

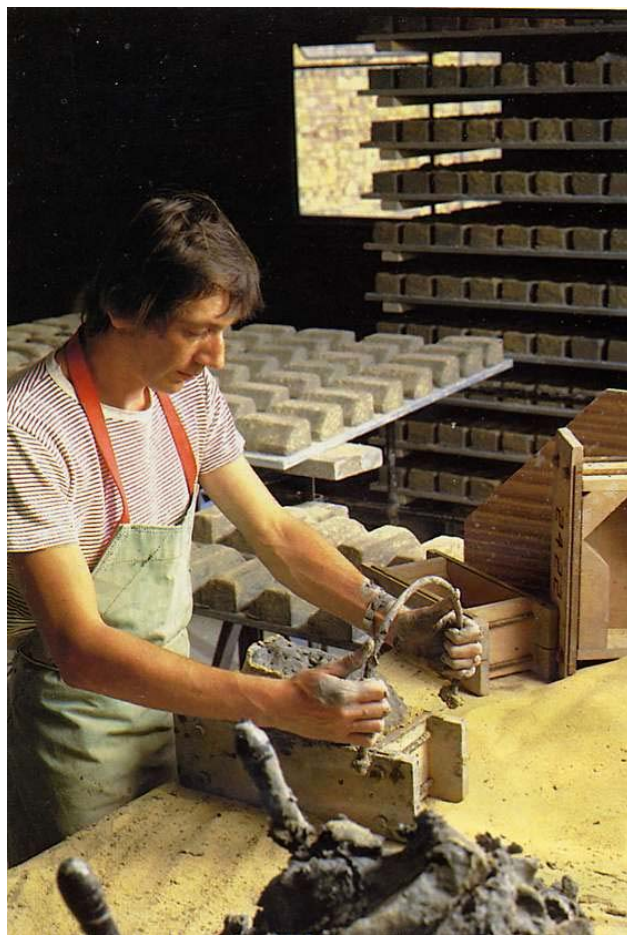
Zděné konstrukce

- historický úvod
- druhy stěn
- pracovní diagram zdiva
- přetvárný součinitel
- charakteristické pevnosti
- dílčí součinitele
- obdélníkový průřez v patě sloupu
- obdélníkový průřez v středu sloupu

Zděné konstrukce – historický vývoj

- Cihly – nejstarší umělé stavivo – vznik sprašové oblasti Anatólie a Iránu – nedostatek kamene
- Zprvu se tvarovaly kvádry, později plastické těsto do dřevěných forem, otruby, sláma, zvířecí chlupy – před 9000 lety

Ruční výroba cihel

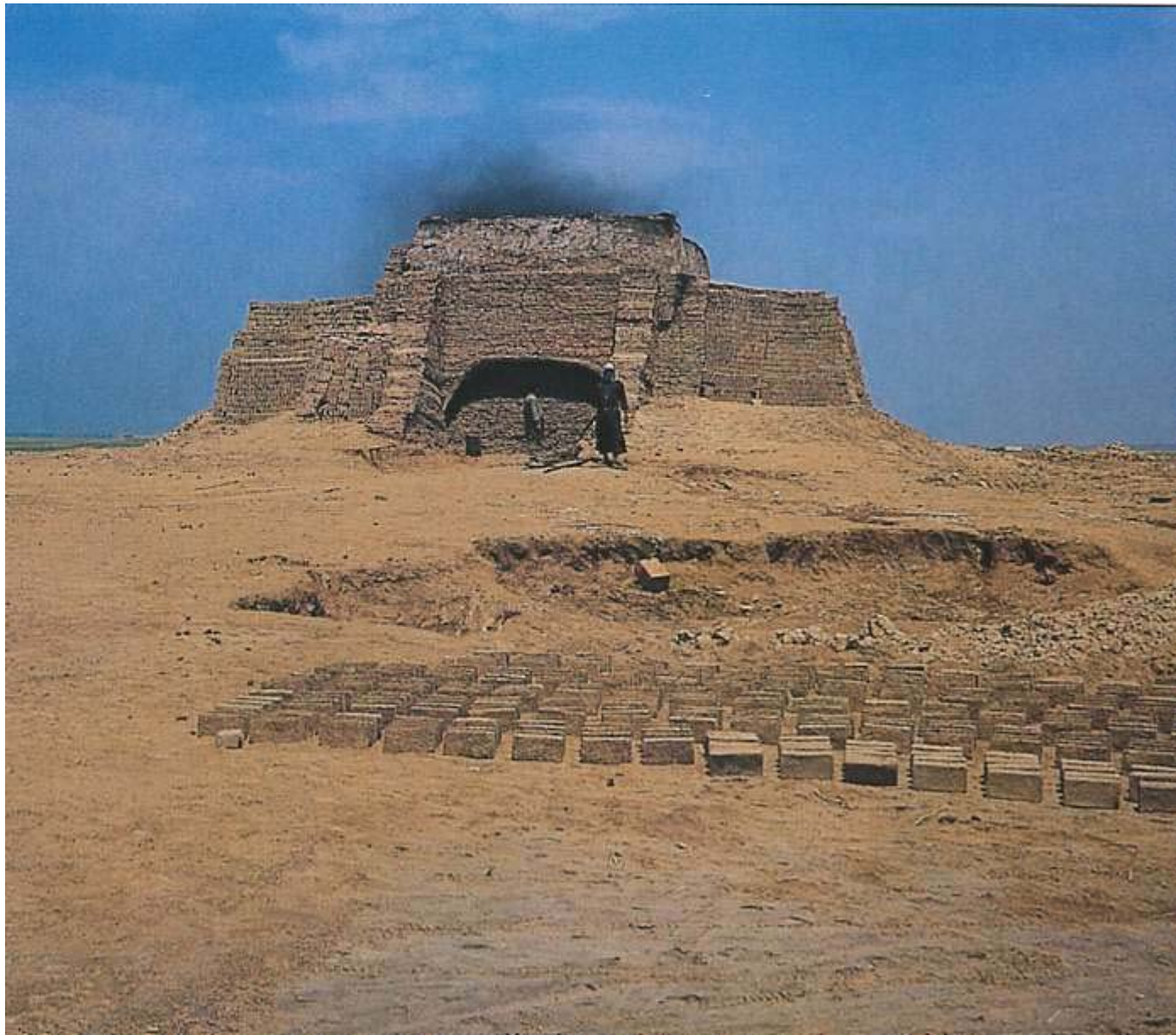


Sušení cihel na slunci



Pálené cihly

- vyšší cena – fasády, v Mezopotámii formátu 400x400x80
- před 3000 lety vyšší výpal – glazované cihly v Babylonu
- postupně Střední Asie, Indie, Egypt, Řecko, Řím, přes Dunaj – bratislavský hrad – cihly z období Marka Aurelia, cihelný sarkofág v Železovciach



Ištařina brána – Pergamon muzeum



Samára – 9. století



minaret Abū Dulafovy mešity - Samára 9. století

Samarkand - Registan



Vývoj v českých zemích

- na sklonku gotiky – později než v jižní a severní Evropě
- sleskopolská oblast – Kateřinky
- chrám v Nymburce, Brně, Hradci Králové, Praze (Staronová Synagoga)
- barokní opevnění Josefov, Terezín, Leopoldov, Praha

Nymburk



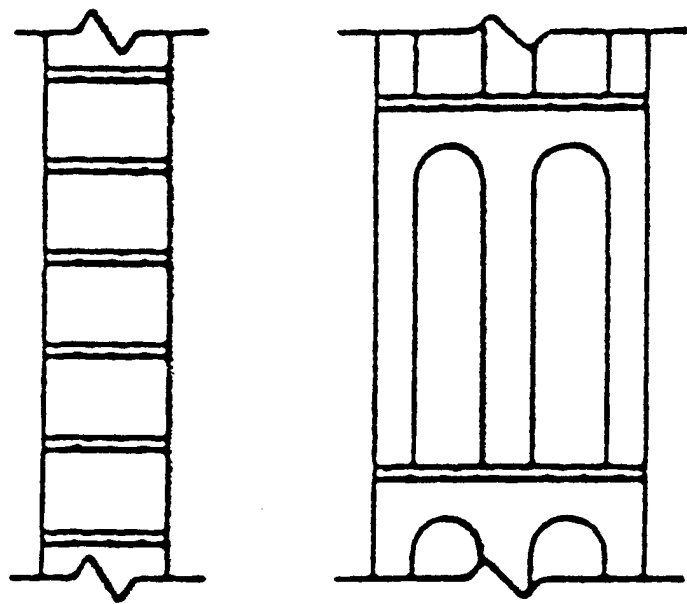
Zprůmyslnění výroby

- 1854 – šnekový lis
- 1858 – kruhové pece
- 1867 – umělé sušení
- v 19. století nahrazují cihly kámen ve městech, na vesnici později
- Navrhování podle stavebních řádů
 - empirická pravidla

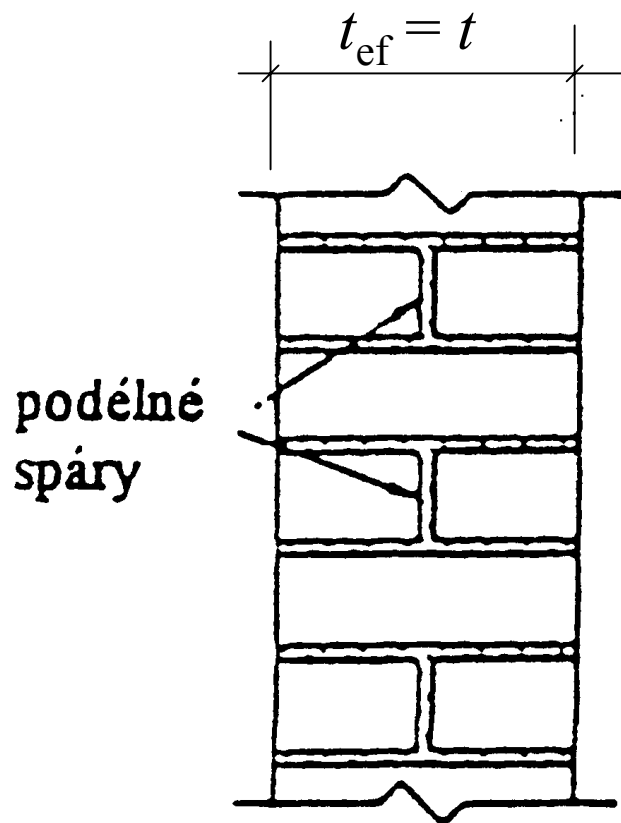
Uplatnění - výhody

- nejširší konstrukční uplatnění
- příznivá cena
- jednodušší návrh a detaily
- krátká doba výstavby
- snížení počtu subdodavatelů a řemesel
- lidské měřítko
- velký sortiment
- odolnost proti atmosférickým vlivům
- minimálně údržba
- tepelné a akustické vlastnosti
- malá jednotka
- snadná tvarovatelnost
- velké možnosti pro architektonický a konstrukční návrh
- místní zdroj surovin
- jistá sezónnost prací

Druhy stěn 1



stěna bez podélných
styčných spár

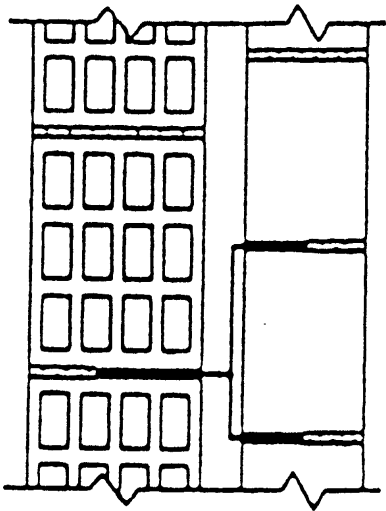


stěna s podélnými
styčnými spárami

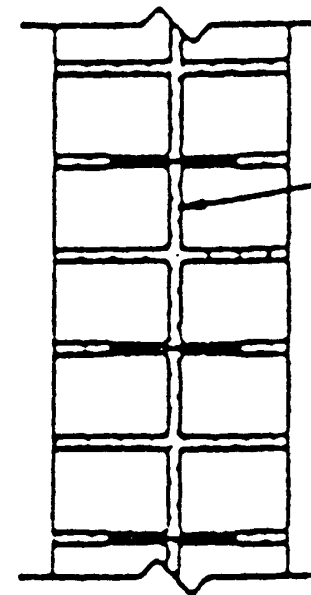
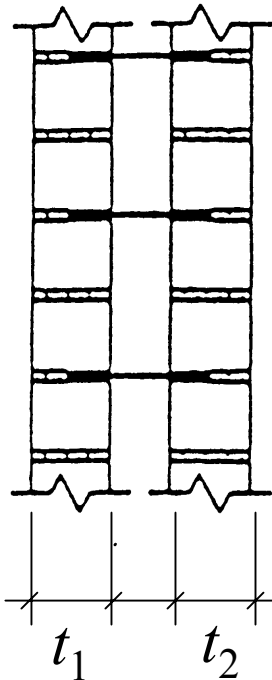
Druhy stěn 2

příklady vrstvených stěn

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



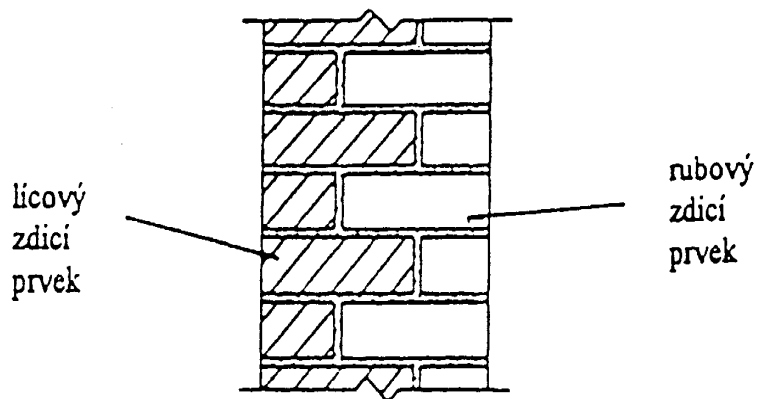
dvouvrstvé stěny s dutinou



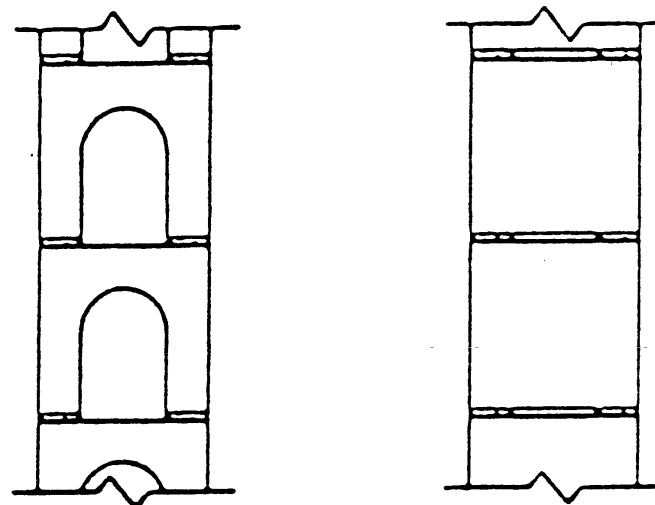
spojitá podélná
spára

dvouvrstvá stěna

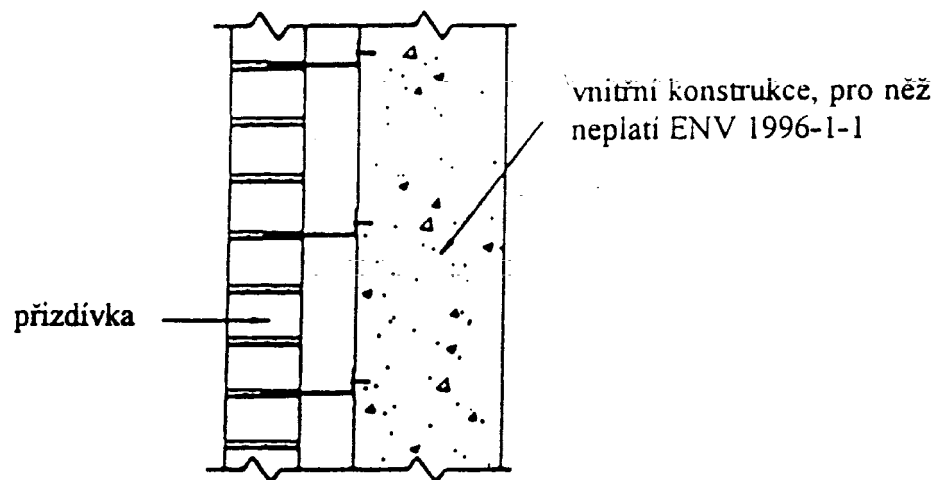
Druhy stěn 3



stěna s lícovou vrstvou



stěny s pruhy malty v ložných spárách



stěna s přizdívkou

Zdivo jako konstrukční materiál

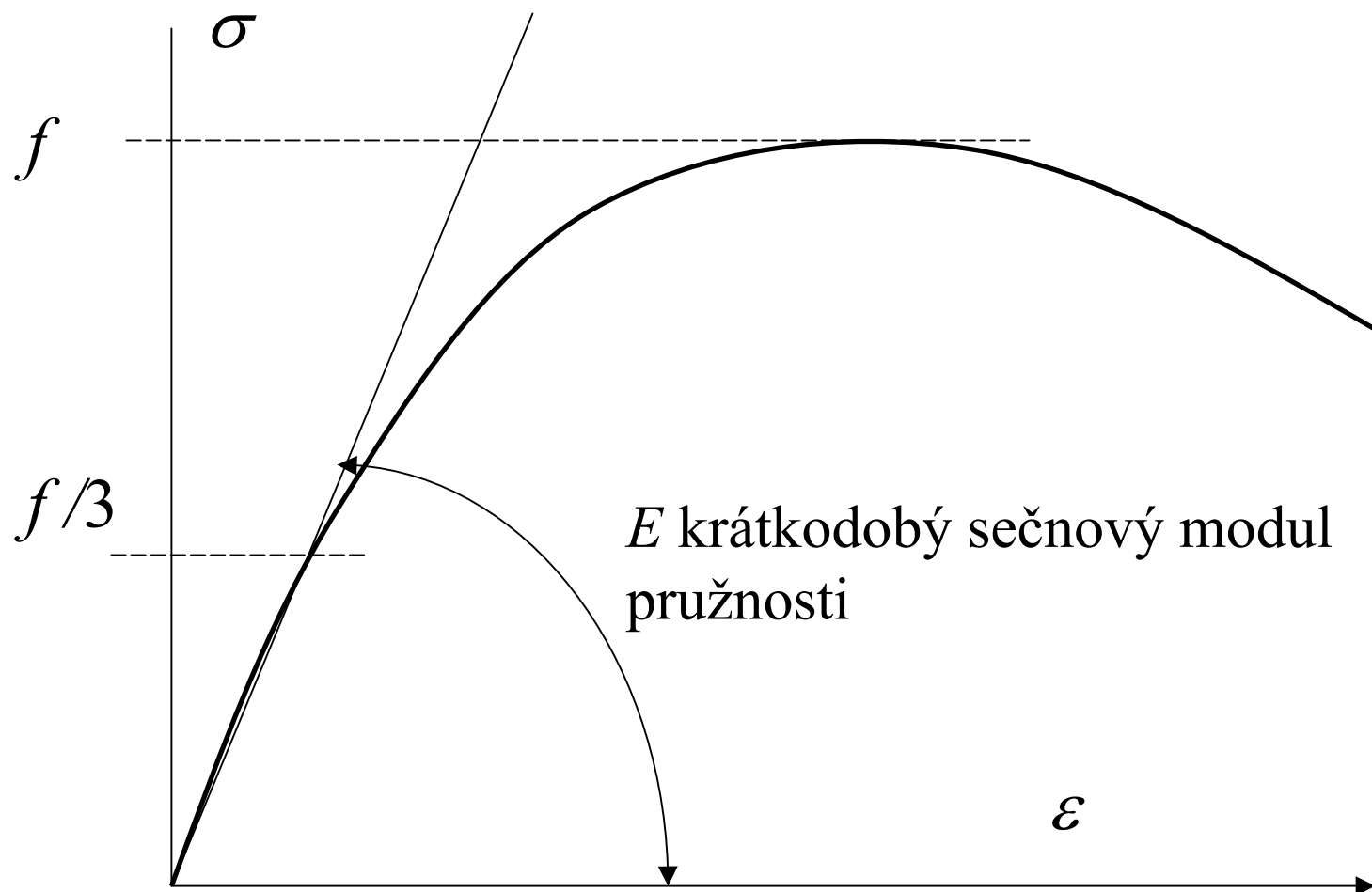
Složky

- Zdicí prvky EN 720, normalizovaná pevnost $f_b = \delta \times f_u$,
 - δ je součinitel vlivu výšky a šířky,
 - f_u průměrná pevnost zdicích prvků,
- Malta EN 1015-11, např. M10, $f_m = 10$ MPa
a složení cement: vápno: písek = 1:1:5

Zdivo

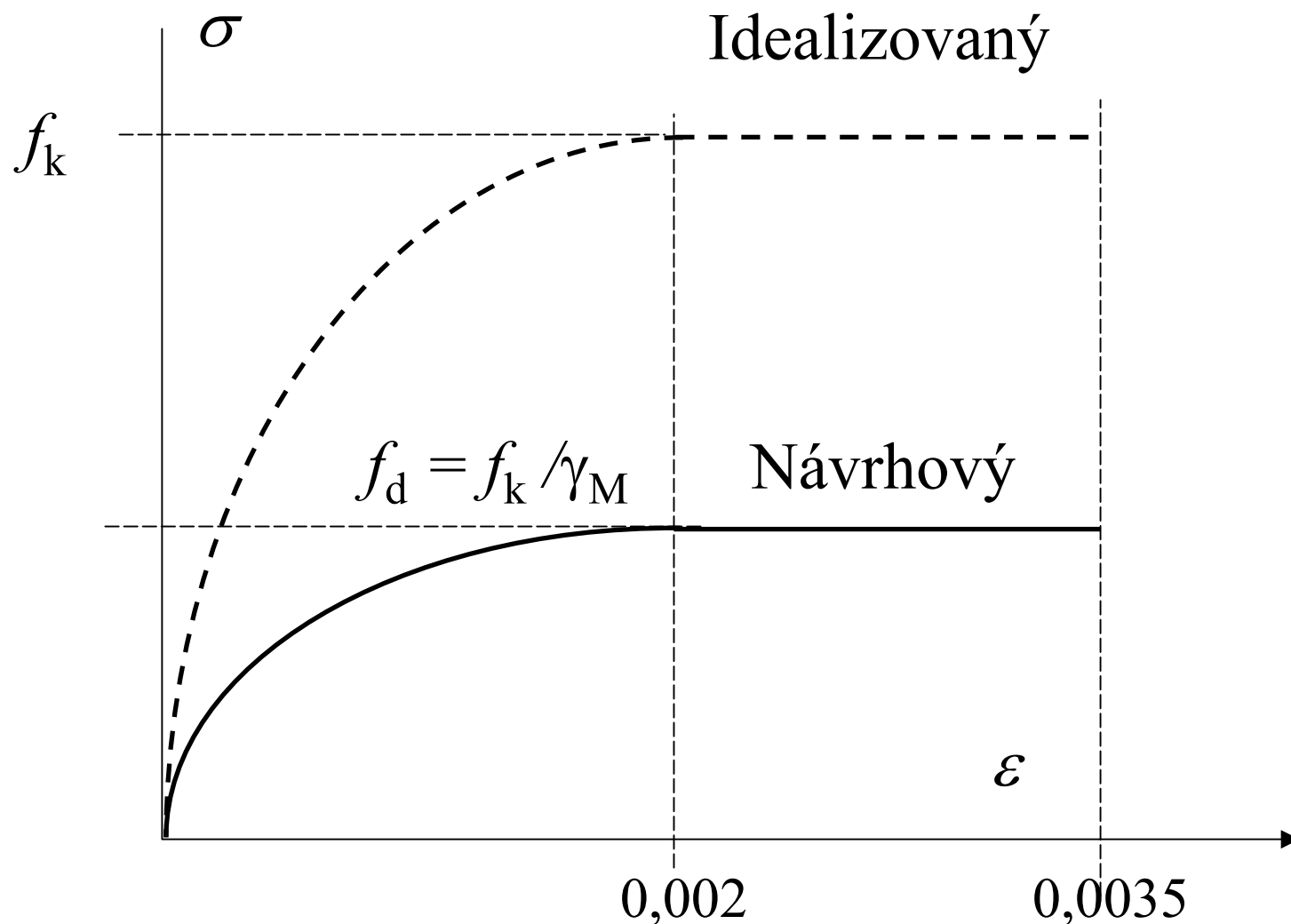
- prosté zdivo
 - normální maltou
 - s tenkými spárami
 - lehkou maltou
- vyztužené zdivo
- předpjaté zdivo

Pracovní diagram skutečný



Součiniteli druhu zdiva a malty $\alpha_{\text{sec}} = E / f_k$, běžně 500 až 2000, pro pálené cihly na maltu pevnosti 5 až 10 MPa, $\alpha_{\text{sec}} = 1000$

Pracovní diagram idealizovaný



Charakteristická pevnost zdiva

Pevnost v tlaku nevyztuženého zdiva s obyčejnou maltou :

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,25} \text{ (nově } f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \text{)}$$

- K je konstanta závislá na typu zdiva a zdicích prvků, pro zdivo bez podélných svislých spár 0,45 až 0,55
- $f_b = \delta \times f_u$ je normalizovaná pevnost zdicích prvků < 50 MPa
- δ je součinitel vlivu šířky a výšky zdicího prvku, pro CP 290/140/65 je $\delta = 0,77$, vliv vlhkosti zanedbán
- f_m je pevnost malty < 20 MPa nebo < $2 f_b$

Příklad: $K = 0,5$ skupina prvků 2a, zdivo bez podélných spár

$$f_b = 25 \text{ MPa}, f_m = 15 \text{ MPa}$$

$$f_k = 0,5 \times 25^{0,65} \times 15^{0,25} = 8,0 \text{ MPa}$$

Navrhované součinitele K

Masonry Unit		General purpose mortar	Thin layer mortar $(\text{N/mm}^2)^{0.15}$ (≤ 3 mm bed joint)	Lightweight mortar of density	
				$600 \leq \rho \leq 700 \text{ kg/m}^3$	$700 < \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$
Clay	Group 1	0,50	0,75	0,30	0,40
	Group 2	0,45	0,55	0,30	0,40
	Group 3	0,40	0,45	0,20	0,25
	Group 4	0,35	0,35	0,20	0,25

Charakteristická pevnost zdiva

- Pevnost v tlaku nevyztuženého zdiva a tenké spáry < 3mm:

$$f_k = 0,8 f_b^{0,85}$$

$f_b = \delta \times f_u$ je normalizovaná pevnost zdicích prvků < 50 Mpa

- Pevnost v tlaku nevyztuženého zdiva s lehkou maltou:

$$f_k = K f_b^{0,65}$$

$f_b = \delta \times f_u$ je normalizovaná pevnost zdicích prvků < 15 Mpa,

- $K = 0,80$ malta o hmotnosti 600 až 1500 kg/m³, betonové tvárnice s lehkým kamenivem nebo pórobetonové tvárnice
- $K = 0,70$ malta o hmotnosti 700 až 1500 kg/m³, pálené zdicí prvky, vápenocementové cihly nebo betonové tvárnice s hutným kamenivem
- $K = 0,55$ malta o hmotnosti 600 až 700 kg/m³, pálené zdicí prvky, nebo betonové tvárnice s hutným kamenivem

Dílčí součinitele γ_M v ENV 1996

Kategorie kontroly výroby	Kategorie provádění		
	A	B	C
I	1,7	2,2	2,7
II	2,0	2,5	3,0

Návrhová pevnost

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

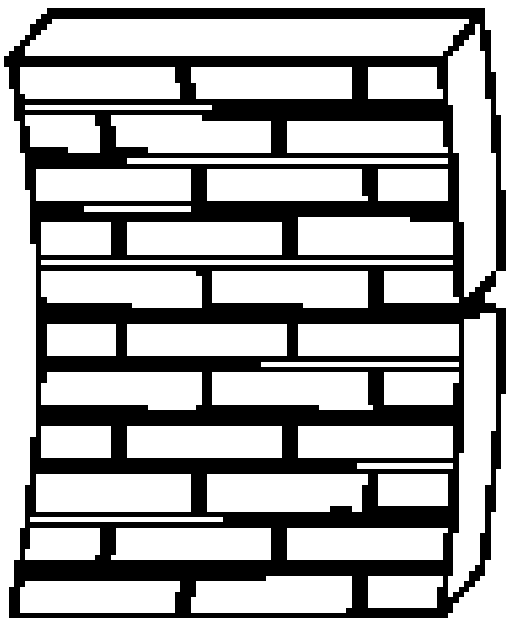
Dílčí součinitele v nové EN 1996

Material		γ_M				
		Class				
		1	2	3	4	5
A	Masonry made with: Units of Category I, designed mortar ¹	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
B	Units of Category I, prescribed mortar ²	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
C	Units of Category II, any mortar ^{1,2,5}	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
D	Anchorage of reinforcing steel	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Reinforcing steel and prestressing steel	1,15				
F	Ancillary components ^{3,4}	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
G	Lintels according to EN 845-2 ³	1,5 to 2,5				

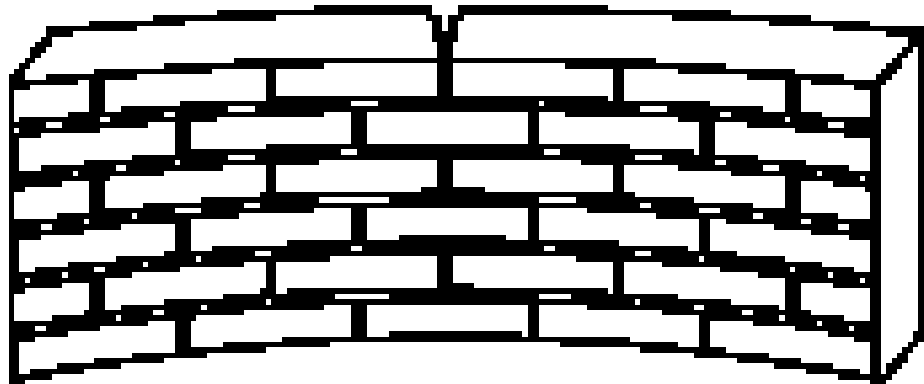
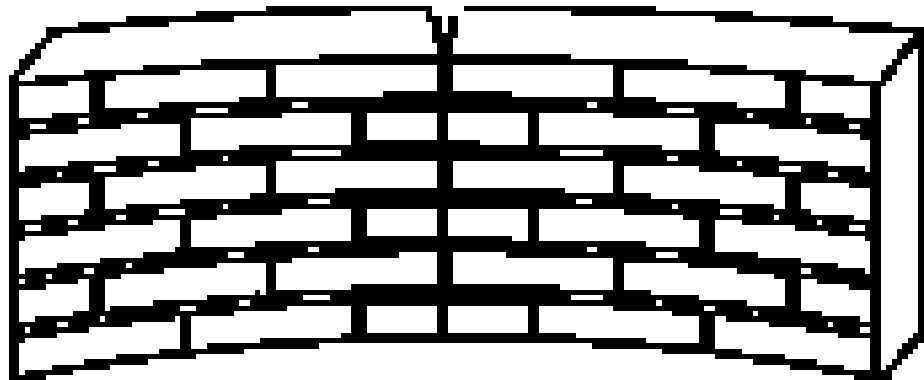
Notes:

1. Requirements for designed mortars are given in EN 998-2 and EN 1996-2
2. Requirements for prescribed mortars are given in EN 998-2 and EN 1996-2
3. Declared values are mean values.
4. Damp proof courses are assumed to be covered by masonry γ_M .
5. When the coefficient of variation for Category II units is not greater than 25%.

Rovina porušení

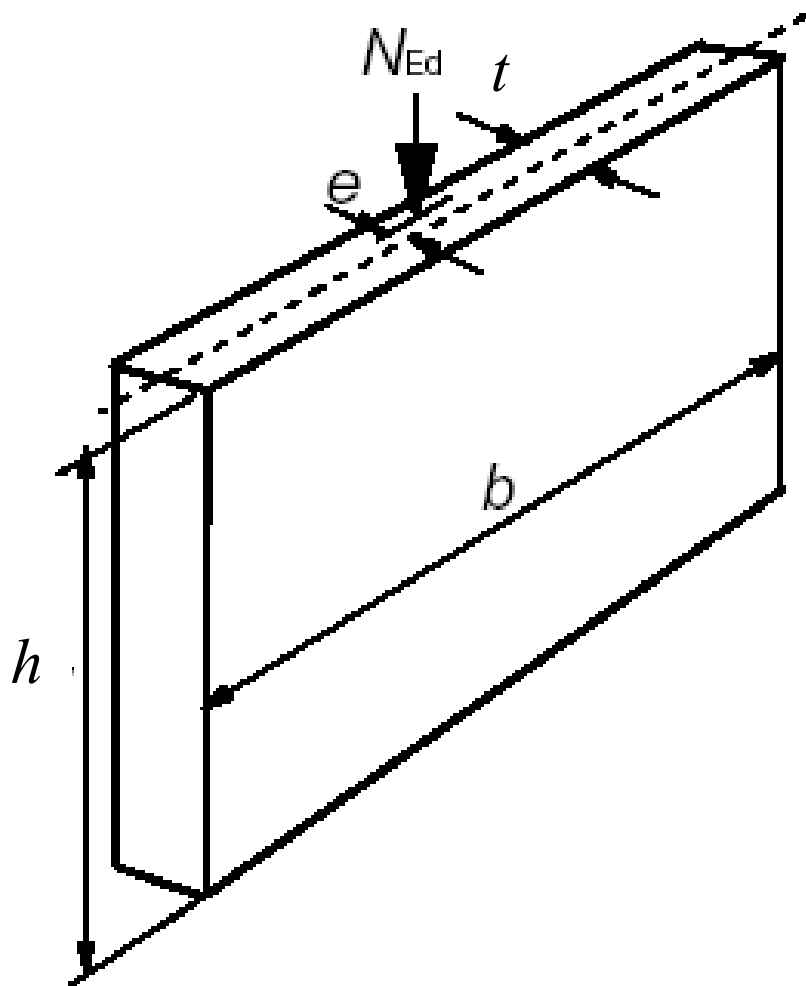


- rovnoběžná s
ložnými spárami



- kolmá na ložné
spáry

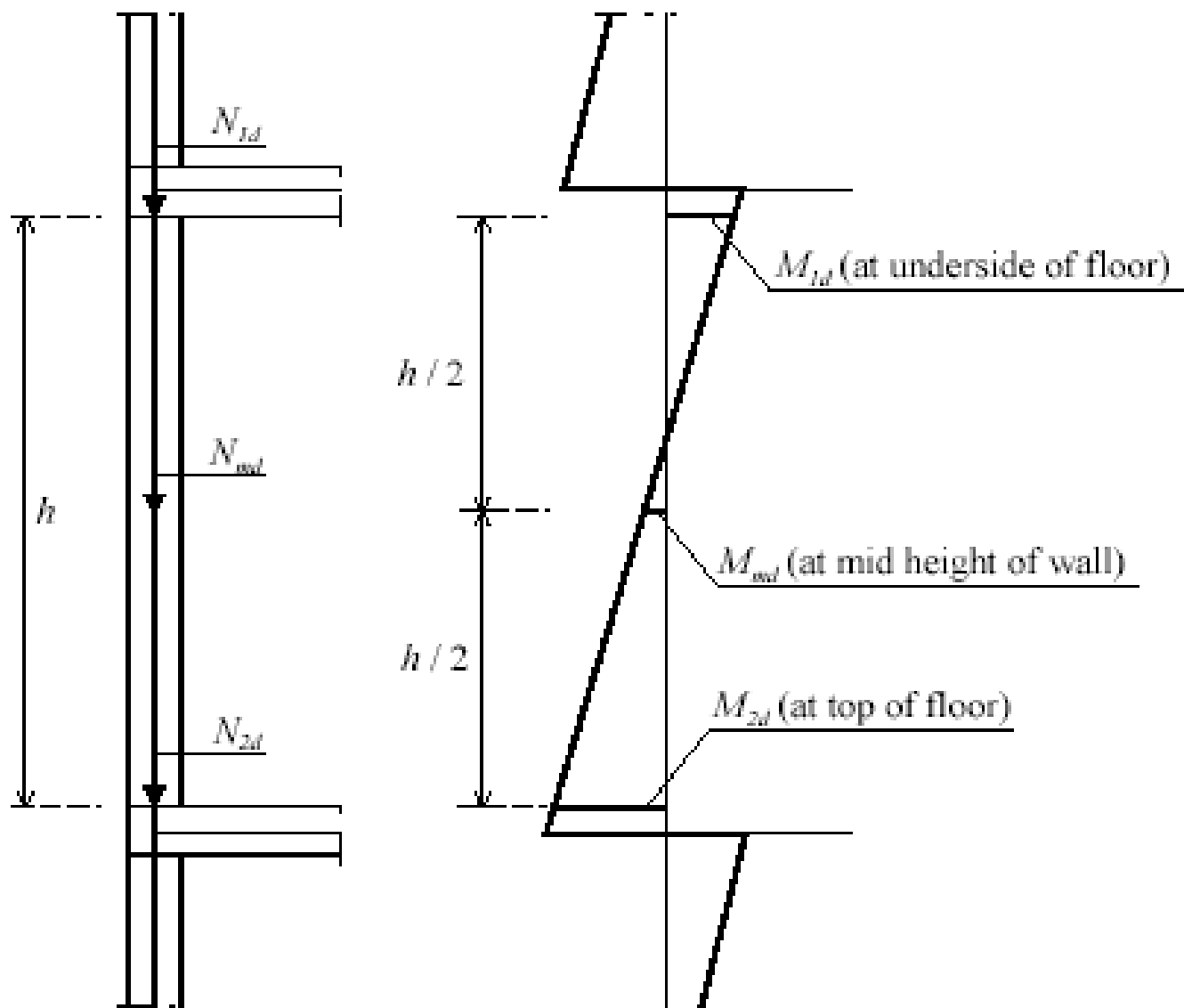
Schéma stěny



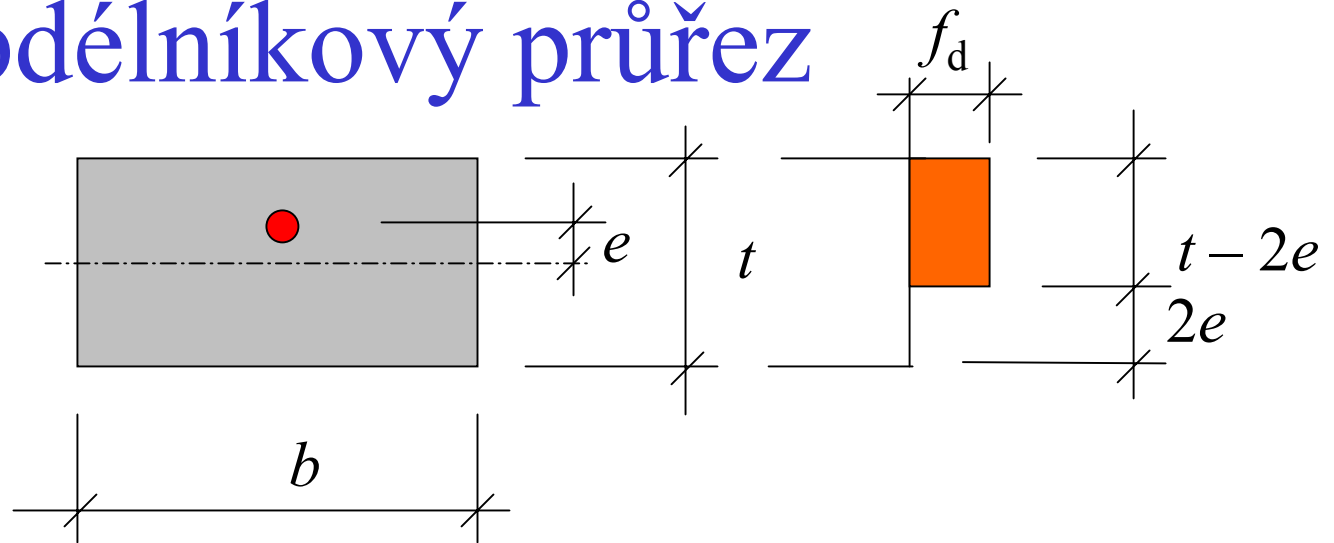
$$h_{ef} = \rho_n h$$

$\rho_n \leq 1$ je zmenšující součinitel závislý na podepření a ztužení okrajů $\rightarrow n = 2, 3, 4$.
Pro železobetonové stropy $\rho_n = 0,75$.

Ohybové momenty ve stěně



Obdélníkový průřez



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

kde N_{Rd} je mezní normálová síla (odolnost) průřezu,

b je šířka stěny,

t je skutečná tloušťka stěny (bez omítky),

$\Phi_{i,m}$ je zmenšovací součinitel.

Zmenšovací součinitel Φ pro hlavu nebo patu stěny - pilíře:

$$\Phi_i = (1 - 2 e_i / t)$$

kde $e_i = e_{fi} + e_a$, je celková výstřednost, nejméně $e_i \geq 0,05 t$

$e_{fi} = M_{Edi} / N_{Edi}$ je výstřednost v hlavě nebo patě stěny od zatížení

$e_a = h_{ef} / 450$ je náhodná výstřednost s ohledem na imperfekce.

Střed stěny - pilíře

Zmenšovací součinitel Φ_m v závislosti na **výstřednosti a štíhlosti**

$$\Phi_m = A_1 \exp(-u^2/2) < 1$$

Součinitel A_1 vyjadřuje přímý vliv **výstřednosti** v závislosti na e_{mk} a t :

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

e_{mk} je celková výstřednost ve středu stěny, podmínka $0,33t \geq e_{mk} \geq 0,05 t$

$$e_{mk} = e_{fm} + e_a + e_k, \quad e_m = e_{fm} + e_a$$

zatížení: $e_{fm} = M_{Ed}/N_{Ed}$

imperfekce: $e_a = h_{ef}/450,$

dotvarování: $e_k = (0,002 \Phi_\infty h_{ef}/t_{ef}) \sqrt{(t e_m)}$

Vliv dotvarování e_k je závislý na konečné hodnotě součinitele dotvarování zdiva $\Phi_\infty = \varepsilon_{c,\infty}/\varepsilon_{e1}$, $\varepsilon_{e1} = \sigma/E$: $\Phi_\infty = 0$ až 2 , pro kamenné kvádry 0 , pálené cihly 1 , betonové tvárnice $1,5$ až 2 .

Vliv štíhlosti

Součinitel **$\exp(-u^2/2)$** přihlíží k **štíhlosti** stěny v závislosti na λ :

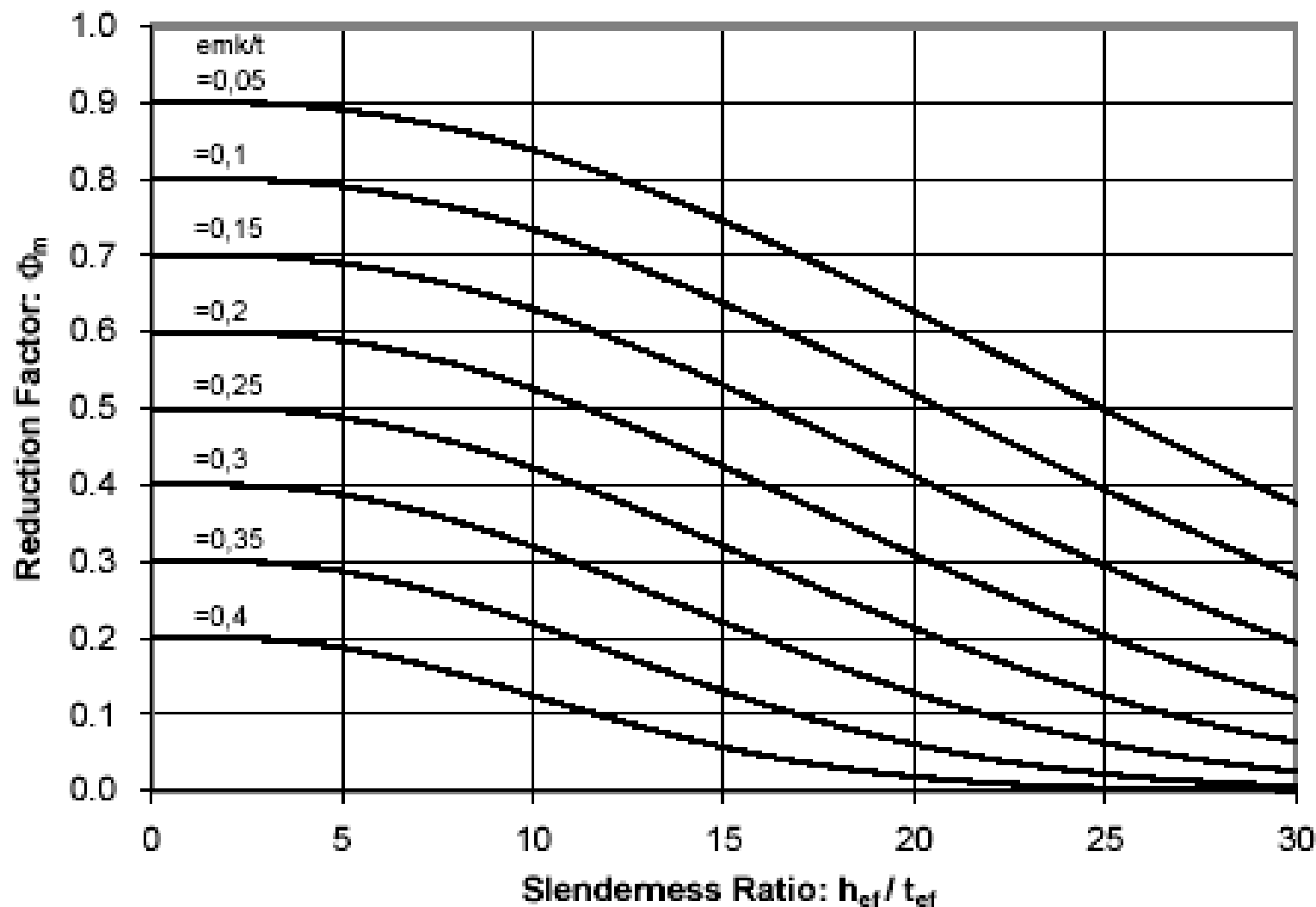
$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}}$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

Účinná tloušťka stěny t_{ef} je u jednovrstvých stěn rovna skutečné tloušťce t .

Grafy - tabulky pro $\Phi_m = A_1 \exp(-u^2/2)$ v závislosti na součiniteli druhu zdiva a malty $\alpha_{sec} = E / f_k$ (~ 1000), štíhlostním poměru $h_{ef}/t_{ef} < 27$ (~ 5 až 10), a výstřednosti $e_{mk}/t \geq 0,05$.

Zmenšovací součinitel Φ_m pro $\alpha_{\text{sec}} = 1000$



Příklad

Pálené cihly $f_u = 25$ MPa, kategorie výroby I, provádění B, $\gamma_M = 2,2$
 $K = 0,4$; $f_b = \delta f_u = 0,77 \times 25 = 19,25$ Mpa; M10: $f_m = 10$ Mpa
 $f_k = 0,4 \times 19,25^{0,65} \times 10^{0,25} = 4,86$ MPa, $f_d = f_k / \gamma_M = 4,86 / 2,2 = 2,07$ MPa
 $M = 0$, $e_{fi} = e_{fm} = 0$; $h_{ef} = 0,75 \times 3,3 = 2,5$ m, $b = 1$ m, $t = 0,44$ m

$$N_{Rd} = \Phi_{i,m} \times b \times t \times f_d = \Phi_{i,m} \times 0,911 \text{ MN}$$

Pata a hlava pilíře:

$$e_a = h_{ef} / 450 = 2,5 / 450 = 0,0055 \text{ m}$$

$$e_i = e_{fi} + e_a = 0 + 0,0055 (\geq 0,05 t); 0,05 t = 0,05 \times 0,44 = 0,022 \text{ m}$$

$$e_i = 0,022 \text{ m}, \Phi_i = 1 - 2 e_i / t = 1 - 2 \times 0,022 / 0,44 = 0,9$$

$$N_{Rd} = \Phi_i \times b \times t \times f_d = 0,9 \times 1 \times 0,44 \times 2,07 = 0,820 \text{ MN}$$

Střed pilíře:

$$e_k = 0, \text{ pro } \alpha_{\text{sec}} = 1000, h_{ef} / t_{ef} = 5,64 \text{ a } e_{mk} / t = 0,05 \text{ z grafu } \Phi_m = 0,88$$

$$N_{Rd} = \Phi_m \times b \times t \times f_d = 0,88 \times 1 \times 0,44 \times 2,07 = 0,802 \text{ MN}$$

Otázky ke zkoušce

- historický vývoj zděných konstrukcí
- uplatnění zděných konstrukcí v architektuře
- složky zdiva, charakteristiky zdicích prvků a malty
- pracovní diagram zdiva
- charakteristická pevnost zdiva
- odolnost obdélníkového průřezu v patě stěny
- odolnost obdélníkového průřezu ve středu stěny
- příklad výpočtu