

# KLASIFIKÁCIA ZAŤAŽENÍ KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ

Prednášajúci: Ing. Richard Hlinka, PhD.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Vzdelávanie pre projekt „Podpora kvality vzdelávania a výskumu pre oblasť dopravy ako motora ekonomiky“ (ITMS: 26110230076), ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho sociálneho fondu.



**Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ**

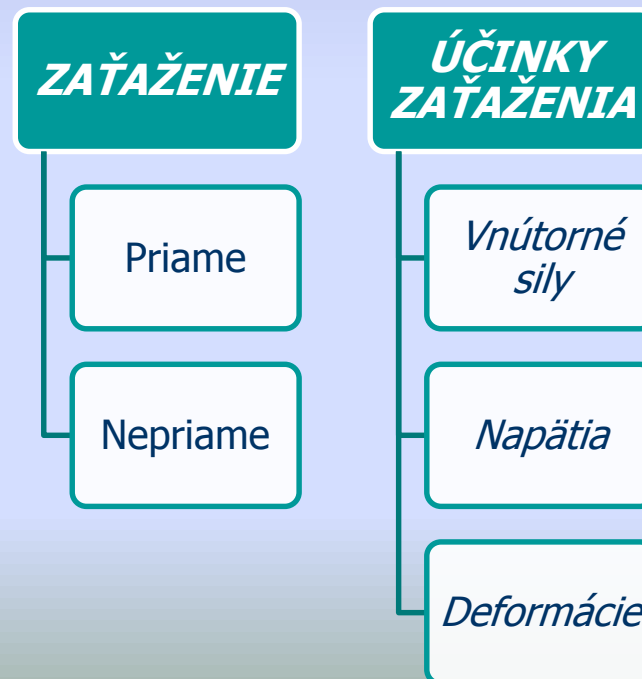
# Úvod

Zásady spoľahlivosti v Eurokódoch sú založené na malej pravdepodobnosti prekročenia medzných stavov. Tieto medzné stavy (matematické funkcie) sú definované základnými premennými:

- zaťaženie
- odolnosť
- geometrické údaje



náhodné veličiny  
(základné premenné)



# Zdroje zat'azeni

Najvýznamnejším zdrojom zat'azenia je **gravitácia**, ktorá sa prejavuje sústredenými alebo spojitými silami, ktorých veľkosť odpovedá tiaži jednotlivých prvkov. Prvým zat'azením, s ktorým sa konštrukcia musí vysporiadať je **vlastná tiaž**.

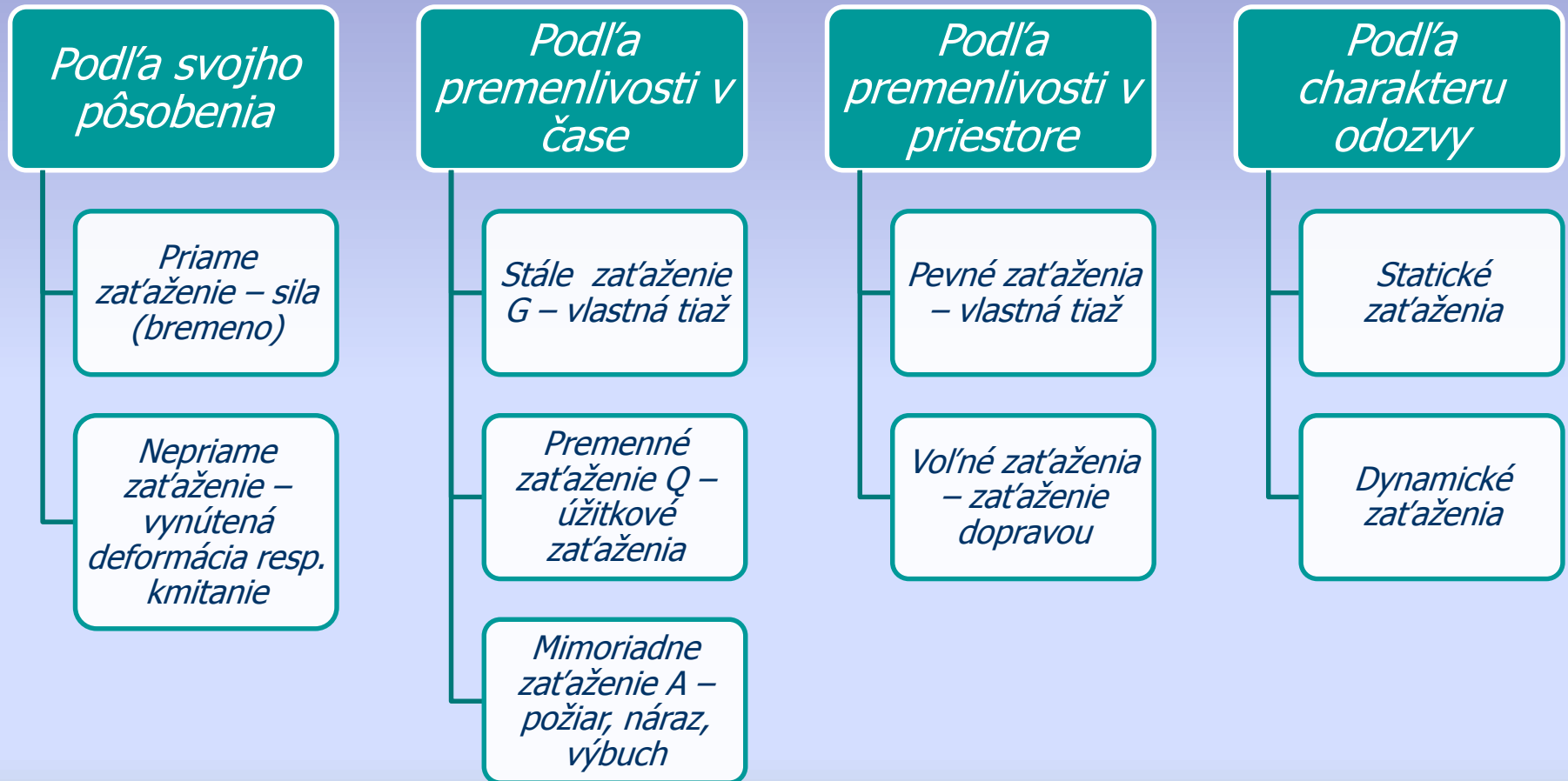
Stavebné diela sa budujú pre určitý účel, ktorý potom definuje ďalšie tzv. **úžitkové zat'azenia**. Sú to napr. tiaž ľudí, nábytku, zariadení, skladovaného materiálu, ale aj účinky dopravy.

Ďalším zdrojom zat'azeni sú **klimatické podmienky**, ktoré závisia od lokality, konfigurácie terénu, zastavanosti okolia a pod. Patria sem tlak vetra, tiaž snehu a námrazy a ďalšie.

Napätosť konštrukcie sa však môže meniť nielen vplyvom vonkajších síl, ale aj vplyvom vynútených deformácií spôsobených zmenou teploty, zmrašťovaním betónu, poklesom podpery, predpätím ap.

Posledná skupina sú zat'azenia, ktoré sa v praxi bežne nevyskytujú, sú to tzv. **mimoriadne zat'azenia** - nárazy áut resp. lodí, požiar alebo výbuch, zemetrasenie, ...

# Rozdelenie zaťaženia



# Podľa svojho pôsobenia

- Priame zaťaženie - sily aplikované priamo na konštrukciu, napr. vlastná tiaž konštrukcie, tiaž nenosných prvkov, zemný tlak, tlak vetra, tlak vody, predpätie a pod.
- Nepriame zaťaženie - vynútené deformácie alebo zrýchlenia spôsobené napr. zmenami teploty, premenlivou vlhkosťou, nerovnomerným sadaním, zemetrasením,...

# Podľa premenlivosti v čase

Klasifikujú sa na základe doby, ktorú pôsobia:

- **Stále zaťaženia (G)** - zaťaženie, ktoré pôsobí v referenčnom čase a pre ktoré je zmena veľkosti v čase zanedbateľná. Ak nastáva zmena, tak vždy v rovnakom smere (monotónna zmena). Patrí sem vlastná tiaž konštrukcie a pevných zariadení, nepriame zaťaženia vyvolané napríklad nerovnomerných sadaním,...
- **Premenné zaťaženia (Q)** - zaťaženie, pre ktoré nie je zmena zanedbateľná ani monotónna. Patria sem napr. užitné zaťaženie podláh v budovách, nosníkov a striech a hlavne klimatické zaťaženia
- **Mimoriadne zaťaženia (A)** - zaťaženia obvykle krátkeho trvania s nepravidelným výskytom a významnou veľkosťou. Vo svojich dôsledkoch môžu byť katastrofické - zemetrasenie, požiar, výbuch, náraz,...

# Podľa premenlivosti v čase

Doba pôsobenia zaťaženia je čas použitý na základné statické hodnotenie zaťaženia a časovo premennej odolnosti. Celkový čas, počas ktorého na konštrukciu pôsobí zaťaženie je rozdelený do niekoľkých **referenčných období**. Obdobia môžu mať rovnakú ale aj rozdielnu dĺžku. V rámci jedného referenčného obdobia sa zaťaženie mení v približne podobnom vzore - môže byť použitá nezávislá identická distribučná funkcia pre zaťaženie. Dĺžka referenčného obdobia závisí od druhu zaťaženia:

- klimatické zaťaženia - sneh, vietor - perióda je 1 rok
- úžitkové zaťaženia - zaťaženie podlahy v budove - perióda odpovedá zmene užívania budovy resp. zmene vlastníka budovy (5 až 10 rokov)
- stále zaťaženia - periódou je vo väčšine prípadoch celá doba životnosti
- niektoré mimoriadne zaťaženia môžu byť uvažované v niektorých lokalitách za zaťaženia premenné, nakoľko je tam zvýšený výskyt takéhoto druhu zaťaženia (napr. zemetrasenia v Japonsku, Kalifornii,...)

# Podľa premenlivosti v priestore

- **Pevné zaťaženie** - zaťaženie, ktoré má pevné usporiadanie na konštrukcii. Jeho veľkosť a smer sú jednoznačne určené počas celej návrhovej životnosti konštrukcie.
- **Voľné zaťaženie** - zaťaženie, ktoré môže mať ľubovoľné priestorové usporiadanie na konštrukcii v rámci daných pravidiel. Napr. zaťaženie od dopravy na moste.



# Podľa charakteru odozvy

- **Statické zaťaženie** - zaťaženie, ktoré nespôsobuje významné zrýchlenie konštrukcie,
- **Dynamické zaťaženie** - zaťaženie, ktoré spôsobuje významné zrýchlenie konštrukcie. Vo väčšine prípadov je možné dynamické účinky nahradiť kvázi-statickým zaťažením a jeho prenasobením tzv. dynamickým súčiniteľom. Medzi tieto zaťaženia patria napr. zaťaženie mostov dopravou, zaťaženie vyvolané strojmi, dynamická zložka zaťaženia vetrom, zemetrasenie,...

# Charakteristické hodnoty zaťaženia

Charakteristická hodnota je hlavným kvantitatívnym ukazovateľom zaťaženia. Charakteristická hodnota zaťaženia  $F_k$  je stanovená:

- v technickom predpise (norme) priemerom, hornou a dolnou hodnotou, príp. nominálnou hodnotou (nie je vzťahnutá ku žiadnemu štatistickému rozdeleniu)
- v projekte, za predpokladu dodržanie platných predpisov

Charakteristická hodnota stáleho zaťaženia  $G$  je stanovená podľa nasledujúcich zásad:

- ak je variabilita zaťaženia  $G$  malá, použije sa jedna hodnota  $G_k$  (priemerná hodnota)
- ak nie je variabilita zaťaženia  $G$  malá, použije sa horná hodnota  $G_{k,sup}$  (0,95 kvantil štatistického rozdelenia  $G$ ) a dolná hodnota  $G_{k,inf}$  (0,05 kvantil)

**Charakteristická hodnota premenného zaťaženia  $Q$  odpovedá:**

- hornej hodnote, ktorá nebude prekročená alebo dolnej hodnote, ktorá nebude s očakávanou pravdepodobnosťou prekročená počas referenčnej periódy
- nominálnej hodnote v prípadoch, keď nie je známe štatistické rozdelenie

Pre charakteristické hodnoty klimatických zaťažení (sneh, vietor) je zvolená ročná referenčná perióda s pravdepodobnosťou 0,02. To znamená, že perióda opakovania je 50 rokov.

Charakteristické hodnoty mimoriadneho zaťaženia  $A_k$  je uvedená v STN EN 1991-1-2 a STN EN 1991-1-7.

# Reprezentatívne hodnoty zaťaženia

Pri výpočte konštrukcií sa u premenných zaťažení okrem charakteristických hodnôt uvažujú ešte ďalšie tri reprezentatívne hodnoty:

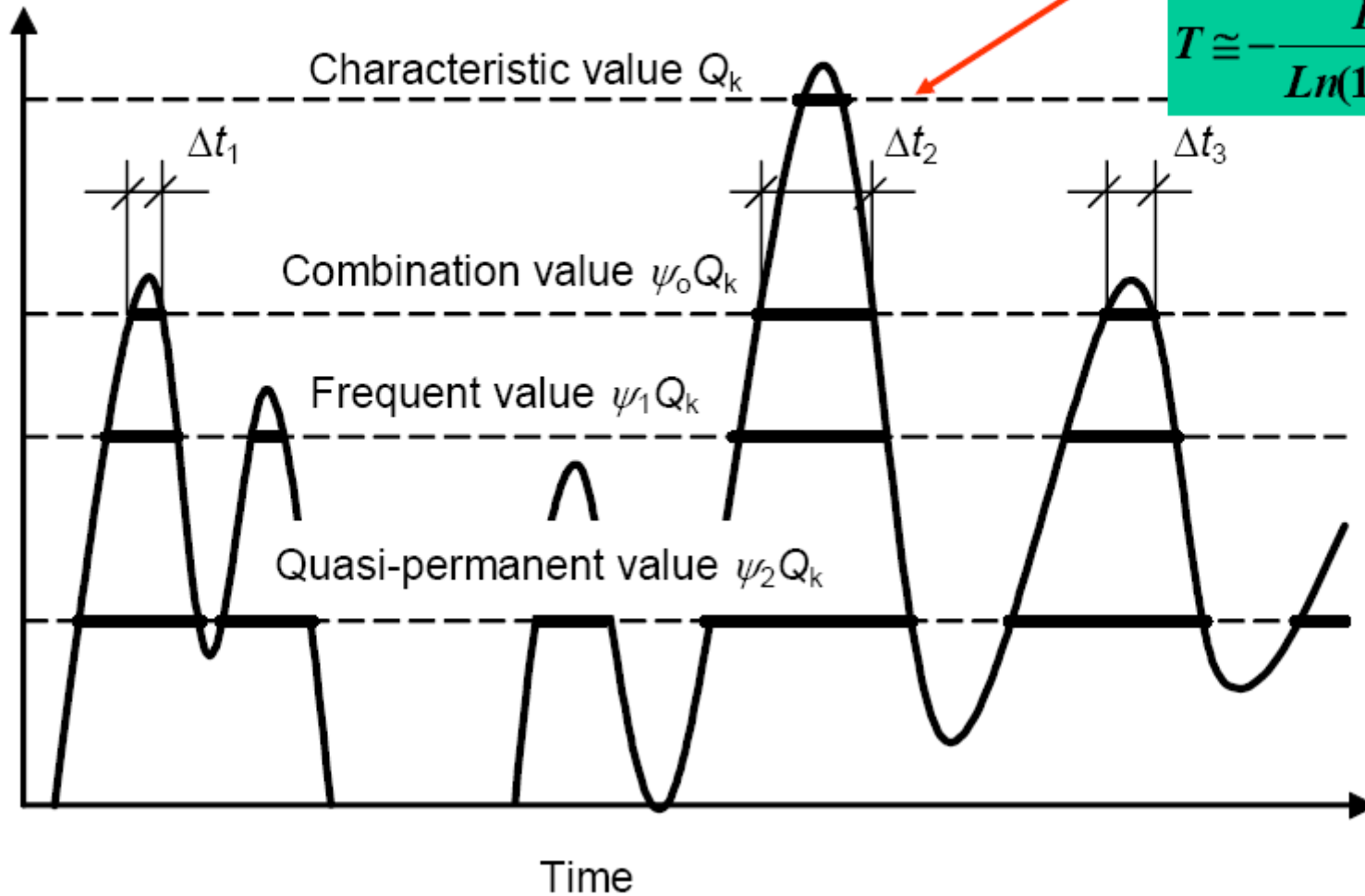
- kombinačná hodnota  $\psi_0 Q_k$  sa používa pri overovaní medzných stavov únosnosti a nevratných medzných stavov používateľnosti. Súčiniteľ kombinácie zohľadňuje skutočnosť, že pravdepodobnosť výskytu viacerých nezávislých premenných zaťažení je nižšia ako pre jedno zaťaženie,
- častá hodnota  $\psi_1 Q_k$  sa používa pri overovaní medzných stavov únosnosti, v ktorých sa uplatňuje mimoriadne zaťaženie a pri overovaní vratných medzných stavoch používateľnosti,
- kvázistála hodnota  $\psi_2 Q_k$  sa používa pri overovaní medzných stavov únosnosti, v ktorých sa uplatňuje mimoriadne zaťaženie a pri overovaní vratných medzných stavoch používateľnosti a dlhodobých účinkov.

# Variable actions

Instantaneous value of  $Q$

Return period

$$T \cong -\frac{R}{\text{Ln}(1-p)} \cong \frac{R}{p}$$



# Návrhové hodnoty zaťaženia

Návrhové hodnoty zaťaženia  $F_d$  sa vyjadrujú na základe reprezentatívnych hodnôt  $F_{rep}$  vzt'ahom:

$$F_d = \gamma_f F_{rep}$$

- $\gamma_f$  je parciálny súčiniteľ zaťaženia. Zohľadňuje nepriaznivé odchýlky zaťaženia od reprezentatívnych hodnôt
- Pri stálych a mimoriadnych zaťaženiach sú reprezentatívnymi hodnotami charakteristické hodnoty

# Návrhové hodnoty vlastností materiálov

Vlastnosti materiálov a výrobkov sú popísané charakteristickými hodnotami, ktoré nebudú s predpísanou pravdepodobnosťou prekročené. Charakteristická hodnota určitej vlastnosti zodpovedá stanovenému kvantilu (obvykle s pravdepodobnosťou 0,05) štatistického rozdelenia tejto vlastnosti.

Materiálové vlastnosti sa stanovujú z materiálových skúšok. Pevnosť materiálu môže mať dve základné charakteristické hodnoty: dolnú a hornú.

Návrhová hodnota vlastnosti materiálu sa stanoví zo vzťahu:

$$X_d = \eta X_k / \gamma_m$$

- $\gamma_m$  je parciálny súčiniteľ vlastnosti materiálu
- $\eta$  je prevodný súčiniteľ vystihujúci účinok doby trvania zaťaženia, vplyv objemu a rozmerov, účinky vlhkosti, teploty, atď.

# Návrhové hodnoty geometrických údajov

Geometrické údaje sú popísané charakteristickými hodnotami geometrických veličín, pri imperfekciách priamo návrhovými hodnotami týchto odchýlok. Charakteristické hodnoty geometrických veličín sú priamo rozmery uvedené v projekte.

$$a_d = a_{\text{nom}}$$

Normy uvádzajú aj maximálne možné tolerancie nosných prvkov. V prípade, keď majú odchýlky geometrických rozmerov významný vplyv na spoľahlivosť konštrukcie (napr. nepresnosť polohy zaťaženia), sú návrhové hodnoty geometrických údajov definované vzťahom:

$$a_d = a_{\text{nom}} \pm \Delta a$$



# Návrhové hodnoty odolnosti

Pri stanovení návrhovej odolnosti (únosnosti) sa použijú návrhové hodnoty materiálových vlastností, geometrických údajov a účinkov zaťaženia:

$$\mathbf{R}_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \mathbf{R} \left\{ \mathbf{X}_{d,i}; \mathbf{a}_d \right\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \mathbf{R} \left\{ \eta_i \frac{\mathbf{X}_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; \mathbf{a}_d \right\} \quad i \geq 1$$

$\mathbf{X}_{d,i}; \mathbf{a}_d$  sú návrhové hodnoty vlastnosti materiálov a geometrických údajov  
 $\gamma_{Rd}$  je parciálny súčiniteľ pre neistoty modelu

Zjednodušené: 
$$\mathbf{R}_d = \mathbf{R} \left\{ \eta_i \frac{\mathbf{X}_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; \mathbf{a}_d \right\} \quad i \geq 1$$

$$\mathbf{R}_d = \frac{\mathbf{R}_k}{\gamma_M}$$

# Návrhové hodnoty účinkov zaťaženia

Účinky zaťaženia  $E$  sú výsledné hodnoty odozvy konštrukcie na pôsobenie zaťaženia. Návrhové účinky sa stanovujú zo vzťahu:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \left\{ \gamma_{f,i} F_{rep,i}; a_d \right\} \quad i \geq 1$$

$a_d$  je návrhová hodnota geometrického údaju,  
 $\gamma_{Sd}$  súčiniteľ, ktorým sa zohľadňujú neistoty modelov účinkov zaťaženia a neistoty modelov zaťaženia

Zjednodušené:

$$E_d = E \left\{ \gamma_{F,i} F_{rep,i}; a_d \right\} \quad i \geq 1$$

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

# Kombinácie zaťaženia pre MSÚ

Pre správne stanovenie kombinácie je potrebné stanoviť hlavné (dominantné) premenné zaťaženie a vedľajšie premenné zaťaženia. Hlavné premenné zaťaženie je také, ktoré vyvoláva u overovaného prierezu alebo nosného prvku najväčší účinok (silu, moment,...). Hlavným premenným zaťažením môže byť pre každý prierez iné premenné zaťaženie. Ak nie je zrejmé, ktoré z premenných zaťažení je hlavným, je potrebné postupne uvažovať za hlavné premenné zaťaženie každé jedno premenné zaťaženie.

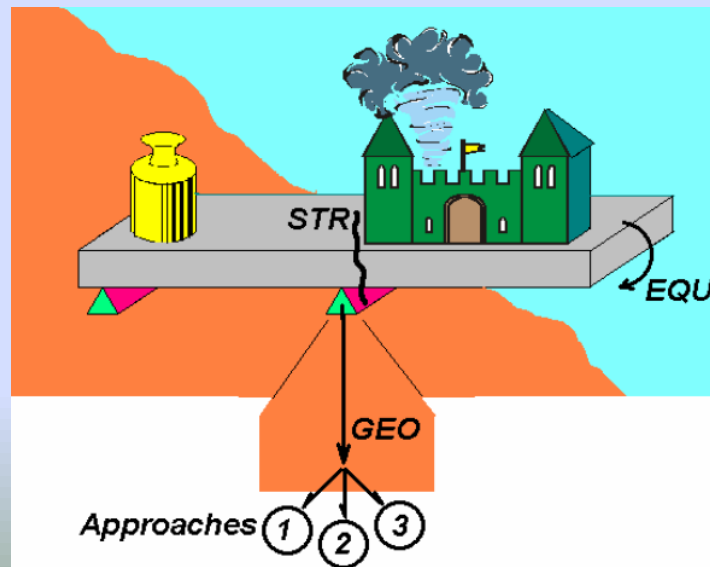
Návrhové situácie rozdeľujeme do troch skupín:

- trvalé a dočasné návrhové situácie,
- mimoriadne návrhové situácie a
- seizmické návrhové situácie.

# Medzné stavy únosnosti

Sú rozdelené do štyroch skupín:

- EQU - medzné stavy statickej rovnováhy,
- STR - medzné stavy nadmerného pretvorenia konštrukcie,
- GEO - medzné stavy porušenia pretvorením podložia
- FAT - medzné stavy porušenia opakovaným namáhaním



# Medzné stavy únosnosti



# Trvalé a dočasné návrhové situácie

- návrhové hodnoty stálych zaťažení
- návrhová hodnota hlavného premenného zaťaženia
- kombinácia návrhových hodnôt vedľajšieho premenného zaťaženia

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$
$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$\xi$  je redukčný súčiniteľ pre nepriaznivé stále zaťaženia

# Mimoriadne návrhové situácie

- návrhové hodnoty stálych zaťažení
- návrhová hodnota mimoriadneho zaťaženia (ako hlavné premenné zaťaženie)
- častá alebo kvázistála hodnota najúčinnšieho vedľajšieho zaťaženia
- kvázistále hodnoty ostatných vedľajších premenných zaťažení

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + (\psi_{1,1} \text{ resp. } \psi_{1,2}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$\psi_{1,1}$  resp.  $\psi_{1,2}$  voľba závisí na type návrhovej situácie (požiar, náraz,...)

# Seizmické návrhové situácie

- charakteristické hodnoty stálych zat'azení
- návrhová hodnota seizmického zat'azenia (ako hlavné premenné zat'azenie)
- kvázistále hodnoty vedľajších premenných zat'azení

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \gamma_1 A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$\gamma_1$  je súčiniteľ významu



# Kombinácie zaťaženia pre MSP

Kombinácie zaťažení v MSP závisia na povahe sledovaného účinku zaťaženia. Rozlišujeme účinky:

- nevratné
- vratné
- dlhodobé

Charakteristická kombinácia pre nevratné medzné stavy

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinácia pre vratné medzné stavy

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvázistála kombinácia pre dlhodobé účinky a vzhľad konštrukcie

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Zat'azenie	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
úžitkové			
kat. A: obytné	0,7	0,5	0,3
kat. B: kancelárie	0,7	0,5	0,3
kat. C: zhromažďovacie plochy	0,7	0,7	0,6
kat. D: obchody	0,7	0,7	0,6
kat. E: sklady	1,0	0,9	0,8
dopravné plochy			
kat. F: tiaž vozidla do 30 kN	0,7	0,7	0,6
kat. G: tiaž vozidla 30-160 kN	0,7	0,5	0,3
kat. H: strechy	0	0	0
sneh			
nadm. výška > 1000 m.n.m	0,7	0,5	0,2
nadm. výška $\leq$ 1000 m.n.m	0,7	0,2	0
vietor	0,6	0,2	0
teplota (okrem požiaru)	0,6	0,5	0