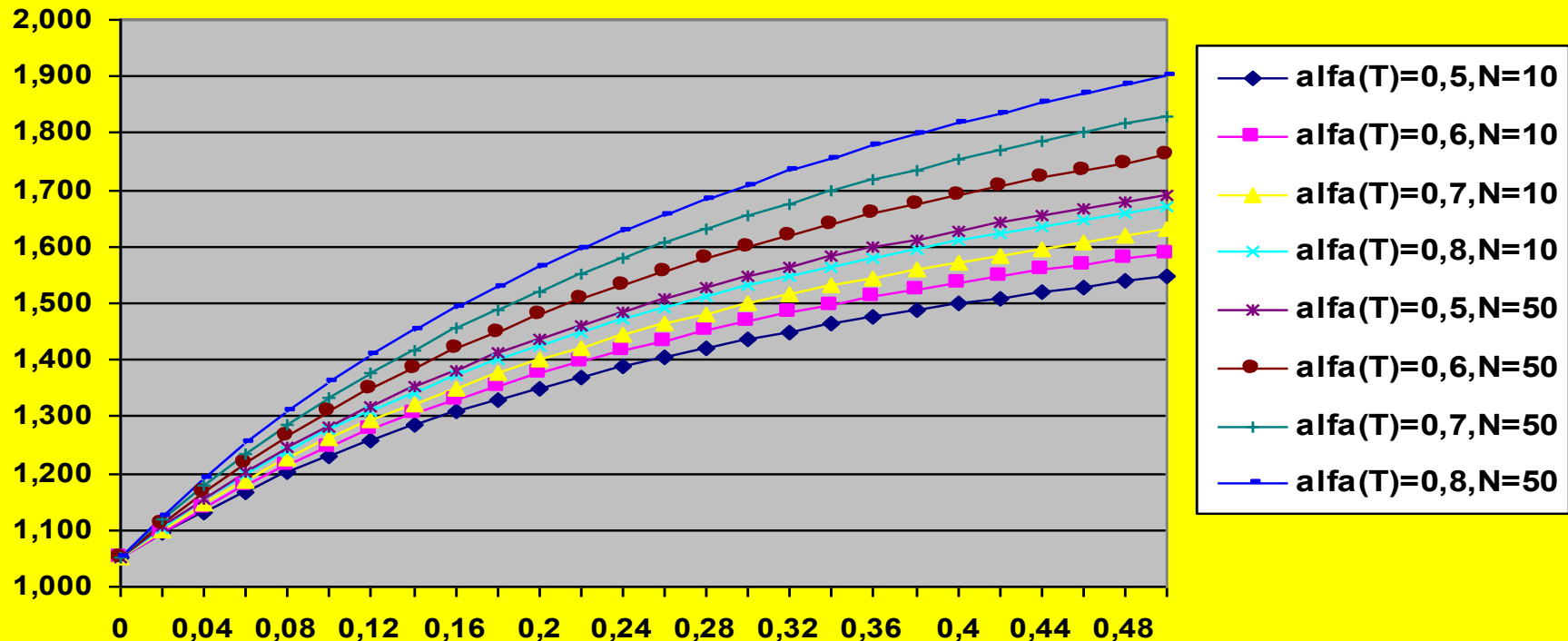
v_Q' je koeficient variácie časovo závislej zložky premenného zaťaženia Q ;

v_Q je koeficient variácie celého premenného zaťaženia Q .

Príklad : Stanovenie hodnoty parciálneho súčiniteľa účinkov premenného zaťaženia

$$\gamma_Q = \gamma_{Sd} \frac{Q_d}{Q_k} = 1,50 \text{ pre } \gamma_{Sd} = 1,05, \alpha(T)=0,7, \nu_Q = 0,20, N=50$$

Závislosť parciálneho súčiniteľa účinkov premenného zaťaženia od ν_Q a $\alpha(T)$



Návrhové situácie

Kritéria medzných stavov únosnosti a použiteľnosti musia byť splnené pre prípady všetkých možných zaťažení a environmentálnych vplyvov, ktoré počas životnosti na konštrukciu môžu pôsobiť. Pri navrhovaní podľa EC sa tento fakt vyjadruje pomocou návrhových situácií, ktoré sú definované nasledovne:

- ***Trvalé návrhové situácie*** zohľadňujúce normálne podmienky používania konštrukcií
- ***Dočasné návrhové situácie*** zohľadňujúce stavy konštrukcie pri jej zhotovovaní alebo rekonštrukciách apod.
- ***Mimoriadne návrhové situácie*** zohľadňujúce mimoriadne zaťaženia ako výbuchy, nárazy apod.
- ***Seismické návrhové situácie*** zohľadňujúce účinky zemetrasení.

Kombinácie zaťažení

Všeobecne sú účinky zaťažení E_d funkciou rôznych zaťažení pôsobiacich súčasne na stavebnú konštrukciu. Pravdepodobnosť ich súčasného pôsobenia sa v metóde parciálnych súčiniteľov vyjadruje pomocou pravidiel pre zostavovanie kombinácií zaťažení resp. ich účinkov.

Základný tvar kombinácie zaťažení pre medzné stavy únosnosti založený na hlavnom zaťažení

$$\sum_{j=1} g_{G,j} G_{k,j} + g_P P + g_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} g_{Q,i} \gamma_{o,i} Q_{k,i}$$

Pri preferencii sprievodných premenných zaťažení

$$\sum_{j=1} g_{G,j} G_{k,j} + g_P P + g_{Q,1} \gamma_{o,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} g_{Q,i} \gamma_{o,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j=1} x_j g_{G,j} G_{k,j} + g_P P + g_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} g_{Q,i} \gamma_{o,i} Q_{k,i}$$

Kombinácie zaťaženií

- G_{kj} je charakteristická hodnota účinkov stáleho zaťaženia;
- $\gamma_{G,j}$ je parciálny súčiniteľ účinkov stáleho zaťaženia;
- P je charakteristická hodnota zaťaženia predpätím;
- γ_P je parciálny súčiniteľ zaťaženia predpätím;
- $Q_{k,1}$ je charakteristická hodnota účinkov hlavného premenného zaťaženia;
- $Q_{k,i}$ je charakteristická hodnota účinkov i-tého sprievodného premenného zaťaženia;
- $\gamma_{Q,1}$ je parciálny súčiniteľ účinkov hlavného premenného zaťaženia;
- $\gamma_{Q,i}$ je parciálny súčiniteľ účinkov i-tého sprievodného premenného zaťaženia;
- $\psi_{o,1}$ je súčiniteľ kombinačnej hodnoty premenného zaťaženia;
- $\psi_{o,i}$ je súčiniteľ kombinačnej hodnoty i-tého sprievodného premenného zaťaženia;
- ξ je redukčný faktor.

Kombinácie zaťažení

Pre medzné stavy použiteľnosti

– charakteristická kombinácia zaťažení

$$\sum_{j=1}^n G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} y_{0,i} Q_{k,i}$$

– častá kombinácia zaťažení

$$\sum_{j=1}^n G_{k,j} + P + y_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} y_{2,i} Q_{k,i}$$

– kvázistála kombinácia zaťažení

$$\sum_{j=1}^n G_{k,j} + P + \sum_{i>1} y_{2,i} Q_{k,i}$$

Kombinácie zaťažení

- $\psi_{1,1}$ je súčiniteľ častej hodnoty premenného zaťaženia,
- $\psi_{2,i}$ je súčiniteľ kvázistálej hodnoty i-tého sprievodného premenného zaťaženia,

Návrhová životnosť budov

Kategória návrhovej životnosti	Indikatívna návrhová životnosť (roky)	Príklady
1	10	dočasné konštrukcie⁽¹⁾
2	10 až 25	vymeniteľné konštrukčné časti, napr. žeriavové dráhy, ložiská
3	15 až 30	poľnohospodárske a podobné konštrukcie
4	50	konštrukcie budov a iných všeobecných stavieb
5	100	monumentálne stavby, mosty a iné inžinierske konštrukcie

(1) Konštrukcie alebo časti konštrukcií, ktoré môžu byť demontované, so zámerom opätovného použitia, sa nemajú uvažovať ako dočasné.

Trvanlivosť

Pre dosiahnutie adekvátnej trvanlivosti ocelových konštrukcií je potrebné zohľadniť:

- **predpokladané použitie konštrukcie;**
- **požadované návrhové kritéria;**
- **predpokladané environmentálne podmienky;**
- **zloženie, vlastnosti a realizáciu materiálov a výrobkov;**
- **vlastnosti zemín;**
- **voľbu konštrukčného systému;**
- **tvár prvkov a detailov;**
- **kvalitu spracovania a úroveň kontroly;**
- **príslušné ochranné opatrenia;**
- **uvažovanú údržbu počas návrhovej životnosti.**

Materiály

Materiál ovplyvňuje rozmery prierezov a prvkov ocelových konštrukcií a tým aj koncepčné riešenie konštrukcie, a preto je jeho správna voľba dôležitá z hľadiska spoľahlivého a hospodárneho návrhu.

Kvalita konštrukčných ocelí je daná ich mechanickými, fyzikálnymi a technologickými vlastnosťami, ktoré sú dané chemickým zložením, štruktúrou, spôsobom výroby a druhom tepelného spracovania ocelí.

Pri návrhu ako novej konštrukcie ako aj posúdení existujúcej konštrukcie sa požaduje znalosť základných vlastností materiálu – hodnota medze klzu a medze pevnosti oceli.

Materiály

Rozvoj výstavby ocelových konštrukcií výrazne ovplyvnila priemyselná výroba kovov po roku 1785, a to najmä sivej liatiny a kujného železa (tzv. zvrkové železo). V 19. storočí sa začína presadzovať výroba železa v tekutom stave v podobe tzv. plávkového železa rôznymi technológiami ako boli tégl'ová ocel – firma Krupp (1811), Bessemerova ocel (1855), Siemens-Martinova ocel (1865), Thomasova ocel (1878).

Plávkove železo má vhodnejšie mechanické vlastnosti ako zvrkové železo, a to v pozdĺžnom aj priečnom smere valcovaní.

Norma ČSN 1016 z roku 1926 zaviedla po prvý raz jednotný názov ocel' pre všetky kujné železá vyrábané v tekutom stave.

Materiály

Vývoj akostí ocelí sa premietol do hodnôt dovolených namáhání ocelí na stavbu ocelových konštrukcií. Hodnoty dovolených namáhání materiálov na ocelové konštrukcie ovplyvnilo *Nariadenie* vydané v roku 1904 vo Viedni, ktoré bolo preložené a vydané v Prahe v roku 1911. Obsahuje prvý ucelený prehľad o dovolených namáhaniach kovových materiálov používaných najmä na stavbu mostov.

Ďalšie skvalitňovanie plávkového železa sa prejavilo v spresnených hodnotách dovolených namáhání a vyústilo do vydania dekrétov na úpravu dovolených namáhání pre železničné mosty v rokoch 1915 a 1921. Tento postup sa používal až do roku 1937.

Materiály

V roku 1937 boli zavedené prvé čsl. normy, ktoré udávali hodnoty dovolených namáhání ocelí. Normy platili až do roku 1950, kedy boli nahradené novými, ktoré sa už viac špecifikovali na problematiku hodnôt dovolených namáhání ocelí.

Spôsob namáhania		Dovolené namáhania (MPa)	
		Pri hlavnom zat'ažení	Pri celkovom zat'ažení
Ocel C 37	Ťah, tlak	130	150
	Šmyk	100	120
Ocel C 52	Ťah, tlak	195	225
	Šmyk	150	180

Materiály

V roku 1972 sa pri navrhovaní ocelových konštrukcií prešlo na metodiku medzných stavov, resp. parciálnych súčiniteľov a hodnoty dovolených namáhání stratili pôvodný význam.

Od tohto obdobia sa nominálne hodnoty medze klzu f_y a medze pevnosti f_u pre konštrukčné ocele sa získavajú:

- prevzatím hodnôt $f_y = R_{eH}$ a $f_u = R_m$ priamo z normy pre výrobky;
- použitím hodnôt definovaných normami navrhovania ocelových konštrukcií, teraz z tab. 3.1 v STN EN 1993-1-1.

Materiály

Norma a pevnostná trieda ocele	Nominálna hrúbka prvku t v mm			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025 -2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025 -3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025 -4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025 -5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025 -6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Druhy a značenie konštrukčných ocelí

Označenie konštrukčnej oceli vyrábanej podľa STN EN 10025-2 obsahuje:

- číslo normy, t.j. STN EN 10025-2;
- značku alebo číslo materiálu, ktorá sa skladá
 - z písmena,
 - z číslice určujúcej min. hodnotu medze klzu ocele,
 - z označenia stupňa kvality – nárazová práca K_V ,
 - prípadne z písmena C pri vhodnosti ocele na zvláštne účely použitia,
- údaj +N (normalizačne valcované) alebo +AR(valcované - as rolled), ak sú výrobky objednané a dodané v stave normalizačne valcovanom alebo valcovanom.

EN 10025-2-S355J0C+N

Druhy a značenie konštrukčných ocelí

Konštrukčné ocele vyrábané podľa normy STN EN 10025-3 sú označované ako normalizačne žíhané alebo normalizačne valcované zvariteľné jemnozrnné ocele s veľkosťou feritického zrna ≥ 6 . Normalizačné valcovanie predstavuje spôsob valcovania, ktorý vedie k stavu rovnocennému ako po normalizačnom žíhaní materiálu.

Norma sa týka ocelí S275, S355, S420 a S460.

Označenie obsahuje:

- číslo normy, t.j. STN EN 10025-3;
- značku alebo číslo materiálu, ktorá sa skladá
 - z písmena,
 - z číslice určujúcej min. hodnotu medze klzu ocele,
 - z písmena N označujúceho stav pri dodaní
 - z písmena L pri stupni kvality so stanovenou min. hodnotou nárazovej práce pri $T=-50^{\circ}\text{C}$.

Druhy a značenie konštrukčných ocelí

Konštrukčné ocele vyrábané podľa normy STN EN 10025-4 sú označované ako termomechanicky valcované zvariteľné jemnozrnné ocele. Ide o spôsob valcovania s konečným tvárnením v určenom rozsahu teplôt vedúcim k stavu materiálu, ktorý sa nedá dosiahnuť tepelným spracovaním. Norma sa týka ocelí S275, S355, S420 a S460.

Označenie obsahuje:

- číslo normy, t.j. STN EN 10025-4;
- značku alebo číslo materiálu, ktorá sa skladá
 - z písmena,
 - z číslice určujúcej min. hodnotu medze klzu ocele,
 - z písmena M označujúceho stav pri dodaní,
 - z písmena L pri stupni kvality so stanovenou min. hodnotou nárazovej práce pri $T=-50^{\circ}\text{C}$.

Druhy a značenie konštrukčných ocelí

Konštrukčné ocele vyrábané podľa normy STN EN 10025-5 sú označované ako konštrukčné ocele so zvýšenou odolnosťou proti atmosferickej korózii.

Označenie tohto typu konštrukčnej oceli obsahuje:

- číslo normy, t.j. STN EN 10025-5;
- značku alebo číslo materiálu, ktorá sa skladá
 - z písmena,
 - z číslice určujúcej min. hodnotu medze klzu ocele,
 - z označenia stupňa kvality – nárazová práca K_V ,
 - z písmena W na označenie odolnosti proti atmosferickej korózii,
- údaj +N (normalizačne valcované) alebo +AR(valcované - as rolled), ak sú výrobky objednané a dodané v stave normalizačne valcovanom alebo valcovanom.

Druhy a značenie konštrukčných ocelí

Tab. Stupne kvality konštrukčných ocelí

Nárazová práca (J)			Teplota skúšania
27 J	40 J	63 J	°C
JR	KR	LR	+ 20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	- 20
J3	K3	L3	- 30
J4	K4	L4	- 40
J5	K5	L5	- 50
J6	K6	L6	- 60

Druhy a značenie konštrukčných ocelí

Tab. Označovanie konštrukčných ocelí pre zvarané konštrukcie

Označenie ocelí				Poznámka
STN EN	EN	STN		
10025-2	10025+A1	42 0002		
S 235	S 235JR	S 235JRG2	11 375	uhlíkatá, upokojená
	S 235J0	S 235J0	11 378	uhlíkatá, upokojená, jemnozrnná
	S 235J2	S 235J2G4	11 378	
S 275	S 275JR	S 275JR	11 443	nizkolegované
	S 275J0	S 275J0	11 448	
	S 275J2	S 275J2G4	11 449	
S 355	S 355J0	S 355J0	11 523	nizkolegované
	S 355J2	S 355J2G4	11 503	
	S 355J0WP	S 355J0WP	15 127	so zvýšenou odolnosťou proti atmosferickej korózii
	S 355J2W	S 355J2G2W	15 127	

Požiadavky na ťažnosť ocele

Konštrukčná oceľ musí umožniť rozvoj lokálnej plastickej deformácie bez porušenia, a preto musí spĺňať príslušné kritéria duktility.

STN EN 1993-1-1 predpisuje nasledovné požiadavky na duktilitu konštrukčných ocelí:

- pomer $f_u / f_y = 1,15$, kde f_u je špecifikovaná minimálna pevnosť v ťahu a f_y je špecifikovaná minimálna medza klzu;
- predĺženie pri porušení na mernej dĺžke $5,65 \sqrt{A_0} \geq 15\%$ (pričom A_0 je pôvodná prierezová plocha);
- medzná pomerná deformácia $\varepsilon_u \geq 15 \varepsilon_y$, kde ε_u zodpovedá medzi pevnosti f_u .

Požiadavky na húževnatosť ocele

Na nosné konštrukčné detaily je dovolené použiť len ocele so zaručenou rázovou (vrubovou) húževnatosťou definovanou príslušnou hodnotou nárazovej práce $A_V(T)$ (J) pri stanovenej skúšobnej teplote T – hodnota K_V .

Z hľadiska vrubovej húževnatosti sa pre ocele S235 a S 275 odporúčajú akostné stupne J0 a J2, respektíve J0 až K2 v prípade ocelí S355. Ocele so stupňom kvality JR sa odporúčajú na použitie v nezváraných konštrukciách.

Pre dynamicky namáhané konštrukcie sa majú používať zvariteľné jemnozrnné ocele S235J2, S355J0, S355J2, prípadne ocele odolné proti atmosferickej korózii S355J0W, S355J2W.

Ocele s akostným stupňom JR sa neodporúčajú používať v dynamicky namáhaných konštrukciách.

Požiadavky na húževnatosť ocele

Z hľadiska lomovej húževnatosti, ktorá sa deklaruje ako základný indikátor odolnosti proti krehkému lomu, sa volí druh konštrukčnej ocele v závislosti od:

- vlastností ocele, t.j. medze klzu a kvality razovej (vrubovej) húževnatosti vyjadrenej podmienkou T_{27J} alebo T_{40J} ;
- charakteristík konštrukčných častí, t.j. ich tvaru a typu detailov, koncentrácie napätí podľa detailov v STN EN 1993-1-9, hrúbky konštrukčných prvkov, predpokladaných výrobných defektov apod.;
- návrhových podmienok, t.j. návrhovej hodnoty najnižšej teploty konštrukčnej časti, maximálneho napätia, zvyškového napätia, predpokladu rastu trhliny od únavového zaťaženia, rýchlosti deformácie z náhodných zaťažení, stupňa tvárnenia za studena.

Požiadavky na húževnatosť ocele

Maximálne prípustné hrúbky materiálu z hľadiska lomovej húževnatosti v závislosti od kvality konštrukčnej ocele, hodnoty nárazovej práce, referenčnej teploty a referenčného napätia sú uvedené v STN EN 1993-1-10 v tab. 2.1.

Maximálne prípustné hodnoty hrúbok konštrukčných prvkov sú tu uvedené z hľadiska troch úrovní napätí vyjadrených ako pomery nominálnej medze klzu:

$$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t),$$

$$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t),$$

$$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t), \text{ pričom}$$

$$t_0 = 1,0 \text{ mm}$$

$$f_y(t) = f_{y,nom} - 0,25 \frac{t}{t_0}$$

Požiadavky na húževnatosť ocele

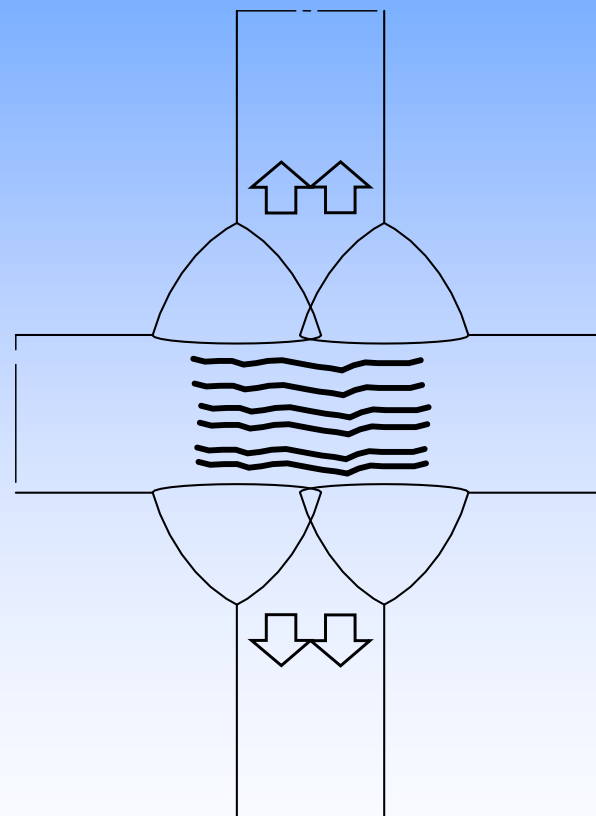
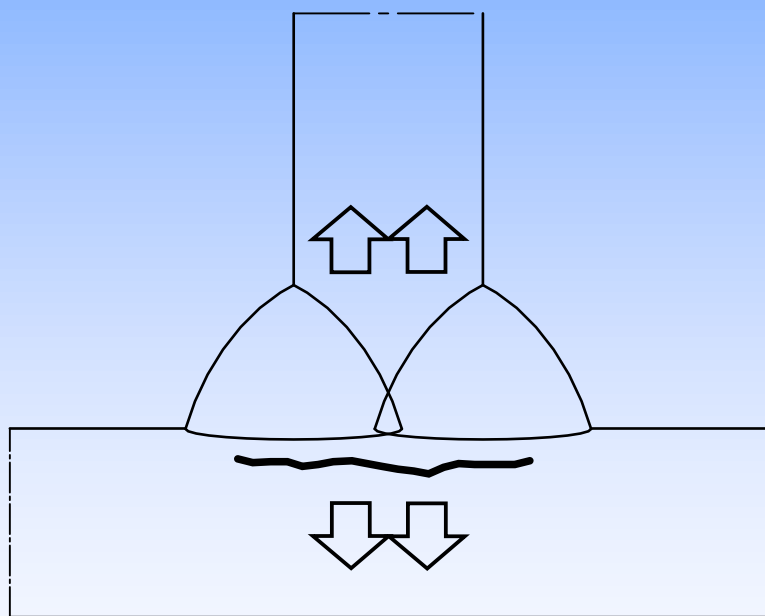
Lamelárne porušenie sa objavuje pri namáhaní v smere hrúbky prvku. Môže vzniknúť pri zvarovaní alebo hneď po ňom - lamelárna praskavosť, alebo neskôr následkom zmrašťovania časti prvku, prípadne pri prevádzke pôsobením premenného opakujúceho sa zaťaženia.

Hlavné riziko lamelárneho porušenia je najmä pri krížových spojoch a spojoch T realizovaných pomocou kútových zvarov a zvarov s úplným prievarom.

Príčinou tohto porušenia je nízka ťažnosť materiálu v smere jeho hrúbky alebo pomerné pretvorenie v smere kolmom k povrchu.

Náchylnosť materiálu na toto porušenie treba stanoviť meraním kvality ťažnosti v smere hrúbky podľa STN EN 10164, ktorá je vyjadrená z hľadiska akostných tried ocelí a je identifikovaná pomocou hodnôt Z.

Požiadavky na húževnatosť ocele



Požiadavky na húževnatosť ocele

Overovaní odolnosti prvku proti lamelárnemu porušeniu sa robí podľa vzťahu:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$$

Požadovaná návrhová hodnota Z_{Ed} sa stanoví podľa tab. 3.2 v STN EN 1993-1-10 v závislosti od hĺbky závaru, polohy zvaru, hrúbky spájaných a tuhosti uzla.

V prípade, ak $Z_{Ed} \leq 10$, nie je potrebné požadovať zlepšené vlastnosti materiálu kolmo na jeho povrch. Ak je potrebná vyššia hodnota Z_{Ed} , je nutné stanoviť požadovanú kvalitu ocele podľa STN EN 1993-1-10 v zmysle STN EN 10164. Podľa tejto normy sa rozlišujú tri triedy kvality ocelových materiálov, ktoré sú označené ako Z15, Z25 a Z35.