

HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ
Stavby industriálního dědictví

Hodnocení vlastností materiálů podle ČSN EN 1990, přílohy D

Karel Jung
Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

1. Úvod
2. Kvantil náhodné veličiny
3. Hodnocení jedné veličiny
4. Hodnocení modelu
5. Příklady - pomůcky EXCEL

Obsah přílohy D

- D.1 Rozsah platnosti
- D.2 Značky
- D.3 Druhy zkoušek
- D.4 Plánování zkoušek
- D.5 Odvození návrhových hodnot
- D.6 Obecné zásady statistického hodnocení
- D.7 Stanovení jedné nezávislé vlastnosti (pevnosti)
- D.8 Stanovení modelů odolnosti (zkoušky prvků)

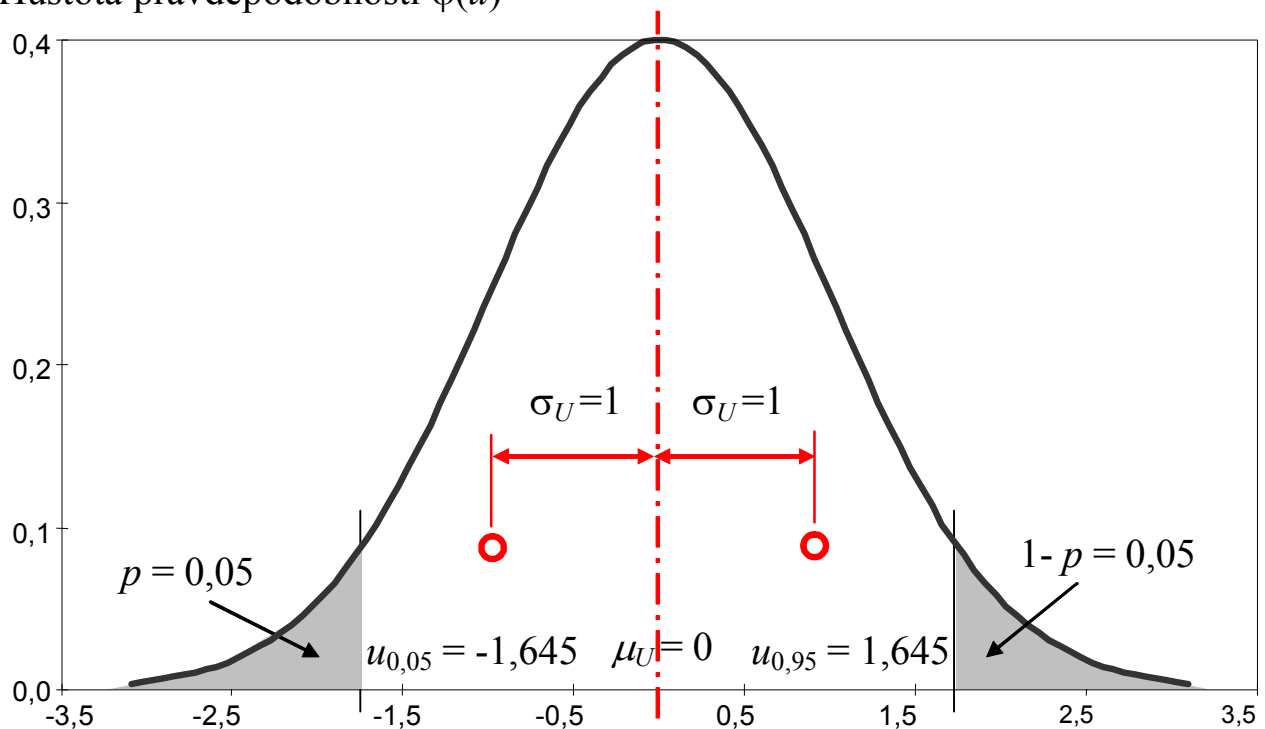
Obecné zásady statistického hodnocení

- Zkoušky jedné nezávislé vlastnosti, např. pevnosti, modulu pružnosti:
 - velmi malý počet zkoušek (méně než 6) - statistické postupy se obtížně aplikují je možné využít předchozí informace (např. o variabilitě) – **postupuje se podle D.7, nebo se využijí Bayesovské postupy podle ISO 2394.**
 - větší počet zkoušek (6 a více) – běžné statistické postupy popřípadě doplněné předchozími informacemi (např. o variabilitě) – **postupuje se podle D.7.**
- Zkoušky celého prvku (např. nosníku, sloupu, styčníku), pro který je k dispozici teoretický model – **postupuje se podle oddílu D.8.**

3

Dolní a horní kvantil teoretického modelu

Hustota pravděpodobnosti $\varphi(u)$



Normovaná náhodná veličina $U=(X - \mu_X)/\sigma_X$ s normálním rozdělením

4

Kvantil teoretického modelu

$$x_p = \mu + u_p \sigma = \mu (1 + u_p V)$$

Kvantil u_p normované náhodné veličiny s normálním rozdělením.

p	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	0,001	0,010	0,050	0,100	0,200	0,500
u_p	-5,199	-4,753	-4,265	-3,719	-3,091	-2,327	-1,645	-1,282	-0,841	0,000

Kvantil u_p normované náhodné veličiny s lognormálním rozdělením.

α	Pravděpodobnosti p													
	10^{-4}	10^{-3}	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	0,90	0,95	0,99	$1-10^{-3}$	$1-10^{-4}$	
-1,0	-6,40	-4,70	-3,03	-1,85	-1,32	-0,74	0,15	0,84	1,13	1,34	1,68	1,99	2,19	
0,0	-3,72	-3,09	-2,33	-1,65	-1,28	-0,84	0,00	0,84	1,28	1,65	2,33	3,09	3,72	
1,0	-2,19	-1,99	-1,68	-1,34	-1,13	-0,84	-0,15	0,74	1,32	1,85	3,03	4,70	6,40	

5

Kvantil lognormálního rozdělení

$$x_p = \frac{\mu}{\sqrt{1+V^2}} \exp\left(u_p \sqrt{\ln(1+V^2)}\right)$$

$$x_p \cong \mu \exp(u_p \times V)$$

Kvantil Gumbelova rozdělení

$$x_p = x_{\text{mod}} - \frac{1}{c} \ln(-\ln(p)) \cong \mu - (0,45 + 0,78 \ln(-\ln(p))) \sigma$$

6

Návrhové hodnoty ze souboru $x_i, i=1, n$

- $m_X = (\sum x_i) / n$, $s_X = \sum (x_i - m_X)^2 / (n - 1)$, $V_X = s_X / m_X$
- Stanoví se charakteristická hodnota $X_{k(n)}$ a ta se dělí dílčím součinitelem, popřípadě násobí převodním součinitelem (D.7 a D.8 ČSN EN 1990);

$$X_{k(n)} = \eta_d m_X \{1 - k_n V_X\}$$

$$X_d = \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} m_X \{1 - k_n V_X\}$$

- Návrhová hodnota se stanoví přímo, s implicitním nebo explicitním uvážením konverze výsledků a celkové požadované spolehlivosti (D.7 a D.8 ČSN EN 1990).

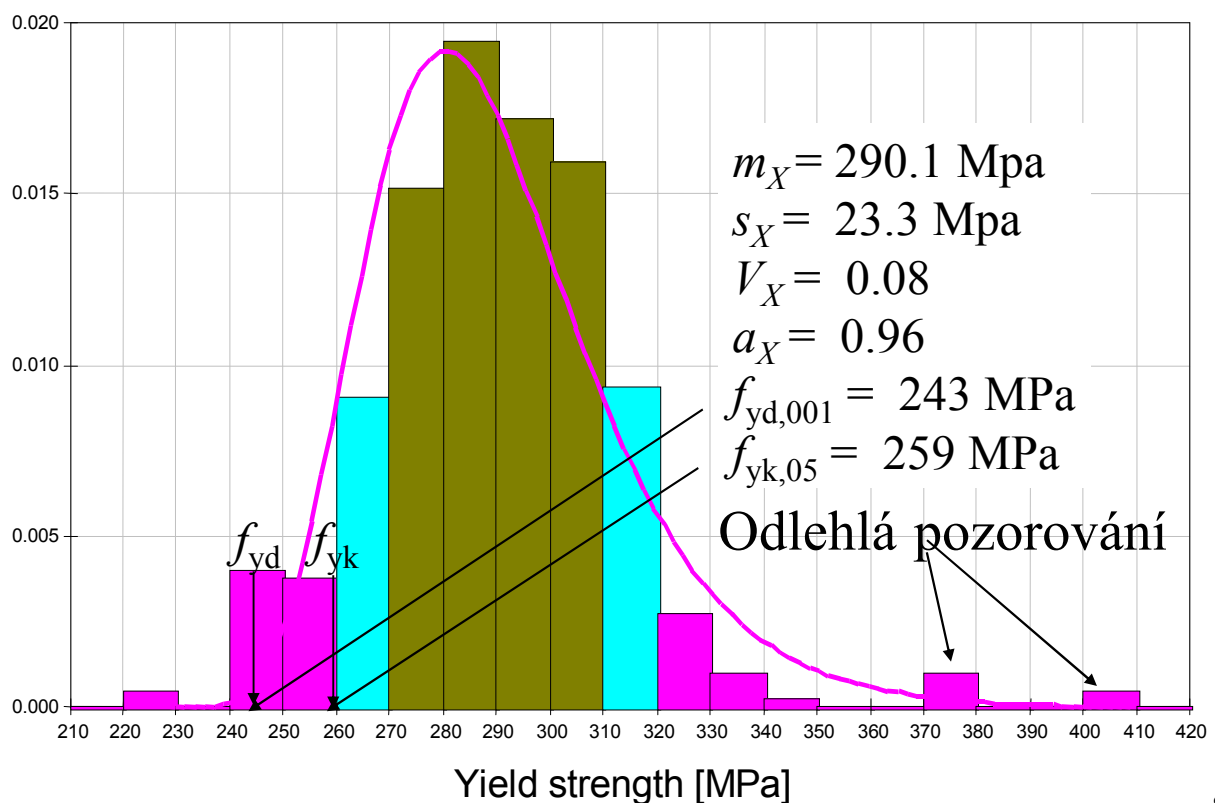
$$X_d = \eta_d m_X (1 - k_{d,n} V_X)$$

7

Mez kluzu pro S 235 – 792 měření

Relative frequency

Density Plot (Shifted Lognormal) - [A1_792]

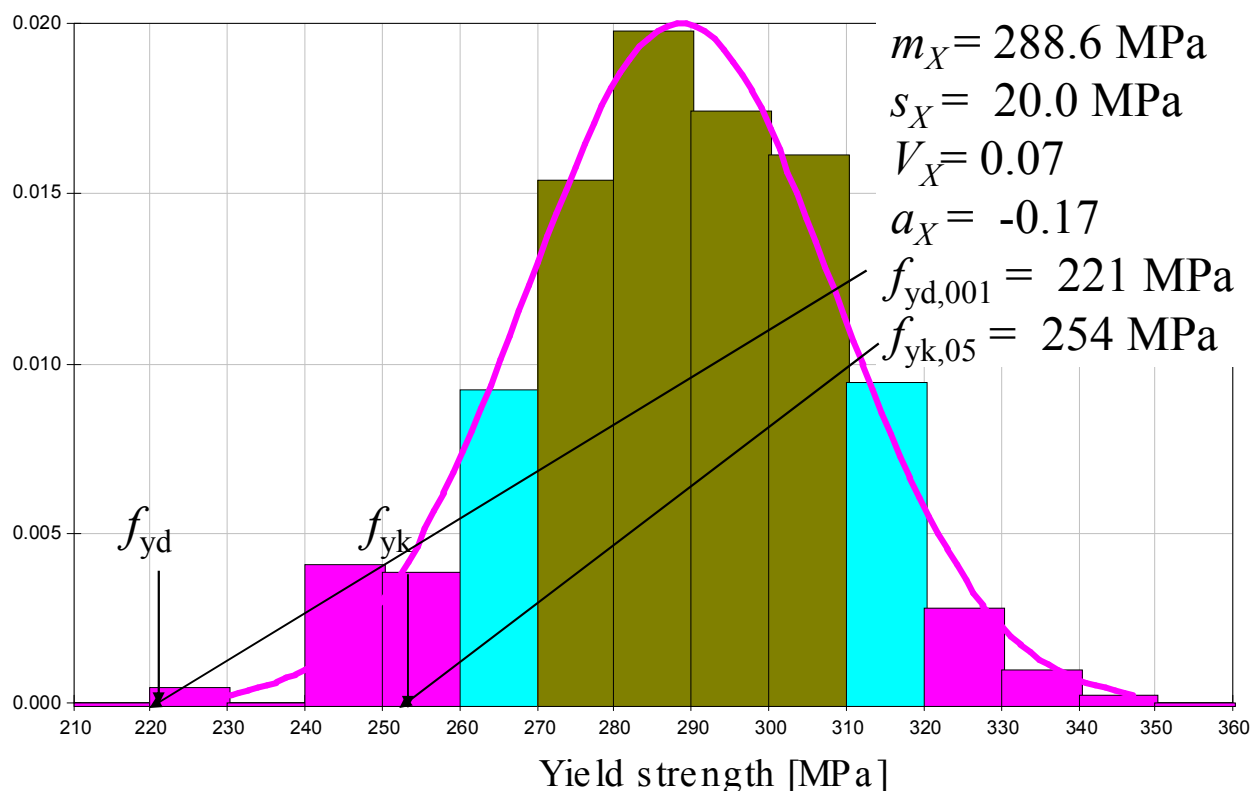


8

Mez kluzu pro S 235 – 780 měření

Relative Frequency

Density Plot (Normal (Gauss)) - [A2_780]



9

Odhad kvantilu ze souboru

Základní metody

Pokryvná metoda: $x_{p,cover}$ - konfidence γ :

$$P\{x_{p,cover} < x_p\} = \gamma$$

Předpovědní metoda: $x_{p,pred}$ - pravděpodobnost p výskytu příští hodnoty x_{n+1} :

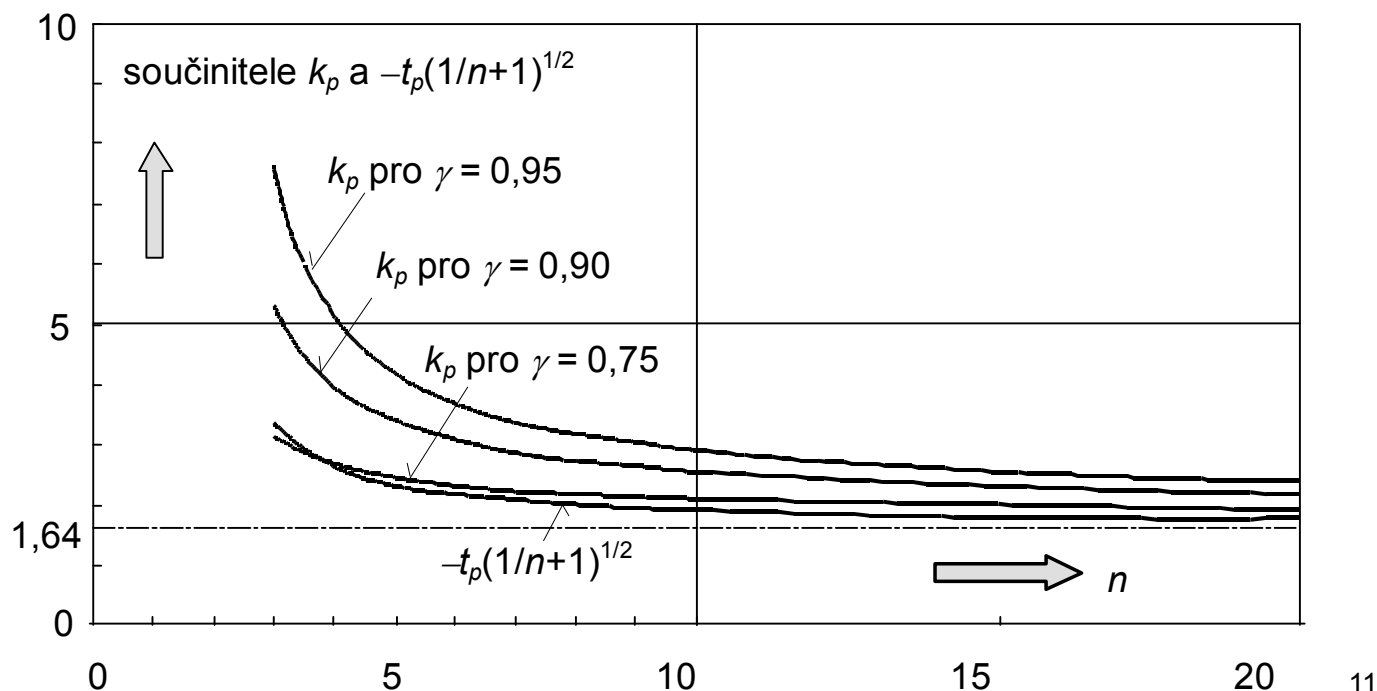
$$P\{x_{n+1} < x_{p,pred}\} = p$$

Bayesovský přístup: kombinace pozorovaných dat (s průměrem m a směrodatnou odchylkou s) a předchozích dat (m' , s') pro kterou se stanoví výsledné charakteristiky (m'' , s'') - pak se aplikuje **pokryvná** nebo **předpovědní metoda**

10

Vliv konfidence

Součinitele k_p a $-t_p(1/n+1)^{1/2}$ pro normální rozdělení a různé konfidence γ



Předpovědní metoda

Soubor: $x_i, n, m, s, (\sigma)$

$$P(x_{n+1} < x_{p, \text{pred}}) = p$$

Znamé σ

$$x_{p, \text{pred}} = m + u_p (1/n + 1)^{1/2} \sigma$$

Neznámé σ - uvažuje se odhad s

$$x_{p, \text{pred}} = m + t_p (1/n + 1)^{1/2} s$$

Odhad kvantilů podle Eurokódů

Odpovídá přibližně konfidenci $\gamma = 0,75$

Součinitele k_n pro 5% charakteristickou hodnotu .

	Rozsah souboru n											
Součinitel	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞	
$-u_p(1/n+1)^{1/2}, \sigma \text{ známé}$	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64	
$-t_p(1/n+1)^{1/2}, \sigma \text{ neznámé}$	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64	

. Součinitele k_n pro návrhovou hodnotu x_d dominantní veličiny, $P(X < x_d) = 0,001$.

	Rozsah souboru n											
Součinitel	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞	
$-u_p(1/n+1)^{1/2}, \sigma \text{ známé}$	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,09	
$-t_p(1/n+1)^{1/2}, \sigma \text{ neznámé}$	-	-	-	11,4	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,09	

13

Příklad odhadu kvantilu

BETON: $n = 5, m = 29,2 \text{ MPa}, s = 4,6 \text{ MPa}$

Pokryvná metoda

Pro $\gamma = 0,75$: $x_{p,\text{cover}} = 29,2 - 2,46 \times 4,6 = 17,9 \text{ MPa}$

Pro $\gamma = 0,95$: $x_{p,\text{cover}} = 29,2 - 4,20 \times 4,6 = 9,9 \text{ MPa}$

Předpovědní metoda

$$x_{p,\text{pred}} = 29,2 - 2,33 \times 4,6 = 18,5 \text{ MPa}$$

14

Softwarové pomůcky

Stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku

Naměřené pevnosti betonu v tlaku f_{ci} [MPa].

Číslo vzorku i	Pevnost f_{ci}							
1-8	26,9	34,1	33,1	28,5	32,8	24,1	25,7	27,4
9-16	32,5	27,6	35,1	33,9	38,0	23,0	33,1	31,2
17-24	32,9	29,7	31,3	34,4	26,3	35,7	31,9	25,9
25-32	41,1	30,0						
33-40								
41-48								
49-56								

Rozsah souboru je určen automaticky prostřednictvím funkce POČET(číslo 1; číslo 2;...):

$$n = 26$$

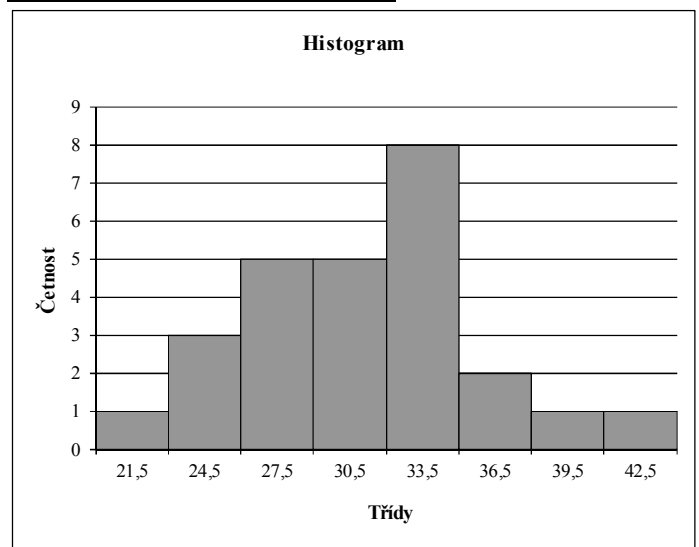
$$\min_i [f_{ci}] = 23,0 \text{ MPa}$$

$$\max_i [f_{ci}] = 41,1 \text{ MPa}$$

20	23	26	29	32	35	38	41	44
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabulka 2. Hranice tříd, četnosti a hodnoty distribuční funkce.

Třída	Střed	Četnost	$\Phi_{fc}(x)^*$
20	23	1	3,8%
23	26	3	15,4%
26	29	5	34,6%
29	32	5	53,8%
32	35	8	84,6%
35	38	2	92,3%
38	41	1	96,2%
41	44	1	100,0%
	Σ	26	



3. Pokryvná metoda odhadu kvantilu

Eurokód 1990 doporučuje stanovit kvantil s využitím předpovědní metody,

$$x_{p, \text{cover}} = m_X - k_p(w_X, p, \gamma, n)s_X$$

k_p je koeficient odhadu závislý obecně na šikmosti w_X ,

$$k_p(p=0,05) = 2,7n^{-0,75} + 1,645 = 1,88$$

Odhad 5% kvantilu pokryvnou metodou pro $w_X = 0$, $\gamma = 0,75$ a $n = 26$ je tedy automaticky vypočten jako:

$$f_{c0,05, \text{cover}} = m_{fc} - k_p(0;0,05;0,75;26)s_{fc} = 22,8 \text{ MPa}$$

15

Závěrečné poznámky

- Při hodnocení zkoušek nejdříve ověřit výsledky na základě grafické znázornění, např. histogramu
- Vyloučit chyby a odlehlá pozorování
- Materiálové vlastnosti se zpravidla popisují normálním nebo lognormálním rozdělením (při variabilitě větší než $\sim 0,15$)
- Kombinovat kritický postup nepřímého (prostřednictvím charakteristické hodnoty) a přímého stanovení návrhové hodnoty
- Provéřit předchozí informace (např. variabilitu, rozdělení) a využívat je obezřetně
- Bayesovský postup aplikovat po kritickém ověření apriorních informací

HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ Stavby industriálního dědictví

ČSN ISO 13822

Hodnocení existujících konstrukcí Národní příloha A – Obecné zásady - - Stanovení stálého zatížení na základě výsledků zkoušek

Obecný postup
Numerický příklad
Závěrečné poznámky

17

Stanovení stálého zatížení na základě výsledků zkoušek

- odstavec NA.2.5 národní přílohy NA - metodika stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení G_k na základě zkoušek
- charakteristická hodnota G_k se stanoví jako odhad průměru stálého zatížení μ_G s konfidencí 90 %: $P(\mu_G < G_k) = 0,9$

$$G_k = m_G \pm k_n s_G; \quad m_G = \frac{\sum g_i}{n}; \quad s_G = \sqrt{\frac{\sum (g_i - m_G)^2}{n-1}};$$

- znaménko „plus“ – nepříznivé zatížení, „minus“ - příznivé
- součinitel k_n závisí na počtu vzorků n

18

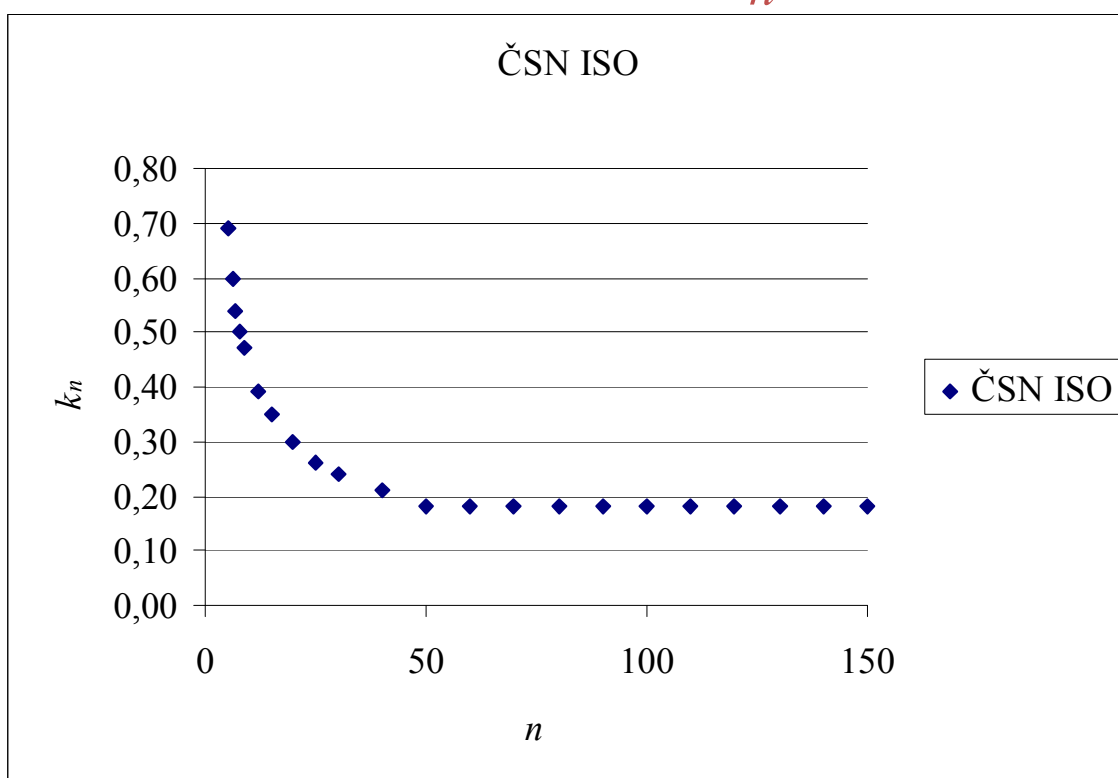
Součinitel k_n

- normální rozdělení

Počet vzorků n	Součinitel k_n	Počet vzorků n	Součinitel k_n
5	0,69	15	0,35
6	0,60	20	0,30
7	0,54	25	0,26
8	0,50	30	0,24
9	0,47	40	0,21
12	0,39	>50	0,18
mezilehlé hodnoty n - lineární interpolace			

19

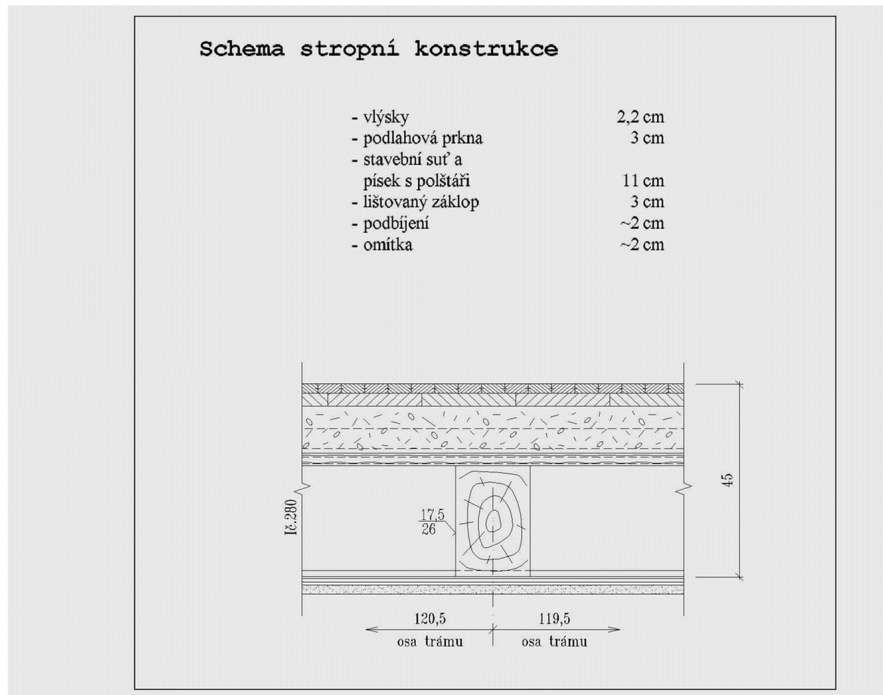
Součinitel k_n



- $n \geq 5$, jinak porovnat s_G s předchozími výsledky, případně $G_k \geq \max(g_i)$

20

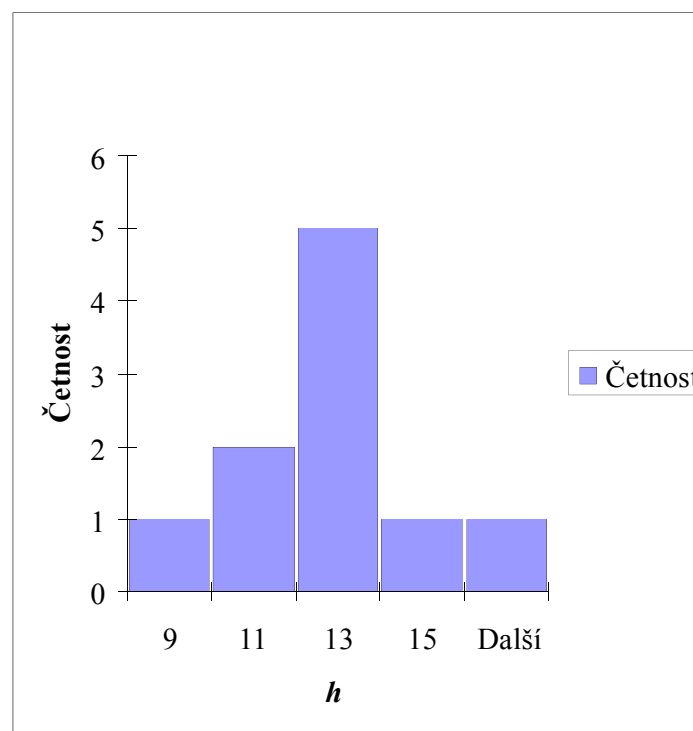
Typická skladba stropní konstrukce



- 2. NP stejný trakt $\rightarrow n = 10$ (vyloučení odlehklých pozorování)
- významná variabilita - „stavební suť a písek s polštáři“ $\rightarrow g = \gamma h$ (objemová tíha \times naměřená tloušťka vrstvy) – normální rozdělení ($\mu_\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $V_\gamma = 0,2$)

21

Vyhodnocení měření



- odhady charakteristik tloušťky vrstvy h : m_h , s_h a $v_h = s_h / m_h$
- stálé zatížení g : $m_g \approx \mu_\gamma m_h$, $v_g \approx \sqrt{V_\gamma^2 + v_h^2 + V_\gamma^2 v_h^2}$

22

Vyhodnocení měření – 2. NP

Počet	n	10	
Minimum	h_{\min}	9	cm
Maximum	h_{\max}	17,5	cm
Průměr	m_h	12,10	cm
Var. koef.	v_h	0,19	
Průměr	μ_g	1,94	kN/m²
Var. koef.	V_g	0,28	
Součinitel	k_n	0,44	
Charakt. hodnota	g_k	2,17	kN/m²
Poměr	g_k/m_g	1,12	

- charakter. hodnota g_k je v uvažovaném příkladu větší než odhad průměru m_g přibližně o 12 %
- sloučení dat z jednotlivých NP má zanedbatelný vliv na g_k

23

Závěrečné poznámky

- Stálá zatížení existujících historických konstrukcí lze stanovit na základě měření s využitím statistických metod.
- Nově zavedený dokument ČSN ISO 13822 uvádí postupy pro odhad průměru uvažovaného souboru a stanovení charakteristické hodnoty.
- V uvažovaném numerickém příkladu vychází charakteristická hodnota stálého zatížení g_k větší přibližně o 10 % (zatížení g působí nepříznivě) než odhad průměru m_g .

24

HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ Stavby industriálního dědictví

Hodnocení existujících konstrukcí Časté dotazy - FAQ

25

Hodnocení existujících konstrukcí – časté dotazy

Ve staré normě ČSN 730038 Navrhování a posuzování kon. při přestavbách je v čl. 5, který se týká statického výpočtu, jasně stanoveno, v jakých případech má statik provádět výpočet a kdy výpočet provádět nemusí.

Musí se tedy podle nové normy být prováděn statický výpočet v rámci ověření bezpečnosti a spolehlivosti vždy, i když nedojde (například změnou užívání objektu), ke změně zatížení? (viz čl. 7.1 a 7.2 nové normy).

- Podle ČSN ISO13 822 lze konstrukci na základě dřívějšího uspokojivého působení považovat za bezpečnou či použitelnou (a není tedy nutné provádět "výpočet") v případech, které jsou uvedeny v **článku 8** ~ odpovídá smyslu čl. 5.2 původní ČSN.

26

Hodnocení existujících konstrukcí – časté dotazy

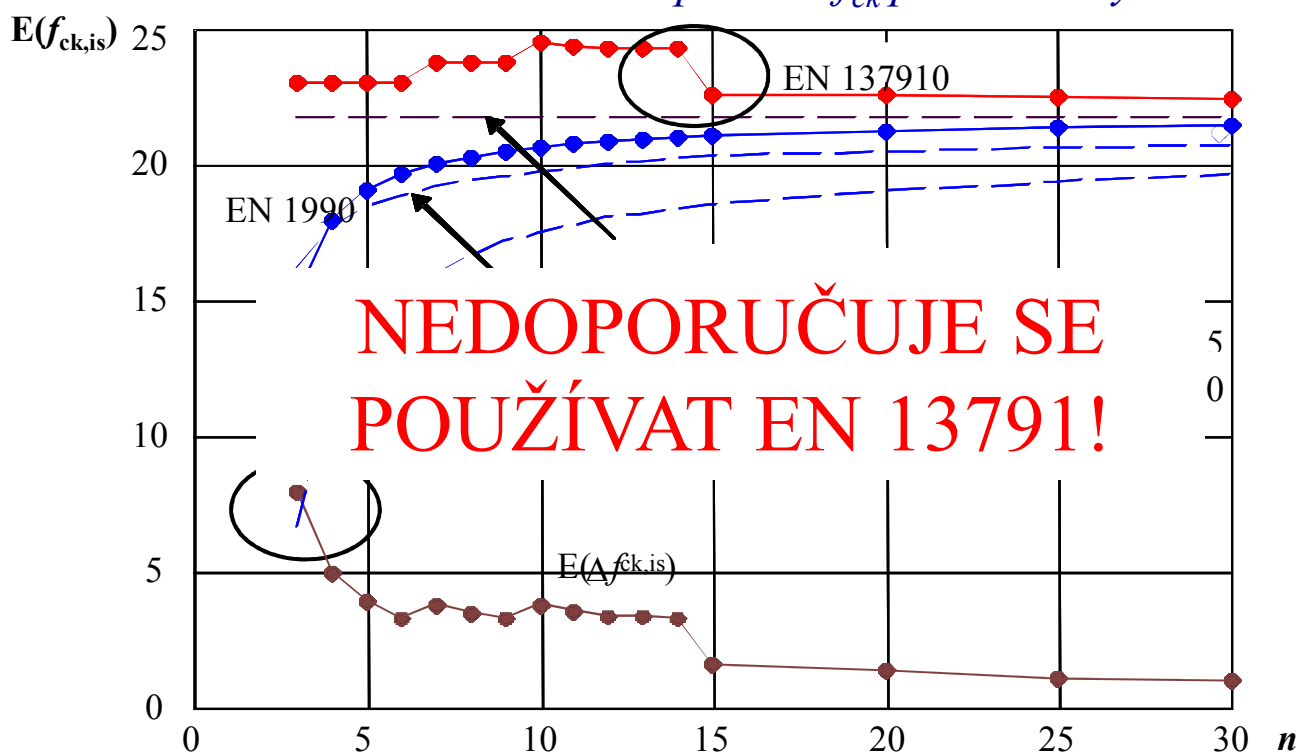
*Provádíme statický výpočet **existující konstrukce** dle vzorce (6.10). Je nějaká možnost snížit koeficienty pro stálé zatížení?*

- využití méně konzervativního **kombinačního pravidla (6.10a,b)**
- postup podle zásad **ČSN ISO 13822**
- ověření **charakteristické hodnoty** stálých zatížení (rozměry, objemové tíhy)
- pokud lze stanovit **variační koeficient** stálého zatížení, lze jej použít pro odhad dílčího součinitele zatížení

27

Porovnání charakteristické pevnosti f_{ck} podle EN 13791 a EN 1990

Je možné stanovit charakteristickou pevnost f_{ck} podle normy EN 13 791?



Hodnocení existujících konstrukcí

– časté dotazy

Jak je možné postupovat v případě, že hodnocená konstrukce nevyhovuje. Je možné připustit nižší spolehlivost existující konstrukce?

ČSN ISO 13822 Příloha F

Směrný index spolehlivosti β (ref. doba 50 let)

	Následky poruchy			
	velmi malé	malé	střední	velké
Stávající konstrukce	2,3	3,1	3,8	4,3

- Je možné upravit dílčí součinitelé.
- Je možné provést pravděpodobnostní rozbor konstrukce.

29



HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Stavby industriálního dědictví

Děkuji za pozornost.

30