

# OBEČNÉ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ

**Prof. Ing. Milan Holický, DrSc.**

ČVUT, Šolínova 7, 166 08 Praha 6

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

email: milan.holicky@klok.cvut.cz,

<http://www.klok.cvut.cz>

→ Pedagogická činnost → Výuka bakalářských a  
magisterských předmětů → Nosné konstrukce II

**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**

# Metoda dílčích součinitelů

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

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

3

## Součinitele $\gamma_C$ a $\gamma_S$ pro betonové konstrukce

ČSN EN 1992-1-1, 2007, tabulka 2.1N

Návrhové situace	$\gamma_C$ pro beton	$\gamma_S$ pro betonářskou ocel	$\gamma_S$ pro předpínací ocel
trvalé a dočasné	1,5	1,15	1,15
mimořádné	1,2	1,0	1,0

# Klasifikace zatížení

Stálá

***G***

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

Proměnná

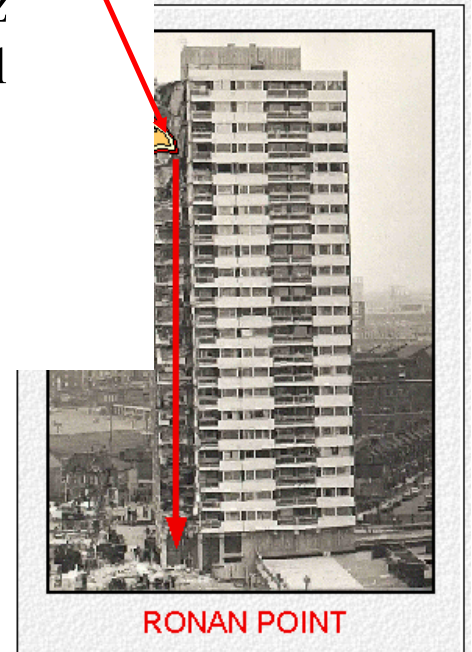
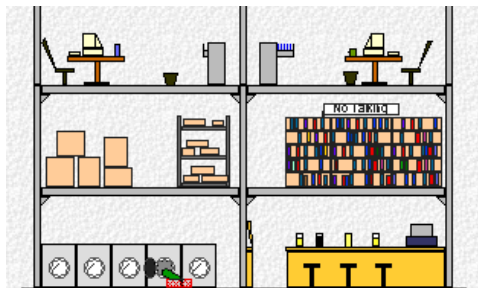
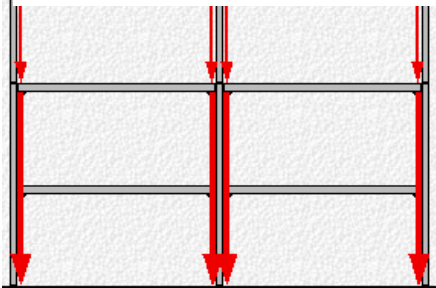
***Q***

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

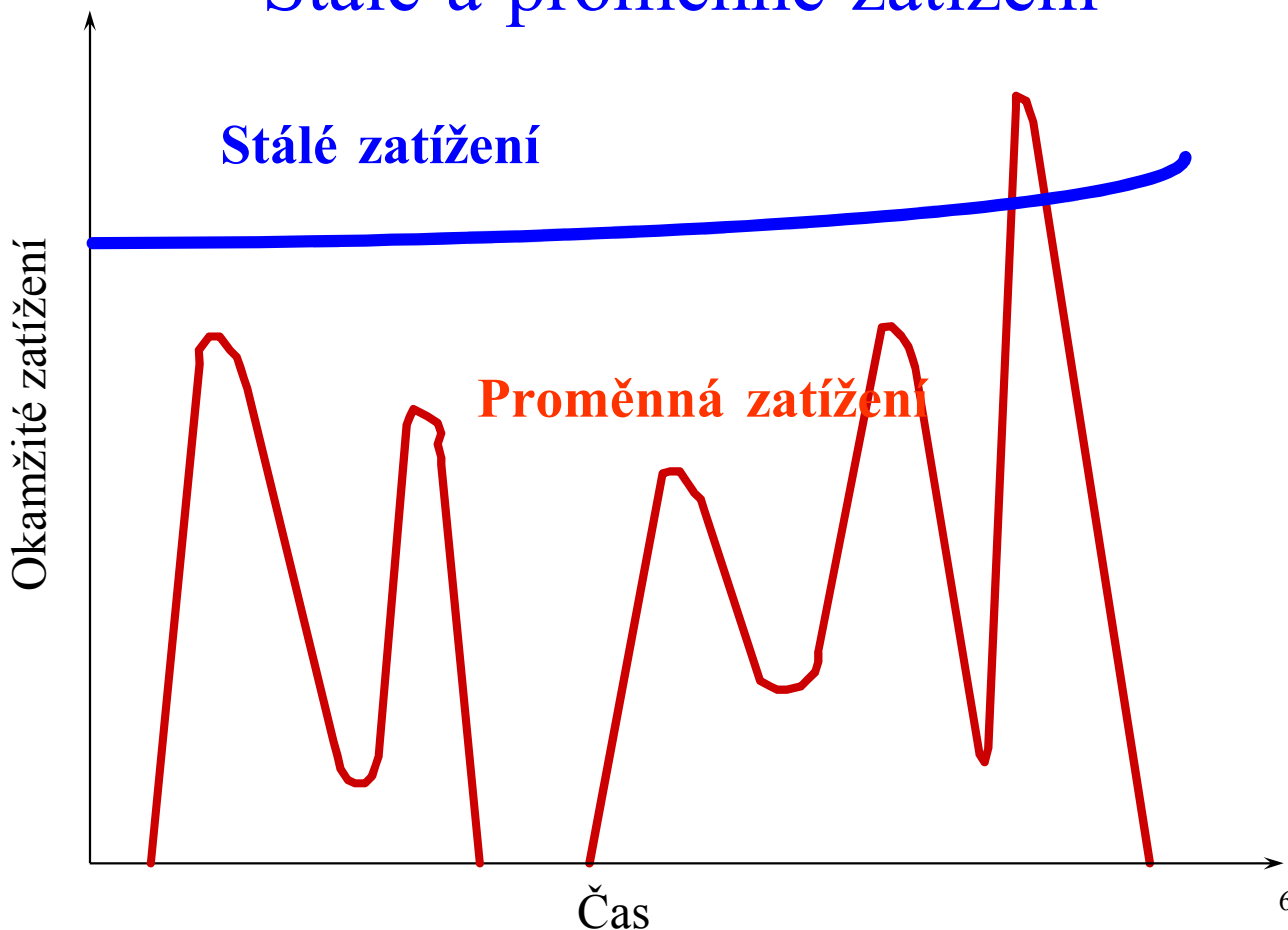
Mimořádná

***A***

- Výbuch
- Požár
- Náraz vozidel



## Stále a proměnné zatížení



# Součinitele $\gamma_G$ a $\gamma_Q$

EN 1990, 2002, tabulky A.1.2

Mezní stav	Účinek zatížení	$\gamma_G$	$\gamma_Q$
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

7

# Součinitele $\psi_i$

EN 1990, 2002

Zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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

8

# 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

9

## Užitná zatížení

Kategorie	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
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:

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

10

# Garáže a dopravní plochy pro vozidla

Kategorie	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
F	1,5 - <u>2,0</u>	10 - <u>20</u>
dopravní a parkovací plochy pro lehká vozidla do 30 kN a 8 sedadel		
G	5	40 - <u>90</u>
pro střední vozidla do 30 kN celkové tíhy, menší než 160 kN		

## Kategorie střech

	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
H	Plochy nepřístupné s výjimkou běžné údržby 0 - 1 ( <u>0,4</u> ) $A = 10 \text{ m}^2$ 0,9 - 1,5 ( <u>1</u> )	
I	Střechy přístupné pro kat. A až G	
K	Plochy přístupné pro zvláštní provoz (např. vrtulníky, třídy HC1 a HC2)	

11

# Vodorovná zatížení na příčky a zábradlí

## Užitné plochy

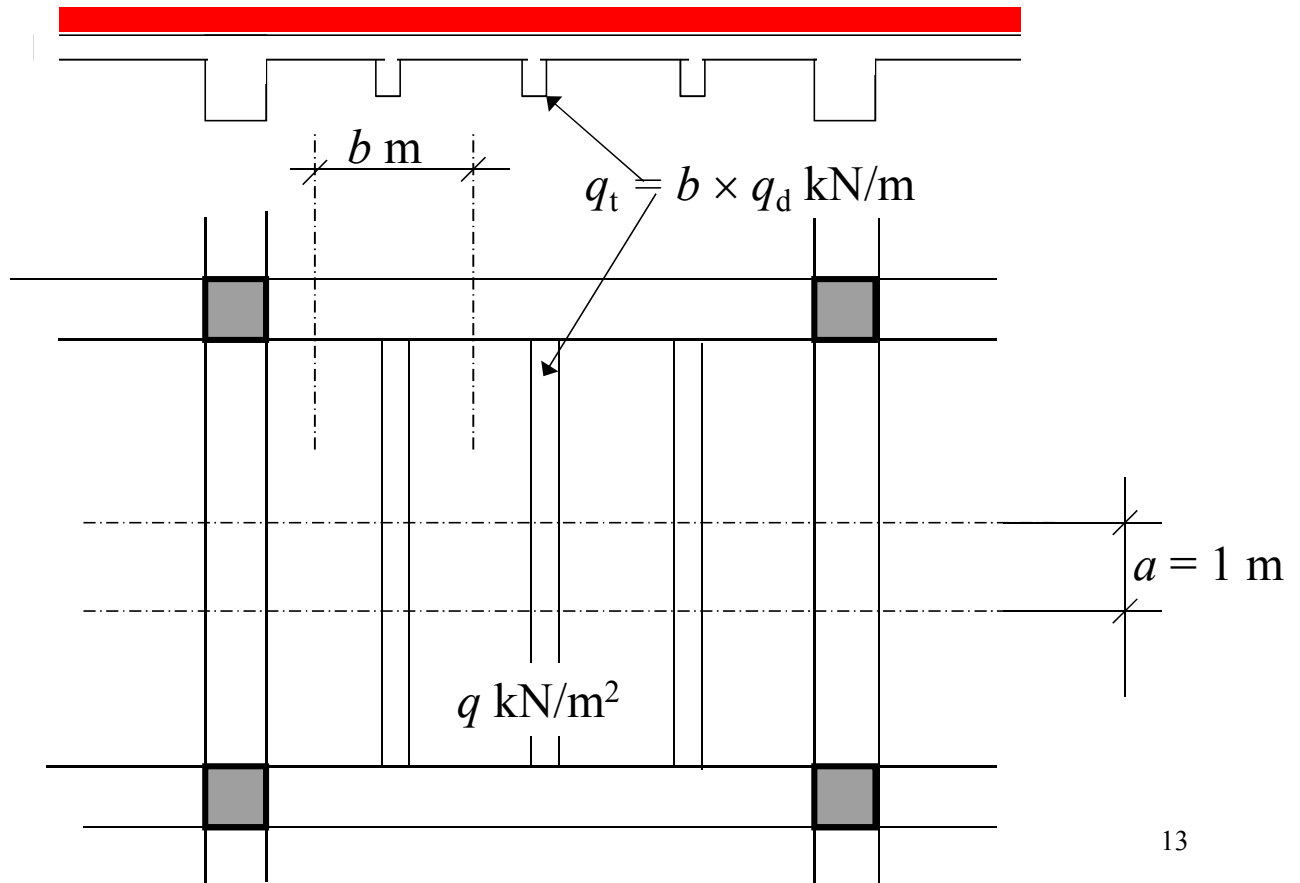
$q_k$  [kN/m]

A	0,5
B, C1	0,5
C2-C4, D	$q_k$
C5	3
E	$q_k$

12

# Zatížení desky a trámu

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



13

## 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 stavů

14

# REPRESENTATIVNÍ HODNOTY proměnných zatížení

## Kombinační hodnota $\psi_0 Q_k$

- redukovávaná pravděpodobnost výskytu nepříznivých hodnot několika nezávislých zatížení

## Častá hodnota $\psi_1 Q_k$

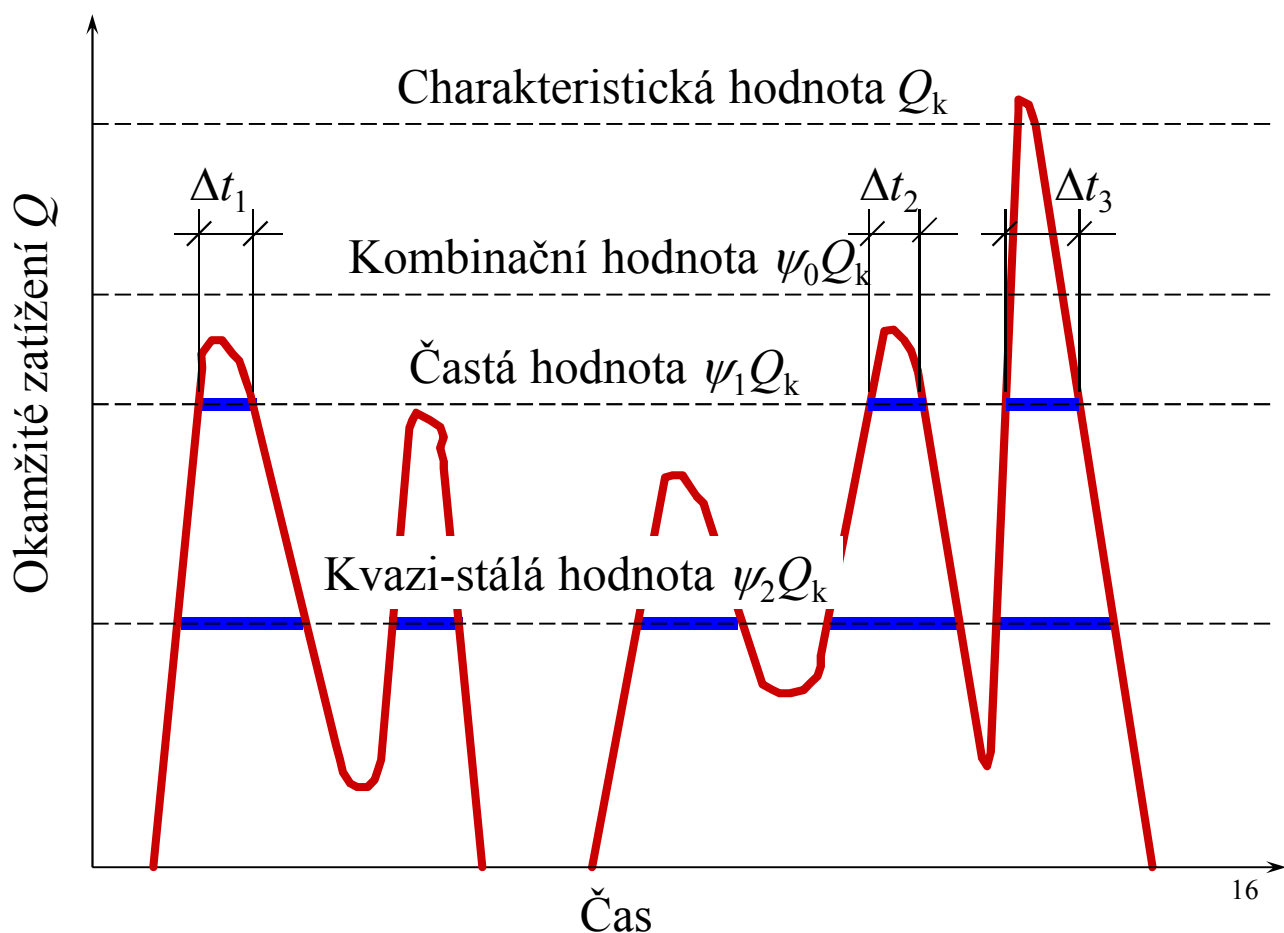
- celková doba je 0.01 referenční doby
- doba návratu 1 týden (mosty)

## Kvazistálá hodnota $\psi_2 Q_k$

- celková doba je 0.5 referenční doby

15

# REPRESENTATIVNÍ HODNOTY



16



## 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  $\psi$  nelze uvažovat společně s redukčním součinitelem  $\alpha_n$ .

17

## Zatížení od vysoko zdvižných 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

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

$\varphi$  - součinitel pro dynamické účinky

18

# VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ NA SVODIDLA

Užitné plochy v garážích

$q_k$  [kN/m]

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

$\delta_c$

Deformace vozidla (mm)

$\delta_b$

Deformace svodidla (mm)

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

19

## SOUČINITELE $\psi_i$

### EN 1990, 2002, tabulka A.1.1

Zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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

20

# 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)

21

# KOMBINACE ZATÍŽENÍ

únosnost, EN 1990, 2002

• Trvalá a dočasná návrhová situace - základní k.

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

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

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

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

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

22

# 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

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

23

## 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

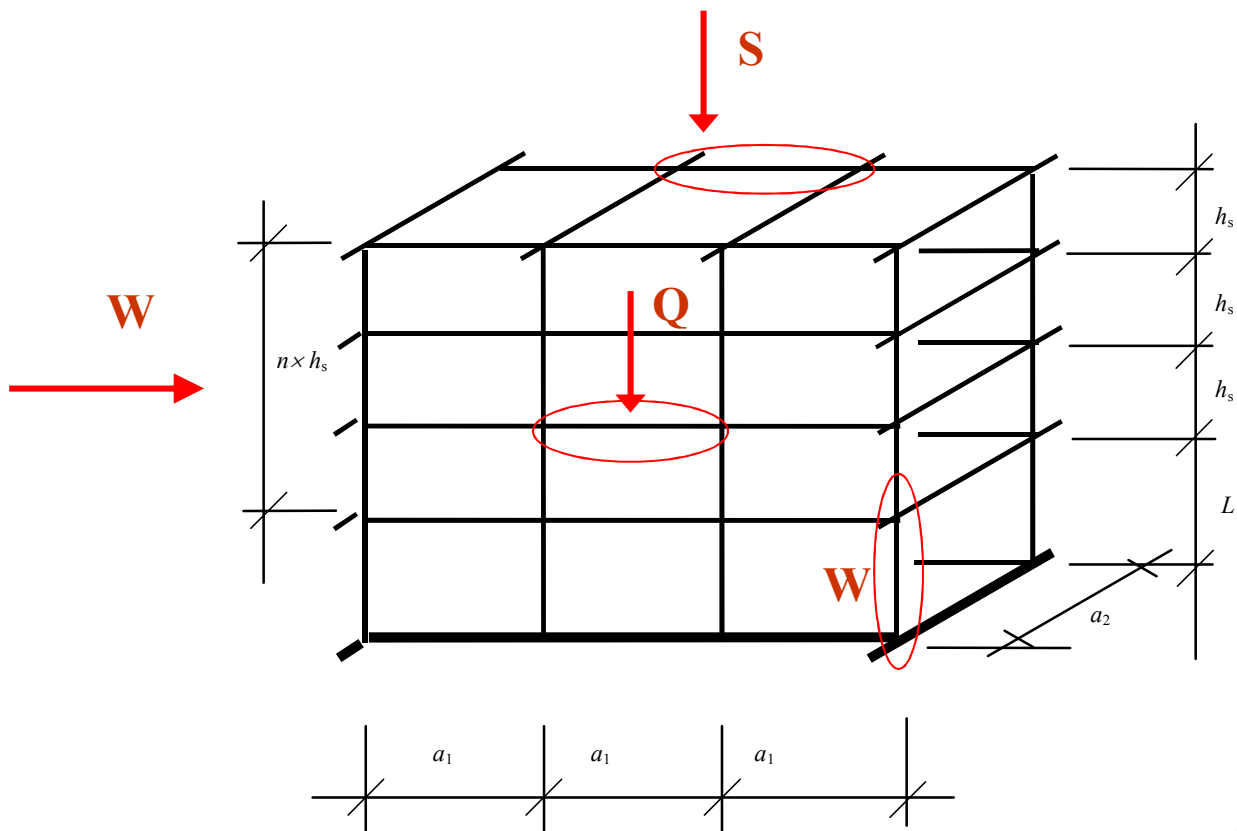
$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki} \quad (6.15)$$

- Kvazistálá kombinace - dlouhodobé účinky

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

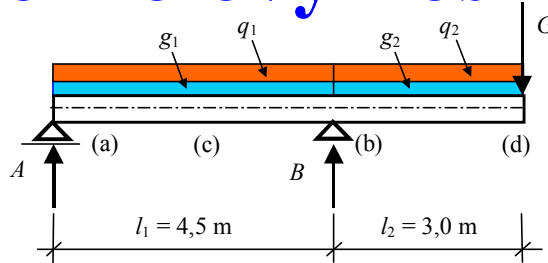
24

# Hlavní proměnné zatížení



25

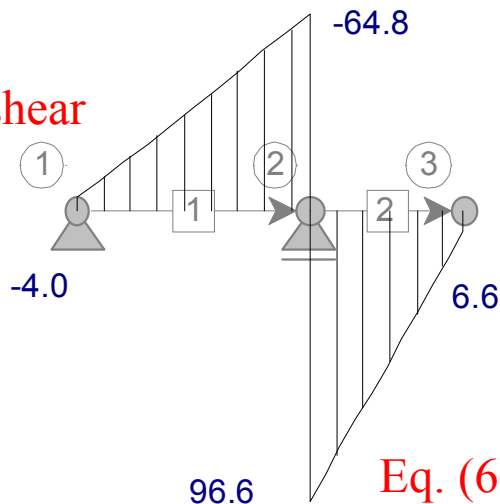
# Konzolový nosník



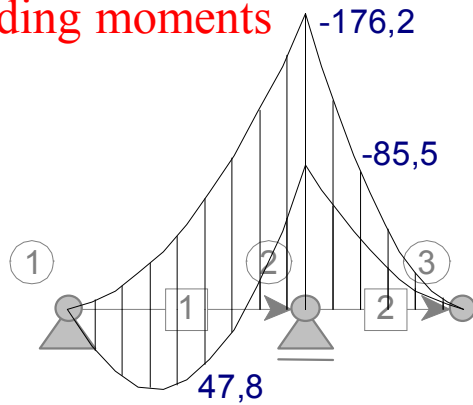
Load case	Limit state	Action				
		$g_1$	$g_2$	$q_1$	$q_2$	$G$
1	Equilibrium, eq. (6.7)	0,90	1,10	-	1,50	1,10
2	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,00	1,50	-	1,00
3	Ultimate, eq. (6.10)	1,00	1,35	-	1,50	1,35
4	Ultimate, eq. (6.10)	1,35	1,35	1,50	1,50	1,35
5	Ultimate, eq. (6.10a)	1,35	1,00	$1,50 \times 0,7$	-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

# Účinek zatížení

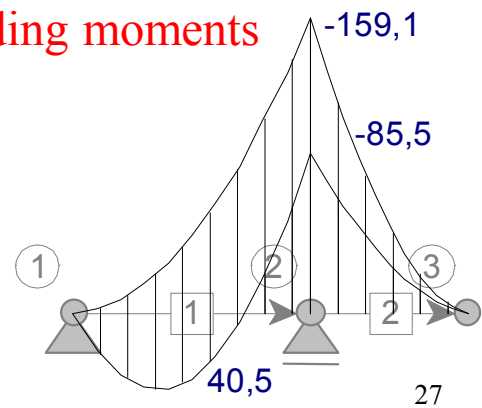
Eq(6.7) - shear



Eq. (6.10)  
bending moments

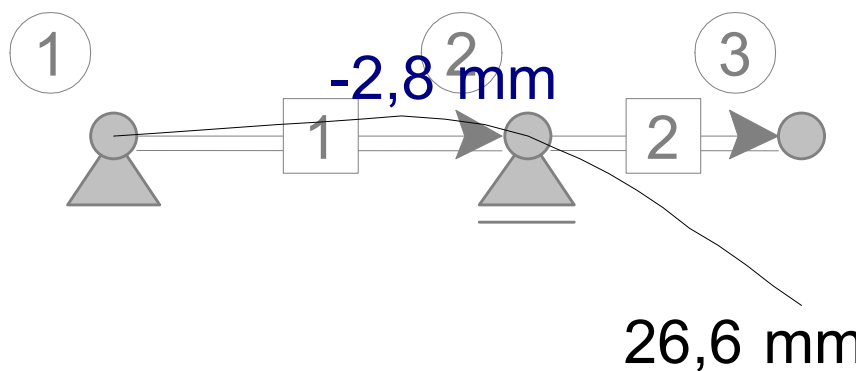


Eq. (6.10a) and (6.10b)  
bending moments

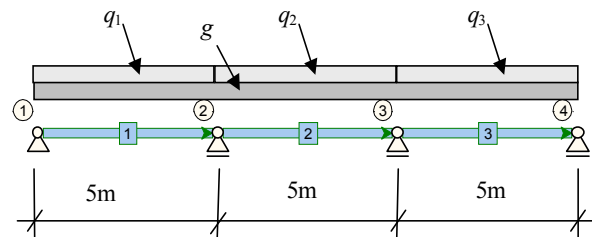


## Dlouhodobé přetvoření

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 <sub>0</sub>

# Spojité nosník - použitelnost

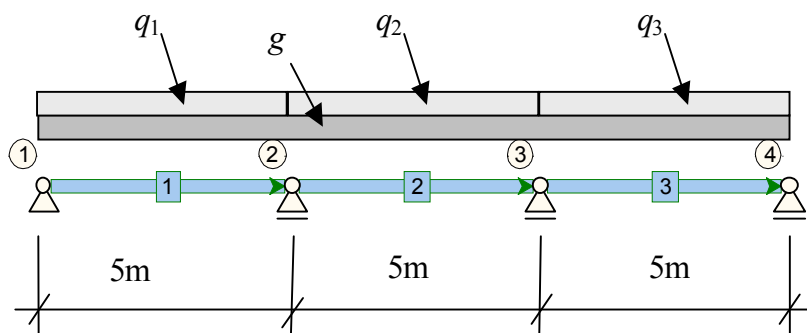
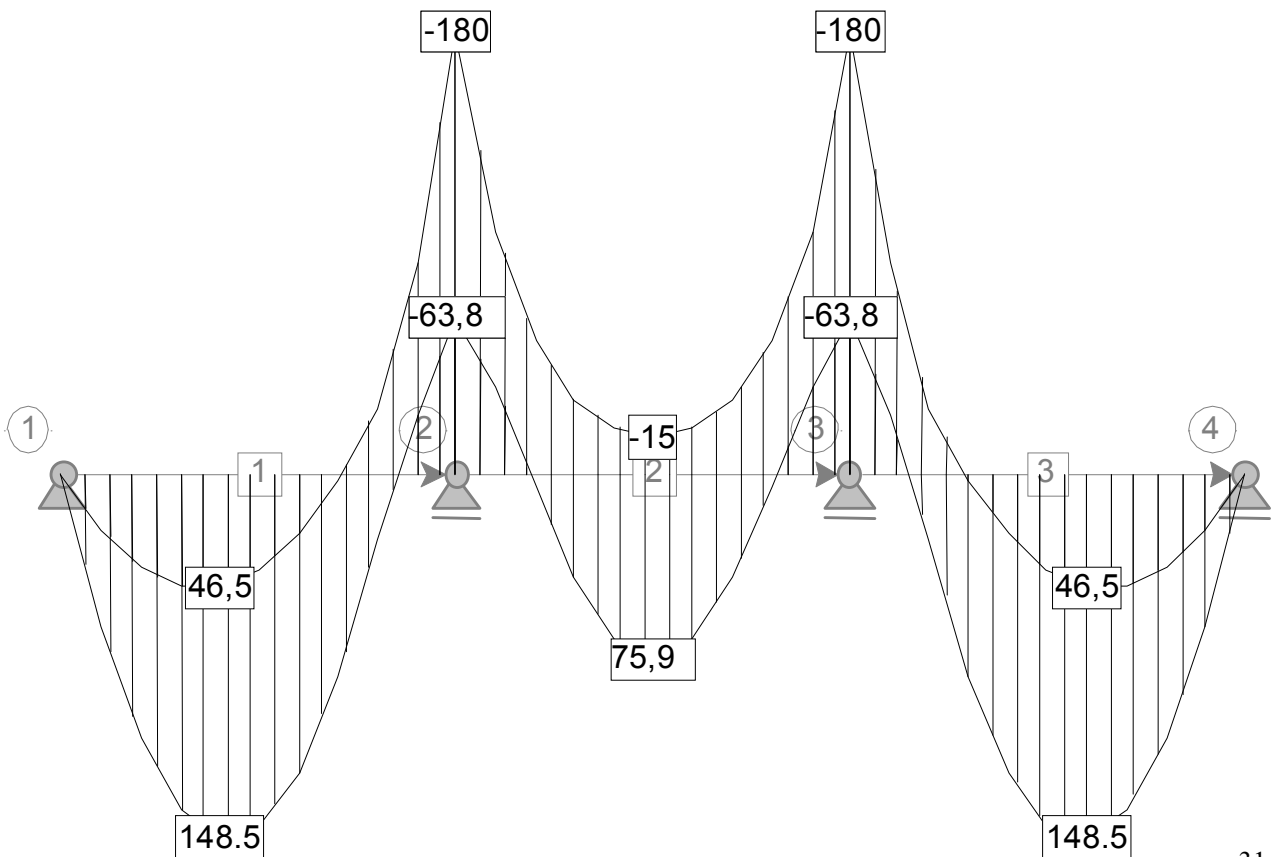


Table 5.2b. Load cases and appropriate factors ( $\gamma \times \psi$ ) for serviceability limit states.

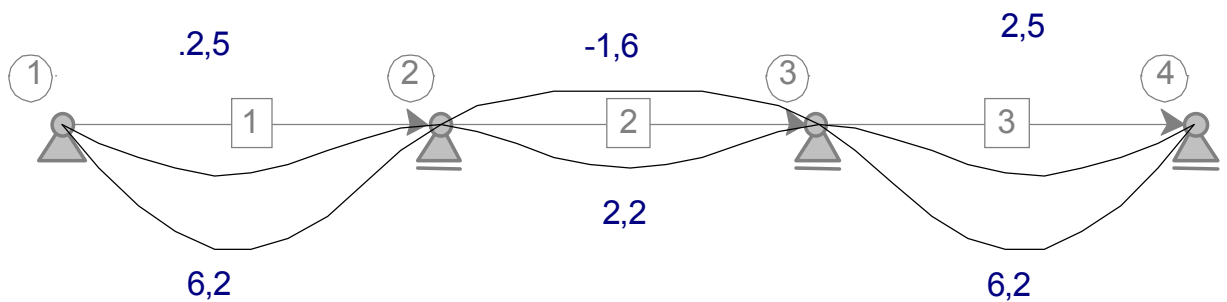
Load case	Limit state	Action			
		$g$	$q_1$	$q_2$	$q_3$
1	Serviceability, eq. (6.14)	1,00	1,00	-	1,00
2	Serviceability, eq. (6.14)	1,00	-	1,00	-
3	Serviceability, eq. (6.17)	1,00	1,00×0,3	-	1,00×0,3
4	Serviceability, eq. (6.17)	1,00	-	1,00×0,3	-

# Ohybový moment

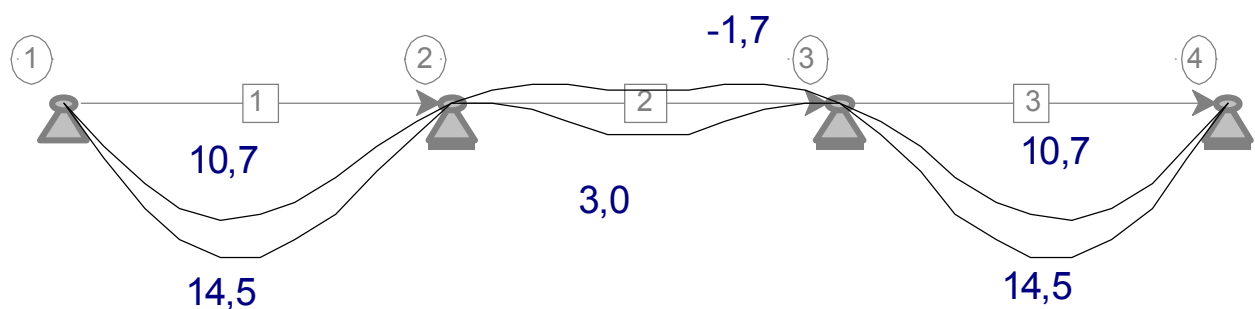


31

# Přetvoření



Zatěžovací případy 1 a 2

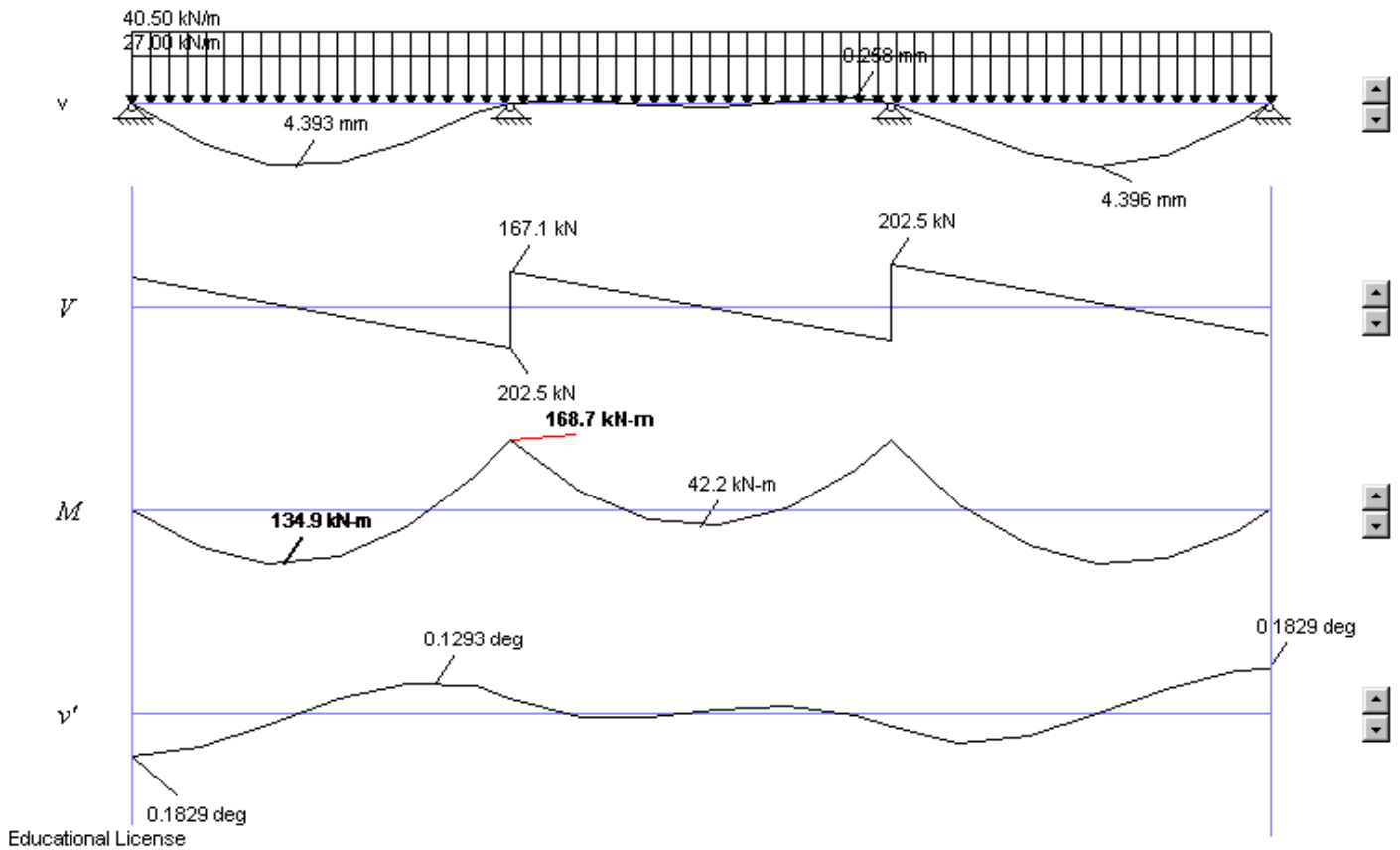


Zatěžovací případy 3 a 4

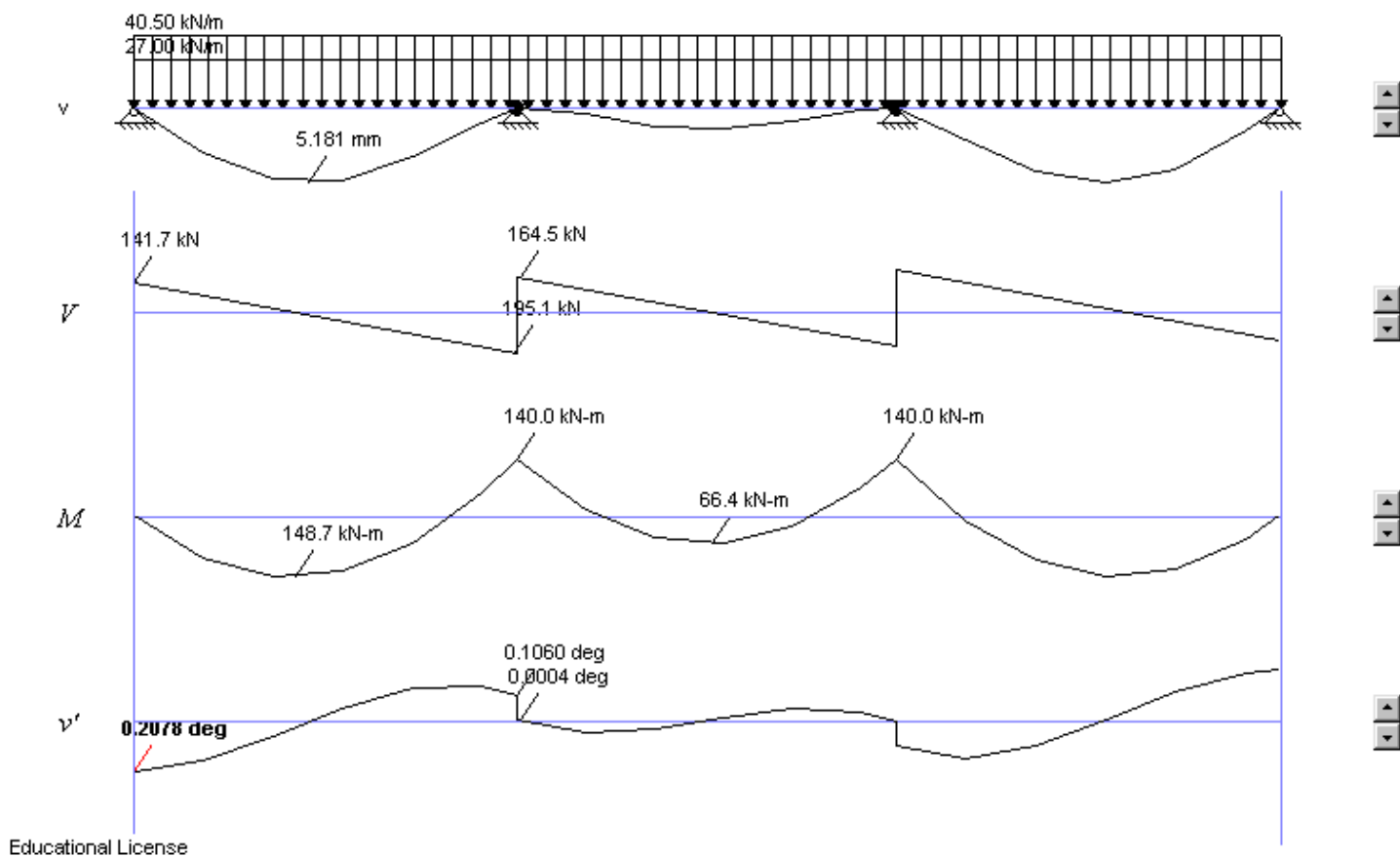
32



# Lineární řešení a redistribuce



# Redistribuce



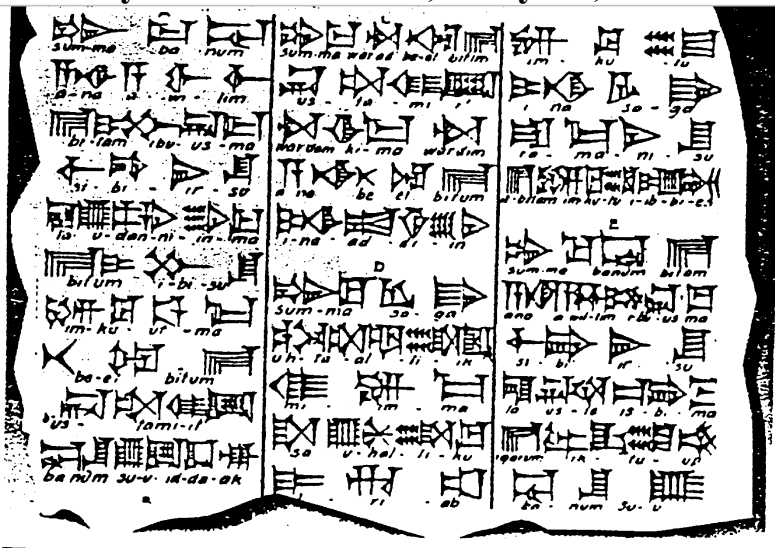
# Závěrečné poznámky

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

35

## NEJSTARŠÍ STAVEBNÍ ZÁKON

Zákony Hammourabiho, Babylon, 2200 BC



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



# 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**

37

# 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**

**nej důležitější** a objektivní míra spolehlivosti konstrukce

38

# 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

39

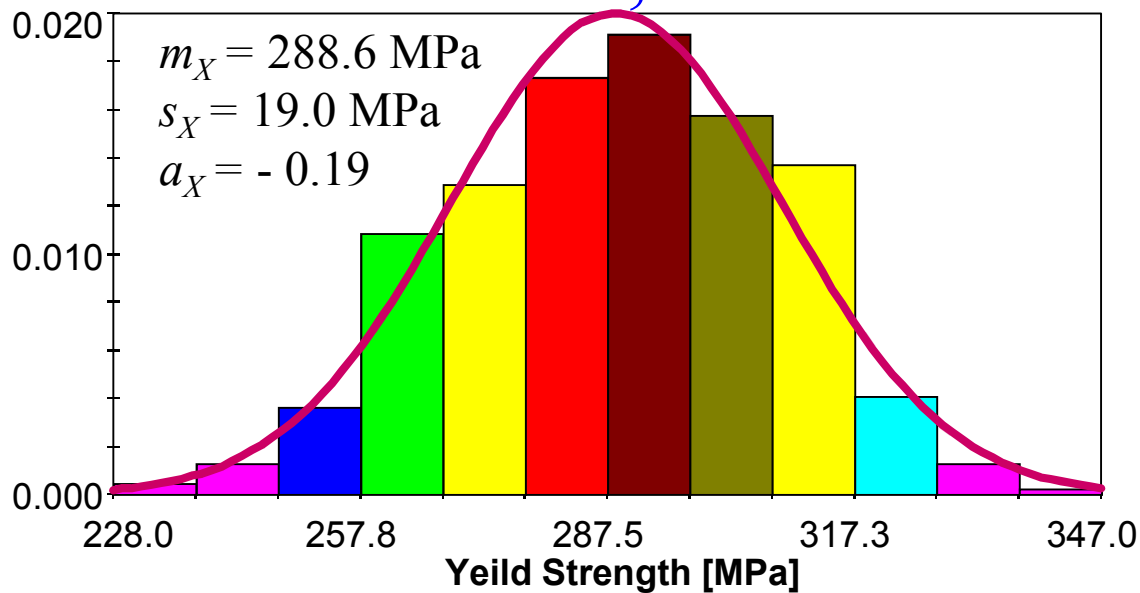
## NEJISTOTY VE STAVEBNICTVÍ

- **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**

40

# 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**

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

## 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

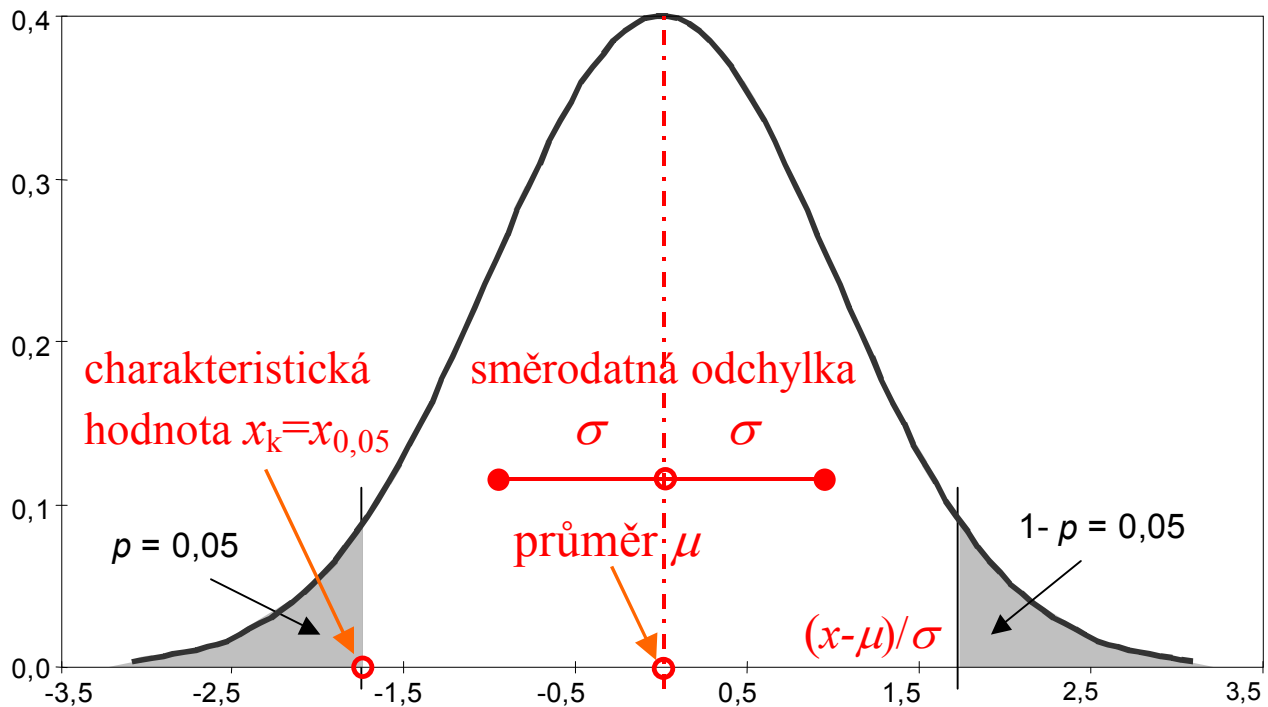
$$a'_X = \frac{1}{n s_X^3} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^3, \quad a_X = \frac{n}{(n-1)(n-2) s_X^3} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^3$$

- Variační koeficient, relativní míra rozptylu

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

# TEORETICKÝ MODEL

Hustota pravděpodobnosti  $\varphi(x)$



43

## Odhad kvantilu

CHARAKTERISTICKÁ PEVNOST  $f_k = 5\%$  KVANTIL

•  $f_k = \text{PRŮMĚR} - (k) \times \text{SMĚRODATNÁ ODCHYLKA}$

• 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 informaci
- asymetrii
- konfidenci

# METODY OVĚŘOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI

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

**Zvyšuje se náročnost výpočtu**