

OBEČNÉ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ

Prof. Ing. Milan Holický, DrSc.

ČVUT, Šolínova 7, 166 08 Praha 6

Tel.: 224 353 842, Fax: 224 355 232

E-mail: holicky@klok.cvut.cz,

<http://web.cvut.cz/ki/710/prednaskyFA.html>

Metody navrhování

Základní pojmy

Nejistoty ve stavebnictví

Klasifikace zatížení

Stálá a užitná zatížení

Kombinace zatížení

Příklady a závěry

Směrnice rady 89/106/EHS (CPD)

Hlavní požadavky

- **Mechanická odolnost a stabilita**
- **Bezpečnost při požáru**
- **Hygiena, zdraví, životní prostředí**
- **Uživatelská bezpečnost**
- **Ochrana proti hluku**
- **Úspora energie a ochrana tepla**

Interpretační dokumenty ID1 až ID6

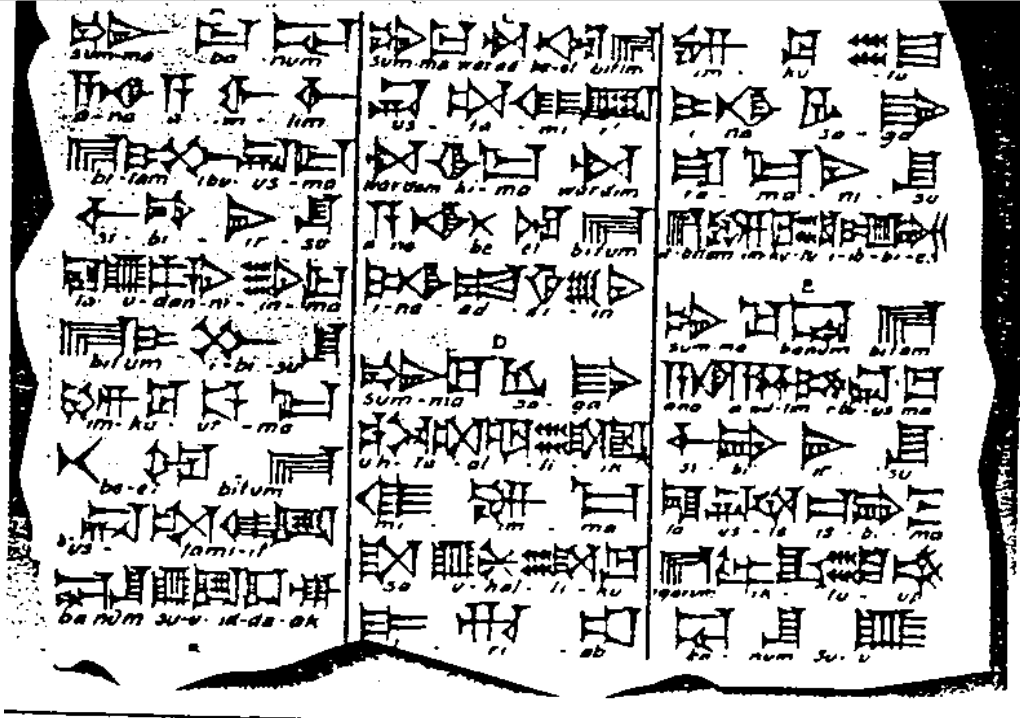
METODY OVĚŘOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI

- Historické a empirické metody
- Dovolená namáhání
- Stupeň bezpečnosti
- Metoda dílčích součinitelů
- Pravděpodobnostní metody
- Rizikové inženýrství

Zvyšuje se náročnost výpočtu

NEJSTARŠÍ STAVEBNÍ ZÁKON

Zákony Hammourabiho, Babylon, 2200 BC



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



METODA DÍLČÍCH SOUČINITELŮ

- Zatížení návrhové $F_d = \gamma_F \psi_i F_k$
- Materiálové vlastnosti návrhové $f_d = f_k / \gamma_M$
- Rozměry návrhové $a_d = a_k \pm \Delta a$

$$E_d(F_d, f_d, a_d) < R_d(F_d, f_d, a_d)$$

- **Nedostatky**
 - nevyrovnaná pravděpodobnost poruchy pro různé konstrukční prvky a materiály

KLASIFIKACE ZATÍŽENÍ

Stálá

G

Proměnná

Q

Mimořádná

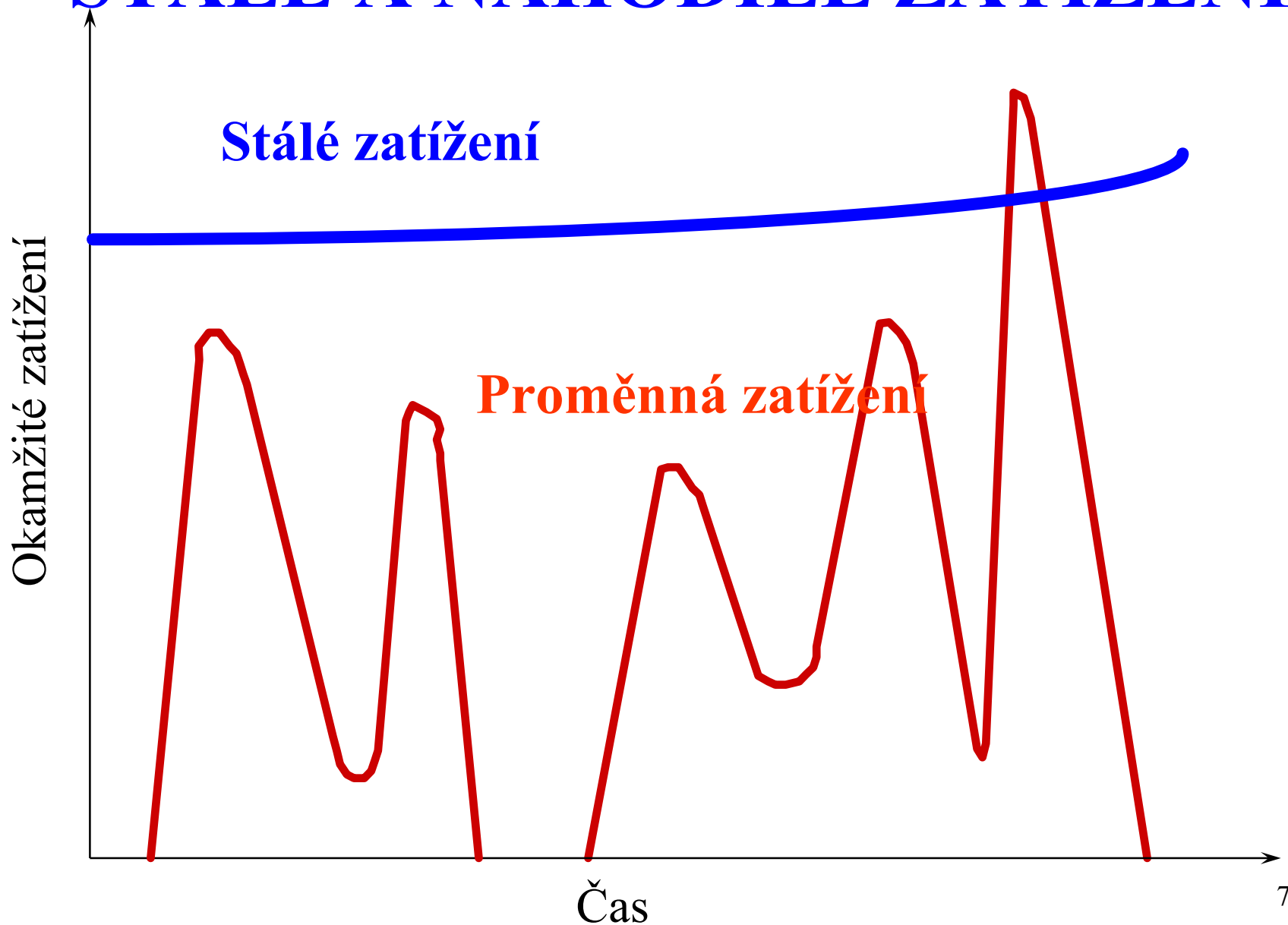
A

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

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

- Výbuch
- Požár
- Náraz vozidel

STÁLÉ A NAHODILÉ ZATÍŽENÍ



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

REPRESENTATIVNÍ HODNOTY proměnných zatížení

Kombinační hodnota $\psi_0 Q_k$

- redukována pravděpodobnost výskytu nepříznivých hodnot několika nezávislých zatížení

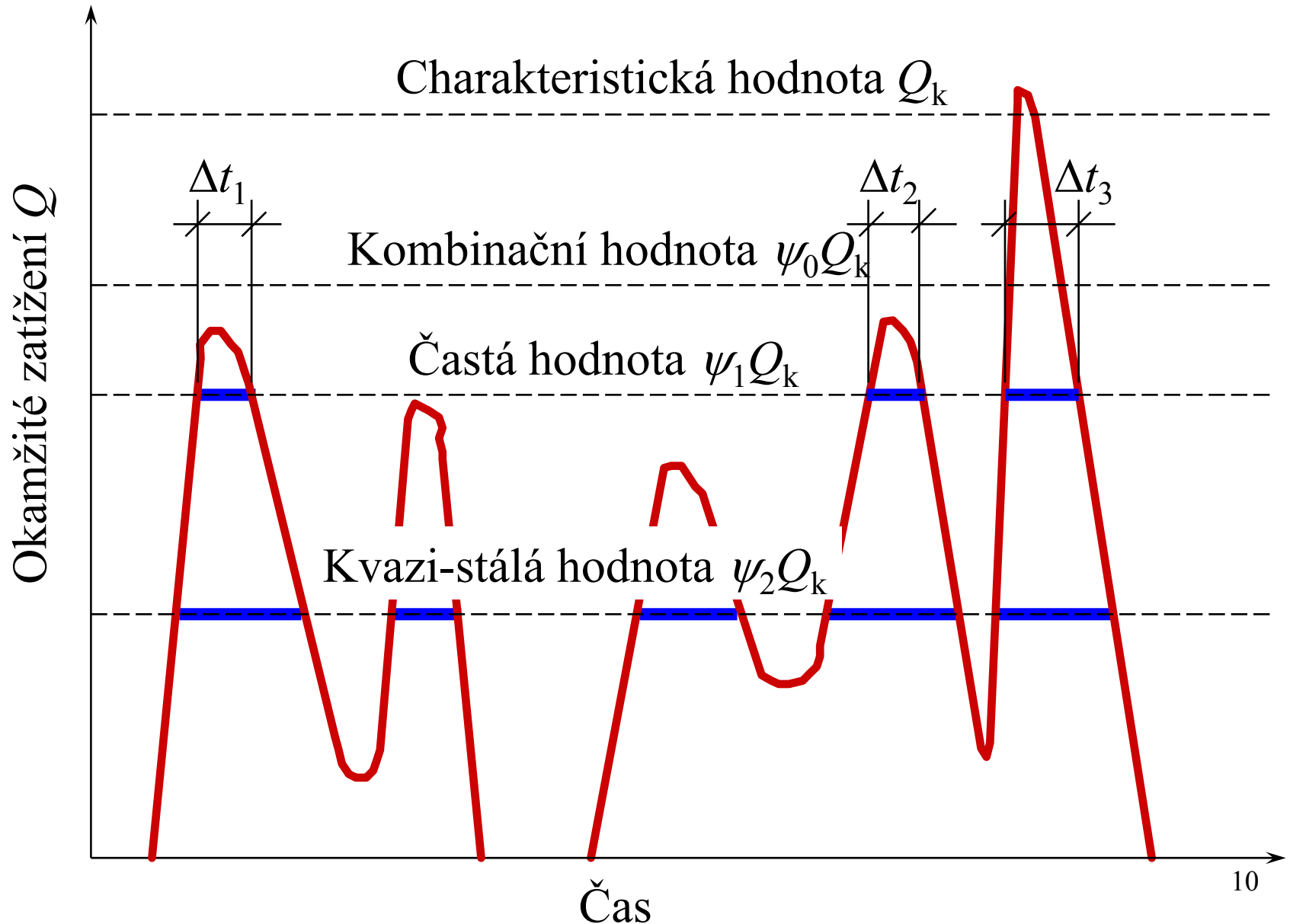
Častá hodnota $\psi_1 Q_k$

- 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

REPRESENTATIVNÍ HODNOTY



Součinitele ψ_i

EN 1990, 2002

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Užitná A, B	0,7	0,5	0,3
Užitná C, D	0,7	0,5	0,6
Užitná E	1,0	0,9	0,8
Sníh	0,5-0,7	0,2-0,5	0,0-0,2
Vítr	0,6	0,2	0,0
Teplota	0,6	0,5	0,0

KATEGORIE UŽITNÝCH PLOCH

A

Obytné plochy

B

Kancelářské plochy

C

Plochy pro shromažďování (C1 - C4)

D

Plochy obchodní (D1 - D2)

E1

Plochy pro skladovací účely

E2

Průmyslové plochy

UŽITNÁ ZATÍŽENÍ

Kategorie [kN]	q_k [kN/m ²]	Q_k
A Obecně	1,5 - <u>2,0</u>	<u>2,0</u> - 3,0
Schodiště	<u>2,0</u> - 4,0	<u>2,0</u> - 4,0
Balkóny	<u>2,5</u> - 4,0	<u>2,0</u> - 3,0
B Kanceláře	2,0 - <u>3,0</u>	1,5 - <u>4,5</u>
C1-C5 Shrom.	2,5 - 7,5	2,5 - 7,0
D1-D2 Skladovací	4,0 - 5,0	3,5 - 7,0

Redukční součinitelé:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \psi_0 + \frac{A_0}{A}, \quad \alpha_n = \frac{2 + (n - 2) \psi_0}{n}$$

GARÁŽE A DOPRAVNÍ PLOCHY PRO VOZIDLA

Kategorie

q_k [kN/m²]

Q_k [kN]

F

1,5 - 2,0

10 - 20

dopravní a parkovací plochy pro lehká vozidla do 30 kN a 8 sedadel

G

5

40 - 90

pro střední vozidla do 30 kN celkové tíhy menší než 160 kN

KATEGORIE STŘECH

q_k [kN/m²]

Q_k [kN]

H

Plochy nepřístupné s výjimkou běžné údržby

0 - 1 (0,4)

$A = 10 \text{ m}^2$

0,9 - 1,5 (1)

I

Střechy přístupné pro kat. A až G

K

Plochy přístupné pro zvláštní provoz (např. vrtulníky, třídy HC1 a HC2)

ZATÍŽENÍ OD VYSOKOZDVIŽNÝCH VOZÍKŮ

Třídy vozíků FL1 až FL6

nápravové síly Q_k [kN]

FL 1	26	FL 4	90
FL 2	40	FL 5	140
FL 3	63	FL 6	170

$$Q_{k,dyn} = \varphi Q_k$$

φ - součinitel pro dynamické účinky

VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ NA PŘÍČKY A ZÁBRADLÍ

Užitné plochy

q_k [kN/m]

A

0,5

B,
C1

0,5

C2-C4,
D

q_k

C5

3

E

q_k

VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ NA SVODIDLA

Užitné plochy v garážích

q_k [kN/m]

$$F = 0,5 m v^2 / (\delta_c + \delta_b)$$

δ_c

Deformace vozidla
(mm)

δ_b

Deformace svodidla
(mm)

m hmotnost vozidla, $v = 4,5$ m/s, $\delta_c = 100$ mm

DOPORUČENÍ PRO UŽITNÁ ZATÍŽENÍ

- Pro návrh vodorovného nosného prvku se v určitém podlaží uvažuje nejméně příznivá poloha užitných zatížení. Jestliže je ještě zapotřebí uvážit současné působení dalších užitných zatížení v následujících podlažích, lze uvažovat, že jsou v těchto podlažích rovnoměrně rozložena.
- 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 .

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

KOMBINACE ZATÍŽENÍ

EN 1990, 2002

Únosnost:

EQU - rovnováha	(6.7)
STR, GEO - konstrukce	(6.10)
Mimořádné kombinace	(6.11)
FAT - únava	

Použitelnost:

charakteristická - nevratné	(6.14)
častá - vratné	(6.15)
kvazi-stálá - dlouhodobé	(6.16)

KOMBINACE ZATÍŽENÍ

únosnost, EN 1990, 2002

- Trvalá a dočasná návrhová situace - základní k.

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

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

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

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

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

KOMBINACE ZATÍŽENÍ

- Mimořádná návrhová situace

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + A_d + (\psi_{11} \text{ nebo } \psi_{21}) Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.11b)$$

- 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

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

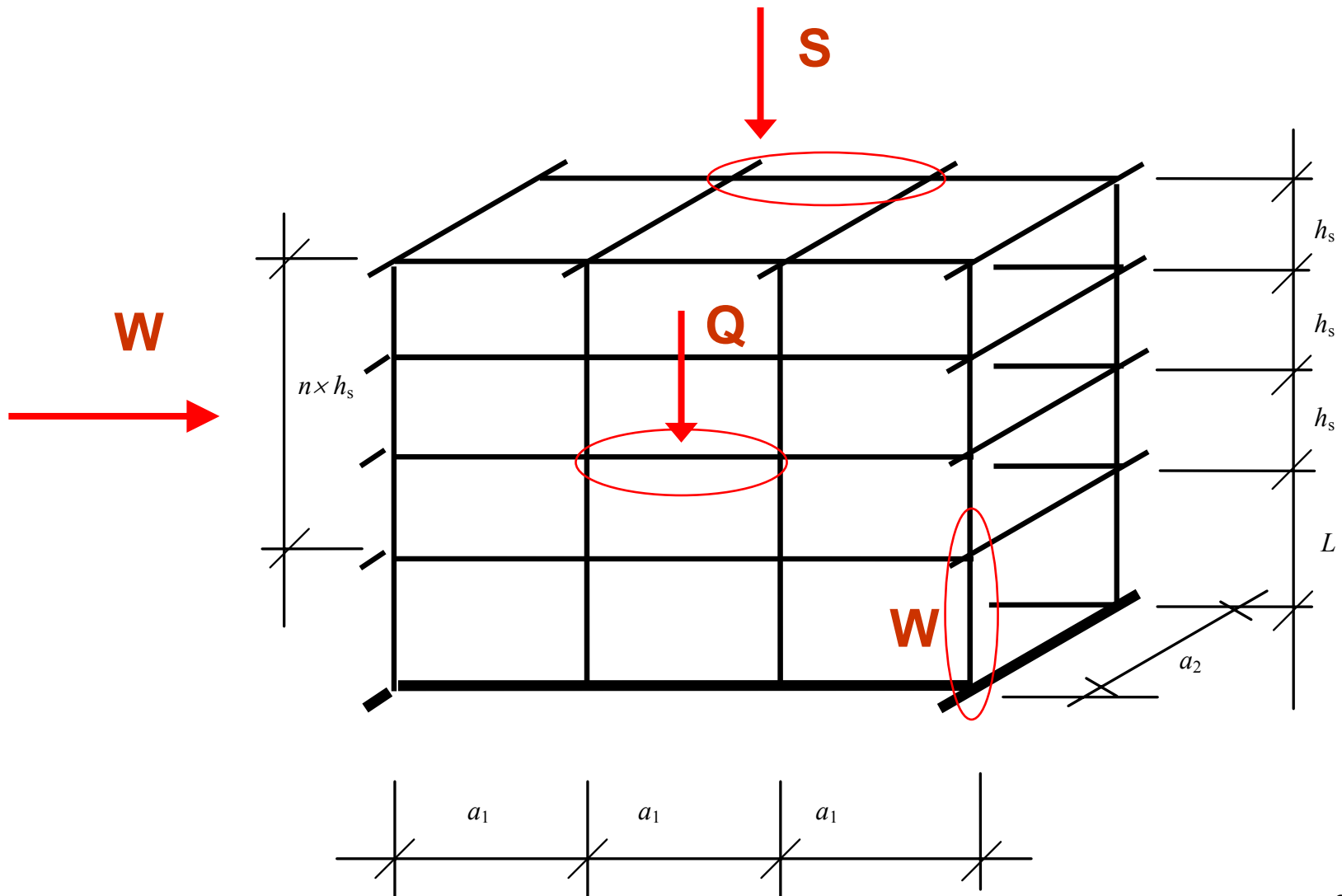
- Častá kombinace - lokální účinky

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

- Kvazistálá kombinace - dlouhodobé účinky

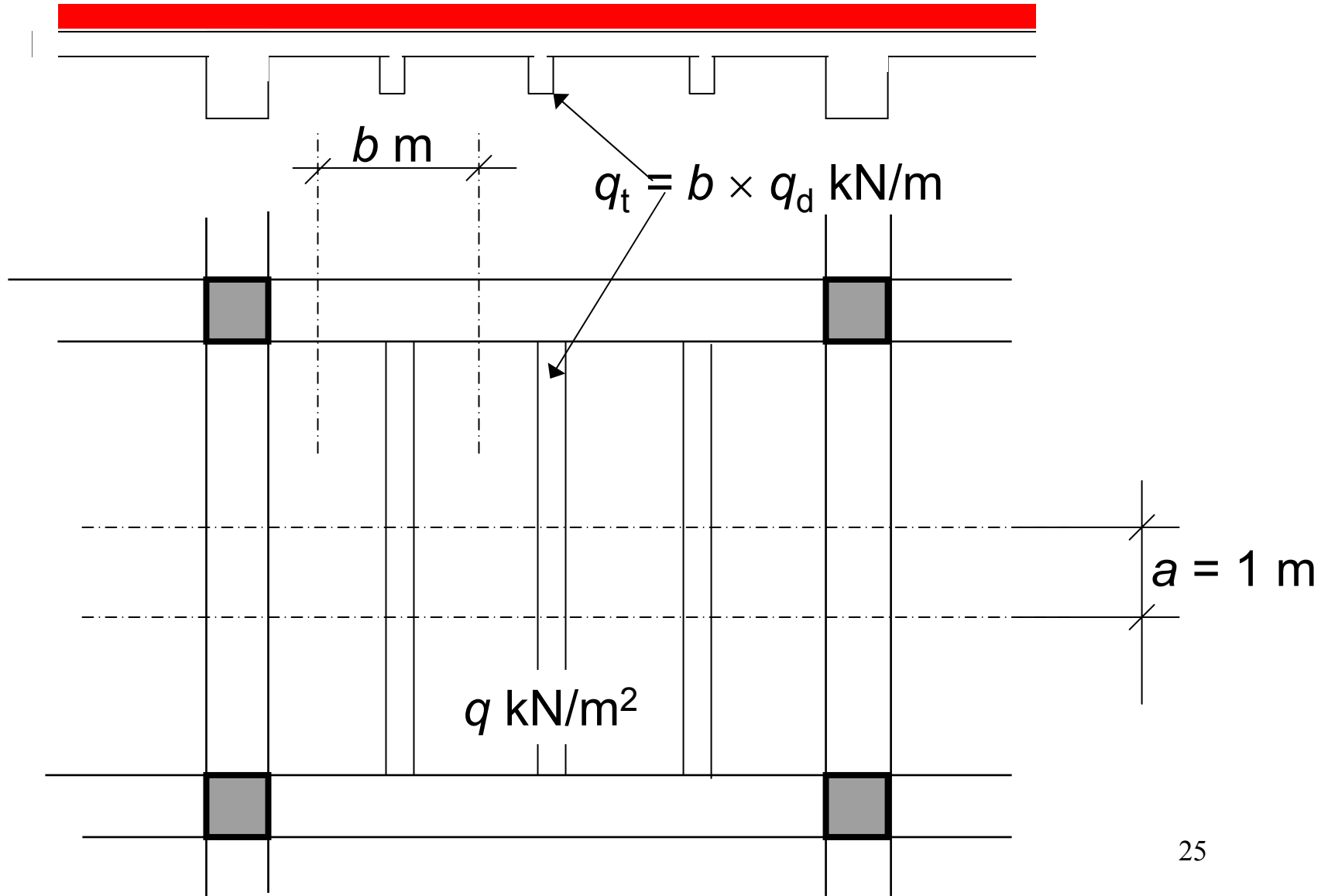
$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.17)$$

Hlavní proměnné zatížení

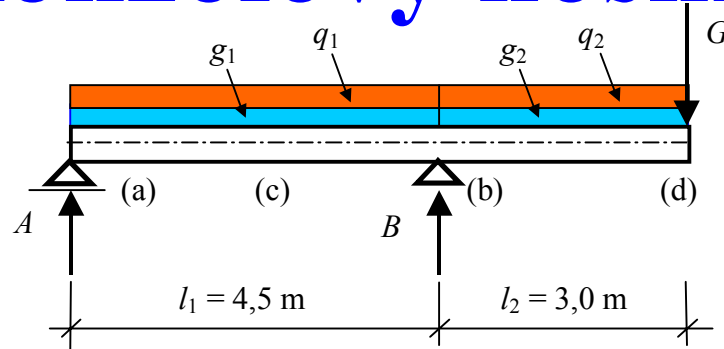


Zatížení desky a trámu

$$q_d = a \times q \text{ kN/m} = q \text{ kN/m}$$



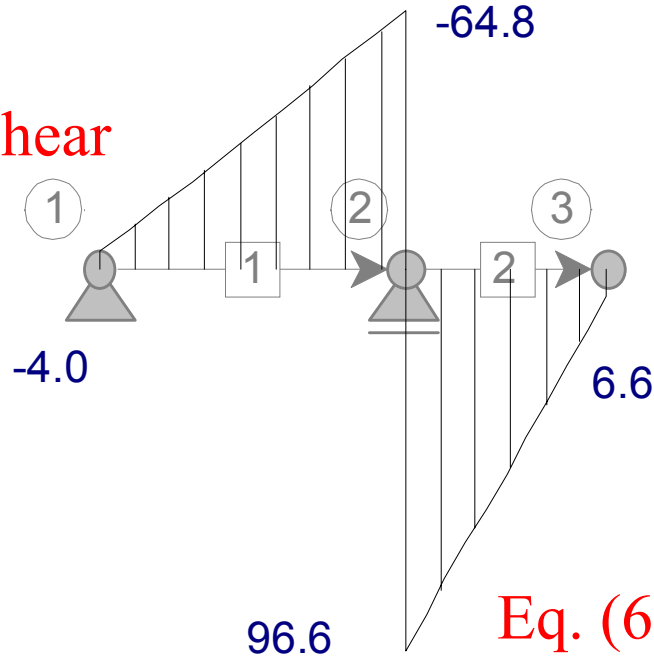
Konzolový nosník



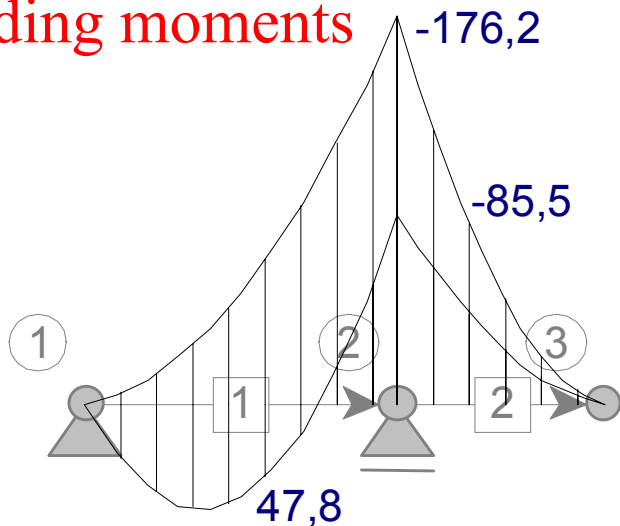
Load case	Limit state	Action				
		g_1	g_2	q_1	q_2	G
1	Equilibrium, eq. (6.7)	0,90	1,10	-	1,50	1,10
2	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,00	1,50	-	1,00
3	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,35	-	1,50	1,35
4	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,35	1,50	1,50	1,35
5	Ultimate, eq. (6.10a)	1,35	1,00	$1,50 \times 0,7$	-	1,00
6	Ultimate, 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

Účinek zatížení

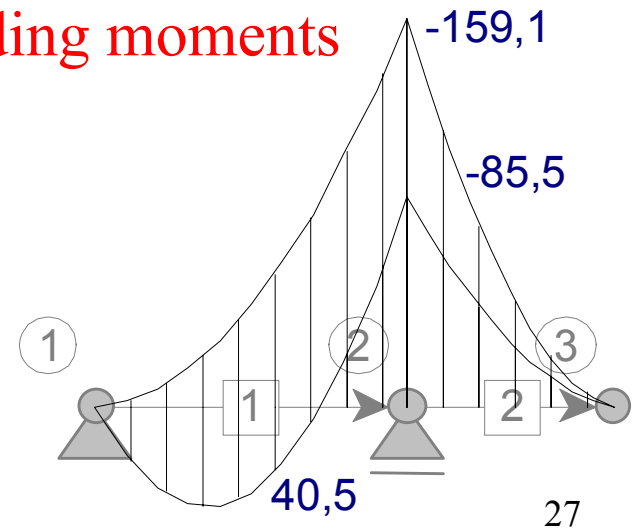
Eq(6.7) - shear



Eq. (6.10)
bending moments

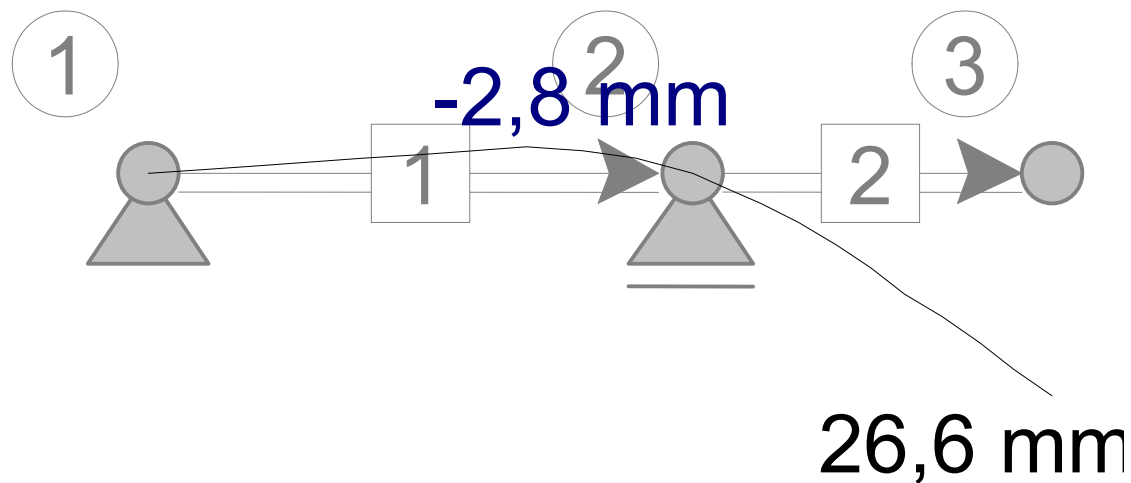


Eq. (6.10a) and (6.10b)
bending moments

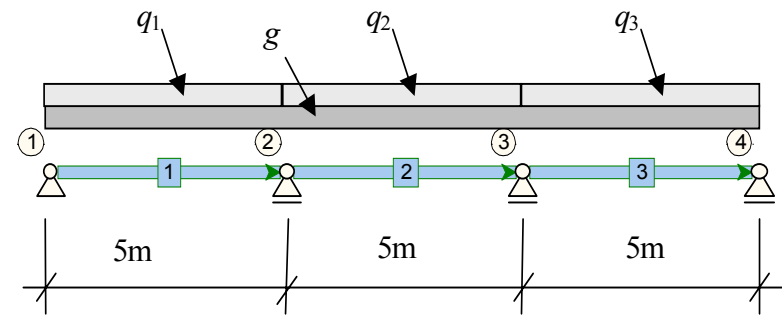


Dlouhodobé přetvoření

Pružné přetvoření a dotvarování



Spojité nosník - únosnost



Load case	Limit state	Action			
		g	q_1	q_2	q_3
1	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	0	0	0
2	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,50	0	0
3	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,50	1,50	0
4	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,50	0	1,50
5	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,50	1,50	1,50
6	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	0	1,50	0
7	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	0	1,50	1,50
8	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	0	0	1,50
9	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	0	0	0
10	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,50	0	0
11	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,50	1,50	0
12	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,50	0	1,50
13	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,50	1,50	1,50
14	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	0	1,50	0
15	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	0	1,50	1,50
16	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	0	0	1,50

Spojitéj nosník - použitelnost

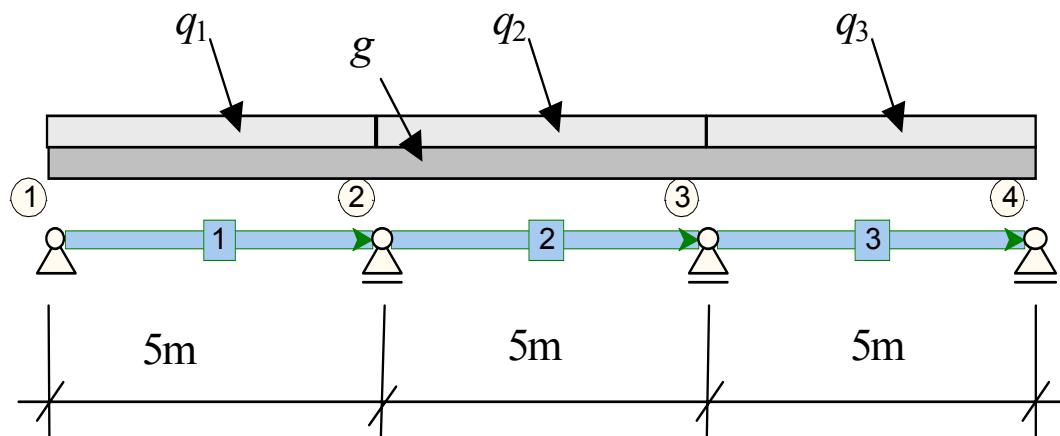
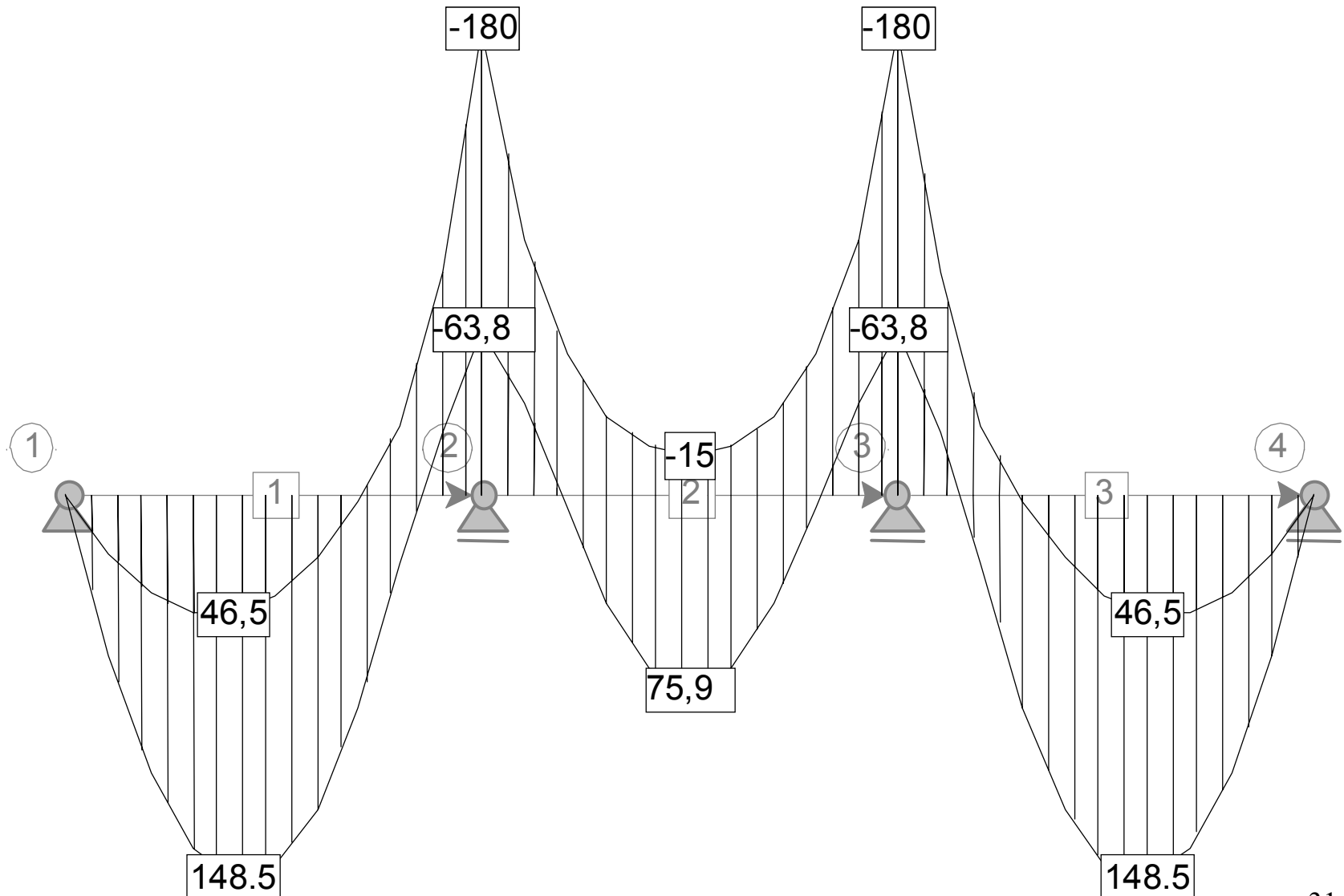


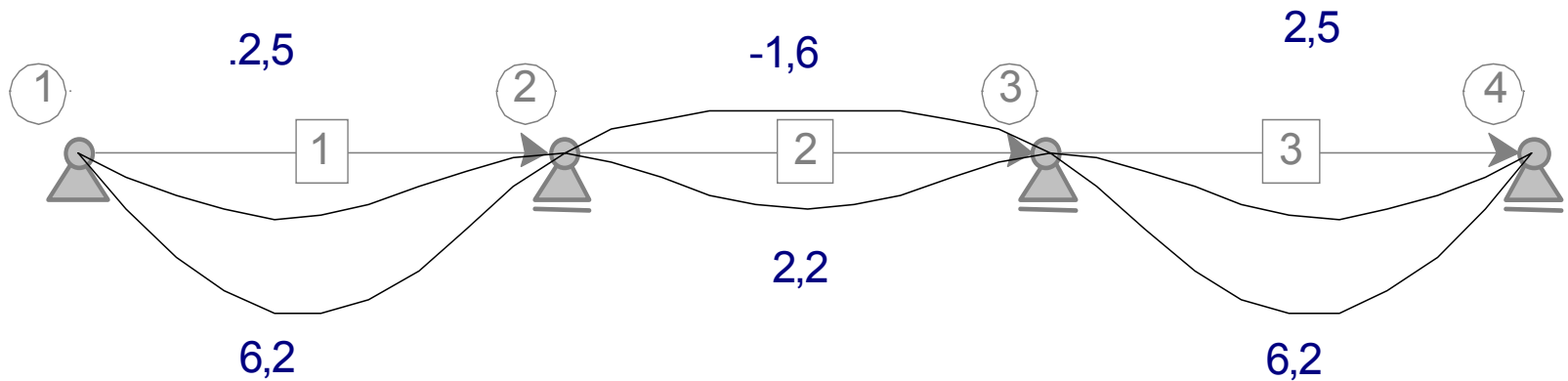
Table 5.2b. Load cases and appropriate factors ($\gamma \times \psi$) for serviceability limit states.

Load case	Limit state	Action			
		g	q_1	q_2	q_3
1	Serviceability, eq. (6.14)	1,00	1,00	-	1,00
2	Serviceability, eq. (6.14)	1,00	-	1,00	-
3	Serviceability, eq. (6.17)	1,00	$1,00 \times 0,3$	-	$1,00 \times 0,3$
4	Serviceability, eq. (6.17)	1,00	-	$1,00 \times 0,3$	-

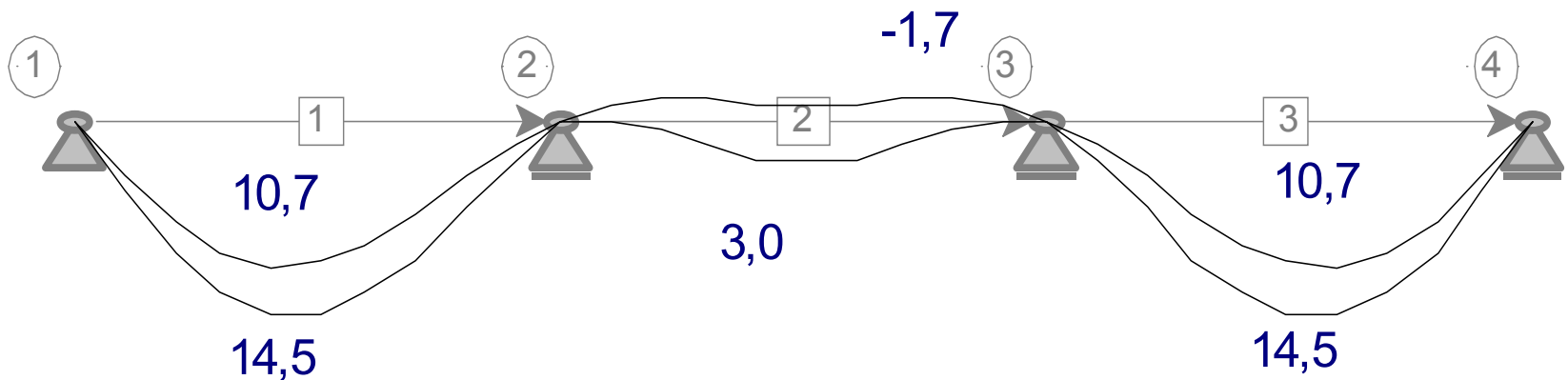
Ohybový moment



Přetvoření

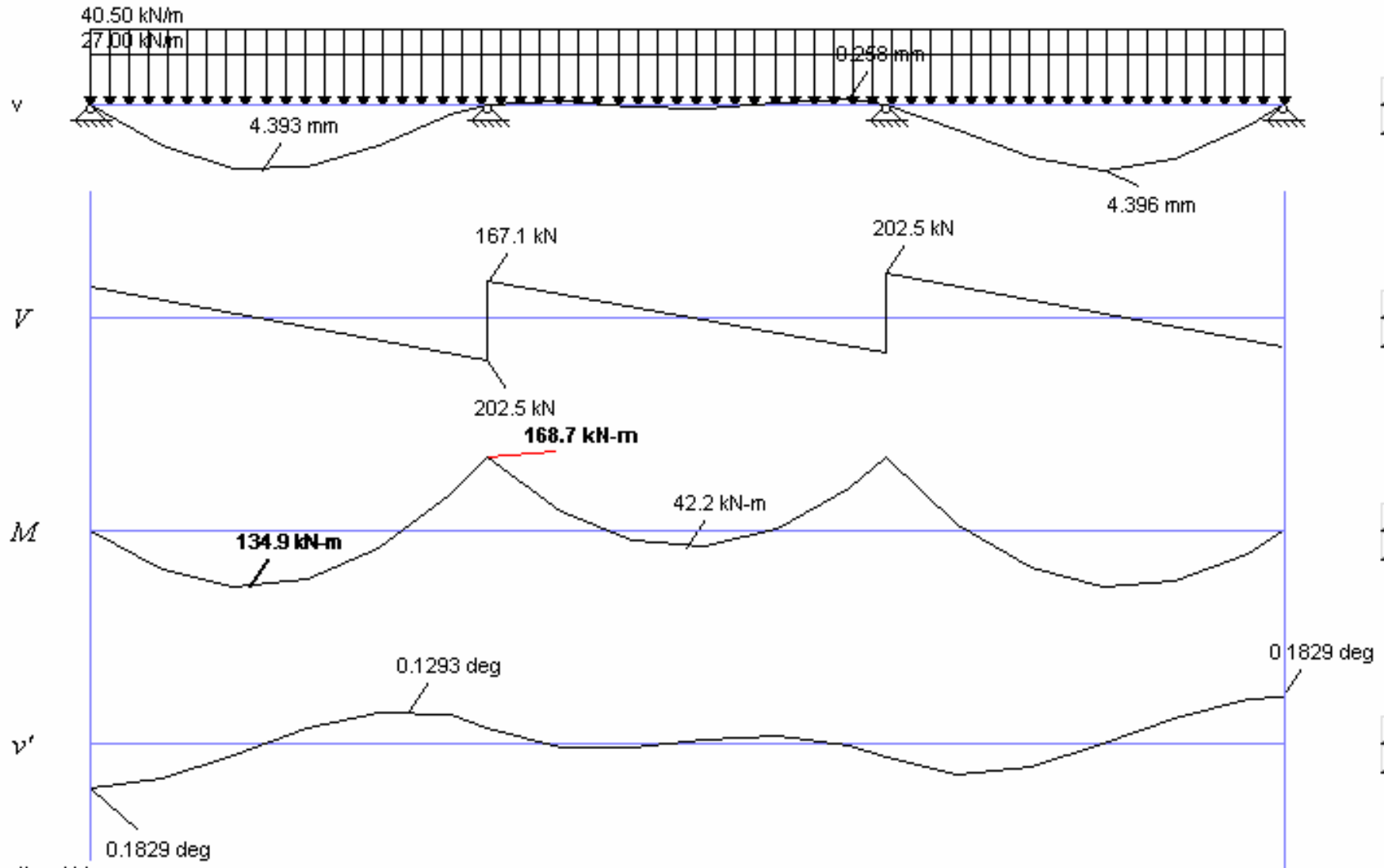


Zatěžovací případy 1 a 2

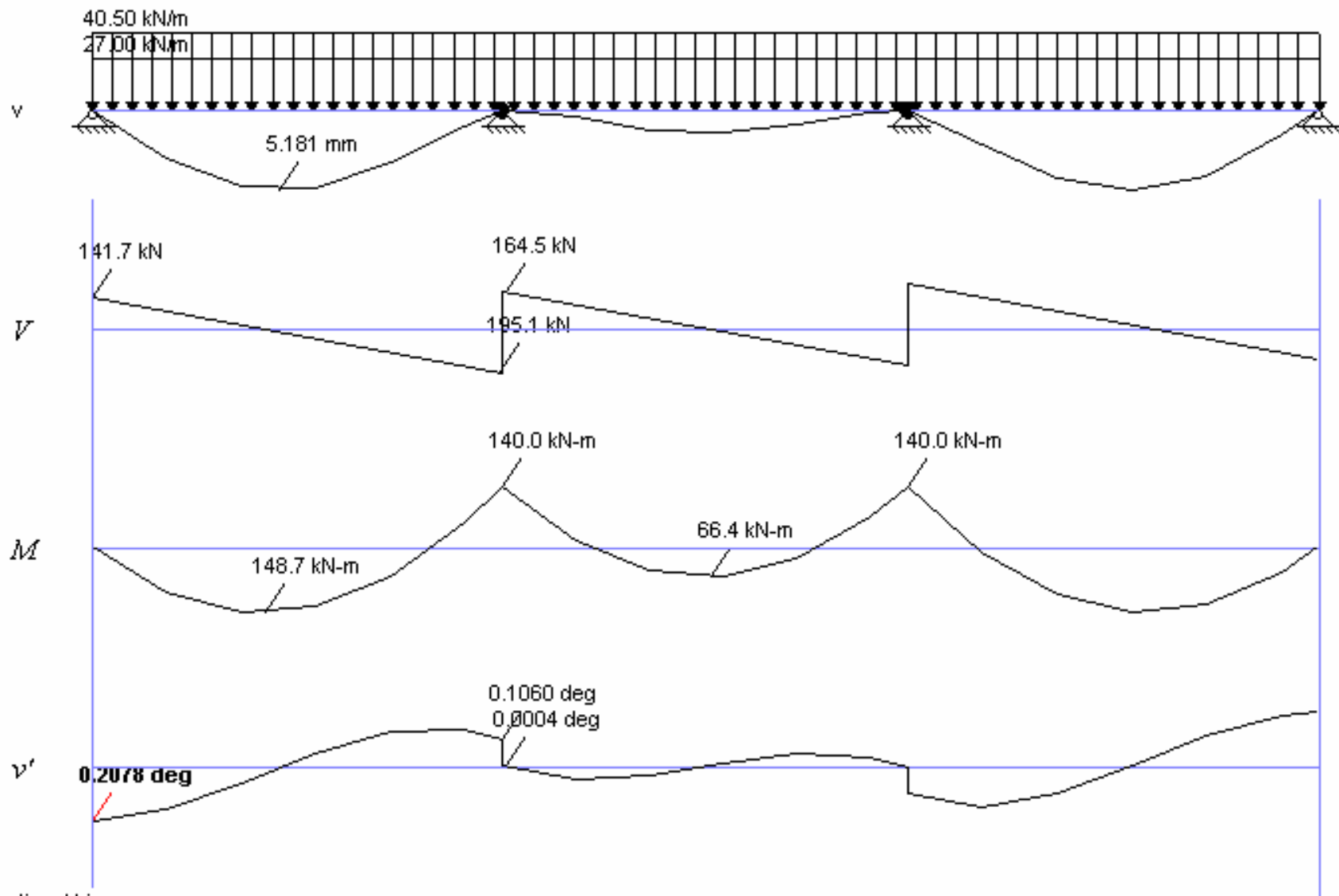


Zatěžovací případy 3 a 4

Lineární řešení a redistribuce



Redistribuce



Závěrečné poznámky

- **Metoda dílčích součinitelů je nejdokonalejší**
- **Pravděpodobnostní metody vytvářejí předpoklady pro porovnávání a zobecnění**
- **Dosud je spolehlivost značně nevyrovnaná**
- **Je třeba další kalibrace součinitelů**
- **Ve zvláštních případech je možno aplikovat pravděpodobnostní postupy**

Otázky ke zkoušce

Základní požadavky na stavební výrobky

Návrhové situace

Mezní stavy

Metoda dílčích součinitelů

Charakteristická a návrhová hodnota

Stálá a proměnná zatížení, základní hodnoty

Dílčí součinitele stálých a proměnných zatížení

Representativní hodnoty proměnných zatížení

Součinitele representativních hodnot zatížení

Kombinace zatížení pro ověřování mezních stav

ZÁKLADNÍ POJMY - 1

- **Návrhové situace**

- Trvalá - normální provoz
- Dočasná - výstavba, přestavba
- Mimořádná - požár, výbuch, náraz
- Seizmická - zemětřesení

- **Návrhová doba životnosti**

- Vyměnitelné součásti **1 až 5 let**
- Dočasné konstrukce **25 let**
- Budovy **50 let**
- Mosty, památníky **100 let**

ZÁKLADNÍ POJMY - 2

- **Spolehlivost** - vlastnost (pravděpodobnost) konstrukce plnit předpokládané funkce během stanovené doby životnosti za určitých podmínek.
 - spolehlivost - pravděpodobnost poruchy p_f
 - funkce - požadavky
 - doba životnosti T
 - určité podmínky
- **Pravděpodobnost poruchy p_f je**
nejdůležitější a objektivní míra spolehlivosti konstrukce

ZÁKLADNÍ POJMY - 3

- **Mezní stavy** - stavy při jejichž překročení ztrácí konstrukce schopnost plnit funkční požadavky
- **Mezní stavy únosnosti**
 - ztráta rovnováhy konstrukce jako tuhého tělesa
 - porušení, zřícení ztráta stability
 - porušení únavou
- **Mezní stavy použitelnosti**
 - provozuschopnost částí konstrukce
 - pohodlí uživatelů
 - vzhled

NEJISTOTY VE STAVEBNICTVÍ

- **Nejistoty**

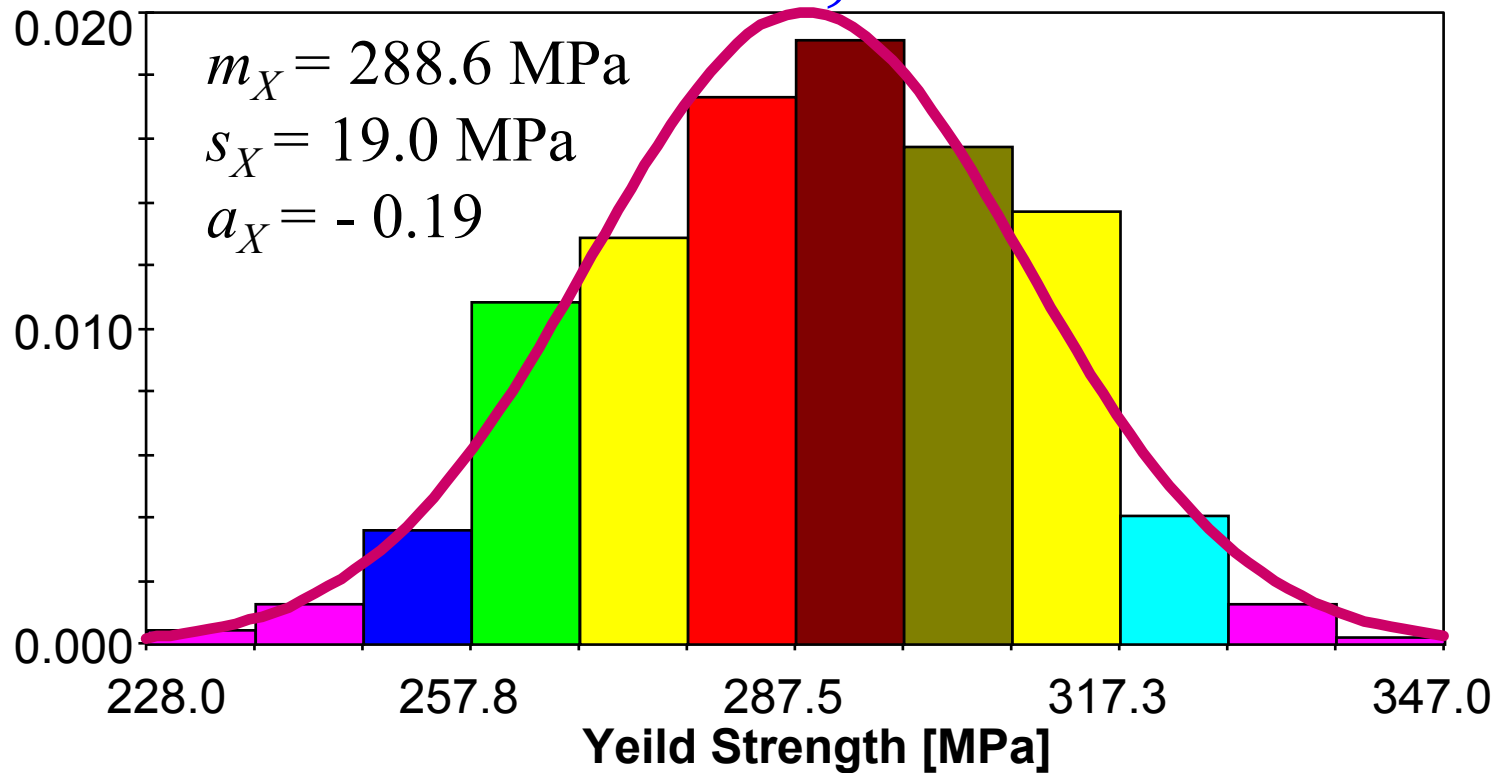
- Náhodnosti - přirozená proměnlivost
- Statistické nejistoty - nedostatek dat
- Modelové nejistoty
- Neurčitosti - nepřesnosti definic
- Hrubé chyby - lidský činitel
- Neznalosti - nové materiály a podmínky

- **Nástroje**

- teorie pravděpodobnosti a fuzzy množin
- matematická statistika

Některé nejistoty je obtížné kvantifikovat

Normální rozdělení, S235-780 vzorků



$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right]$$

Standardizovaná veličina

$$U = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x}, \varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right]$$

Statistické charakteristiky

Souborové hodnoty

Nestranné odhady

- Průměr, míra polohy

$$m'_X = m_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)$$

- Směrodatná odchylka, míra rozptylu

$$s'_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2}, \quad s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2}$$

- Koeficient šikmosti, míra asymetrie

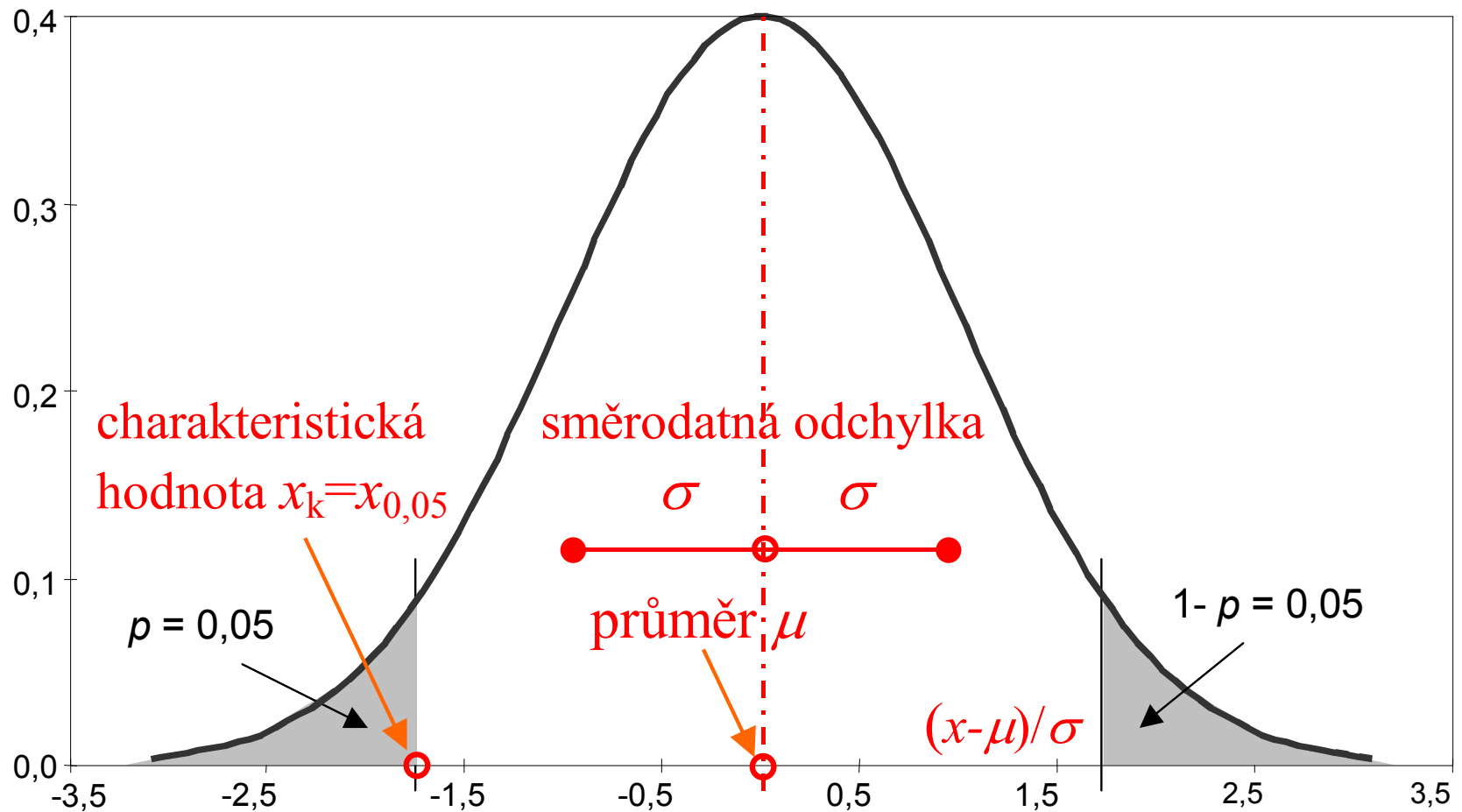
$$a'_X = \frac{1}{n s_X^3} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^3, \quad a_X = \frac{n}{(n-1)(n-2) s_X^3} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^3$$

- Variační koeficient, relativní míra rozptylu

$$v'_X = s'_X / m'_X, \quad v_X = s_X / m_X$$

TEORETICKÝ MODEL

Hustota pravděpodobnosti $\varphi(x)$



Standardizovaná náhodná veličina X s normálním rozdělením

Odhad kvantilu

CHARAKTERISTICKÁ PEVNOST $f_k = 5\%$ KVANTIL

• $f_k =$ PRŮMĚR - k SMĚRODATNÁ ODCHYLKA

• Teoretický model: $f_k = \mu_X - k_1 \sigma_X$

• Soubor: $f_k = m_X - k_2 s_X$ nebo $f_k = m_X - k_3 \sigma_X$

• SOUČINITEL k ZÁVISÍ NA

- rozměru souboru
- předchozí informci
- asymetrii
- konfidenci