

Zatížení a spolehlivost

- **2. přednáška, 25.10.2010**
 - 1) **Navrhování podle norem**
 - 2) **Zatížení podle Eurokódu**
 - 3) **Zatížení sněhem**

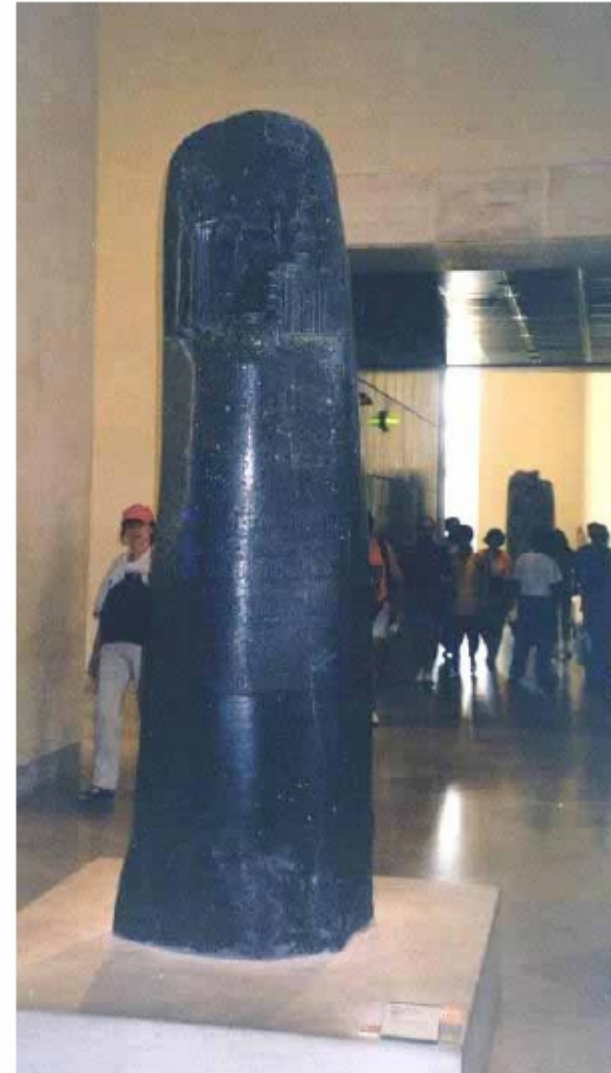
Navrhování podle norem

Nejstarší stavební zákon

Zákony Hammourabiho, Babylon, 2200 BC



Stavitel nedostatečně pevného domu,
který se zřítíl a zabil majitele,
- bude připraven o život.



Navrhování podle norem

- Historické a empirické metody
- Dovolené napětí (namáhání)
 - 18-20 stol.
 - posouzení dosaženého napětí od provozního zatížení s hodnotou přípustného namáhání odvozenou z meze kluzu materiálu
 - předpoklad pružné odezvy
- Stupeň bezpečnosti
 - Stupeň bezpečnosti definován jako podíl únosnosti materiálu (průřezu) a napětí od provozního zatížení
 - v rozmezí 2-4
 - I v současnosti, např k posouzení stability svahů
- Metoda dílčích součinitelů
 - částečně pravděpodobnostní přístup
- Pravděpodobnostní metody
 - vysoce výpočetně náročné

Metoda dílčích součinitelů

- Základní filozofie navrhování je ta, že konstrukce je navržena s jistou spolehlivostí
 - a) Mezní stavy únosnosti: pravděpodobnost poruchy = 10^{-5}
($\beta=3,8$)
 - b) Mezní stavy použitelnosti: pravděpodobnost poruchy = 10^{-2}
($\beta=1,5$)

Základy metody dílčích součinitelů

Charakteristické hodnoty: - zatížení: F_k
- vlastností materiálů: f_k
- rozměrů $a_k (=a_{\text{nom}})$

Návrhové hodnoty: - Zatížení $F_d = \gamma_F \psi_i F_k$
- Vl. materiálů $f_d = f_k / \gamma_M$
- Rozměrů $a_d = a_k \pm \Delta a, \Delta a \approx 0$

kde $\gamma_F, \gamma_M, \psi_i$ jsou dílčí součinitele

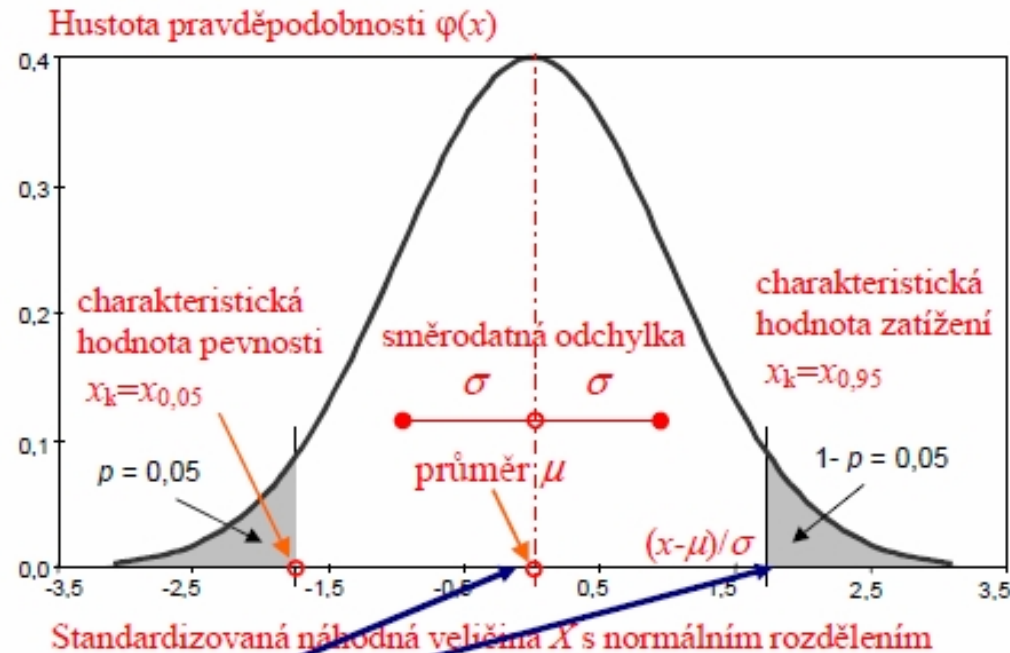
Podmínka spolehlivosti: $E_d(F_d, f_d, a_d) < R_d(F_d, f_d, a_d)$

Například: $E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k < R_d = A f_{yk} / \gamma_M$

Charakteristické a návrhové hodnoty

Zatížení jsou náhodné veličiny, které se označují symboly

F : G, Q, P, g, q, p



Charakteristické hodnoty F_k : $G_k, Q_k, P_k, g_k, q_k, p_k$

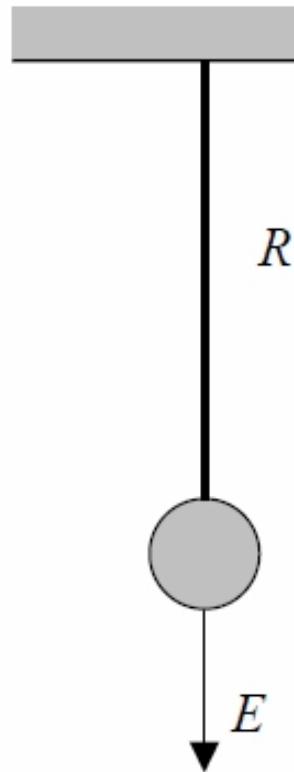
Návrhové hodnoty obecně $F_d = \gamma_F F_k$

Návrhové hodnoty stálých zatížení: $G_d = \gamma_G G_k$

- proměnných zatížení: $Q_d = \gamma_Q Q_k$ nebo $Q_d = \gamma_Q \psi_i Q_k = \gamma_Q Q_{rep}$
kde $Q_{rep} = \psi_i Q_k$ označuje reprezentativní hodnotu \bar{Q}

Příklad

Příklad ocelového táhla



	Účinek zatížení	Odolnost
<i>R</i>	Obecně $E = G + Q$	$R = A f_y$
Návrhové hodnoty	$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$	$R_d = A f_{yk} / \gamma_M = A f_{yd}$
Návrh plochy táhla <i>A</i>	$E_d < R_d \longrightarrow A > E_d / f_{yd}$, nebo $\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k < A f_{yk} / \gamma_M \longrightarrow$ $A > (\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k) / (f_{yk} / \gamma_M)$	

Příklad:

$$G_k = 0,6 \text{ MN}, Q_k = 0,4 \text{ MN}, \gamma_G = 1,35, \gamma_Q = 1,5$$

$$E_d = 1,35 \cdot 0,6 + 1,5 \cdot 0,4 = 1,41 \text{ MN}$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}, \gamma_M = 1,10, f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 214 \text{ MPa}$$

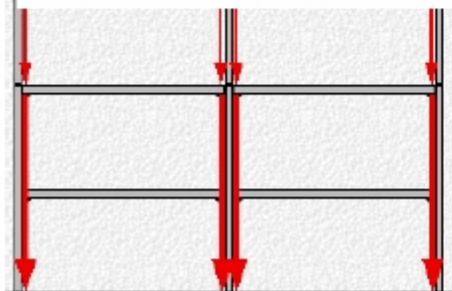
$$A > E_d / f_{yd} = 1,41 / 214 = 0,00659 \text{ m}^2 = 65,9 \text{ cm}^2$$

Klasifikace zatížení podle Eurokódu

Stálá

G

- Vlastní tíha, pevně zabudované součásti
- Předpětí
- Zatížení vodou a zeminou
- Nepřímá zatížení, např. od sedání základů



Proměnná Mimořádná

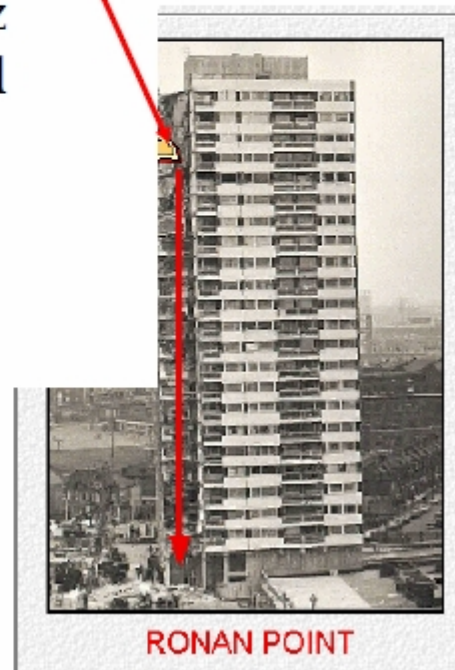
Q

- Užitná zatížení
- Sníh
- Vítr
- Nepřímá zatížení, např. od teploty



A

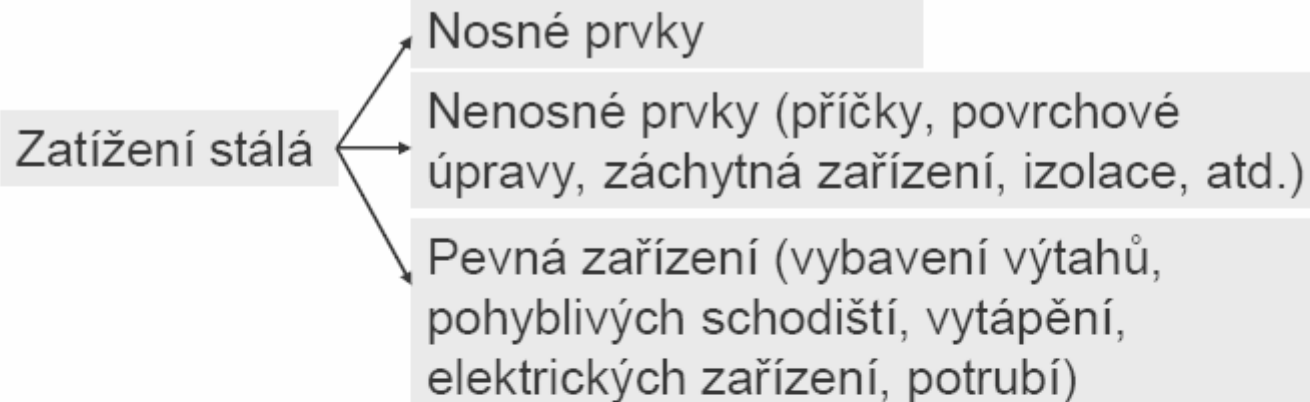
- Výbuch
- Požár
- Náraz vozidel



Sylabus přednášek o zatížení

- Zatížení stálá
 - Vlastní tíha: Přednáška č. 1
 - Zemní tlaky: Přednáška č. 4
- Zatížení Proměnná
 - Užitná zatížení: Tato přednáška
 - Sníh: Tato přednáška, popřípadě přednáška č. 3
 - Vítr: Přednáška č. 3
 - Zatížení teplotou: Přednáška č. 4

Zatížení stálá



Vlastní tíha prvků = nominální objem x objemová tíha

Tíha betonové desky/m² = tloušťka x objemová tíha

například 0,20 m x 25 kN/m³ = 5 kN/m²

Charakteristické hodnoty objemové tíhy materiálů a úhly vnitřního tření – EN 1991-1-1, příloha A.

Zatížení užitná

- Od činnosti lidí, nábytku, přiček, strojního vybavení, dopravních prostředků a skladování materiálu
- Je nahrazeno plošným a bodovým zatížením.
- Referenční hodnota 1 rok s pravděpodobností překročení 0,98

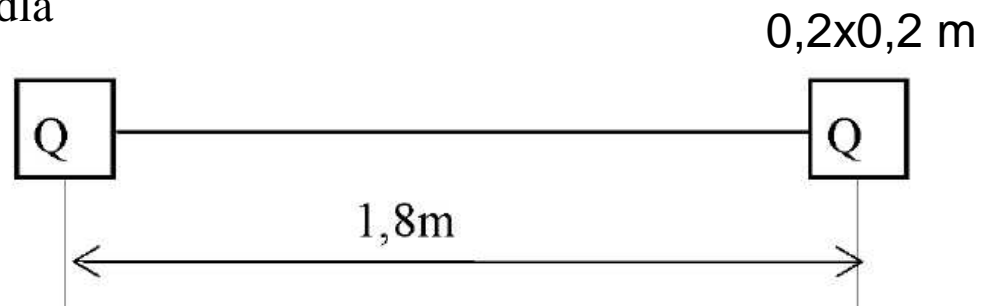
Zatížení stropů

Kat,	použití	Svislé Plošné (kN/m ²)	Svislé bodové (kN)	Vodorovné liniové kN/m
A	byty, místnosti a čekárny v nemocnicích, ložnice, kuchyně, toalety hotelů, schodiště balkony	1,5 - 2,0	2,0-3,0	0,2 -1
		2,0 - 4,0	2,0-4,0 2,0 - 3,0	
B	kancelářské plochy	2,0-3,0	1,5 -4,5	
C	1, plochy se stoly - školy, kavárny, restaurace, jidelny, čítárny, recepce	2,0 - 3,0	3,0-4,0	
	2, plochy se zabudovanými sedadly -kostely, divadla, kina, zasedací místnosti, čekárny	3,0 - 4,0	2,5-7,0(4,0)	0,8- 1
	3, plochy bez překážek pro pohyb lidí -muzea, výstaviště, veřejné prostory v administrativních budovách a hotelech	3,0-5,0	4,0 - 7,0	
	4, plochy s pohybovými aktivitami — tělocvičny, scény divadel, taneční sály	4,5 - 5,0	2,5 - 7,0	
	5, plochy se shromažďováním lidí -koncertní sály, sportovní haly s přístupovými prostory	5,0 - 7,5	3,5-4,5	3 - 5
D	1, obchodní prostory v běžných obchodech	4,0 - 5,0	3,5-7,0(4,0)	
	2, obchodní prostory v obchodních domech	4,0-5,0	3,5-7,0	
E	1, plochy pro skladovací prostory, knihovny	7,5	7,0	0,8 - 2
	2, plochy pro průmyslovou činnost			

Zatížení stropů

F	garáže s lehkými vozidly do 30 kN	1,5-2,5	10 - 20	Viz příloha B v EN V 1991-1-1
G	garáže se středními vozidly do 160 kN	5,0	40 - 90	
H	střechy nepřístupné	0 - 1	1 - 1,5	
I	střechy přístupné	Podle kategorií A-D		
K	střechy pro přistávání helikoptér HC1 HC2		20 60	

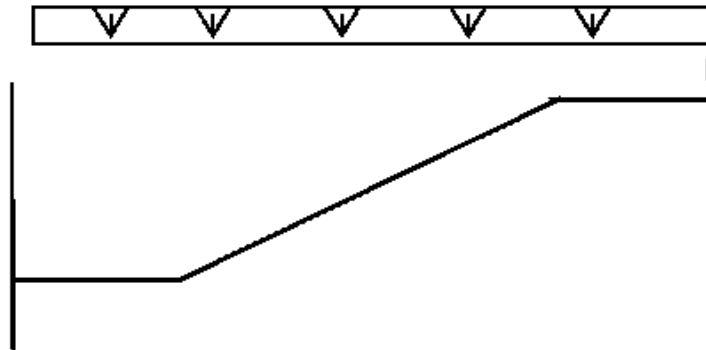
Náprava vozidla



Při návrhu svislých kcí a základů zatížených několika stropy se může užité zatížení, pokud je dominantním zatížením, redukovat zmenšujícím součinitelem $\alpha_n = \frac{2 + (n - 2)\psi_0}{n}$, kde n je počet podlaží. ψ_0 je redukční součinitel pro běžné stavby 0,7.

Zatížení schodišť

- Užité zatížení se uvažuje na půdorysný průmět ramen



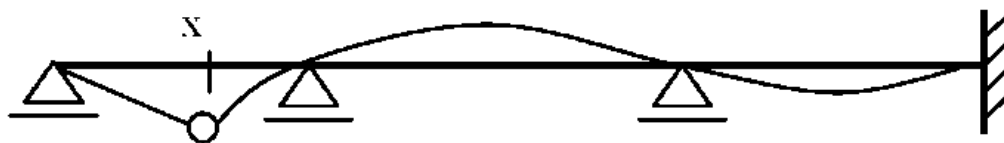
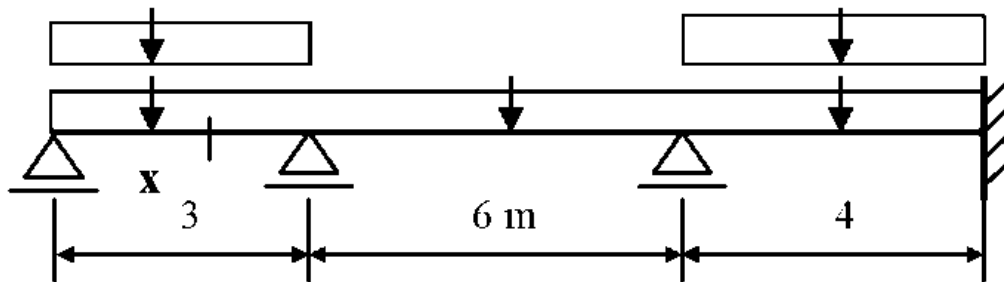
Doporučení pro užitná zatížení

- Pro návrh vodorovného nosného prvku se v určitém podlaží uvažuje nejméně příznivá poloha užitných zatížení.
- Pro návrh svislých prvků, zatížených z několika podlaží, lze předpokládat, že zatížení jsou rozložena rovnoměrně.
- Soustředěná zatížení se nemají kombinovat s rovnoměrnými zatíženími.
- Redukční součinitel ψ nelze uvažovat společně s redukčním součinitelem α_n .

Maximální statická odezva užitečného zatížení

nahodilé

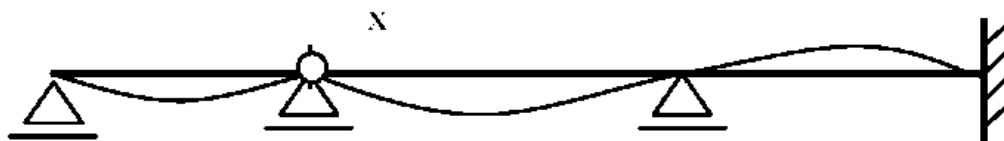
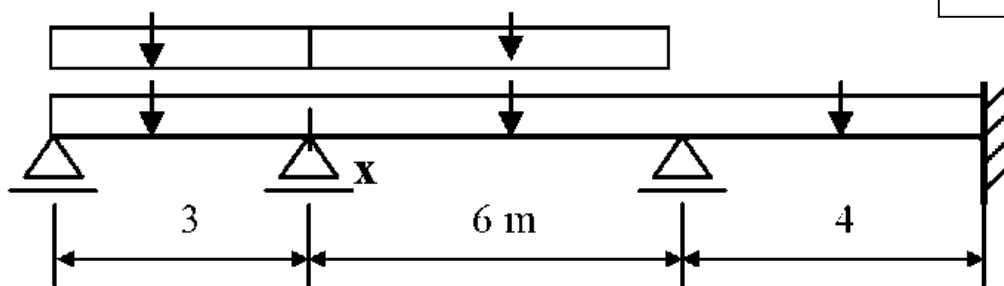
stálé



Příčinkové čáry momentů

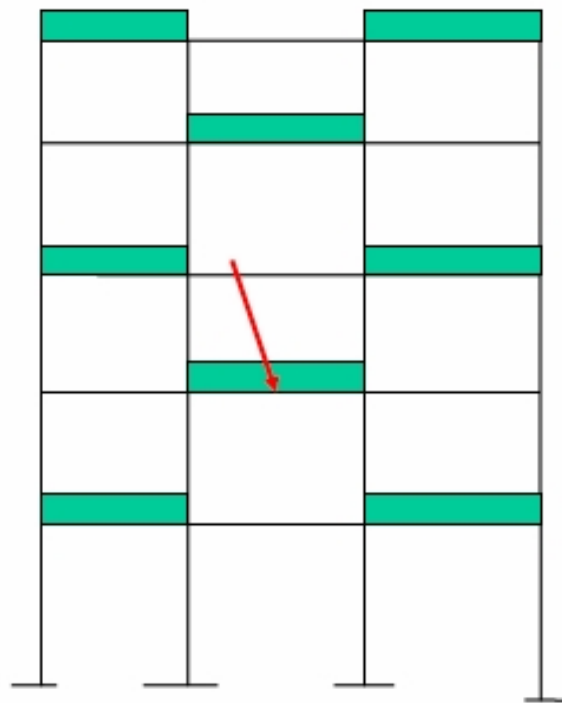
nahodilé

stálé

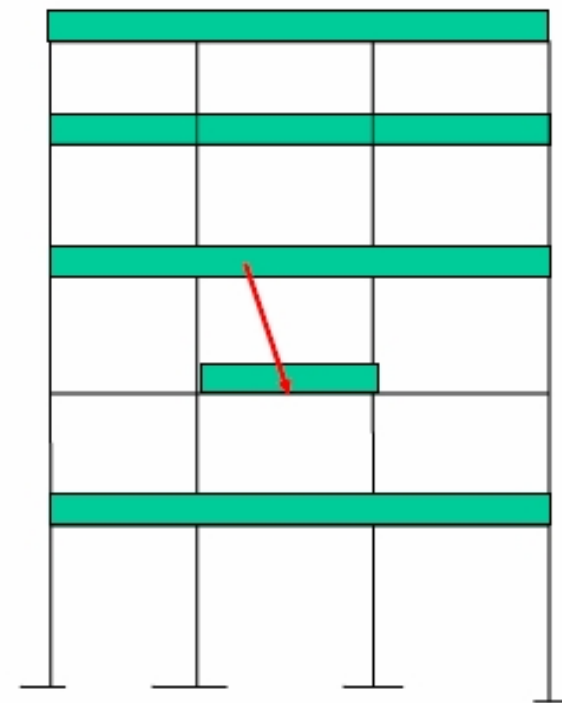


Uspořádání zatížení rámu

Výpočet mezipodporového momentu ve vyznačeném poli



Šachovnicové zatížení



Zjednodušené zatížení

Kombinace zatížení

- **kombinace zatížení:** soubor návrhových hodnot použitých pro ověření spolehlivosti konstrukce z hlediska určitého mezního stavu při současném působení různých zatížení
- **kombinační hodnoty:** hodnoty zatížení, které se uplatňují v kombinacích zatížení a které jsou stanoveny s přihlédnutím ke snížené pravděpodobnosti současného výskytu nejnepríznivějších hodnot několika nezávislých zatížení

Kombinace zatížení - únosnost

EN 1990, 2002

- Trvalá a dočasná návrhová situace - základní k.

- **A**
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki} \quad (6.10)$$

- **B**
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + (\gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}) \quad (6.10a)$$

- $$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki} \quad (6.10b)$$

- **C**
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} \quad (6.10a, \text{mod})$$

- $$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki} \quad (6.10b)$$

Kombinace zatížení - únosnost

- Mimořádná návrhová situace

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + A_d + (\psi_{1l} \text{ nebo } \psi_{2l}) Q_{kl} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.11b)$$

- Seizmická návrhová situace

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.12b)$$

Kombinace zatížení - použitelnost

- Charakteristická - trvalé změny

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} Q_{ki} \quad (6.14)$$

- Častá kombinace - lokální účinky

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.15)$$

- Kvazistálá kombinace - dlouhodobé účinky

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.17)$$

Vysvětlivky

- A mimořádné zatížení
- A_d návrhová hodnota mimořádného zatížení
- A_{Ed} návrhová hodnota seizmického zatížení
- A_{Ek} charakteristická hodnota seizmického zatížení
- A_k charakteristická hodnota mimořádného zatížení
- γ_A dílčí součinitel mimořádných zatížení
- G stálé zatížení
- G_k charakteristická hodnota stálého zatížení
- G_{ki} charakteristická hodnota i -tého stálého zatížení
- γ_G dílčí součinitel pro stálé zatížení
- γ_{Gi} dílčí součinitel i -tého stálého zatížení
- γ_{GA} d. s. pro stálé zatížení pro mimořádnou n. s.

Vysvětlivky

- P zatížení od předpětí
- P_d návrhová hodnota zatížení od předpětí
- P_k charakteristická hodnota zatížení od předpětí
- γ_P dílčí součinitel zatížení od předpětí
- γ_{PA} d. s. zatížení od předpětí pro mimořádnou n. s.
- Q nahodil0 zatížení
- Q_d návrhová hodnota nahodilého zatížení
- Q_k charakteristická hodnota nahodilého zatížení
- Q_{k1} charakteristická hodnota dominantního nahodilého zatížení
- Q_{ki} charakteristická hodnota i-tého nahodilého zatížení
- γ_Q dílčí součinitel nahodilého zatížení
- γ_{Qi} dílčí součinitel i-tého nahodilého zatížení
- ψ_0 kombinační součinitel pro nahodilá zatížení
- ψ_1 kombinační součinitel pro častou hodnotu nahodilého zatížení
- ψ_2 kombinační součinitel pro kvazistálou hodnotu nahodilého zatížení

Reprezentativní hodnoty proměnných zatížení

Kombinační hodnota $\psi_0 Q_k$

- redukováná pravděpodobnost výskytu
nepříznivých hodnot několika nezávislých zatížení

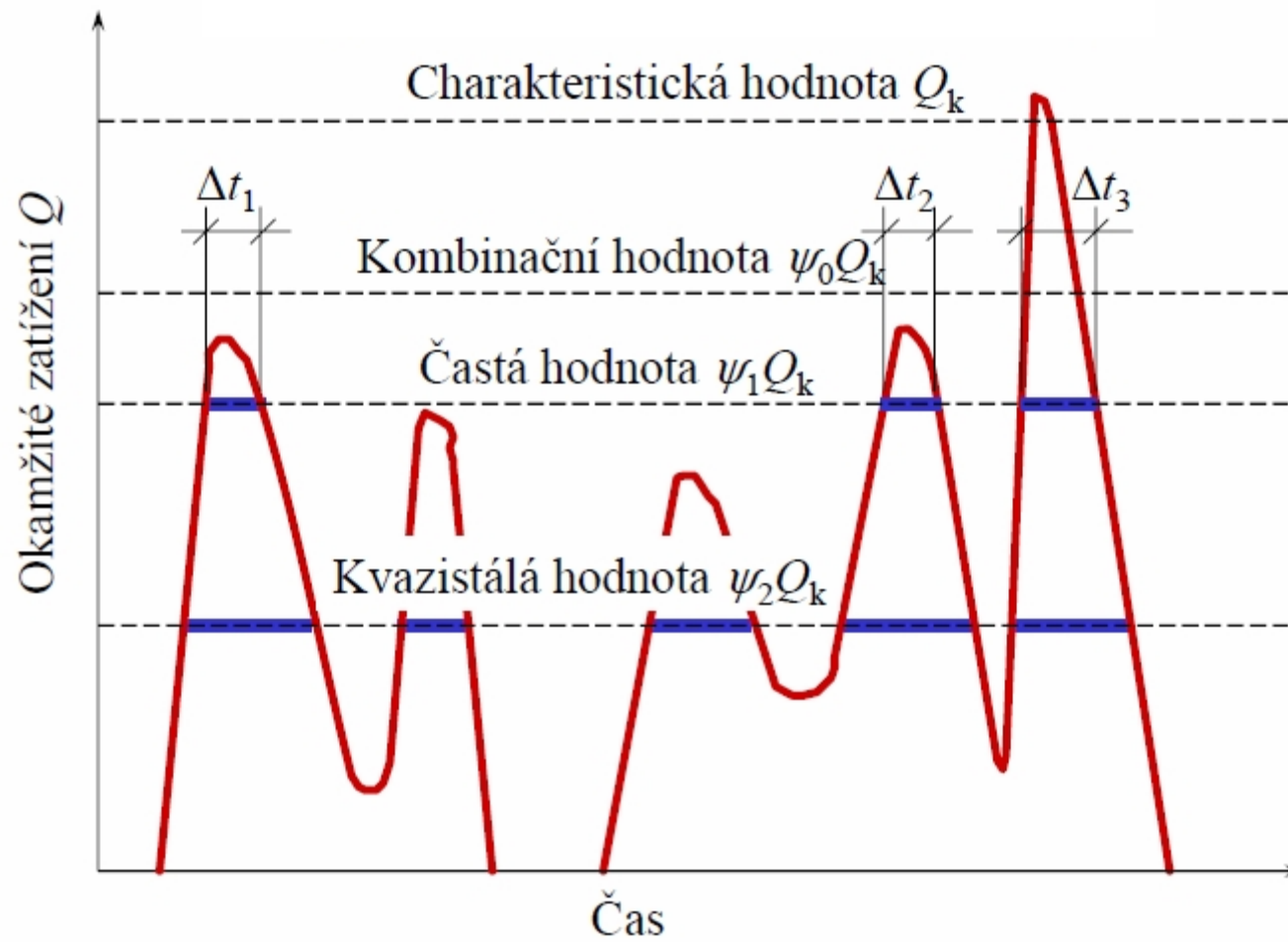
Častá hodnota $\psi_1 Q_k$

- celková doba je 0,01 referenční doby
- doba návratu 1 týden (mosty)

Kvazistálá hodnota $\psi_2 Q_k$

- celková doba je 0,5 referenční doby

Reprezentativní hodnoty



Součinitele γ_g a γ_q

EN 1990, 2002, tabulky A.1.2

Mezní stav	Účinek zatížení	γ_G	γ_Q
A-EQU	Nepříznivý	1,10	1,50
	Příznivý	0,90	0,00
B-STR/GEO	Nepříznivý	1,35	1,50
	Příznivý	1,00	0,00
C- STR/GEO	Nepříznivý	1,00	1,30
	Příznivý	1,00	0,00

Součinitele ψ_i

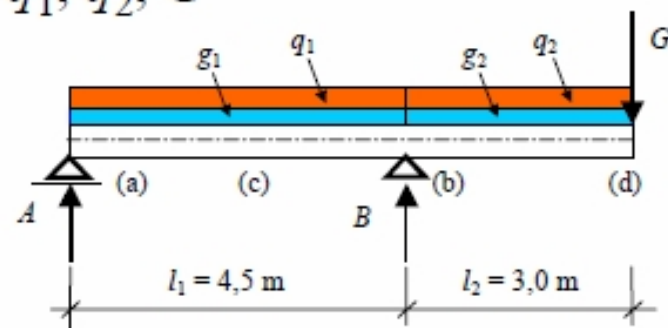
EN 1990, 2002, tabulka A.1.1

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Užitné A, B	0,7	0,5	0,3
Užitné C, D	0,7	0,7	0,6
Užitné E	1,0	0,9	0,8
Sníh (do 1000 m)	0,5	0,2	0,0
Vítr	0,6	0,2	0,0
Teplota	0,6	0,5	0,0

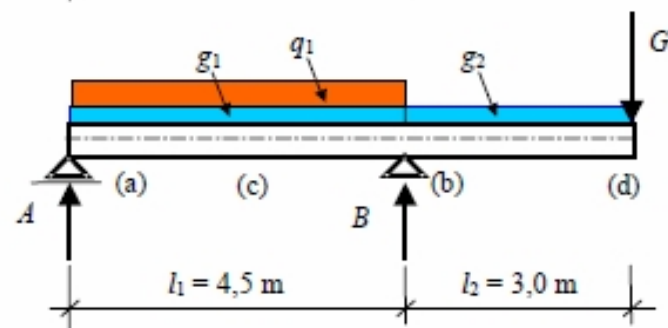
Příklad: konzolový nosník

Zatížení g_1, g_2, q_1, q_2, G

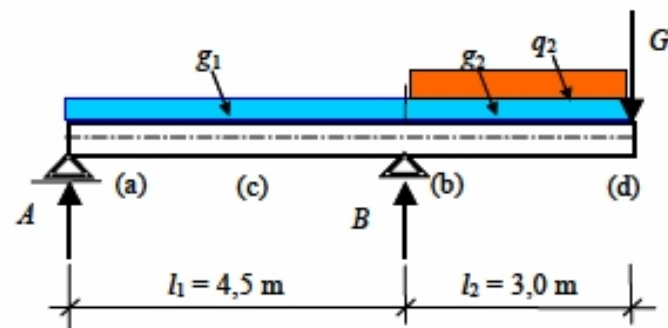
Maximální moment v (b) a reakce B



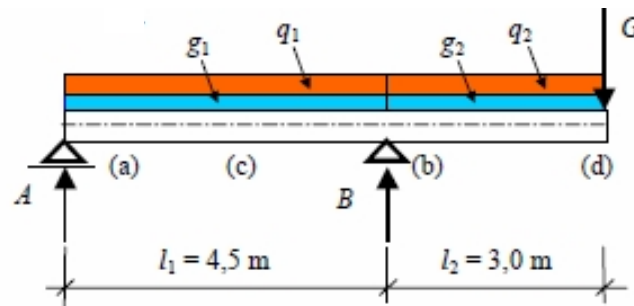
Maximální moment v (c)



Statická rovnováha
(minimální reakce A)



Příklad: konzolový nosník



Load case	Limit state	Action				
		g_1	g_2	q_1	q_2	G
1	Equilibrium, eq. (6.7)	0,90	1,10	-	1,50	1,10
2	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,00	1,50	-	1,00
3	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,35	-	1,50	1,35
4	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,35	1,50	1,50	1,35
5	Ultimate, eq. (6.10a)	1,35	1,00	$1,50 \times 0,7$	-	1,00
6	Ultimate, eq. (6.10b)	$0,85 \times 1,35$	1,00	1,50	-	1,00
7	Ultimate, eq. (6.10a)	1,00	1,35	-	$1,50 \times 0,7$	1,35
8	Ultimate, eq. (6.10b)	1,00	$0,85 \times 1,35$	-	1,50	$0,85 \times 1,35$
9	Serviceability, eq. (6.14)	1,00	1,00	1,00	-	1,00
10	Serviceability, eq. (6.14)	1,00	1,00	-	1,00	1,00
11	Serviceability, eq. (6.15)	1,00	1,00	$1,00 \times 0,5$	-	1,00
12	Serviceability, eq. (6.15)	1,00	1,00	-	$1,00 \times 0,5$	1,00
13	Serviceability, eq. (6.16)	1,00	1,00	$1,00 \times 0,3$	-	1,00
14	Serviceability, eq. (6.16)	1,00	1,00	-	$1,00 \times 0,3$	1,00

Tento dokument je určen výhradně jako doplněk k přednáškám z předmětu Zatížení a spolehlivost pro studenty Stavební fakulty ČVUT v Praze. Dokument je průběžně doplňován, opravován a aktualizován a i přes veškerou snahu autora může obsahovat nepřesnosti a chyby.

Při přípravě této přednášky byla použita řada materiálů laskavě poskytnutých doc. Ing. Janem Zemanem, Ph.D., doc. Ing. Jaroslavem Kruisem, Ph.D. a doc. Ing. Petrem Fajmanem, CSc. ze Stavební fakulty ČVUT v Praze. Taktéž byly využity podklady Prof. Holického z Kloknerova ústavu ČVUT v Praze. Ostatní zdroje jsou ocitovány v místě použití.

Prosba. V případě, že v textu objevíte nějakou chybu nebo budete mít námět na jeho vylepšení, ozvěte se prosím na matej.leps@fsv.cvut.cz.

Datum poslední revize: 25.10.2010