



Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering
Institute of Concrete and Masonry Structures, Veveri 95, 662 37 Brno

Zděné konstrukce, jejich
typy a význam. Vlastnosti
zdiva. Zásady dimenzování
podle mezních stavů.



Ishshah Mud-brick Palace in Tarim, Yemen

Použitá a citované literatura:

- Zděné konstrukce, MS1, Základy navrhování, R. Jeneš, B. Podroužková, studijní opory VUT v Brně, FAST
 - Zděné konstrukce, MS2, Haly, vícepodlažní budovy, R. Jeneš, B. Podroužková, studijní opory VUT v Brně, FAST
 - Zděné konstrukce, MS3, Vyztužené a předpjaté zdivo, R. Jeneš, B. Podroužková, studijní opory VUT v Brně, FAST
 - Zděné konstrukce, MS4, Vodorovné konstrukce, klendby, R. Jeneš, B. Podroužková, studijní opory VUT v Brně, FAST
- Zděné konstrukce, K. Lorenz, ČVUT, 1995
- Betónové a murované konštrukcie, L. Fillo, V. Benko, STU v Bratislavě, 1994
 - Betonové konstrukce 20, Zděné konstrukce, Navrhování podle Eurokódu 6, I. a II. díl, D. Pumu, P. Košatka, 2004
 - Navrhování zděných konstrukcí, O. Gartner, M. Procházka, VUT v Brně, FAST, 1982
 - Poruchy a rekonštrukciek nosných sústav, J. Bilčík, J. Cesnak, STU v Bratislavě, 1998
 - ČSN EN 1996 – 1 – 1, Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce

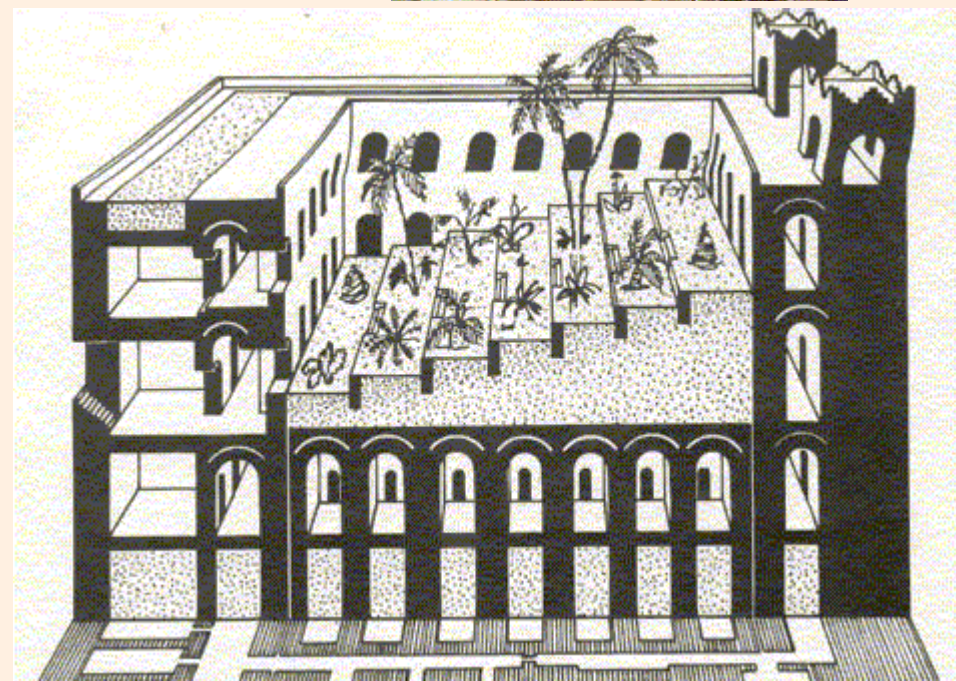
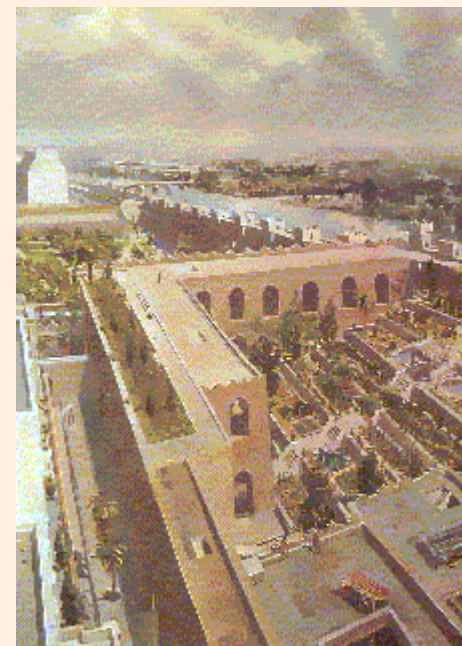
Zděné konstrukce – patří k nejstarším
Nejdříve použití kamene, z důvodu
nedostatku v některých oblastech –
použití umělého staviva – cihly.

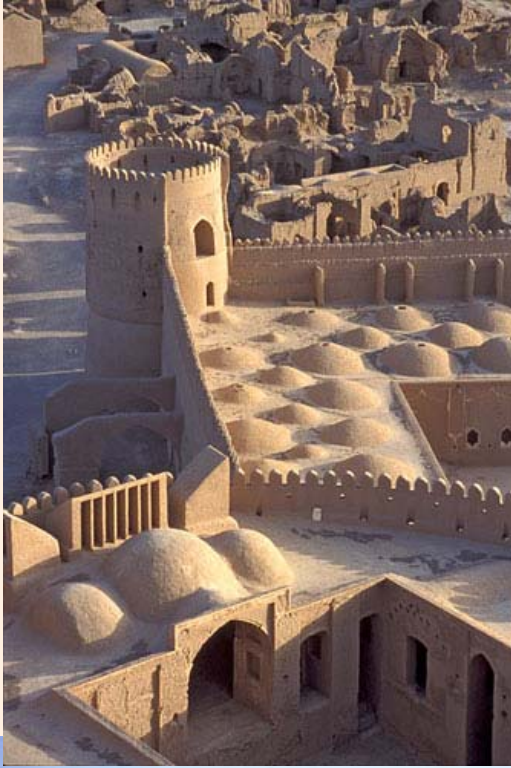
Nejprve v Mezopotámii a také ve
sprašových oblastech Anatólie – cca
8000 nazpět.

Cca 2500 př.n.l. v Mezopotámii výroba
pálených cihel.

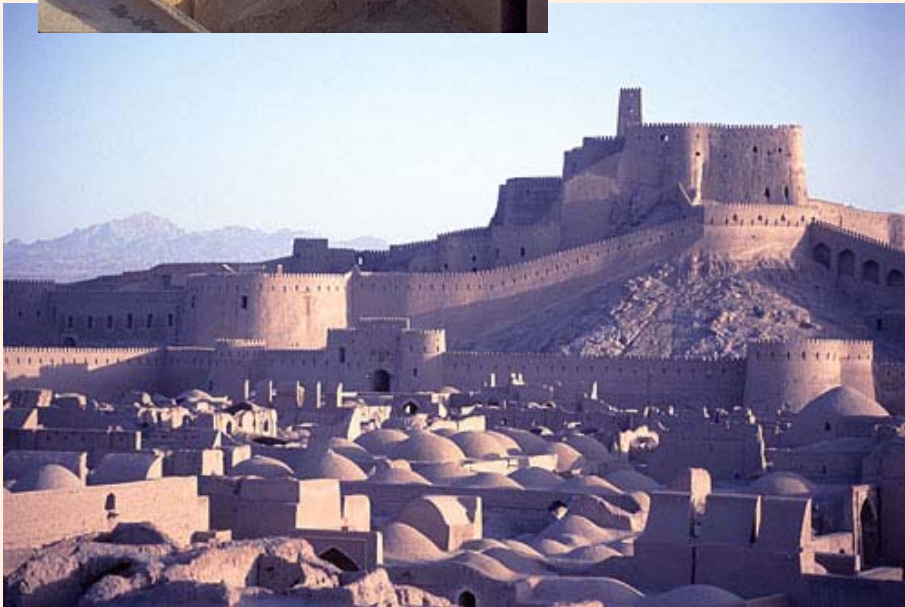


Takto zahrady popisuje Strabón, řecký historik a zeměpisec (64 nebo 63 - cca 21 př. n. l.): "A tak se tato hradba, stejně jako visutá zahrada, počítá mezi sedm divů světa. Zahrada tvoří čtverec a každá jeho strana měří čtyři plenthra", tj. asi 120 metrů. "Drží se na klenbách spočívajících na podstavcích z kvádrů, postavených na sebe jako kostky. Podstavce jsou naplněny hlínou, takže v nich mohou růst i největší stromy. Zhotoveny jsou z pálených cihel spojených asfaltem, asfaltem jsou zalaty i oblouky a pilíře z kamenných kvádrů. Nejvyšší plošina má stupňovité terasy a na těchto terasách jsou spirálová čerpadla, jimiž určení dělníci neustále čerpají vodu z Eufratu. Tato řeka teče totiž středem města v šíři jednoho stadia a zahrada je vedle řeky."

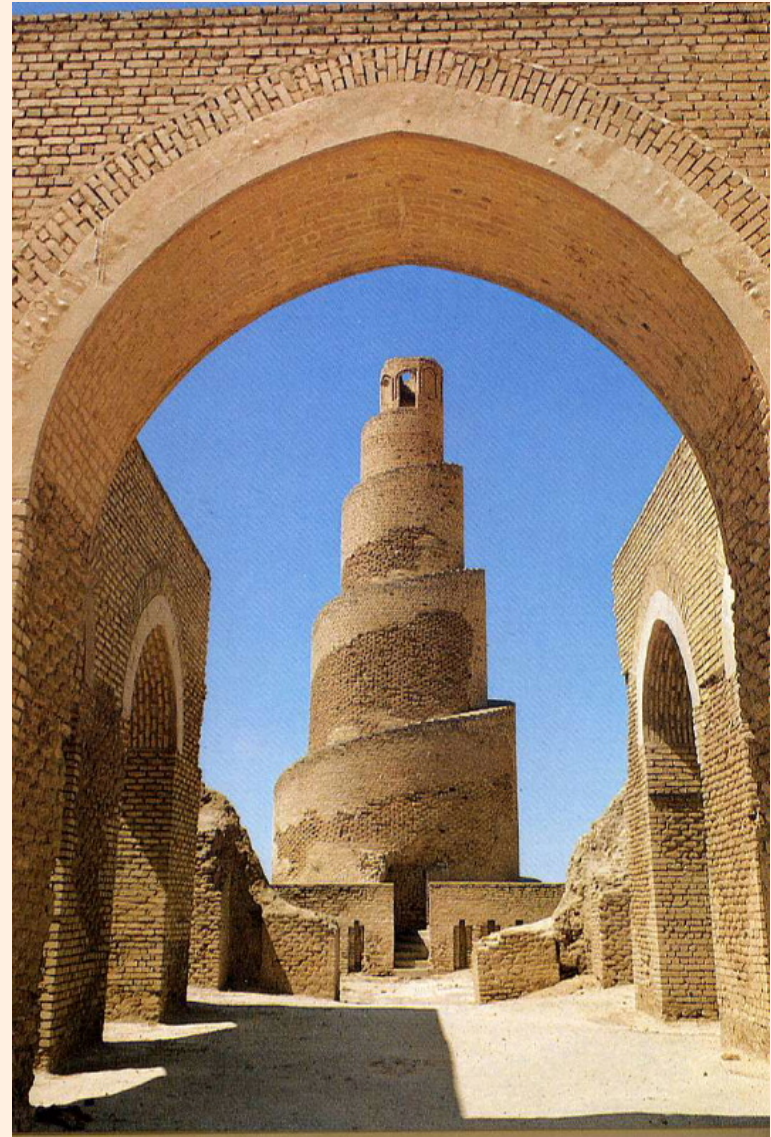




Mud buildings of Bam



Citadel and mud city of Bam



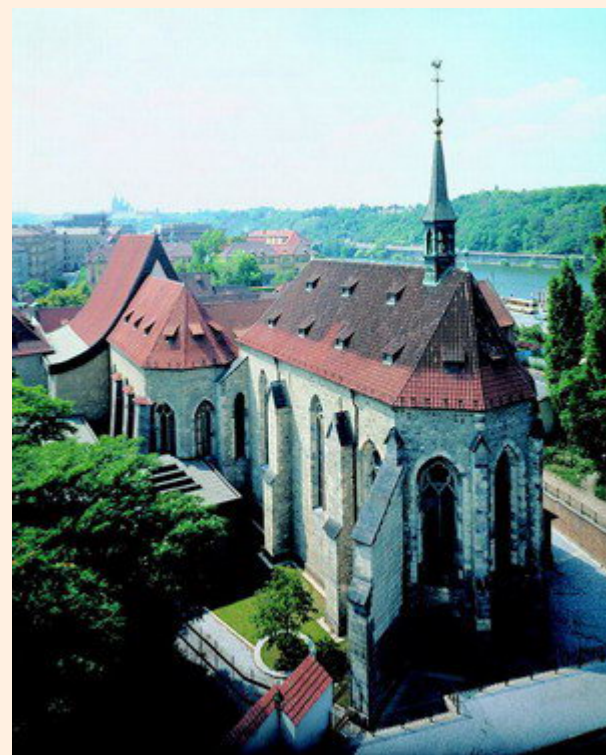
The spiral minaret at Abu Dulaf,
15 km north of Samarra. © Iraqi
State

Do českých zemí se cílářská výroba dostává spolu s příchodem křesťanství v 9. a 10. století.



Stále ale ještě převažuje kamenné zdivo na vápennou maltu.

Dochovalé zdivo v 12. stol. kostel v Plasích a v Anežském klášteře v Praze





Budeč - to je legendami opředený vrchol, údajná škola knížete Václava, poutní místo a také nejstarší stojící stavba v Česku. Ačkoliv není rok založení rotundy sv. Petra a Pavla přesně známý, přemyslovský kníže Svyatopluk ji nechal postavit někdy po roce 895 a patrně před rokem 915. Podle Kroniky české Václava Hájka z Libočan je považován za správný rok 905.



Rotunda svatého Martina v Praze na Vyšehradě

V polovině 19. století dochází ke zprůmyslnění výroby cihel.

- lisy
- pece
- umělé sušení

Po celá tisíciletí se zděné stavby prováděly pouze na základě předávaných zkušeností a empirických pravidel.

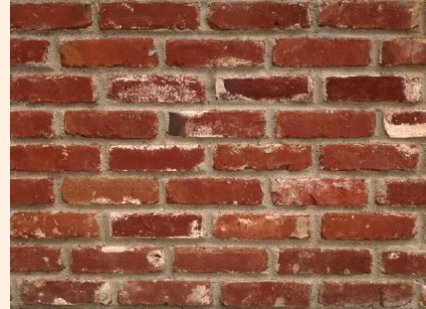
Až po 2. světové válce, kdy vyvstala naléhavá potřeba výstavby obytných i občanských budov a zároveň bylo třeba šetřit stavebním materiálem, bylo nutné zabývat se aplikací stavebně-inženýrských zásad pro navrhování zděných konstrukcí.

Vlastnosti, výhody, uplatnění:

- široké konstrukční uplatnění
- relativně jednoduché návrhy
- doba výstavby
- příznivá cena
- široký sortiment
- tradice a zkušenost
- materiálová dostupnost
- odolnost proti atmosférickým vlivům
- minimální údržba
- tepelně-technické vlastnosti
- tvarová variabilita

Materiál pro zděné konstrukce a jeho fyzikálněmechanické vlastnosti:

- přírodní kameny – horniny sedimentární, vyvřelé a metamorfované
- cihelné tvárnice
- tvárnice, nebo bloky na bázi betonu
- a další..



Umělé „kameny“:

- pálené (plné, lehčené, děrované, duté, atd...)
- nepálené (silikátové, z lehkého betonu, atd..)

Rozhodující vlastnosti jsou: pevnost, tepelnotechnické vlastnosti a trvanlivost.

Požadavky na pevnost a tepelněizolační schopnosti jsou velmi často v přímém rozporu.

Pevnost v tahu drtivě většiny stavebních prvků je mnohem menší než pevnost v tlaku, proto se používají zejména pro konstrukce, které jsou namáhány převážně tlakem.

Trvanlivost:

Materiál venkovních stěn zděných konstrukcí je po celou dobu trvání vystaven celé řadě nepříznivých atmosférických vlivů (zejm. teploty, větru, různých plynných látek, změny vlhkosti, zamrzání vody v pórech, atd.).

Tyto vlivy snižují pevnost a trvalivost.

Malty – základní druhy:

- vápenné
- vápenocementové (nastavované)
- cementové

Funkce malty:

- spojuje jednotlivé prvky v jeden stavební celek
- přenáší zatížení, vyrovnává lokální účinky zatížení
- vyplněné spáry zamezují přístupu atmosférickým vlivům – chrání zdivo a zvyšuje nepropustnost



Funkce malty:

- spojuje jednotlivé prvky v jeden stavební celek
- přenáší zatížení, vyrovnává lokální účinky zatížení
- vyplněné spáry zamezují přístupu atmosférickým vlivům – chrání zdivo a zvyšuje nepropustnost

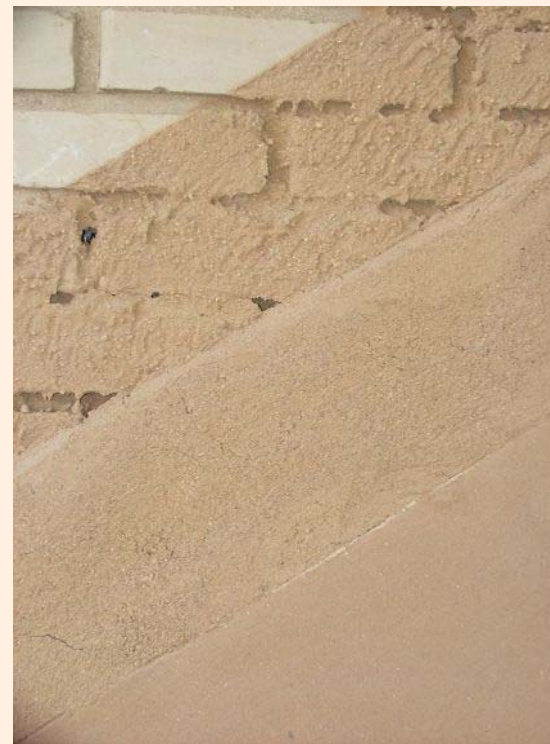
Malta je:

směs pojiva, plniva a vody, popř. přísad a příměsí

pojivo

- vzdušné – převážně obsahuje vápno
- hydraulické – obsahuje více jak 50% hydraulických součástí

Plnivo tvoří pevné součásti malty předepsaného zrnění, nejčasteji se používá přírodní písek.

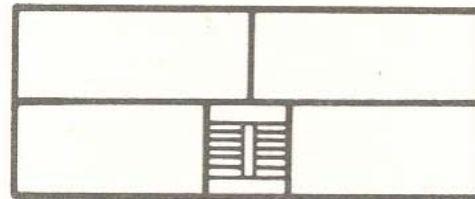


Volba konstrukčního systému:

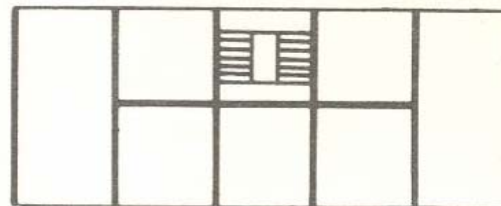
- rozhoduje charakter – zejména účel objektu
- druh a velikost zatížení – stroje, atd....
- charakter základového podloží
- atd...

Základní systémy:

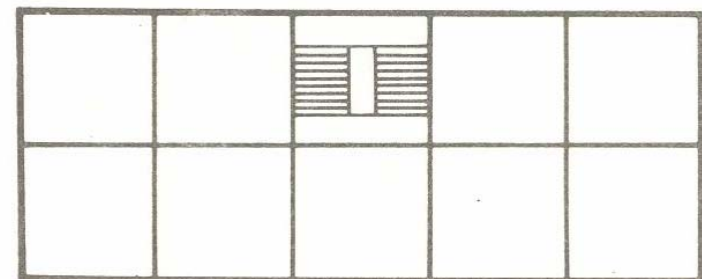
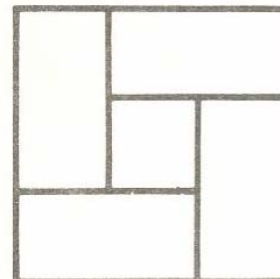
- podélný stěnový systém



- příčný stěnový systém

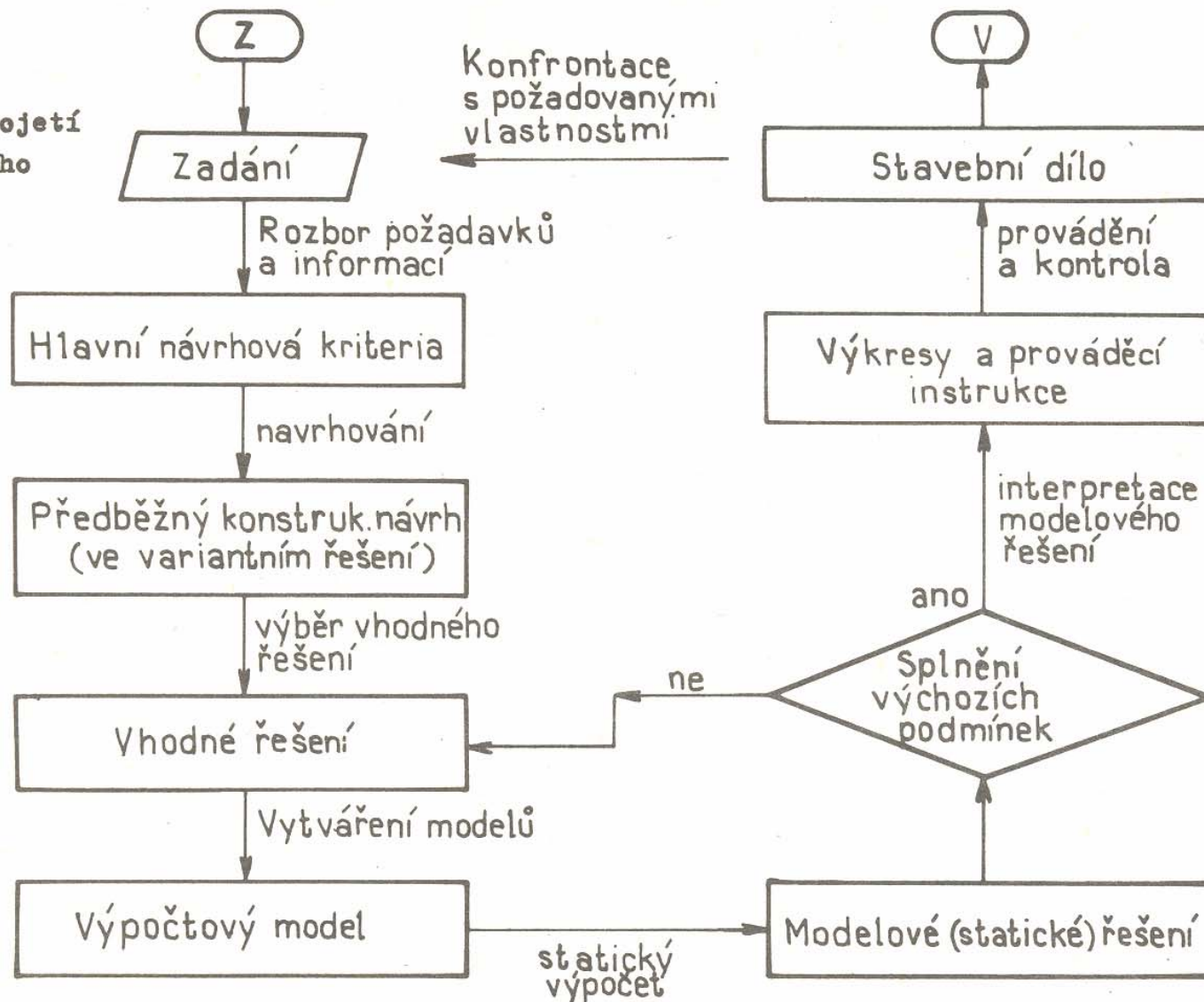


- soustava podélných a příčných stěn



OBR. 1.

Obecné pojetí
návrhového
postupu



Rozčlenění objektu na menší oddíly

ochraně, či zabránění před:

- nepříznivými účinky změn teplot - DILATAČNÍ SPÁRY
- vznikem poruch způsobenými nerovnoměrným sedáním jednotlivých částí objektu
ROZDĚLOVACÍ SPÁRY

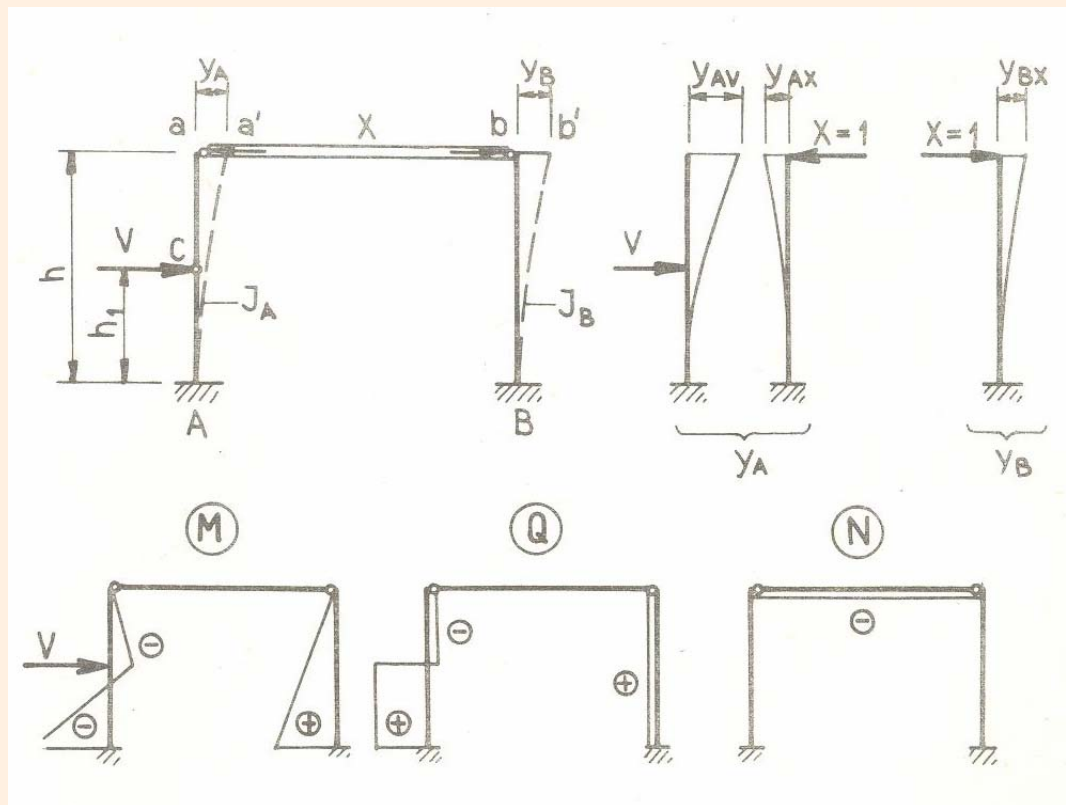
TAB. 2. Mezní vzdálenosti (v m) mezi dilatačními spárami ve zdivu

Zdivo	Mezní vzdálenost mezi dilatačními spárami (v m) pro zdivo na maltu značky		
	150, 100 a 50	25 a 10	4
z cihlářských výrobků	60	90	120
z vápenopískových cihel a dílců z obyčejného a lehkého betonu	40	60	80
z dílců z pórobetonu	24	24	24

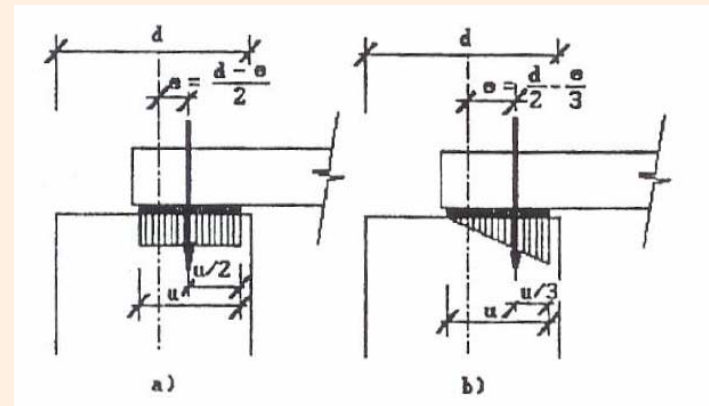
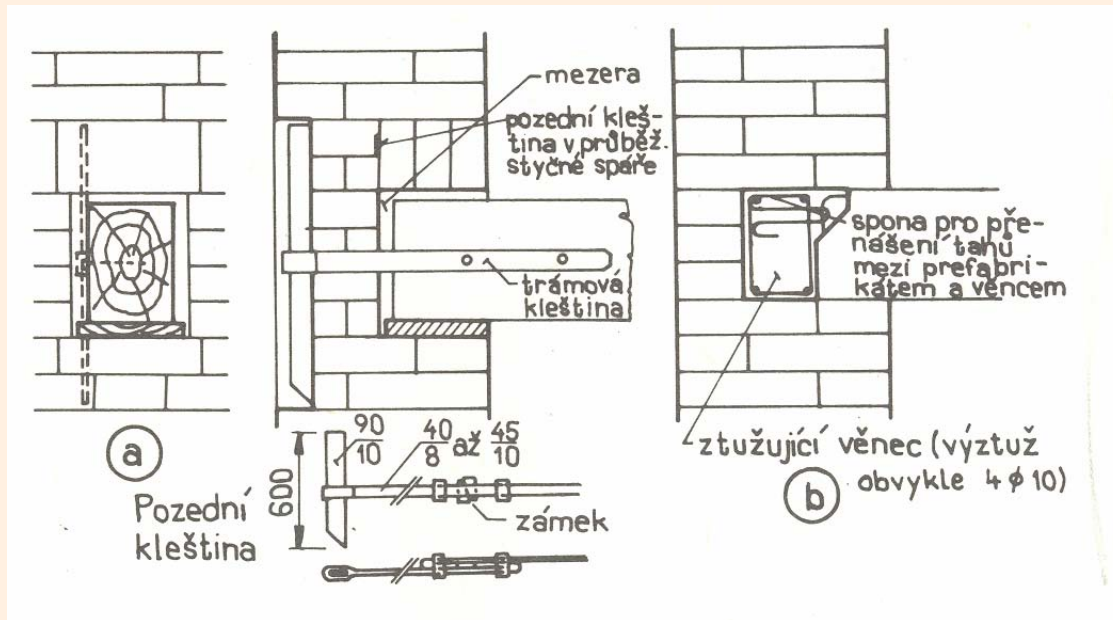
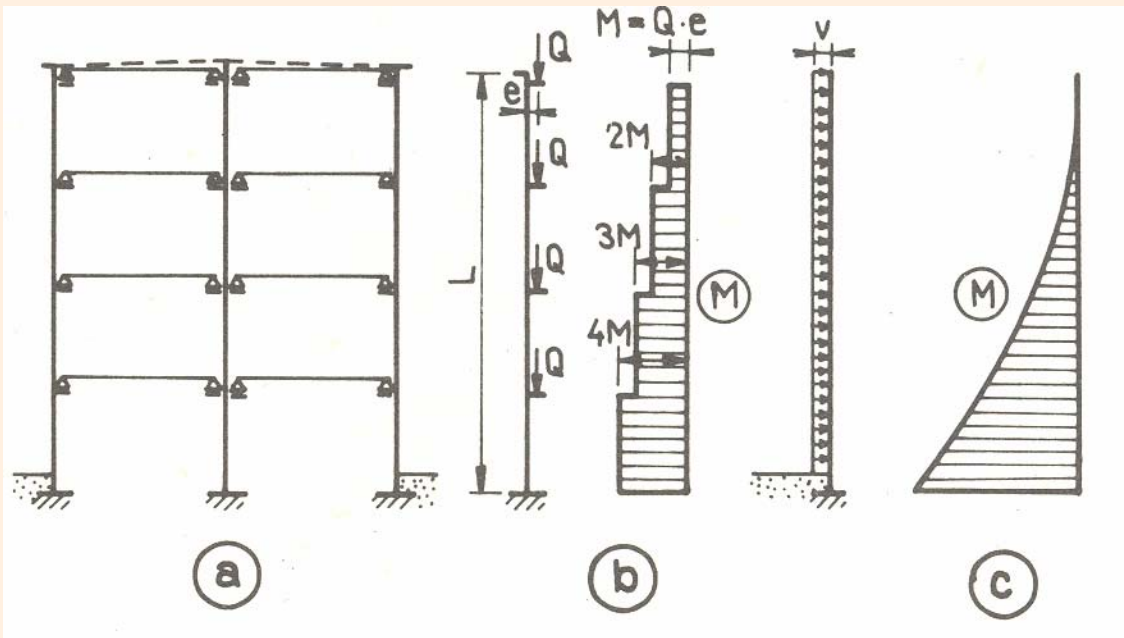
Zdivo	α_t [$^{\circ}\text{C}$] $^{-1}$
z cihlářských výrobků	$0,5 \cdot 10^{-5}$
z vápenopískových cihel, z tvárnic a dílců z obyčejného a lehkého betonu	$1,0 \cdot 10^{-5}$
kamenné	$0,8 \cdot 10^{-5}$
z pórobetonu	$0,75 \cdot 10^{-5}$

Zděné halové objekty

- zejména o jednopodlažní objekty
- nejčastěji ze dvou podélných stěn
- střešní konstrukce na bázi dřeva, oceli, betonu, předp. betonu
- rozestupy mezi příčnými ztužujícími stěnami jsou značné
- vodorovné účinky musí přenést stěny a konstrukce střechy
- podélné stěny působí jako konzoly vetknuté do základů
- konstrukčně upravená střecha působí ve vodorovné rovině jako tuhý prvek



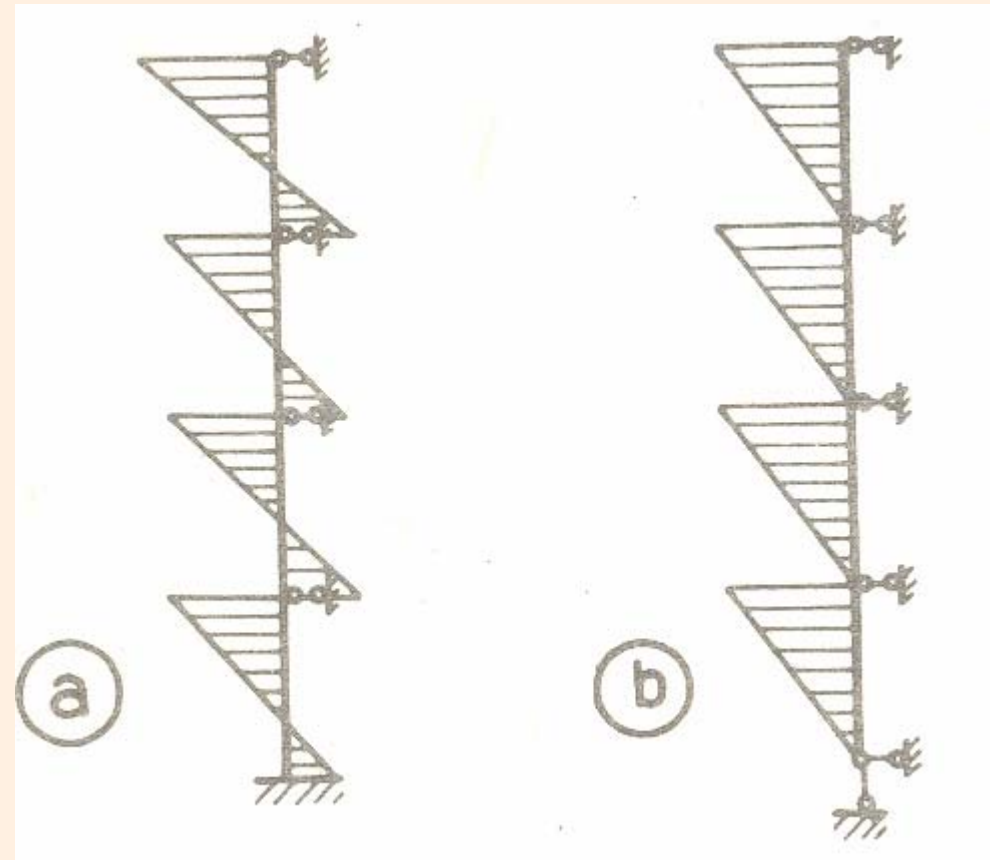
Objekty s dřevěnými stropy



Objekty s tuhými stropy

Průběh ohybových momentů v obvodové stěně tuhého systému vyvolaných svislým zatížením

- a) stěna uvažována jako spojitý nosník -
- v praxi se běžně nepoužívá,
- b) zjednodušené působení s ohledem
na postup provádění a deformace zdi-
va s nedostatečně zatvrdlou maltou



Účinek svislého
zatížení stropu
na obvodovou
stěnu

- a) stěna konstant-
ní tloušťky
- b) stěna s náhlou
změnou průřezu

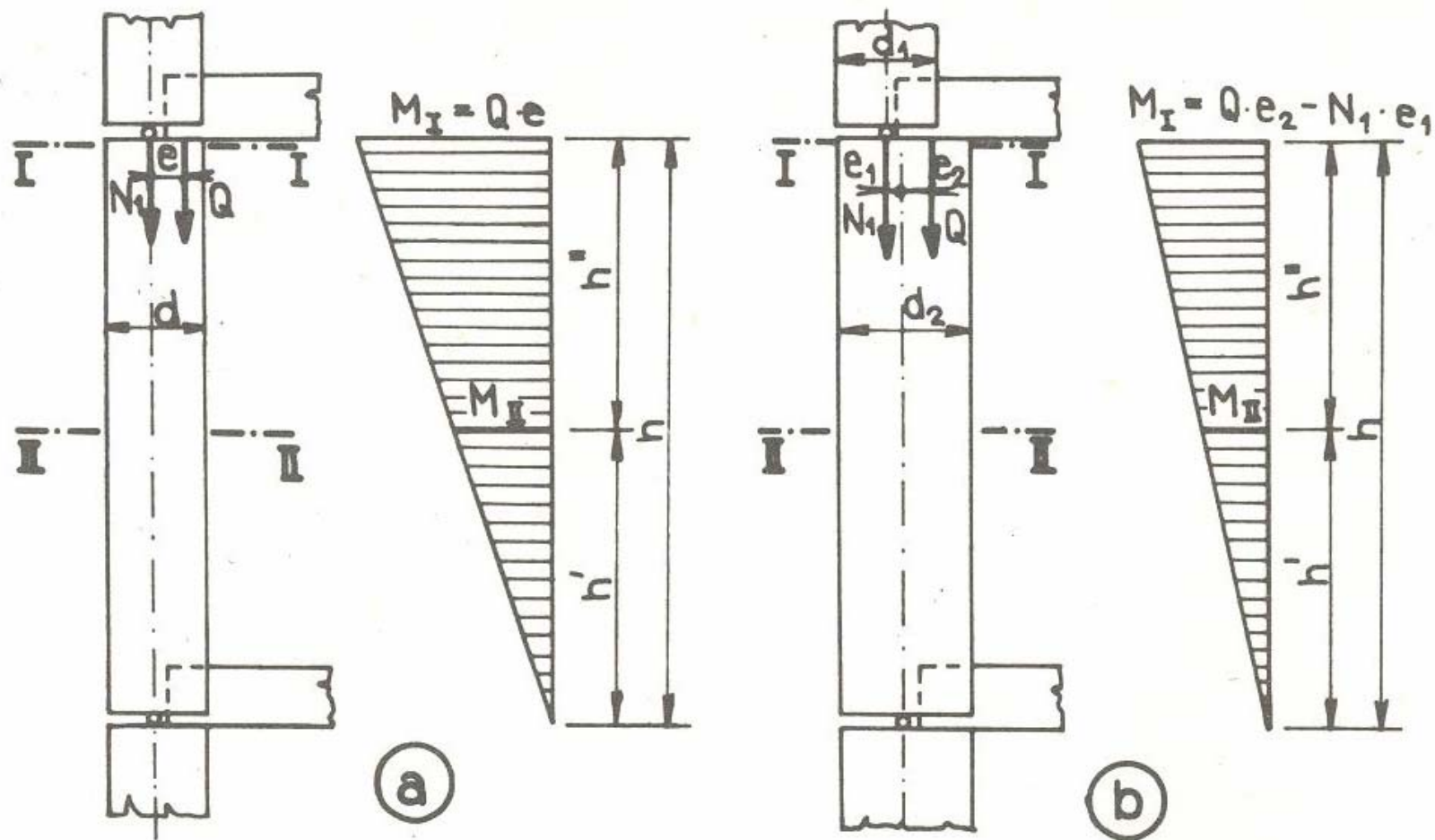
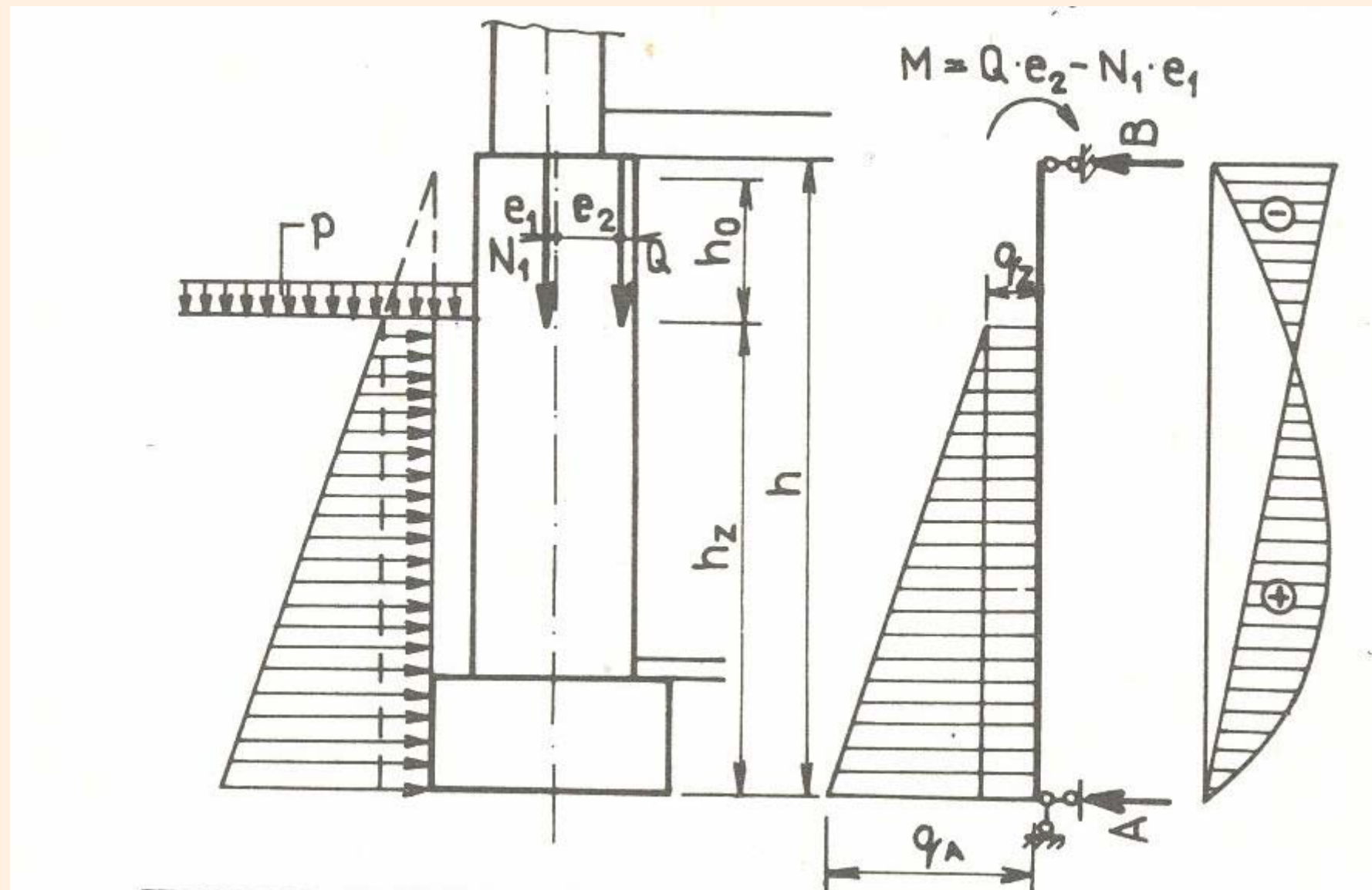
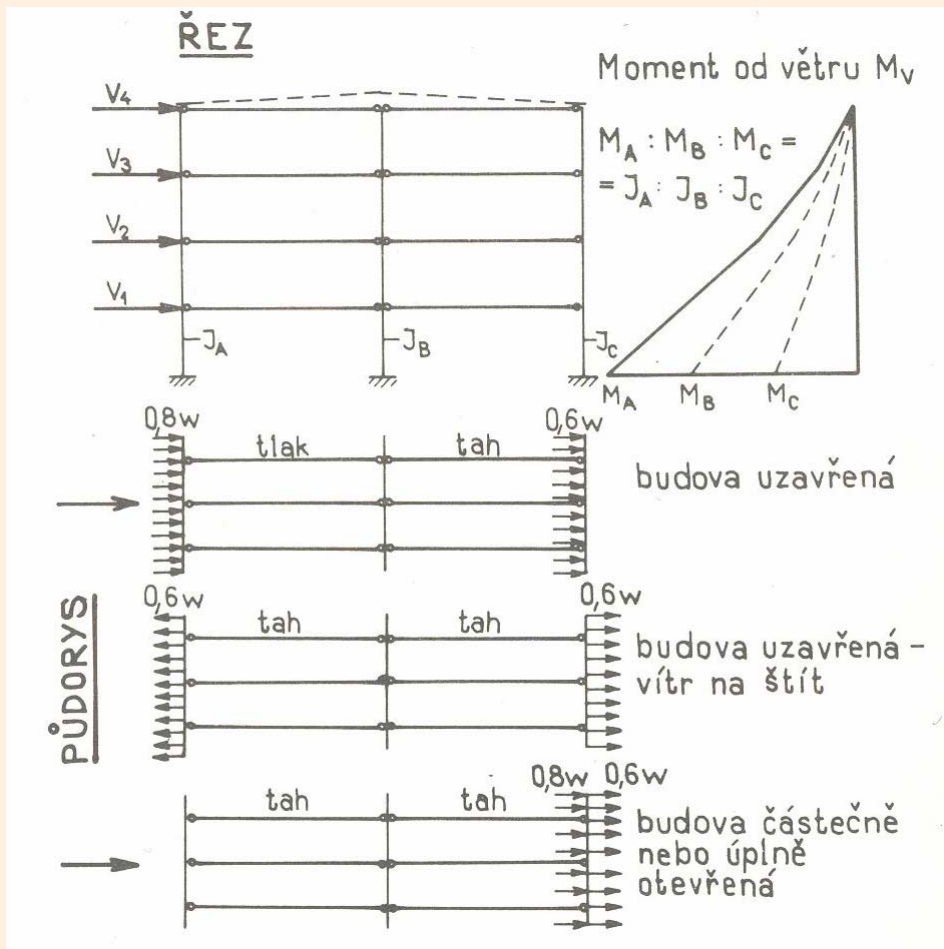


Schéma zatížení obvodové stěny v suterénu



Statické působení větru na objekt s podélným konstrukčním systémem bez ztužujících příčných stěn

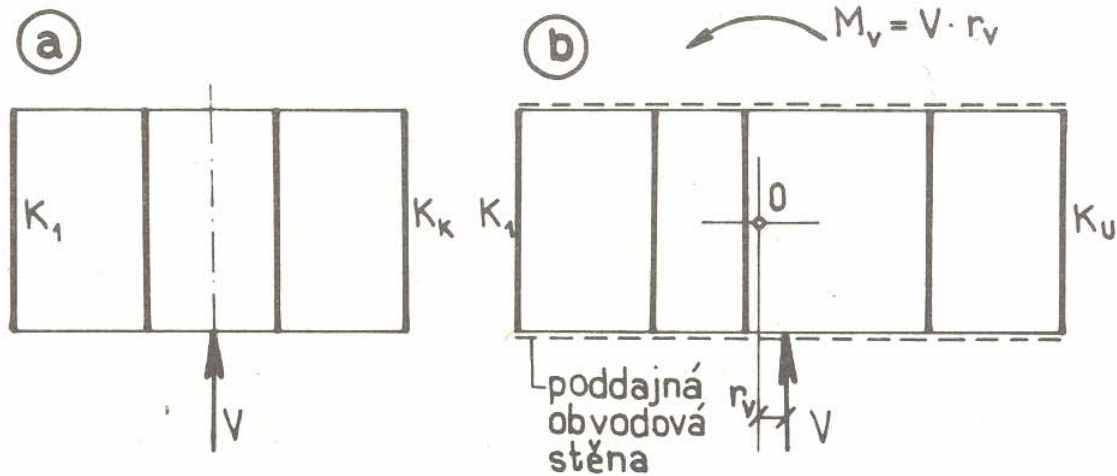


Působení ztužujících stěn

Soustava ztužujících stěn

a) souměrná soustava ztužujících stěn

b) nesouměrná soustava ztužujících stěn (předpokládá se, že obvodové stěny jsou poddajné)



Návrh zděných konstrukcí podle Eurokódu 6 – všeobecně

EN 1996-1-1: Obecná pravidla - pravidla pro vyztužené a nevyztužené zdivo

EN 1996-1-2: Obecná pravidla – navrhování na účinky požáru

EN 1996-2: Výběr materiálů a provádění zdiva

EN 1996-3: Zjednodušené výpočetní metody.

Zdivo je stavební konstrukce, která vzniká sestavením zdicích prvků vázaných podle daných pravidel pomocí malty nebo zálivky.

Zásady návrhu

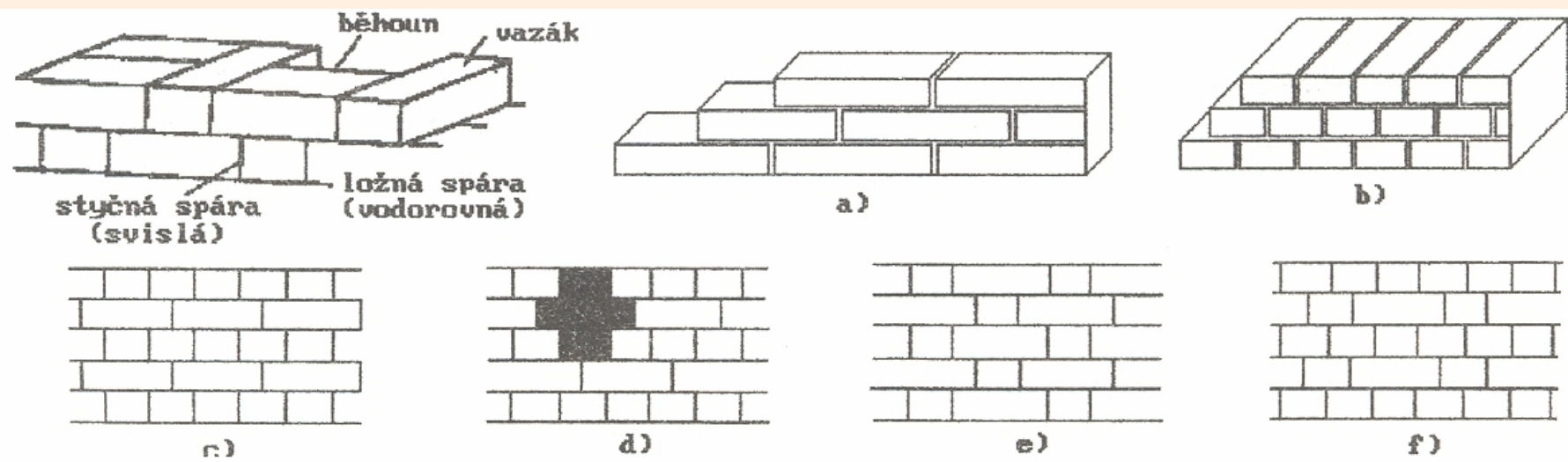
Základní požadavky

- návrh mezního stavu je proveden metodou dílčích součinitelů dle EN 1990,
- zatížení se bere dle EN 1991,
- použijí se pravidla pro kombinace daná v EN 1990,
- použijí se zásady a pravidla pro použití daná v EN 1991-1-1.

Zásady navrhování podle mezních stavů

Zděné konstrukce je nutno posoudit na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti.

Je nutno uvažovat všechna významná návrhová řešení včetně rozhodujících stádií postupu výstavby.



Vazba zdiva a) běhounová, b) vazáková, c) polokřížová, d) křížová, e) gotická či polská, f) holandská

Zdivo:

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

Zdicí prvky

Druhy a zatřídění zdicích prvků

- pálené zdicí prvky (EN 771-1),
- vápenopískové zdicí prvky (EN 771-2),
- betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem (EN 771-3),
- pórobetonové tvárnice (EN 771-4),
- zdicí prvky z umělého kamene (EN 771-5),
- zdicí prvky z přírodního kamene opracovaného do tvaru kvádrů (EN 771-6).

Podle kvality kontroly výroby řadíme zdicí prvky do kategorie I nebo II (určuje výrobce).

Dále třídíme zdicí prvky do skupin 1, 2, 3 a 4 podle objemu otvorů, popř. tloušťky přepážek mezi dutinami (viz tab. 2.2, skupinu stanoví výrobce).

Pórobetonové zdicí prvky a prvky z umělého nebo přírodního kamene řadíme do skupiny 1.

Návrhové hodnoty vlastností materiálů

Materiál		γ _M				
		Třída				
		1	2	3	4	5
A	Zdivo vyrobené z: Prvky kategorie I, návrhová malta	1,5	1,7	2	2,2	2,5
B	Prvky kategorie I, předpisová malta	1,7	2	2,2	2,5	2,7
C	Prvky kategorie II, libovolná malta	2	2,2	2,5	2,7	3
D	Kotvení výztuže	1,7	2	2,2	2,5	2,7
E	Betonářská a předpínací výztuž	1,15				
F	Pomocné prvky	1,7	2	2,2	2,5	2,7
G	Překlady dle EN 845-2	1,5 až 2,5				

Tab. 2.2: Geometrické požadavky pro zařazení zdicích prvků

	Materiály a limitní hodnoty pro zdici prvky							
	Skupina 1	Skupina 2		Skupina 3		Skupina 4		
	(všechny materiály)	Prvky	Svislé otvory			Vodorovné otvory		
Objem všech otvorů (% z celkového objemu)	≤25	pálené	>25; ≤55		>55; ≤70		>25; ≤70	
		vápno-pískové	>25; ≤55		nepoužívá se		nepoužívá se	
		betonové ^b	>25; ≤60		>60; ≤70		>25; ≤50	
Objem jednoho otvoru (% z celkového objemu)	≤12,5	pálené	jednotlivý otvor ≤2 manipulační otvory max. 12,5		jednotlivý otvor ≤2 manipulační otvory max. 12,5		jednotlivý otvor ≤30	
		vápno-pískové	jednotlivý otvor ≤15 manipulační otvory max. 30		nepoužívá se		nepoužívá se	
		betonové ^b	jednotlivý otvor ≤30 manipulační otvory max. 30		jednotlivý otvor ≤30 manipulační otvory max. 30		jednotlivý otvor ≤25	
Zaručená hodnota tloušťky žeber a přepážek mezi otvory (mm)	Bez požadavků		žebro	obvodové žebro	žebro	obvodové žebro	žebro	obvodové žebro
		pálené	≥5	≥8	≥3	≥6	≥5	≥6
		vápno-pískové	≥5	≥10	nepoužívá se		nepoužívá se	
	betonové ^b	≥15	≥18	≥15	≥15	≥20	≥20	
Zaručená hodnota celkové ^a tloušťky žeber a přepážek (% z celkové šířky)	Bez požadavků	pálené	≥16		≥12		≥12	
		vápno-pískové	≥20		nepoužívá se		nepoužívá se	
		betonové ^b	≥18		≥15		≥45	

^a Celková tloušťka přepážek mezi otvory a obvodových stěn prvku, měřená vodorovně přes prvek kolmo k povrchu stěny.
^b Je-li otvor konický, použije se průměrná tloušťka přepážek a obvodových stěn prvku

Vlastnosti zdicích prvků

Charakteristickou vlastností zdicího prvku je jeho pevnost v tlaku. Výrobce většinou udává průměrnou pevnost v tlaku získanou ze zkoušek prováděných na celých prvcích, a to ve směru kolmo na ložnou spáru a kolmo na styčnou spáru.

Pro návrh zděné konstrukce potřebujeme normalizovanou pevnost v tlaku f_b v příslušném směru. Tu získáme z průměrné hodnoty vynásobením součinitelem δ – tab. 2.3.

Tab. 2.3: Součinitel tvaru δ vyjadřující vliv rozměrů zkušební vzorku

Šířka (mm)	50	100	150	200	≥250
Výška (mm)					
40	0,80	0,70	-	-	-
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	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

POZN.: Mezilehlé hodnoty δ se stanoví interpolací podle přímky

2.4.2.3 Specifikace malt pro zdění

Malty se zařazují do tříd podle jejich pevnosti v tlaku f_m , což je charakteristická vlastnost malty. Označení malty je pak písmeno M, za kterým je uvedena pevnost v N/mm^2 (= MPa).

Tab. 2.4: Třídy malt

Třída	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Pevnost v tlaku N/mm^2	1	2,5	5	10	15	20	d
d je pevnost v tlaku větší než 25 N/mm^2 deklarovaná výrobcem							

Předpisové malty mají ještě popsány poměr předepsaných složek v pořadí objem cementu: objemu vápna : objemu písku, např. 1: 1: 5.

Mechanické vlastnosti zdiva

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku f_k se stanoví buď zkouškami dle EN 1052-1 nebo výpočtem.

Pro zdivo s výjimkou zdiva na obvodových pruzích malty ji získáme z :

- rovnice (2.1) pro zdivo s obyčejnou a lehkou maltou,
- rovnice (2.2) pro zdivo s maltou pro tenké spáry v ložných spárách tloušťky 0,5 až 3 mm a pálenými zdicími prvky skupin 1 a 4, vápenopískovými, betonovými a pórobetonovými zdicími prvky,
- rovnice (2.3) pro zdivo s maltou pro tenké spáry v ložných spárách tl. 0,5 až 3 mm a pálenými zdicími prvky skupin 2 a 3.

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (2.1)$$

$$f_k = K f_b^{0,85} \quad (2.2)$$

$$f_k = K f_b^{0,7} \quad (2.3)$$

K ...konstanta dle tab. 2.6; pokud se ve zdivu s obyčejnou maltou vyskytuje podélná maltová spára rovnoběžná s lícem stěny v celé nebo jakékoli délce stěny, hodnoty K se násobí 0,8;

f_b ... normalizovaná průměrná pevnost v tlaku zdicích prvků ve směru působení účinků zatížení v N/mm^2 ;

f_m ... pevnost malty v tlaku v N/mm^2 .

Musí být zajištěno, že jsou splněny následující požadavky:

- zdivo je provedeno v souladu s konstrukčními zásadami EN 1996-1-1,
- spáry jsou řádně vyplněny,
- f_b se nedosazuje větší než $75 N/mm^2$, jsou-li zdicí prvky kladeny do obyčejné malty,
- f_b se nedosazuje větší než $50 N/mm^2$, jsou-li zdicí prvky kladeny do malty pro tenké spáry,
- f_m se nedosazuje větší než $20 N/mm^2$ a ne větší než $2 f_b$, jsou-li zdicí prvky ukládány do obyčejné malty,
- f_m se nedosazuje větší než $10 N/mm^2$, jsou-li zdicí prvky ukládány do lehké malty.

Tab. 2.6: Hodnoty K pro zdivo s obyčejnou maltou, maltou pro tenké spáry a lehkou maltou

Zdicí prvky		Obyčejná malta	Malta pro tenké spáry	Lehká malta s hustotou	
			ložné spáry 0,5 až 3 mm	$600 \leq \rho \leq 800$ kg/m^3	$800 < \rho \leq 1500$ kg/m^3
Pálené	Skupina 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Skupina 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Skupina 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Skupina 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Vápenopískové	Skupina 1	0,55	0,80	‡	‡
	Skupina 2	0,45	0,65	‡	‡
Betonové	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Skupina 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Skupina 3	0,40	0,50	‡	‡
	Skupina 4	0,35	‡	‡	‡
Pórobetonové	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Z umělého kamene	Skupina 1	0,45	0,75	‡	‡
Z opracovaného přírodního kamene	Skupina 1	0,45	‡	‡	‡

‡ Běžně nepoužívaná kombinace malty/zdicí prvek; hodnota neuvedena

Charakteristická pevnost zdiva ve smyku

Za předpokladu, že všechny spáry jsou vyplněné maltou, charakteristickou pevnost zdiva ve smyku f_{vk} určíme pomocí rovnice (2.4).

$$\begin{aligned} f_{vk} &= f_{vko} + 0,4 \sigma_d \\ f_{vk} &\leq 0,065 f_b \\ f_{vk} &\leq f_{vlt} \end{aligned} \quad (2.4)$$

f_{vko} ... charakteristická počáteční pevnost zdiva ve smyku při nulovém tlakovém napětí; je určena zkouškami v souladu s EN 1052-3 nebo EN 1052-4;

f_{vlt} ... mezní hodnota f_{vk} , bude stanovena v Národní příloze;

σ_d ... návrhové napětí v tlaku kolmo na průřez, v němž působí smykové napětí při příslušné kombinaci zatížení; je to průměrné svislé napětí v tlačené části stěny, která zajišťuje smykovou odolnost.

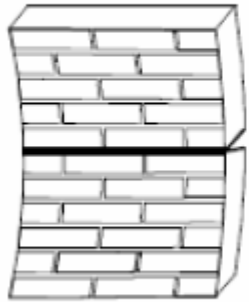
Pokud styčné spáry nejsou vyplněny maltou, ale zdící prvky k sobě těsně přiléhají, charakteristická pevnost zdiva ve smyku se stanoví z rovnice (2.5).

$$\begin{aligned} f_{vk} &= 0,5 f_{vko} + 0,4 \sigma_d \\ f_{vk} &\leq 0,045 f_b \\ f_{vk} &\leq f_{vlt} \end{aligned} \quad (2.5)$$

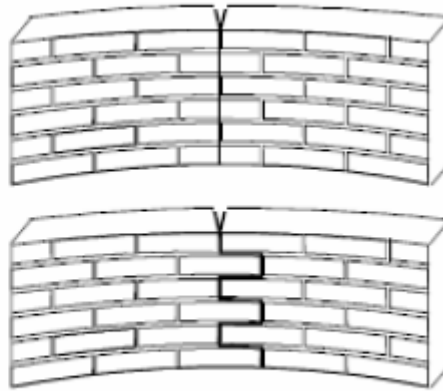
Hodnoty počáteční pevnosti zdiva ve smyku f_{vko}

Zdíci prvky	f_{vko} (N/mm ²)			
	Obyčejná malta dané pevnostní třídy		Malta pro tenké spáry (ložná spára $\geq 0,5$ mm a ≤ 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	M10 - M20	0,20	0,30	0,15
Pórobetonové	M2,5 - M9	0,15		
Z umělého a opracovaného přírodního kamene	M1-M2	0,10		

Charakteristická pevnost zdiva v ohybu



a) rovina porušení rovnoběžná s ložnými spárami f_{k1}



b) rovina porušení kolmá k ložným spárám f_{k2}

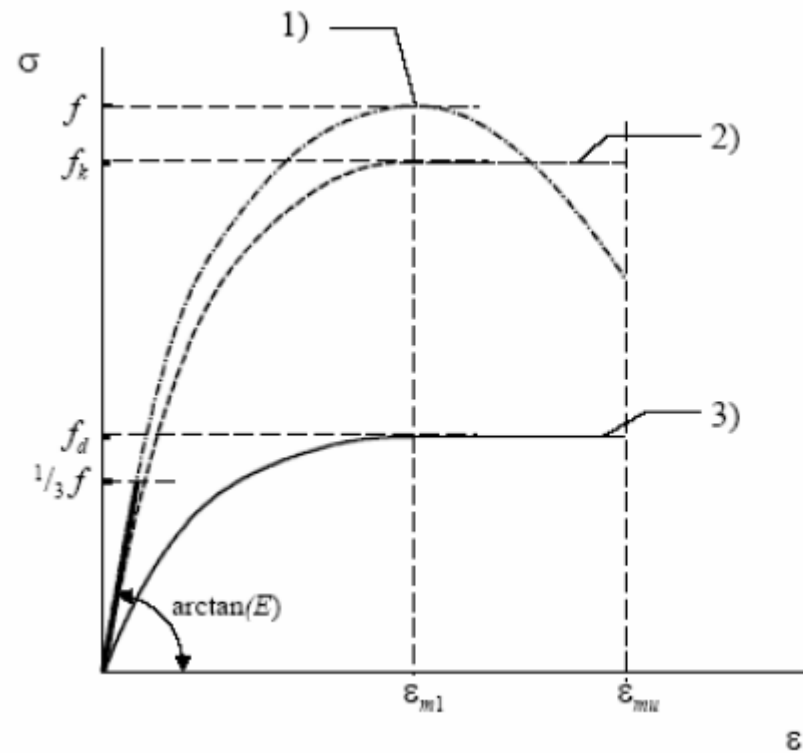
Hodnoty f_{k1} pro rovinu rovnoběžnou s ložnými spárami

Zdicí prvky	f_{k1} (N/mm ²)			
	Obyčejná malta		Malta pro tenké spáry	Lehká malta
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m \geq 5$ N/mm ²		
Pálené	0,10	0,10	0,15	0,10
Vápenopískové	0,05	0,10	0,20	nepoužívá se
Betonové	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

Hodnoty f_{k2} pro rovinu kolmou k ložným spárám

Zdicí prvky	f_{k2} (N/mm ²)			
	Obyčejná malta		Malta pro tenké spáry	Lehká malta
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m \geq 5$ N/mm ²		
Pálené	0,20	0,40	0,15	0,10
Vápenopískové	0,20	0,40	0,30	nepoužívá se
Betonové	0,20	0,40	0,30	nepoužívá se
Pórobetonové	$\rho < 400$ kg/m ³	0,20	0,20	0,20
	$\rho \geq 400$ kg/m ³	0,20	0,40	0,30
Z umělého kamene	0,20	0,40	nepoužívá se	nepoužívá se
Z opracovaného přírodního kamene	0,20	0,40	0,15	nepoužívá se

Vztah mezi napětím a poměrným přetvořením



1) typický diagram

2) idealizovaný diagram (parabolicko-rectangulární)

3) návrhový diagram

Dotvarování a objemové změny vlivem vlhkosti a teploty

Zdicí prvky		Součinitel konečného dotvarování ϕ_{∞}	Dlouhodobé rozpínání nebo smršťování vlivem vlhkosti ^b mm/m		Součinitel tepelné roztažnosti, $\alpha_t, 10^{-6}/K$
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
Betonové s hutným kamenivem a umělý kámen		1,0 až 2,0	-0,6	až -0,1	6 až 12
Betonové 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
Přírodní kámen	vyvřelý	c	-0,4	až +0,7	5 až 9
	sedimentovaný				2 až 7
	metamorfovaný				1 až 18

^a Konečný součinitel dotvarování $\phi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty} / \varepsilon_{el}$, kde $\varepsilon_{c\infty}$ je konečné přetvoření od dotvarování a $\varepsilon_{el} = \sigma / E$.

^b Dlouhodobá hodnota vlhkostního rozpínání je označena jako kladná, smršťování jako záporná.

^c Tato hodnota je obvykle blízká nule.

Statický výpočet

Imperfekce

$$e_i = h_{ef} / 450$$

Účinnou výšku stěny bereme jako:

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

Účinky druhého řádu

Mezní stav únosnosti

Nevyztužené zděné stěny namáhané převážně svislým zatížením

Při výpočtu odolnosti zděných stěn ve svislém směru předpokládáme, že:

- rovinné průřezy zůstávají rovinné;
- pevnost zdiva v tahu kolmo na ložné spáry je nulová.

Posouzení nevyztuženého zdiva namáhaného převážně svislým zatížením

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

Φ .. zmenšovací součinitel, Φ_i na horním a dolním okraji stěny, Φ_m uprostřed stěny; zahrnuje vliv štíhlosti a výstřednosti zatížení;

$$N_{Rd} = \Phi t f_d$$

t tloušťka stěny;

f_d ... návrhová hodnota pevnosti zdiva v tlaku

Na horním a dolním okraji stěny (Φ_1):

$$\Phi_1 = 1 - 2(e_e / t)$$

e_e ... výstřednost nahoře nebo dole;

$$e_e = (M_{id} / N_{id}) + e_{he} + e_i \geq 0,05 t$$

M_{id} ..návrhová hodnota ohybového momentu nahoře nebo dole

e_{he} ... výstřednost na horním nebo dolním okraji stěny od vodorovného zatížení

e_i počáteční výstřednost

Uprostřed výšky stěny (Φ_m)

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

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

e_{mk} výstřednost uprostřed výšky stěny:

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05 t$$

$$e_m = (M_{md} / N_{md}) + e_{hm} \pm e_i$$

$$e_k = 0,002 \phi_{\infty} \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t e_m}$$

e_m výstřednost od zatížení

e_k výstřednost od dotvarování

M_{md} .. návrhová hodnota největšího momentu uprostřed výšky stěny

N_{md} návrhová hodnota svislého zatížení uprostřed výšky stěny

e_{hm} výstřednost uprostřed od vodorovného zatížení

e_i počáteční výstřednost

Pro $E = 1000 f_k$:

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 37 \frac{e_{mk}}{t}}$$

Pro $E = 700 f_k$:

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 1,67}{19,3 - 31 \frac{e_{mk}}{t}}$$

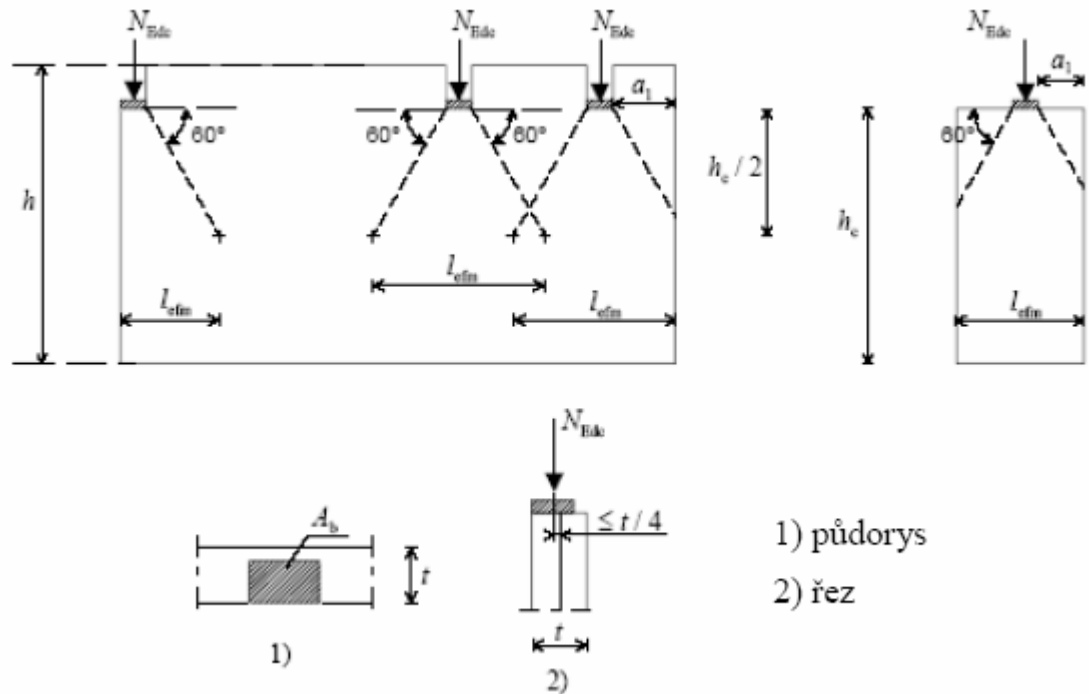
Stěny namáhané soustředěným zatížením

$$N_{Edc} \leq N_{Rdc}$$

β zvětšující součinitel pro soustředěná zatížení

$$N_{Rdc} = \beta A_b f_d$$

A_b zatížená plocha:



Nevyztužené zděné stěny namáhané příčným zatížením

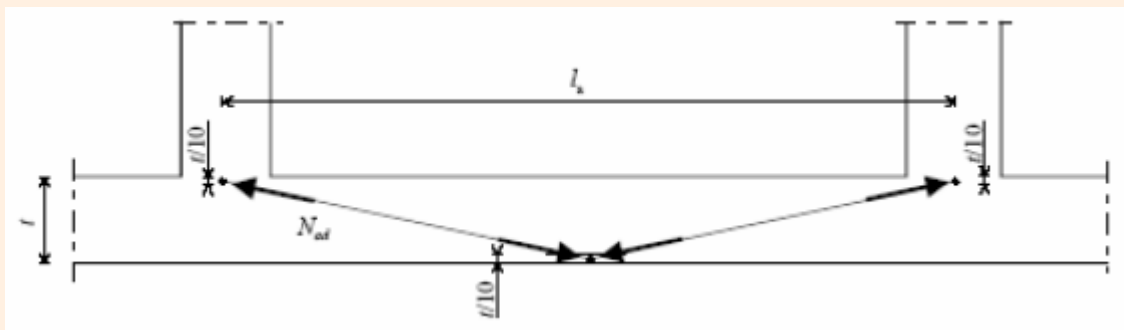
$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

f_{xd} ... návrhová pevnost zdiva pro příslušnou rovinu ohybu

$$M_{Rd} = f_{xd} Z$$

Z průřezový modul výšky prvku nebo délky stěny.

Stěny, které působí jako klenby mezi podporami



Nevyztužené zděné stěny namáhané kombinací svislého a vodorovného zatížení

Metoda použití součinitele Φ

Metoda použití zdánlivé ohybové tuhosti

Metoda použití ekvivalentních ohybových součinitelů

Mezní stav použitelnosti

Zděná konstrukce musí být navržena a postavena tak, aby nebyl překročen mezní stav použitelnosti.

Použitelnost zděných prvků nesmí být nepříznivě ovlivněna chováním jiných konstrukčních prvků, jako jsou průhyby stropů.

Mezní stav použitelnosti pro trhliny a průhyb nemusíme v nevyztužených zděných konstrukcích zvlášť kontrolovat, je-li mezní stav únosnosti vyhovující.

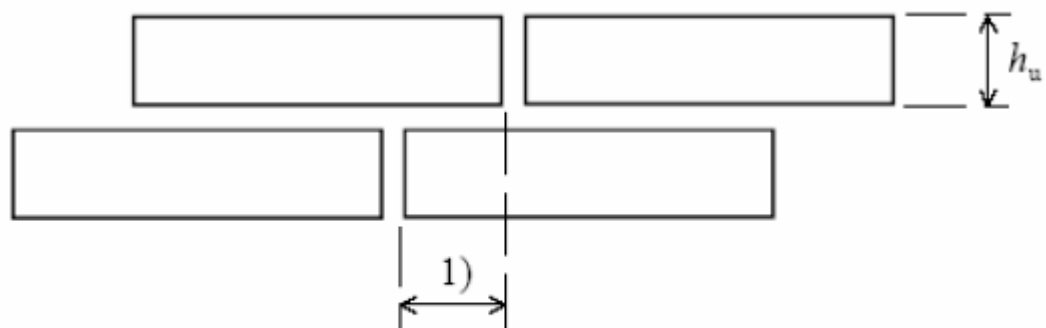
Zděné stěny se nesmějí nepříznivě prohnut vlivem příčného zatížení větrem nebo náhodným dotykem osob ani mimořádným nárazem.

Konstrukční zásady pro nevyztužené zdivo

Minimální plocha stěny

Nosná stěna musí mít plochu alespoň $0,04 \text{ m}^2$ (po odečtení drážek a výklenků)

Vazba zdiva



1) přesah když $h_u \leq 250 \text{ mm}$: přesah $\geq 0,4 h_u$ nebo 40 mm (rozhoduje větší)

když $h_u > 250 \text{ mm}$: přesah $\geq 0,2 h_u$ nebo 100 mm (rozhoduje větší)

Maltové spáry

Ložné a styčné spáry s obyčejnou nebo lehkou maltou musejí mít tloušťku alespoň 6 mm a ne více než 15 mm .

Ložné a styčné spáry s maltou pro tenké spáry musejí mít tloušťku alespoň $0,5 \text{ mm}$ a ne více než 3 mm .

Spáry tloušťky 3 až 6 mm mohou být použity, je-li malta specificky vyvinutá pro určité použití a je-li v návrhu počítáno s obyčejnou maltou.

Ložné spáry musejí být vodorovné, pokud projektant neurčí jinak.

Jestliže použijeme prvky s maltou v kapsách, styčné spáry se považují za vyplněné, je-li malta na celou výšku spáry a minimálně ve 40% šířky prvku.

Spojení stěn se stropními konstrukcemi

Přenesení příčných zatížení musí být provedeno:

- stropní nebo střešní konstrukcí z železobetonu nebo předpjatého betonu nebo z dřevěných příčných trámů s podbitím a záklopem, přičemž musí být zajištěno, že stropní nebo střešní konstrukce je schopna vytvořit membránový účinek nebo
- věncem schopným přenést výsledný účinek smykového a ohybového zatížení.

Vzájemné spojení stěn

Spojení se provede:

- cihelnou vazbou nebo
- spojkami nebo výztuží přesahující do každé stěny.

Křížící se nosné stěny je nutno stavět zároveň.

Drážky a výklenky ve stěnách

Drážky a výklenky nesmějí zmenšit stabilitu stěny.

Jsou –li použity zdící prvky s dutinami, hloubka drážky nebo výklenku nesmí být větší než polovina tloušťky přepážky mezi lícem stěny a dutinou.

Drážky nebo výklenky nesmějí probíhat skrz překlady nebo jiné konstrukční prvky zabudované ve stěně.

V dutinových stěnách musíme posuzovat každou vrstvu zvlášť.

Vodorovné konstrukce z kusových staviv

Vodorovné konstrukce namáhané tlakem (klenby)

Rozdělení tradičních zděných kleneb

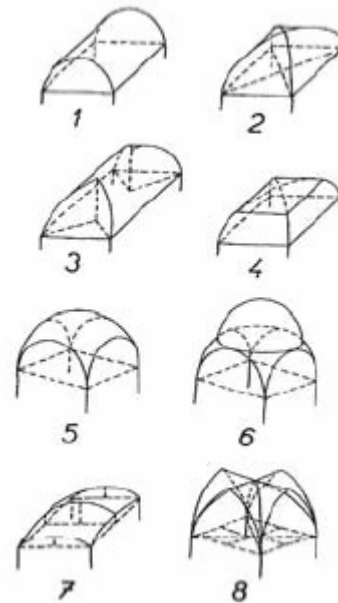
Klenby válcových ploch:

- valená klenba
- klášterní klenba
- neckovitá klenba
- zrcadlová klenba
- křížová klenba
- lunetová klenba

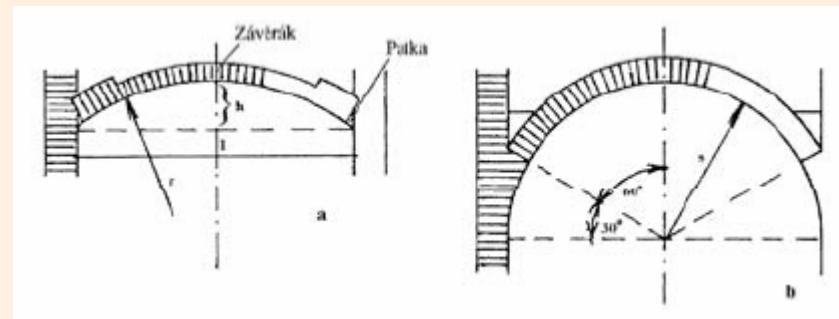
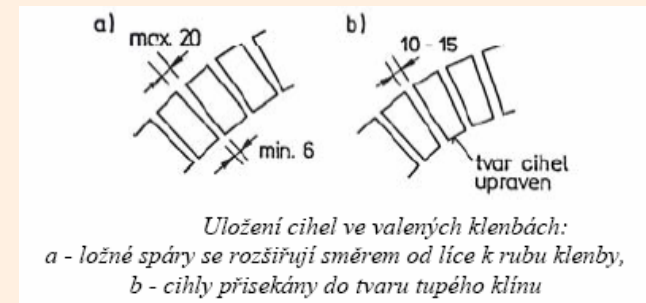
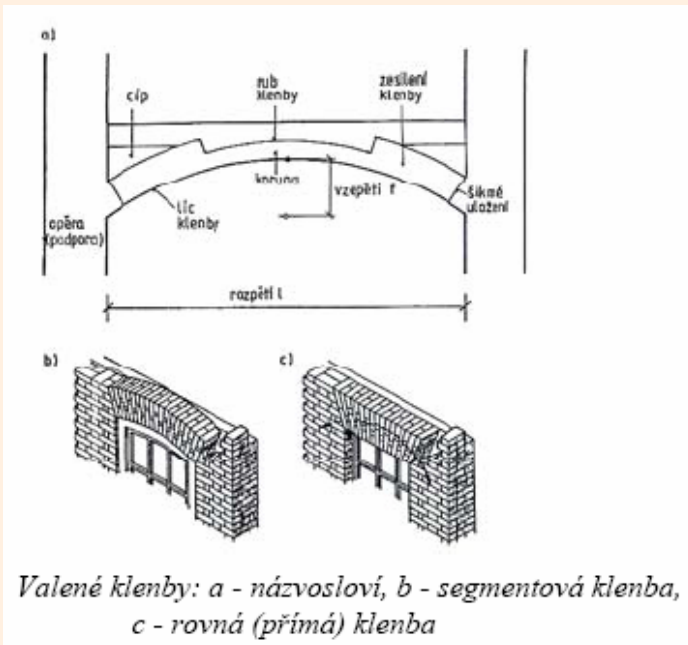
Sférické klenby:

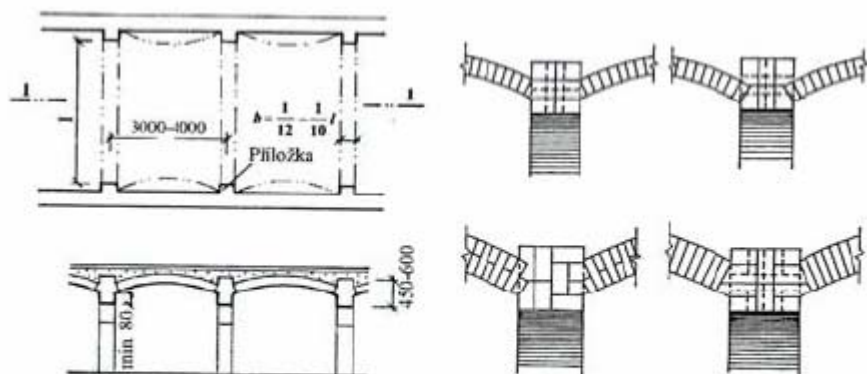
- kupole (báň)
- česká klenba
- česká placcka
- pruská klenba

Tvary kleneb: 1 - valená, 2 - klášterní, 3 - neckovitá, 4 - zrcadlová, 5 - česká, 6 - kupole na cípech, 7 - pruská, 8 - křížová

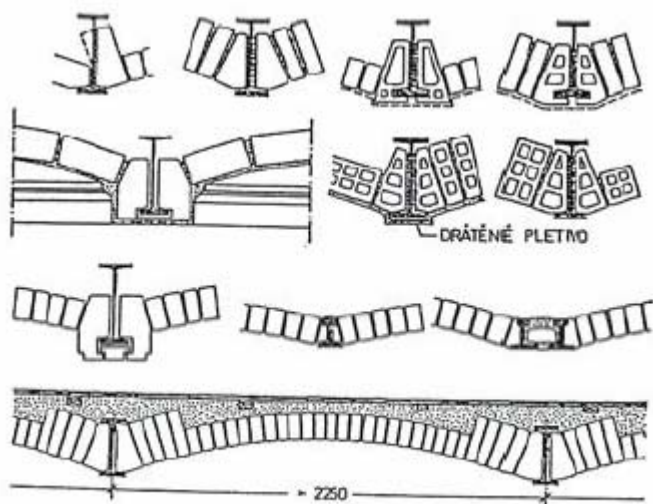


Konstrukční uspořádání zděných kleneb





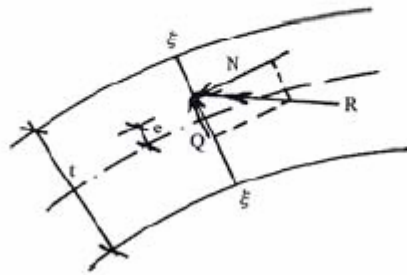
Valená klenba uložena do zděných klenbových pasů



Valená klenba uložena na ocelových nosnících

Statické působení a řešení kleneb

Klenba je oblouková konstrukce, složená z kusového staviva z cihel nebo kamene a malty. Vzhledem k její skladbě je třeba, aby vnější zatížení, vyvozující obloukovou sílu R , bylo přenášeno tlakovým normálovým napětím. Obloukovou sílu lze rozložit na normálovou složku N kolmou na ložnou spáru a složku Q rovnoběžnou s ložnou spárou

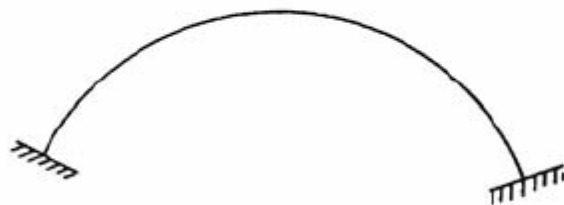


Síly působící v řezu $\xi - \xi$

Oblouková konstrukce složená z kusového staviva by měla mít výslednici sil v jádru průřezu (u obdélníkového průřezu ve vnitřní třetině), což znamená

$$e \leq \frac{t}{6}$$

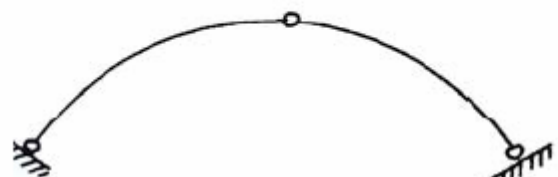
S ohledem na výslednicový tlak, působící ve vnitřní třetině obdélníkového průřezu, je tedy zděná klenbová konstrukce vetknutým obloukem v podporách



Vetknutý oblouk

V oblasti pozemních staveb se zavedl u nízkých oblouků s malým poměrným vzepětím, rovnoměrným zatížením pevných podpor a ustálených teplot zjednodušený model, a to tříkloubový oblouk

Statická nepřesnost při nahrazení vetknutého oblouku tříkloubovým je zanedbatelná.



Tříkloubový oblouk

U segmentových oblouků do středového úhlu 120° s plastickými klouby ve vrcholu (klenáku) a přibližně v patách klenby, lze řešit tříkloubovým modelem.

Praktické výpočty ukázaly, že model vetknutého oblouku je třeba dodržet u klenbových pasů, neboť tříkloubový oblouk je mnohdy nevyhovující.

Konstrukční vady zděných kleneb

Za nejvýznamnější vady zděných kleneb se považují:

- použití závadných materiálů (cihel, kamene, malty) při provádění kleneb a jejich opěr,
- nedodržení projektem určeného tvaru kleneb,
- nedodržení předepsané technologie výstavby kleneb, zejména nedostatečné vyplnění ložných spár maltou,
- realizace kleneb a souvisejících zděných nosných prvků (opěr apod.) podle nevhodné projektové dokumentace, mající za následek krátkodobé nebo dlouhodobé porušení kleneb.

Poruchy kleneb

Trhliny v ložných spárách valených kleneb, buď při jejich líci nebo rubu, pronikající dovnitř ke střednicové ploše. Tyto trhliny vznikají rozevíráním ložných spár v klenbě vlivem změn napjatosti a vyskytují se velmi často.

Šikmé trhliny v různých polohách po ploše klenby. Objevují se častěji v klenbách, jejichž zdivo není náležitě provázáno v rovinách kolmých na osu klenby nebo má diagonální ložné spáry. Příčinou vzniku těchto trhlín jsou nedostatečně tuhé přilehlé konstrukce.

Lokální poruchy zdiva kleneb

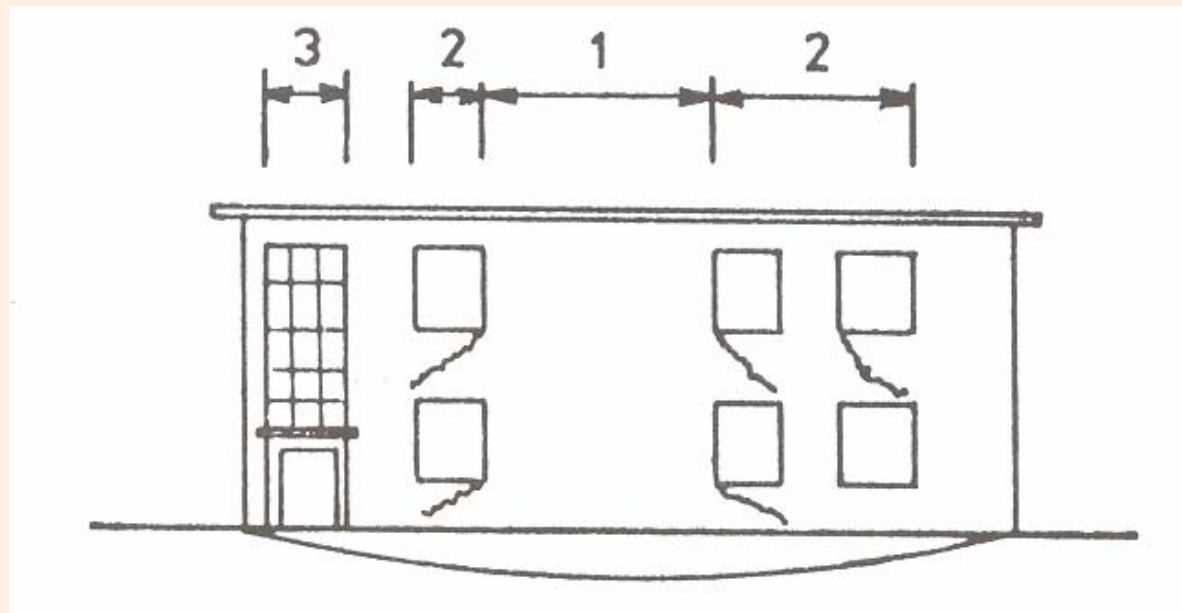
Poruchy lokálním tlakem cihel nebo kamenů přiléhajících k ložné spáře, na jejímž okraji (blízko líce nebo rubu klenby) vzniká vlivem rozevření spáry plastický kloub.

Poruchy zdiva kleneb usmyknutím ve spáře – buď jenom v ložné spáře, nebo jenom ve styčné spáře (rovnoběžné s tečnou ke střednici) nebo současně v ložných spárách a styčné spáře.

Poruchy zděných konstrukcí

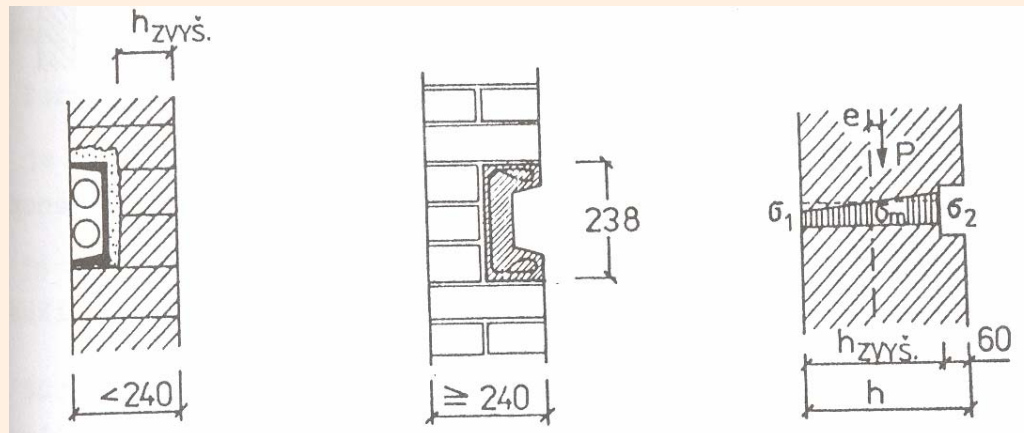
Nejčastější příčiny statického porušení:

- statické a dynamické přetížení
- změny tvaru
- sedání základů

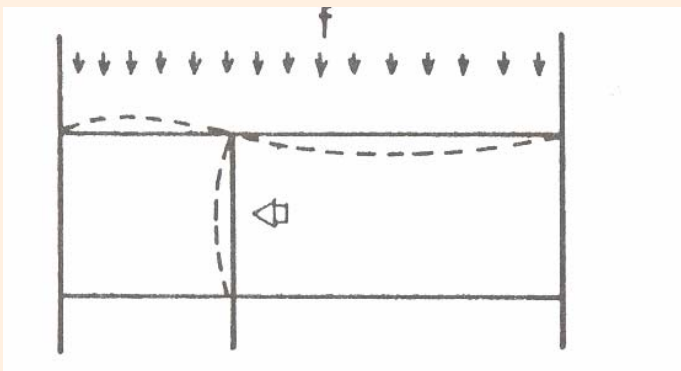


Horizontální drážka ve zdivu:

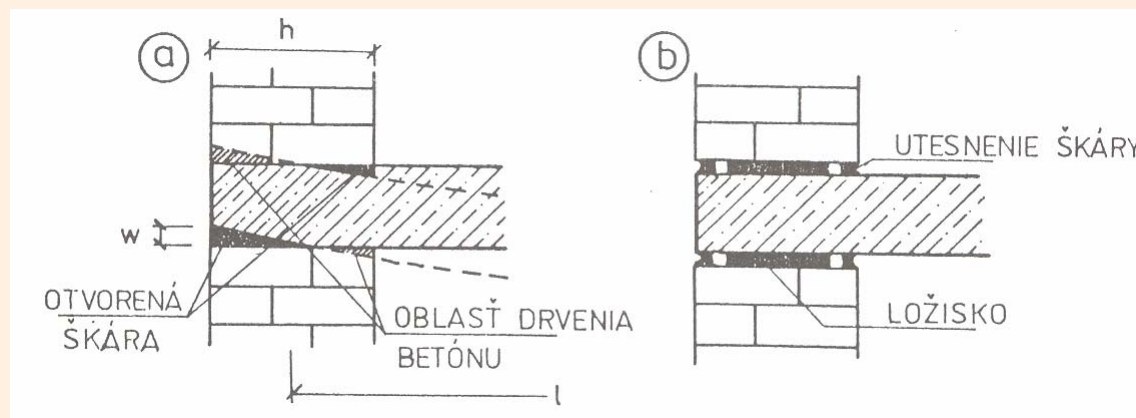
- nevhodné zesílení ocelovým profilem
- možné vhodné zesílení drážky betonovým korytem
- průběh napětí v oslabené stěně



Vznik ohybových momentů ve vnitřní stěně vlivem rozdílného rozpětí sousedních polí

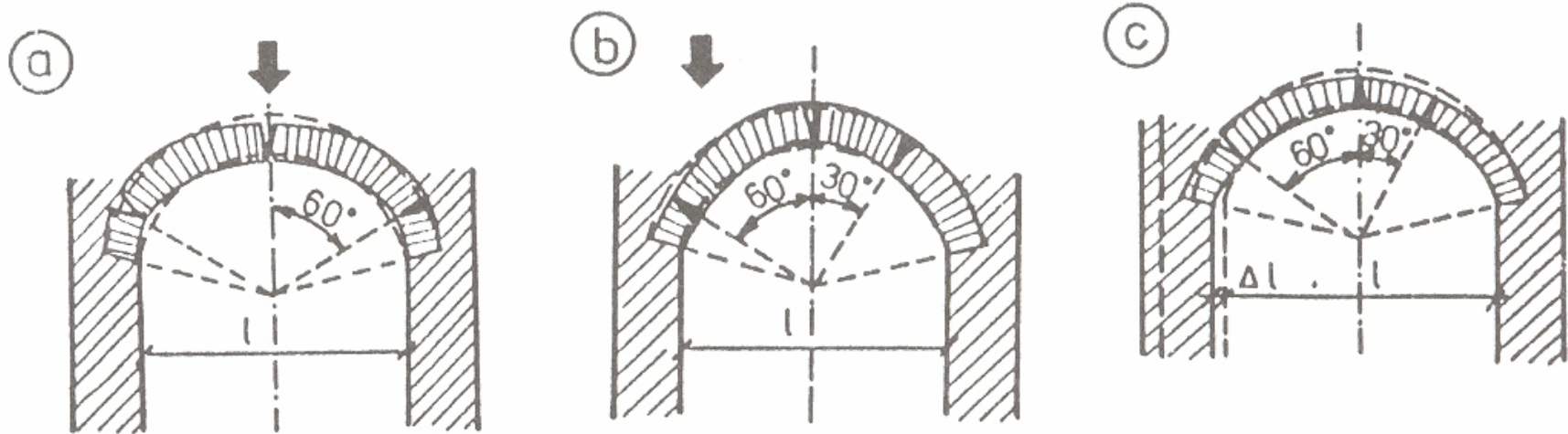


Průhyb velkorozponových desek



Charakteristické poruchy kleneb

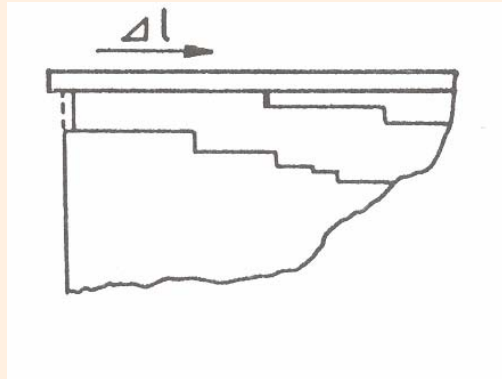
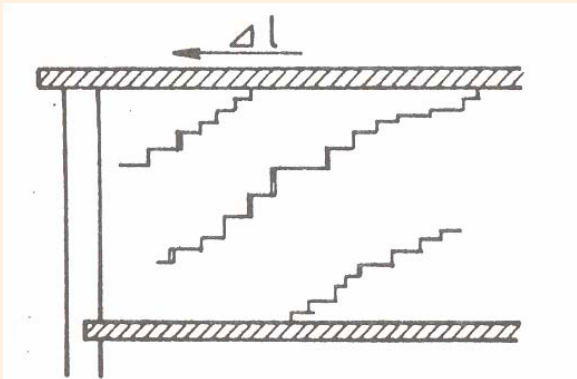
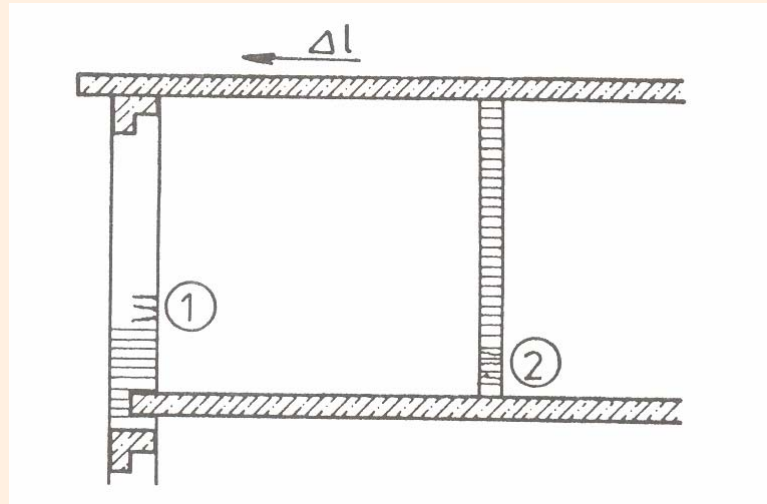
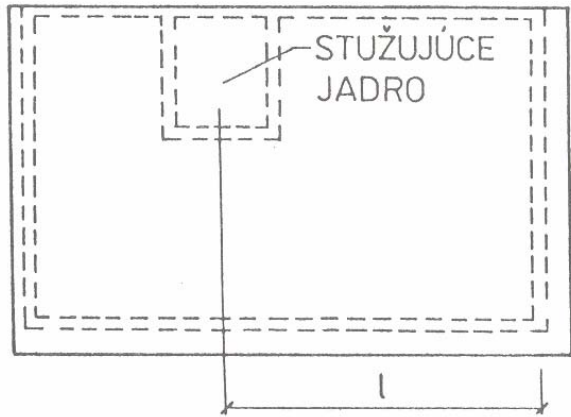
- přetížením ve vrcholu
- jednostranným přetížením
- posunutím podpory

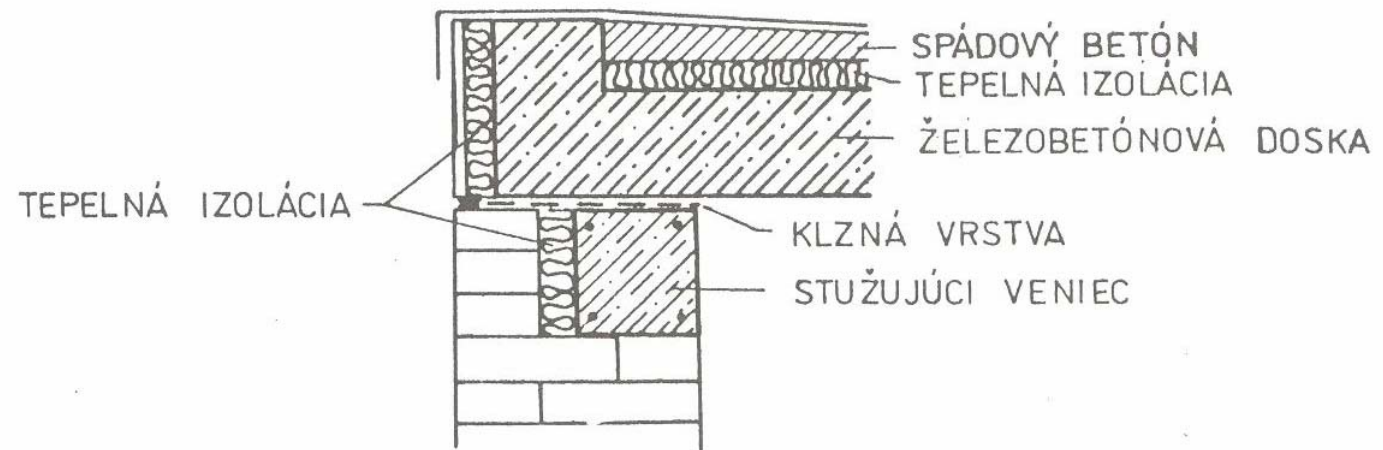


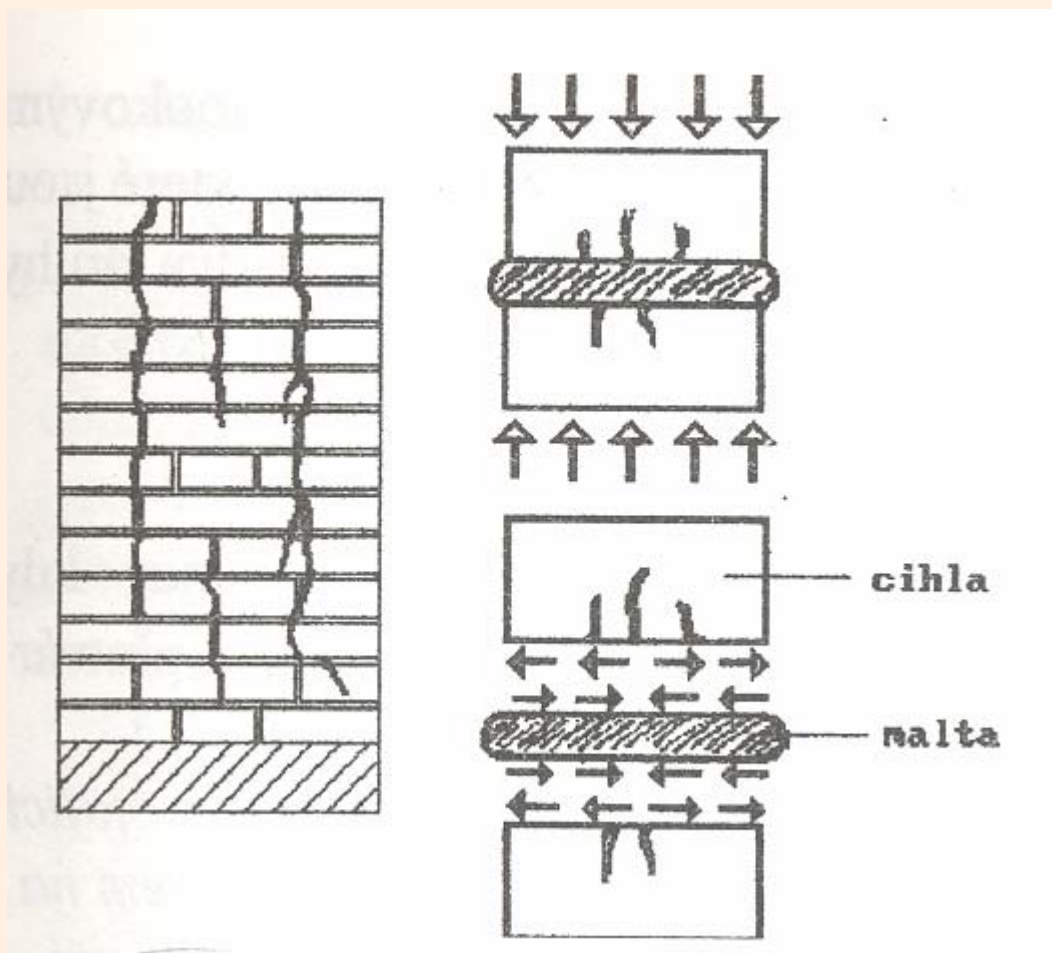
POHLAD NA VONKAJŠIU STENU



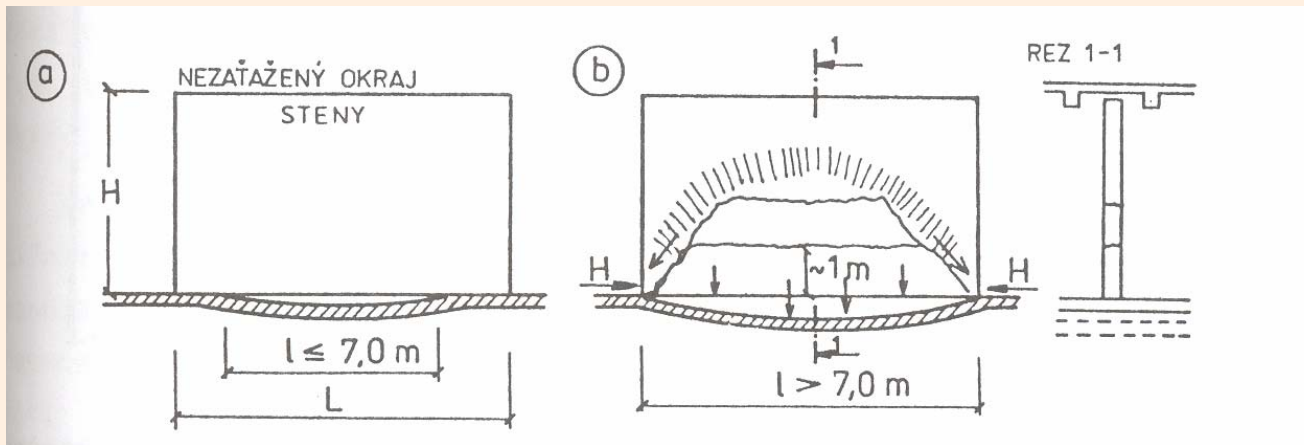
PÔDORYS





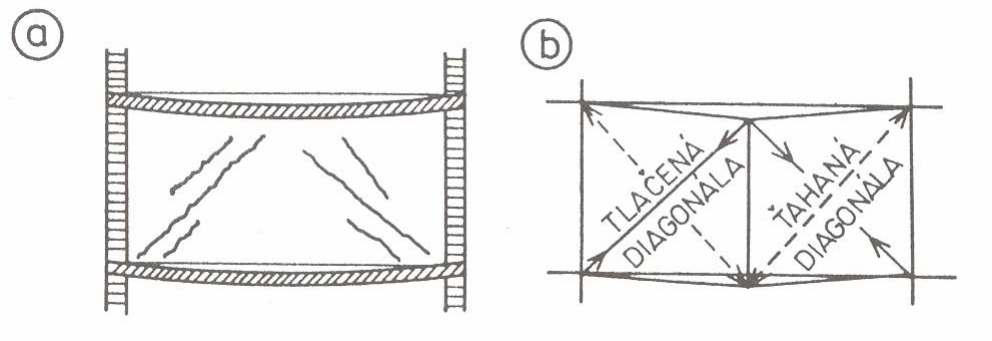


*Typické porušení vzorku zdiva,
namáhaného tlakem*

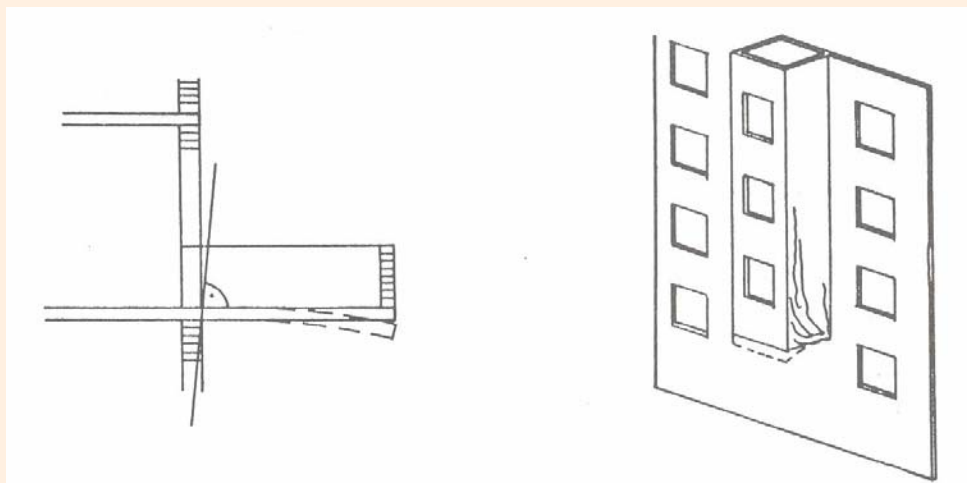


Priehyb dosky pod stenou s voľným horným okrajom

- žadna porucha do rozpätia cca $l = 7,0 \text{ m}$
- vytvorenie jednej alebo viacerých klenieb a odtrhnutie spodnej časti klenby

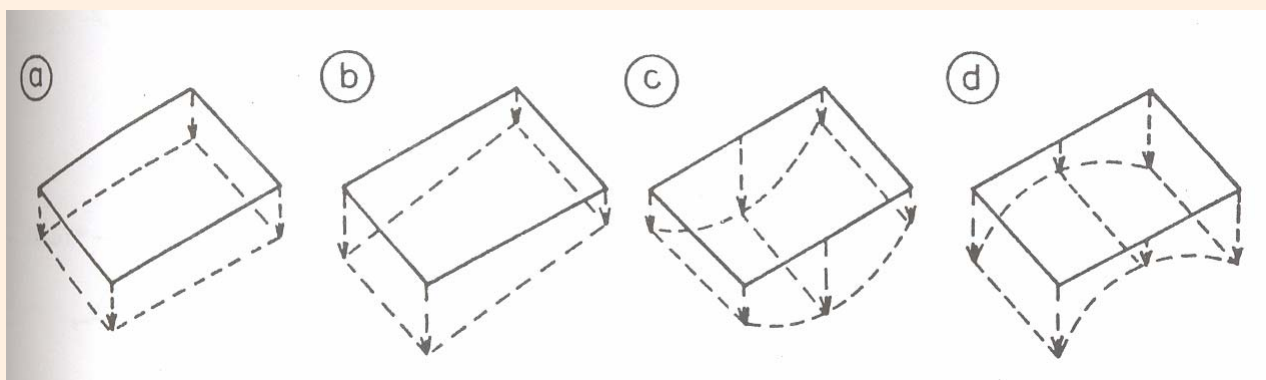


- Murovaná stena medzi dvomi podobne prehnutými doskami
- Model navzájom kolmých ťahaných a tlačných diagonál



Priehyb konzolovej dosky spôsobí:

- a) trhlinu na styku balkónového parapetu s vonkajšou stenou budovy,
- b) porušenie muriva arkieru

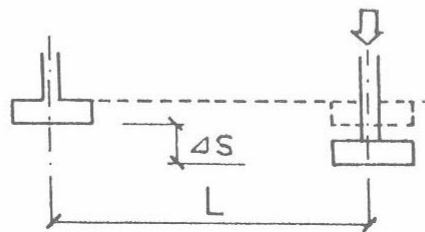


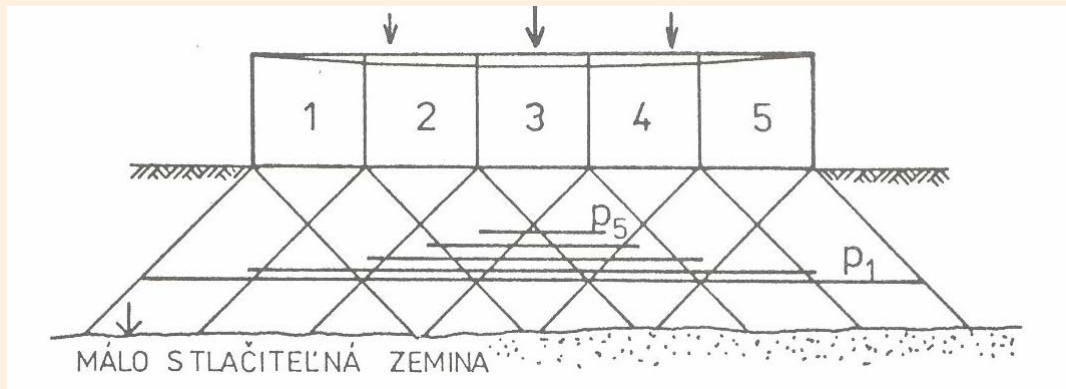
Charakter sadnutia v základovej škáre:

- a) rovnomerný, b) nerovnomerný bez zmeny tvaru,
- c) nerovnomerný údolnicového tvaru,
- d) nerovnomerný sedlového tvaru

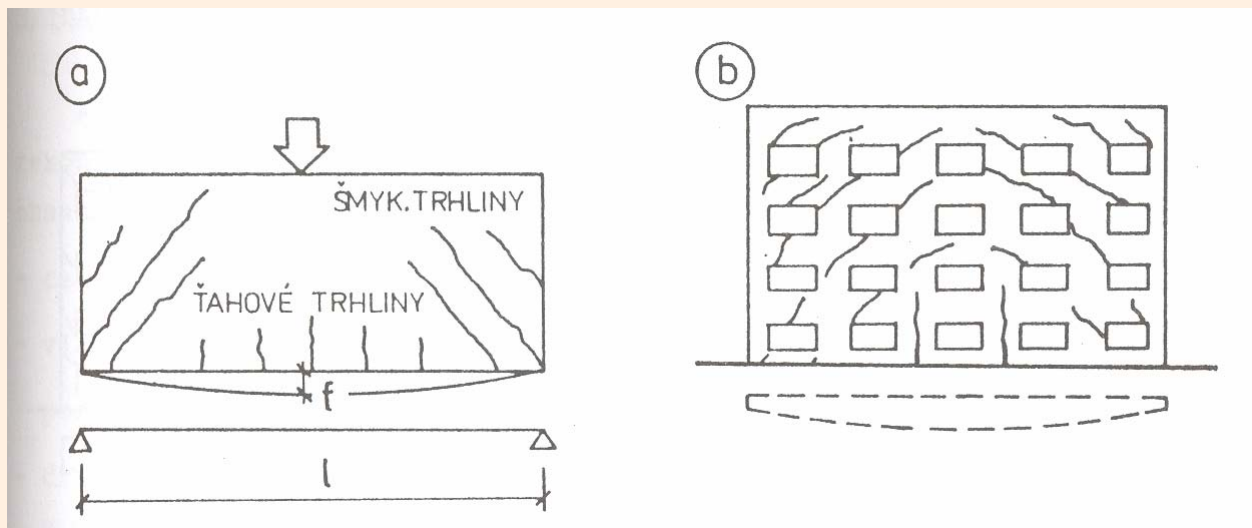
Charakter chýb a porúch pri nerovnomernom sadaní

NEROVNOMERNÉ SADNUTIE $\Delta s/L$	CHARAKTER CHÝB A PORÚCH
1/1000	žiadne poruchy
1/750	hranica pre citlivé stroje
1/500	hranica pre konštrukcie bez trhlin
1/300	trhliny v stene
1/250	viditeľná šikmosť vežovitých stavieb
1/150	významné trhliny v stenách, všeobecné konštrukčné poruchy

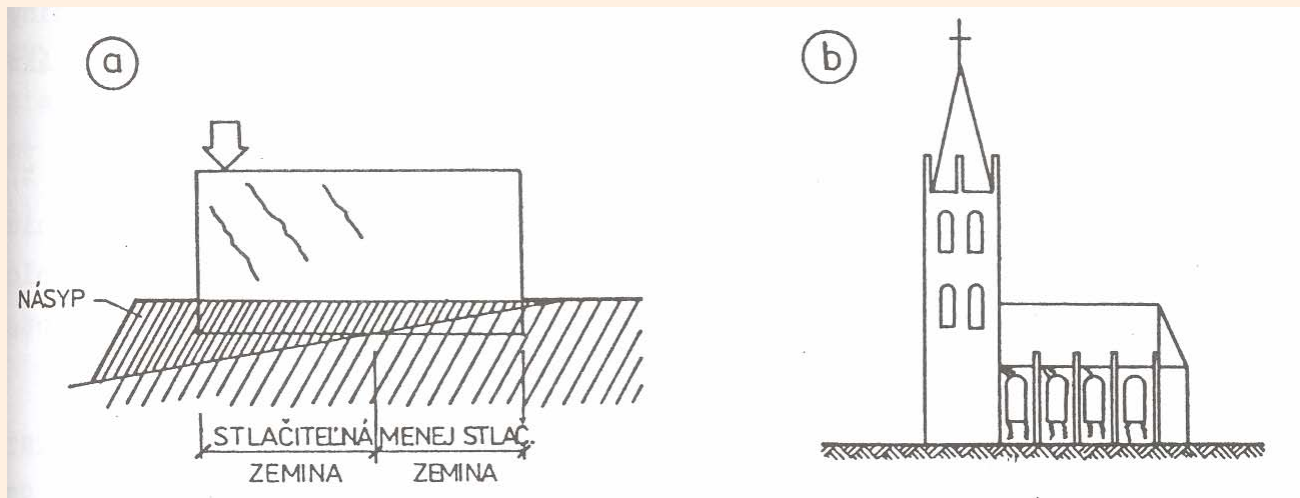




Prekrývanie tlakov v zemi pod strednou časťou objektu spôsobuje údolnicový charakter sadnutia

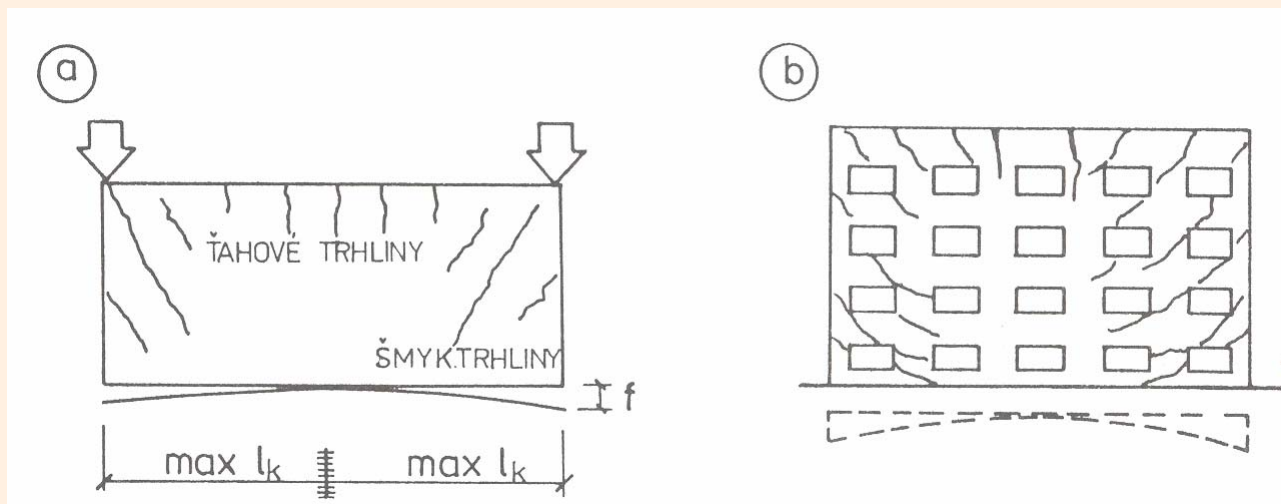


Vplyv údolnicového charakteru na porušenie steny
 a) Rozvoj trhlín v zmysle trajektórií napätí
 b) Trhliny v murovanej stene



Najčastejšie príčiny sedlového charakteru sadania:

- a) založenie na nerovnako stlačiteľnej zemi
- b) veža spôsobuje väčšie sadnutie ľavého okraja lode



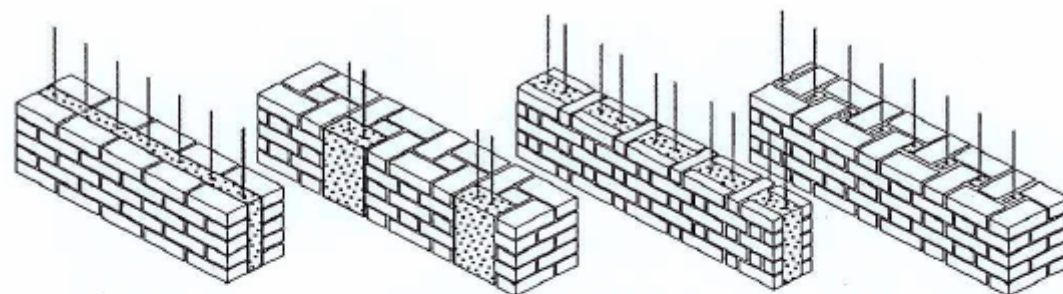
Vplyv sedlového charakteru sadnutia na porušenie steny

- a) rozvoj trhlín v zmysle trajektórii napätí
- b) trhliny v murovanej stene

Vyztužené a předpjaté zdivo

Podobně jako do betonu můžeme do zdiva vkládat ocelovou výztuž. Podle toho, jak ji využijeme, rozlišujeme:

- **vyztužené zdivo**, kde ocelové pruty vkládáme do zdiva proto, aby přenášely tahová napětí a
- **předpjaté zdivo**, kde pomocí sil vnesených pomocí výztuže do zdiva při výsledném namáhání vyloučíme nebo omezíme tahová napětí.

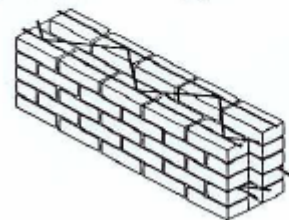


dutinová stěna s výplní

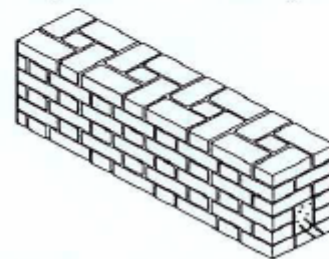
stěna s kapsami

vazba „rat-trap“

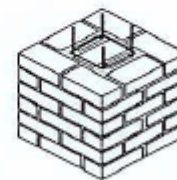
„quetta“ vazba



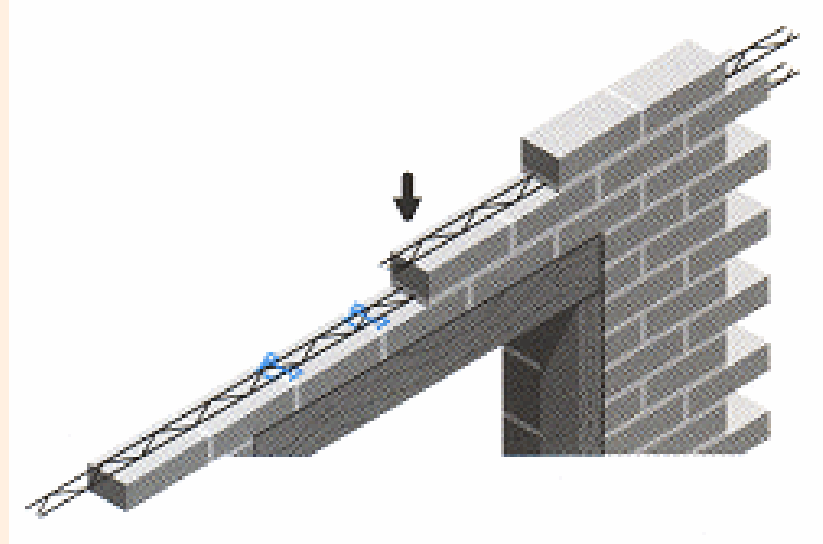
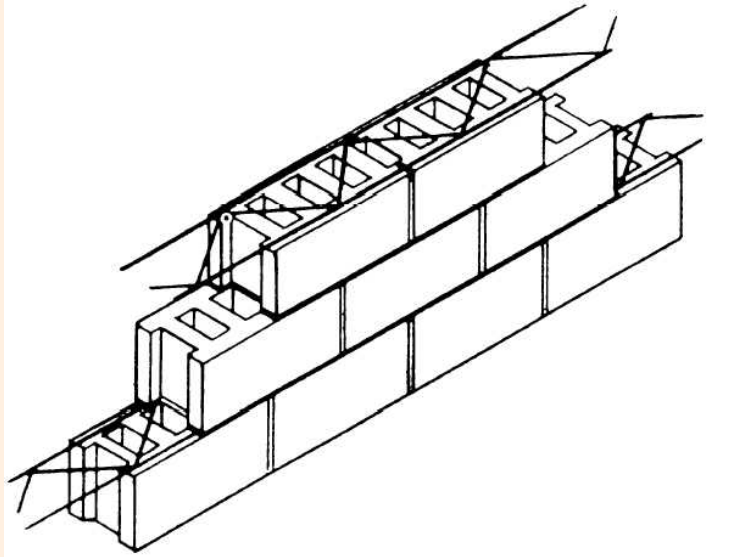
výztuž v ložných spárách



vyztužený zděný nosník



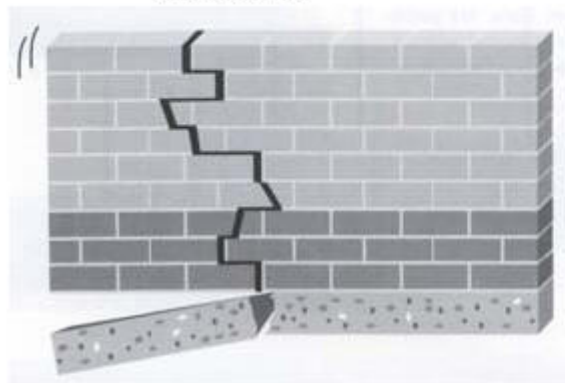
vyztužený zděný pilíř



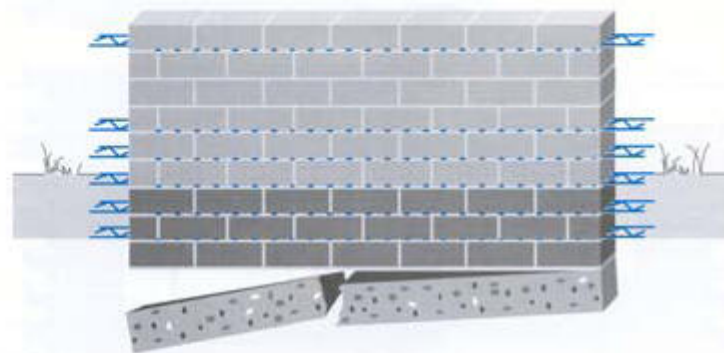
Masonry wall horizontal joint reinforcement



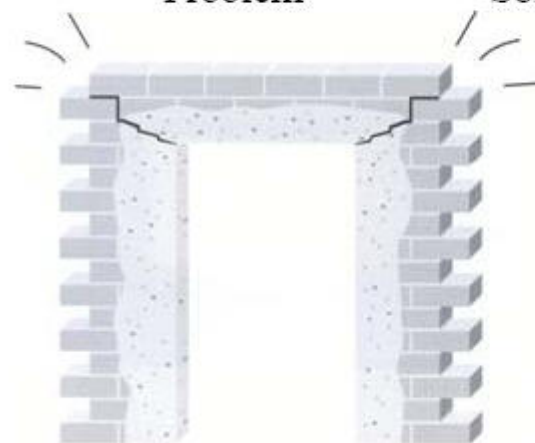
Problem



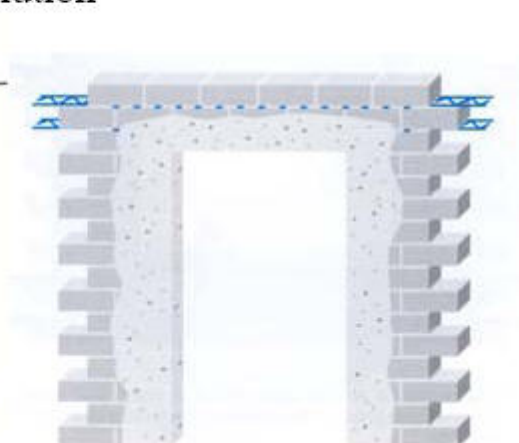
Solution



Problem



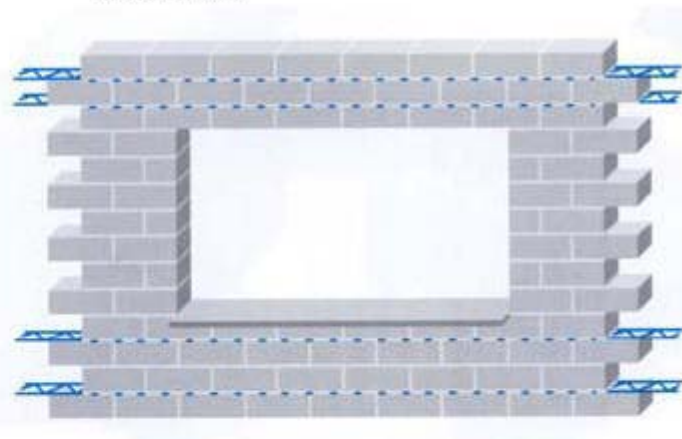
Solution



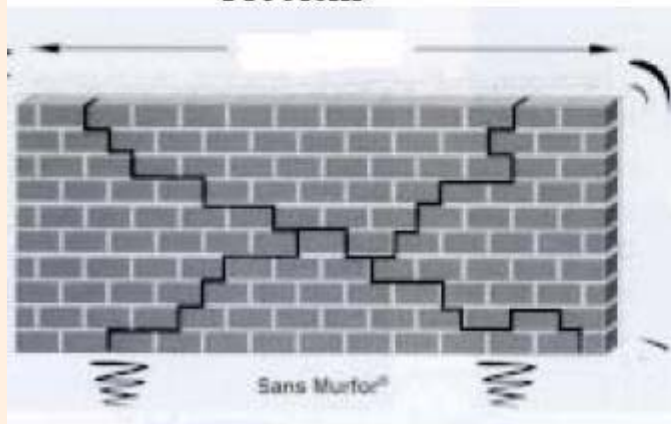
Problem



Solution



Problem



Solution

