



NKI – Zděné konstrukce

doc. Ing. Karel Lorenz, CSc.

Ústav nosných konstrukcí FA

Přednáška 3

letní semestr 2016 – 17

Výpočtový model

- ✦ musí vystihnout chování konstrukce s odpovídající přesností
 - ◆ vlastnosti materiálu
 - ◆ tvar a konstrukční upořádání konstrukce, jejích částí i styků
 - ◆ způsob porušení
 - ◆ účinky zatížení
- ✦ prostorové působení popisujeme pomocí většího počtu jednodušších rovinných modelů
- ✦ dále rozkládáme na prvky – desky, stěny, pilíře, zpravidla v rámci podlaží
- ✦ význam tuhosti stropních konstrukcí v jejich rovině na přenos svislých sil

Podmínky ověřování

$$S_d \leq R_d$$

- ✦ S_d – návrhová hodnota účinku zatížení
- ✦ R_d – odpovídající návrhová odolnost zahrnující všechny vlastnosti konstrukce s příslušnými návrhovými hodnotami

Pevnost v tlaku zdicích prvků

- ✦ **průměrná pevnost v tlaku** – pevnostní zkoušky celých prvků ve vysušeném stavu – f_u
- ✦ **normalizovaná pevnost v tlaku** - vliv rozměrů a vlhkosti

$$f_b = \delta \cdot f_u$$

Výška zdicího prvku (mm)	Nejmenší vodorovný rozměr zdicího prvku (mm)				
	50	100	150	200	250 nebo větší
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
250 nebo větší	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Poznámka: Lineární interpolace je povolena.

Klasifikace zdicích prvků

- ✚ podle relativního objemu děrování
- ✚ podle úrovně kontroly výroby – I a II

– viz folie 19

	Materiály a meze zdicích prvků							
	Skupina 1 (všechny materiály)	Zdicí prvky	Skupina 2		Skupina 3		Skupina 4	
			Svislé otvory				Vodorovné otvory	
Objem všech otvorů (v % objemu zdicího prvku)	≤ 25	Pálené	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
		Vápenopískové	> 25; ≤ 55		nepoužívají se		nepoužívají se	
		Betonové ^b	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
Objem jednotlivého otvoru (v % objemu zdicího prvku)	≤ 12,5	Pálené	Každý z vícenásobných otvorů ≤ 2; úchopové otvory celkem do 12,5		Každý z vícenásobných otvorů ≤ 2; úchopové otvory celkem do 12,5		Každý z vícenásobných otvorů ≤ 30	
		Vápenopískové	Každý z vícenásobných otvorů ≤ 15; úchopové otvory celkem do 30		nepoužívají se		nepoužívají se	
		Betonové ^b	Každý z vícenásobných otvorů ≤ 30; úchopové otvory celkem do 30		Každý z vícenásobných otvorů ≤ 30; úchopové otvory celkem do 30		Každý z vícenásobných otvorů ≤ 25	
Deklarované hodnoty tloušťky vnitřních a obvodových žeber (mm)	Bez požadavku		Vnitřní žebro	Obvodové žebro	Vnitřní žebro	Obvodové žebro	Vnitřní žebro	Obvodové žebro
		Pálené	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		Vápenopískové	≥ 5	≥ 10	nepoužívají se		nepoužívají se	
		Betonové ^b	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Deklarované hodnoty souhrnné tloušťky vnitřních a obvodových žeber ^a (v % celkové šířky zdicího prvku)	Bez požadavku	Pálené	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		Vápenopískové	≥ 20		nepoužívají se		nepoužívají se	
		Betonové ^b	≥ 18		≥ 15		≥ 45	

^a Souhrnná tloušťka je součet tlouštěk všech vnitřních a obvodových žeber, měřených vodorovně v odpovídajícím směru. Zkouška se považuje za zkoušku typu a musí se opakovat jen tehdy, pokud dochází k zásadní změně návrhu rozměrů zdicího prvku.

^b Při zužujících se nebo komůrkových otvorech se použije průměrná hodnota tloušťky žebra vnitřního nebo obvodového.

Charakteristická pevnost zdiva

- ✦ podle způsobu namáhání – tlak, smyk, ohyb
 - ✦ podle druhu malty – obyčejná, pro tenké spáry, lehká
 - ✦ pro nevyplněné svislé spáry
 - ✦ pro částečné pruhy malty
-
- ✦ závisí na skupině zdicích prvků popřípadě na vazbě zdiva

Charakteristická pevnost v tlaku nevyztuženého zdiva s obyčejnou maltou

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} f_m^{0,3} [\text{MPa}]$$

- ✚ f_b – normalizovaná pevnost zdicích prvků
- ✚ f_m – pevnost malty v tlaku podle pevnostní třídy např. M 2,5
 $f_m < 20 \text{ MPa}, f_m < 2f_b$

Skupina zdicích prvků	Konstanta K	
	Zdivo bez podélných svislých spár	Zdivo s podélnými svislými spárami
1	0,55	0,44
2	0,45	0,36
3	0,35	0,28
4	0,35	0,28

Charakteristická pevnost ve smyku nevyztuženého zdiva

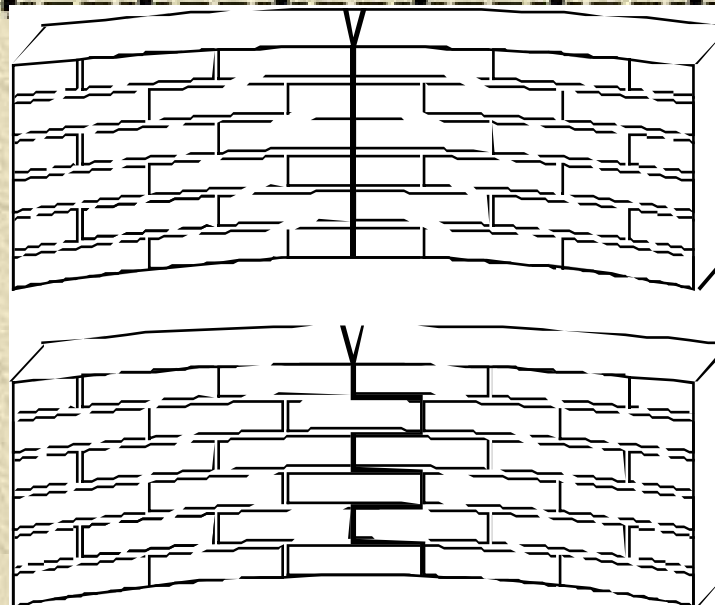
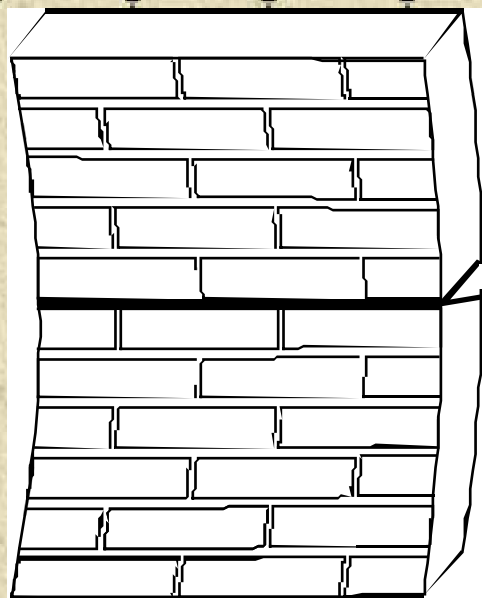
$$f_{vk} = f_{vko} - 0,4 \cdot \sigma_d \text{ [MPa]}$$

$$f_{vk} = 0,065 \cdot f_b \geq f_{vlt}$$

- ✦ f_{vko} – charakteristická hodnota počáteční pevnosti ve smyku při napětí v tlaku rovno 0
- ✦ f_{vlt} – horní mez hodnoty f_{vk}
- ✦ σ_d - návrhové napětí kolmo na průřez
- ✦ f_b – normalizovaná pevnost zdicích prvků

Zdicí prvky	f_{vko} (MPa)			
	Obyčejná malta pevnostní třídy		Malta pro tenké spáry (o tloušťce od 0,5 mm do 3 mm)	Lehká malta
Pálené	M10 – M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 – M9	0,20		
	M1 – M2	0,10		
Vápenopískové	M10 – M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5 – M9	0,15		
	M1 – M2	0,10		
Betonové s hutným nebo pórovitým kamenivem	M10 – M20	0,20	0,30	0,15
Pórobetonové	M2,5 – M9	0,15		
Z umělého kamene a z opracovaného přírodního kamene	M1 – M2	0,10		

Charakteristická pevnost v ohybu I



- ✦ f_{xk1} – rovina porušení rovnoběžně s ložnými spárami
- ✦ f_{xk2} – rovina porušení kolmo k ložným spárám
- ✦ $F f_{xk1}/f_{xk2}$ – označuje se poměrem pevností např. F0,35/1,00

Charakteristická pevnost v ohybu II

Zdicí prvky	f_{xk1} (MPa)			
	Obyčejná malta		Malta pro tenké spáry	Lehká malta
	$f_m < 5$ MPa	$f_m \geq 5$ MPa		
Pálené	0,10	0,10	0,15	0,10
Vápenopískové	0,05	0,10	0,20	nepoužívá se
Betonové s hutným nebo pórovitým kaménivem	0,05	0,10	0,20	nepoužívá se
Pórobetonové	0,05	0,10	0,15	0,10
Z umělého kamene	0,05	0,10	nepoužívá se	nepoužívá se
Z opracovaného přírodního kamene	0,05	0,10	0,15	nepoužívá se

✚ f_{xk1} pro porušení v rovině rovnoběžné s ložnými spárami

Charakteristická pevnost v ohybu III

Zdicí prvky		f_{xk2} (MPa)			
		Obyčejná malta		Malta pro tenké spáry	Lehká malta
		$f_m < 5$ MPa	$f_m \geq 5$ MPa		
Pálené		0,20	0,40	0,15	0,10
Vápenopískové		0,20	0,40	0,30	nepoužívá se
Betonové s hutným nebo pórovitým kamenivem		0,20	0,40	0,30	nepoužívá se
Pórobetonové	$\rho_d < 400$ kg/m ³	0,20	0,20	0,20	0,15
	$\rho_d \geq 400$ kg/m ³	0,20	0,40	0,30	0,15
Z umělého kamene		0,20	0,40	nepoužívá se	nepoužívá se
Z opracovaného přírodního kamene		0,20	0,40	0,15	nepoužívá se

✚ f_{xk2} pro porušení v rovině kolmé k ložným spárám

Návrhové hodnoty – součinitele spolehlivosti materiálu γ_M

Materiál		γ_M
A	Zdicí prvky kategorie I a návrhová malta ^a	2,0 (2,5) ^f {2,2} ^g
B	Zdicí prvky kategorie I a předpisová malta ^b	2,2 (2,7) ^f {2,5} ^g
C	Zdicí prvky kategorie II ^{a, b, e}	2,5 (3,0) ^f {2,7} ^g
D	Kotvení výztuže	2,2
E	Betonářská a předpínací výztuž	1,15
F	Pomocné prvky ^{c, d}	2,2
G	Překlady podle EN 845-2	od 1,5 do 2,5

^a Požadavky na návrhovou maltu jsou v EN 998-2 a EN 1996-2.

^b Požadavky na předpisovou maltu jsou v EN 998-2 a EN 1996-2.

^c Hodnoty, které jsou stanoveny výrobcem, jsou hodnoty průměrné.

^d Pro vrstvu izolace proti vlhkosti se používá součinitel γ_M jako pro zdivo.

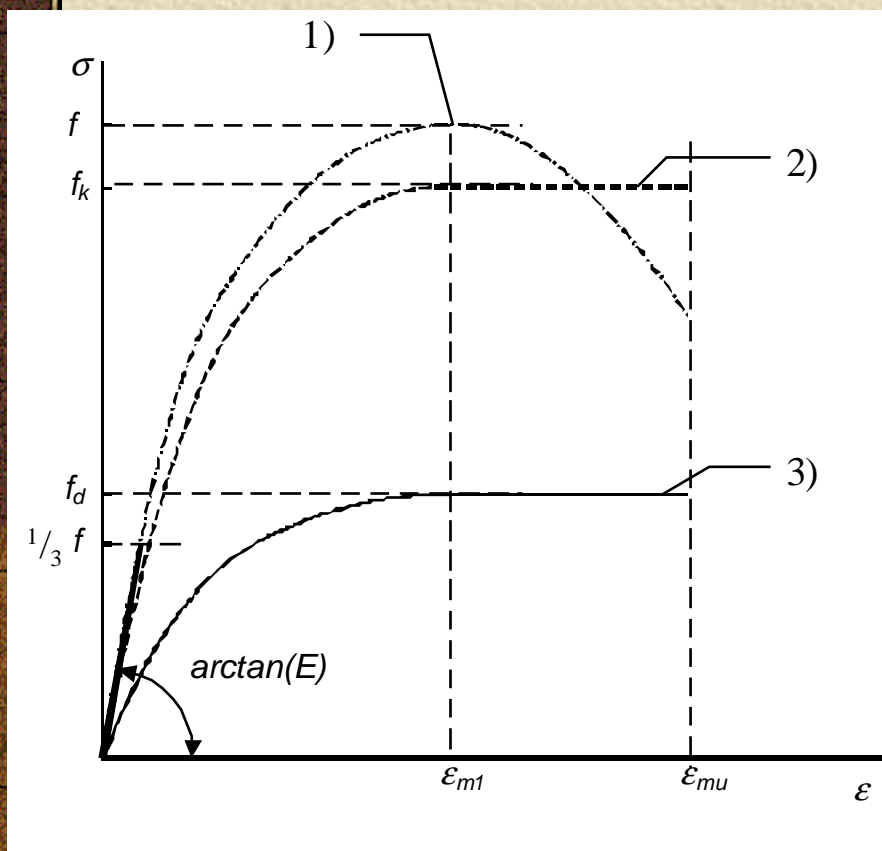
^e Pokud variační koeficient pro zdicí prvky kategorie II není větší než 25 %.

^f Hodnoty v závorce () platí pro zdivo z porobetonových zdicích prvků na lehkou maltu

^g Hodnoty v závorce { } platí pro zdivo z porobetonových zdicích prvků na maltu pro tenké spáry

- ✚ I. kategorie výroby prvků – při kontrole u výrobce nedosáhne jen 5% výrobků deklarovanou průměrnou pevnost
- ✚ II. kategorie – více než 5%
- ✚ Kategorie provádění – v ČR
 - ✚ B – kontrolují pracovníci výrobce i nezávislí, jen průmyslové malty a beton
 - ✚ C – kontrolují pracovníci výrobce, možné i malty a betony dávkované vážením i objemově

Pracovní diagram nevyztuženého zdiva



Legenda

- 1) typický, skutečný průběh
- 2) idealizovaný diagram (parabolicko-obdélníkový)
- 3) návrhový diagram

☒ odpovídá chování zdiva z prvků skupiny 1 na vápennou a vápenocementovou maltu

☒ při zdicích prvcích s velkými otvory skupiny 2b a 3 malá plastický prodleva - křehké

Modul pružnosti nevyztuženého zdiva

✦ v tlaku

$$E = K_E \cdot f_k$$

✦ ve smyku

$$G = 0,4 \cdot E$$

Zdivo	Součinitel K_E
z pálených zdicích prvků, z vápenopískových cihel	1000
z pórobetonových tvárnic, z betonových tvárnic s lehkým kamenivem	700
z betonových tvárnic s hutným kamenivem	1000
z kamenných kvádrů	1000

Dotvarování, smršťování a teplotní roztažnost

$$\Phi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty} / \varepsilon_{el}$$

Druh zdicích prvků		Konečné hodnoty součinitele dotvarování ^a ϕ_{∞}	Konečné hodnoty délkových změn vlivem vlhkosti ^b mm/m	Součinitele délkové tepelné roztažnosti α_t 10 ⁻⁶ /K
Pálené		0,5 až 1,5	-0,2 až +1,0	4 až 8
Vápenopískové		1,0 až 2,0	-0,4 až -0,1	7 až 11
Z betonu s hutným kamenivem a z umělého betonu		1,0 až 2,0	-0,6 až -0,1	6 až 12
Z betonu s pórovitým kamenivem		1,0 až 3,0	-1,0 až -0,2	6 až 12
Pórobetonové		0,5 až 1,5	-0,4 až +0,2	7 až 9
Z přírodního kamene	Vyřelé horniny	c	-0,4 až +0,7	5 až 9
	Usazené horniny			2 až 7
	Přeměněné horniny			1 až 18

^a Konečná hodnota součinitele dotvarování $\phi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty} / \varepsilon_{el}$, kde $\varepsilon_{c\infty}$ je konečná hodnota poměrného přetvoření vlivem dotvarování a $\varepsilon_{el} = \sigma / E$.

^b Konečná hodnota nabývání nebo smršťování vlivem vlhkosti označená znaménkem minus (plus) znamená zkrácení (roztážení).

^c Tyto hodnoty jsou zpravidla velmi malé.

Navrhování

✦ Únosnost nevyztužené stěny v tlaku

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

N_{Ed} – návrhová hodnota svislé síly

N_{Rd} – návrhová únosnost jednovrstvé stěny

posuzuje se:

- v pětinach délky stěny u podpor (v patě a hlavě)
- ve střední pětině s uvážením vzpěru

zavádí se model skutečného prutu s odchylkou

Návrhová únosnost N_{Rd}

$$N_{Rd} = \Phi_{i,m} \cdot b \cdot t \cdot f_d$$

$\Phi_{i,m}$ – zmenšující součinitel, vyjadřující vliv štíhlosti, výstřednosti zatížení popř. dotvarování

$f_d = f_k / \gamma_m$ – návrhová pevnost zdiva

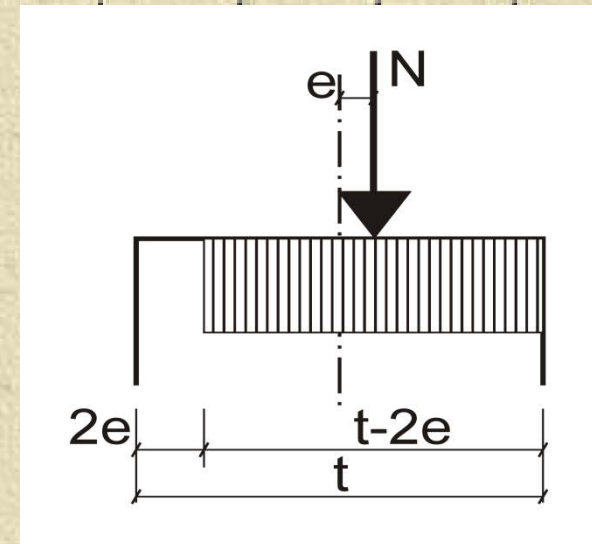
b je šířka stěny

t je tloušťka stěny

Zmenšující součinitel Φ_i v patě a hlavě stěny

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05.t$$



M_{id}, N_{id} návrhové hodnoty ohybového momentu a normálové síly v hlavě nebo patě stěny

e_{he} výstřednost v hlavě nebo patě vyvolaná vodorovným zatížením

$e_{init} = h_{ef}/450$ náhodná výstřednost vlivem nepřesností vztažená k účinné výšce stěny

Zmenšující součinitel Φ_m ve střední pětině výšky stěny

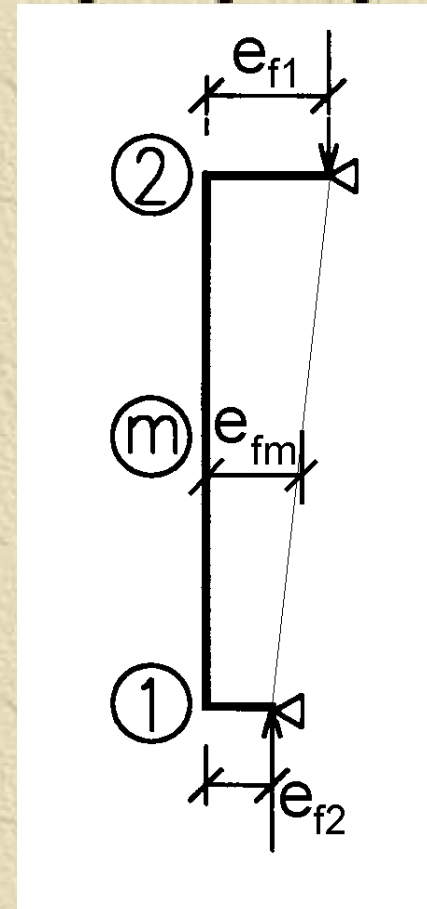
$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$A_1 = 1 - 2 \cdot e_{mk} / t$$

$e_{mk} = e_m + e_k > 0,05 \cdot t$ výsledná výstřednost od zatížení i imperfekcí i dotvarování

$e_m = M_{md} / N_{md} + e_{hm} + e_{init}$, e_{hm} = skutečná výstřednost od zatížení, e_{init} náhodná výstřednost
 e_k výstřednost od účinků dotvarování, pro pálené a kamenné prvky $e_m = 0$, u ostatních do štíhlosti 15

$e = 2,71828 \dots$ základ přirozeného logaritmu



Vliv vzpěru

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} \quad \lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

l_{ef}, t_{ef}

účinná délka a tloušťka stěny

$l_{ef}/t_{ef} < 27$

štíhlostní poměr

$f_k/E = \alpha_{sec}$

součinitel závislý na druhu zdiva a pevnosti malty

$t_{ef} = t$

jednovrstvé, dvouvrstvé, dutinové s výplňovým betonem, s obvodovými pruhy malty

$$t_{ef} = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3}$$

dutinové stěny spojené třemi sponami/m² stat. navrženými o ploše min. 300 mm²/m²

Účinná výška h_{ef} I

podle podepření stěny podle čtyř, tří, dvou okrajů nebo volné

vodorovné podepření – tuhý neposuvný strop

svislé podepření – příčné stěny, minimální tloušťky 30 %
podepírané stěny nebo 120 mm, šířky min 1/5 výšky podlaží,
podobně tuhé materiály, vzájemně spojené

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h$$

- h světlá výška stěny, n počet podepřených stran
- $\rho_2 = 0,75$ želbet. stropy uložené oboustranně ve stejné výšce nebo jednostranně na min. 2/3 tloušťky stěny a min. 85 mm
- $\rho_2 = 1,0$ - želbet. stropy s výstředností větší než 0,25 násob. tloušťky stěny
- $\rho_2 = 1,0$ - dřev. stropy oboustranné nebo jednostranně na min. 2/3 tloušťky stěny a min. 85 mm
- $\rho_2 = 1,0$ - stěny podepřené jinak

Účinná výška h_{ef} II

stěny podepřené podél tří stran při $h \leq 3,5.L$

$$\rho_3 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{3.L} \right]^2} \rho_2 \geq 0,3$$

stěny podepřené podél tří stran při $h > 3,5.L$

$$\rho_3 = \frac{1,5.L}{h}$$

kde L je vzdálenost mezi volným okrajem a osou ztužující stěny nebo podpory

Účinná výška h_{ef} III

stěny podepřené po obvodě při $h \leq L$

$$\rho_4 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} \rho_2 \geq 0,3$$

stěny podepřené obvodě při $h \gg L$

$$\rho_4 = \frac{0,5 \cdot L}{h}$$

kde L je vzdálenost mezi osami ztužujících stěn nebo osami svislých podpor okrajů stěn

Stěny namáhané smykem

- ✦ napětí v úložné ploše může převýšit návrhovou pevnost f_d u zdicích prvků skupiny 1 s plně maltovanými ložnými spárami

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

f_{vd} návrhová pevnost zdiva ve smyku za předpokladu, že účinná je pouze tlačaná část průřezu;

t skutečná tloušťka průřezu;

l_c délka tlačené oblasti stěny vypočtená za předpokladu, že obrazec rozdělení napětí v tlaku má tvar trojúhelníka a že tažená oblast průřezu se zanedbává

Stěny namáhané ohybem

- ✦ porušení v ložné spáře – nemá rozhodovat f_{xd1} , při kombinaci se zatížením v rovině stěny má rozhodovat návrhové napětí v tlaku
- ✦ porušení v kolmé spáře – rozhoduje f_{xd2}

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{xd2} \cdot Z$$

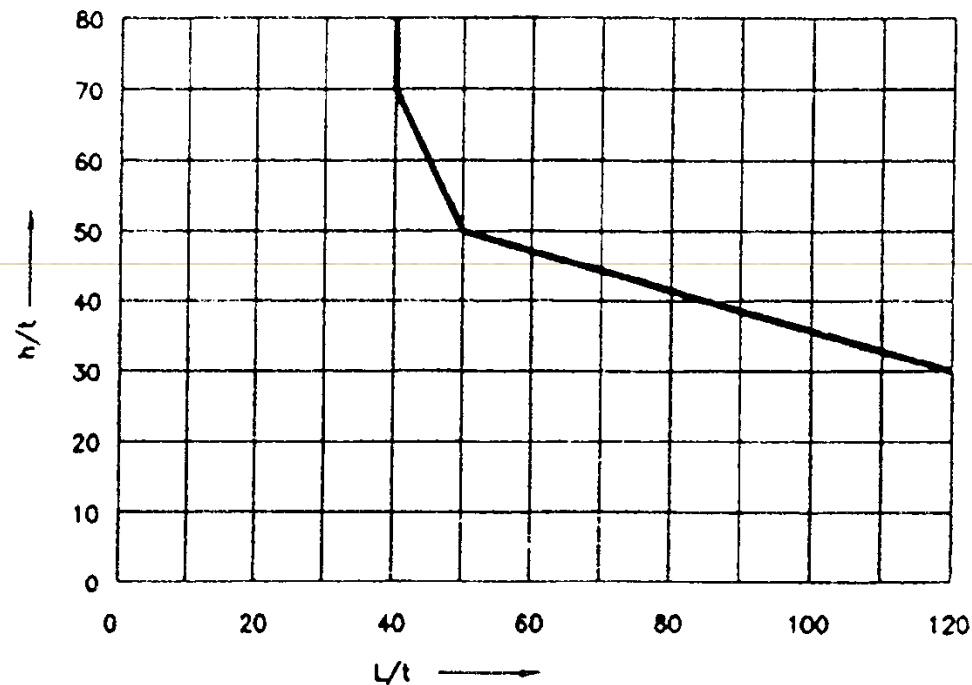
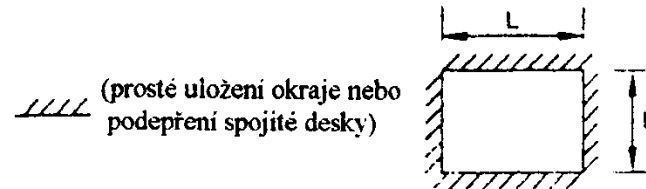
f_{xd2} návrhová pevnost zdiva v ohybu ve spárách kolmých k ložným spárám;

Z průřezový modul stěny;

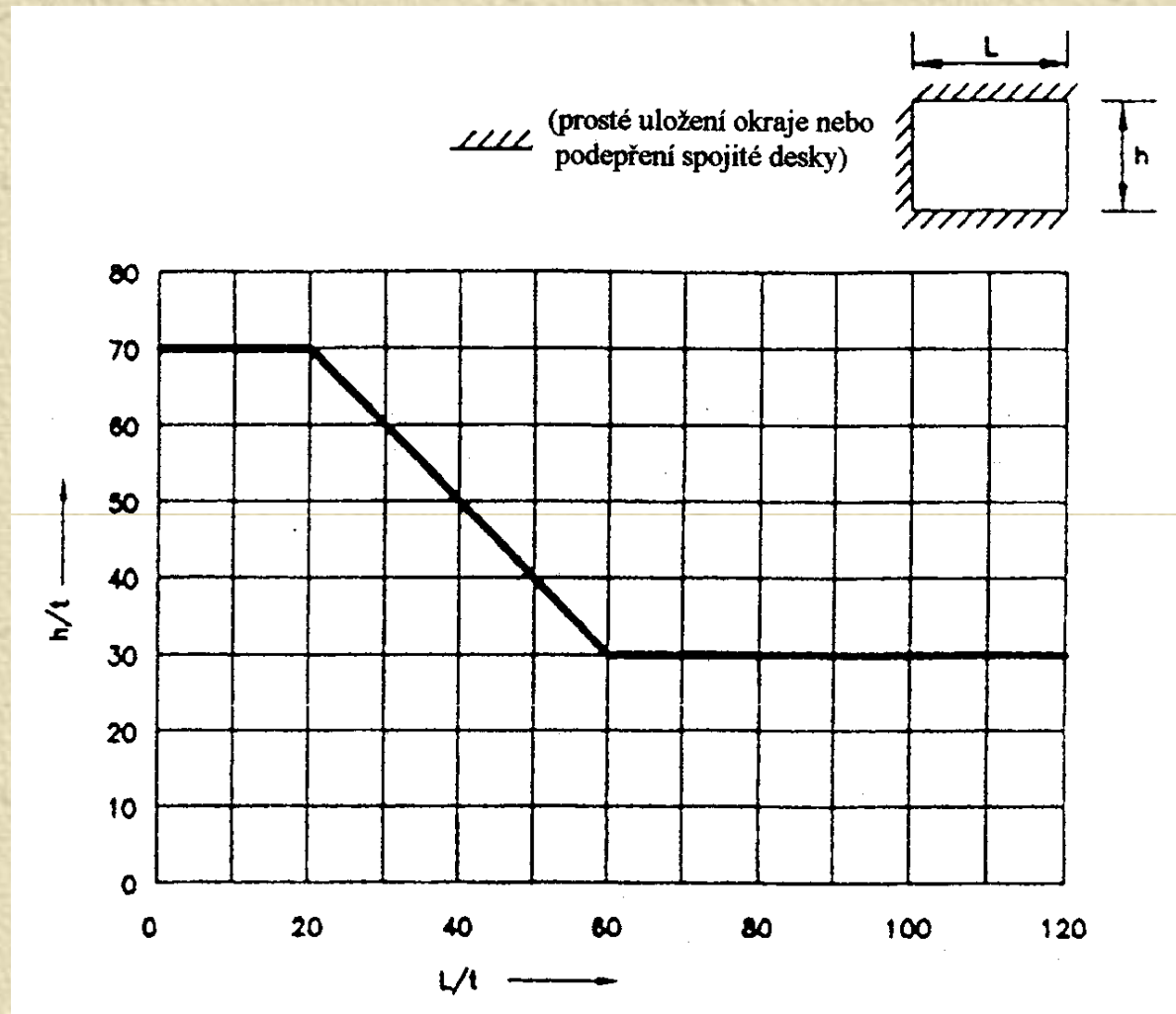
Mezní rozměry stěn vzhledem k použitelnosti

- ✦ posuzuje se poměr výšky nebo šířky stěny ku tloušťce nenosných stěn;
- ✦ h – výška, t – tloušťka, L – délka stěny;
- ✦ při podepření pouze v hlavě a patě $h/t < 30$;
- ✦ minimální tloušťka stěny $t = 100 \text{ mm}$;
- ✦ mezní poměr závisí na způsobu podepření – viz následující grafy

Stěna podepřená neposuvně podél všech okrajů



Stěna podepřená podél obou vodorovných a jednoho svislého okraje



Stěna podepřená neposuvně podél dolního a obou svislých okrajů

