

# Zdivo z nepálených hlíněných cihel – výsledky tlakových zkoušek

*Masonry from Unburnt Bricks – Experimental Results of Compression Tests*

**Jiří Kolísko, Dimitrij Pume**

Čas od času se lze při rekonstrukcích různých objektů přesvědčit o tom, že zdivo z nepálených hlíněných cihel nebylo pro naše předky, a to i v nedávné minulosti, neznámé. Z druhé strany určité snahy o ekologizaci dnešní stavební výroby opět vyvolávají pokusy o využití této technologie. Tímto příspěvkem bychom Vás proto rádi informovali o některých výsledcích experimentálního vyšetřování mechanických vlastností zdiva z hlíněných cihel ve zkušební Kloknerova ústavu ČVUT a poskytlí tak informace o jeho mechanických vlastnostech.

*Walls made of unburnt bricks can sometimes be found in existing old buildings. The idea of ecologization of building industry has brought new development of unburnt brick technology as well. Some experimental data on load tests of masonry from unburnt bricks are presented in this paper.*



Obr. 1 – Nížká stěna 300 × 600 × 900 mm / Small wall 300 × 600 × 900 mm



Obr. 2 – Nížká stěna 450 × 600 × 1200 mm / Small wall 450 × 600 × 1200 mm

## Průběh experimentů

Na základě objednávky společnosti SOLITERRA, s. r. o. provedl Kloknerův ústav ČVUT zatěžovací zkoušky zdiva z cihel z cementem stabilizované nepálené hlíny. Účelem zkoušek bylo vyšetřit pevnost tohoto zdiva v tlaku a stanovit výpočtové charakteristiky zdiva pro jeho navrhování podle ČSN 73 1101-80 Navrhování zděných konstrukcí.

Objednatel zkoušek dodal do KÚ ČVUT cihly ze stabilizované nepálené hlíny. Tvarově byly hlíněné cihly srovnatelné s klasickými plnými pálenými cihlami. Rozměry cihel byly 295 × 140 × 75 mm a na jedné ložné ploše bylo v cihle vybrání ve tvaru komolého jehlanu. Z těchto cihel bylo vyzděno šest nízkých zkušebních stěn na vápenocementovou maltu, připravenou ze suché prefabrikované směsi smícháním s vodou. Stěny byly dvojího druhu. Tři stěny měly půdorysné rozměry 450 × 600 mm a výšku přibližně 1200 mm, další tři stěny rozměry 300 × 600 mm a výšku přibližně 900 mm.

Stěny byly vyzděny na křížovou vazbu užívanou pro cihelné zdivo tloušťky 300 a 450 mm. Vazba zdiva je patrná z fotografií. V průběhu zdění byly odebrány vzorky malty, z nichž byly zhotoveny zkušební trámečky 40 × 40 × 160 mm pro zkoušku pevnosti malty. Trámečky byly až do zkoušky ponechány v prostřední uložení stěn.

Po vyzdění byly stěny ponechány nejprve asi dva měsíce ve venkovním prostředí. Horní povrch stěn byl chráněn proti působení deště. Potom byly stěny asi 1 měsíc uloženy v laboratorním prostředí zkušební KÚ ČVUT.

Každá zkouška stěny probíhala následujícím způsobem. Stěna byla nejprve vložena do zkušebního stroje WPM 600 kN. Na stěnu byly osazeny indukční snímače posunu PEEKEL pro snímání svislých a vodorovných přetvoření. Snímače byly napojeny na statickou ústřednu společnosti PEEKEL AUTOLOG 2005. Změny přetvoření zdiva stěn bylo možno sledovat kontinuálně. Každá stěna byla zatížena na výchozí zatěžovací stupeň, který vyvolal ve stěně normálové svislé napětí 0,1 MPa a byl při vyhodnocování uvažován jako výchozí srovnávací hladina. Zatěžování probíhalo plynule, s přestávkami na stupních, které byly celým násobkem výchozího zatěžovacího stupně (2, 3, 4, ... atd.). Po zatížení každým stupněm byla zaznamenána přetvoření. Potom bylo zatížení sníženo na výchozí úroveň a opět zaznamenána přetvoření. Tímto způsobem se postupovalo až do konečného porušení stěny.

Naměřené absolutní hodnoty přetvoření byly přečteny na poměrná přetvoření a dále zpracovávány. Přetvoření ve vodorovném směru byla měřena a využita pro výpočet součinitele příčného přetvoření  $\nu$ .

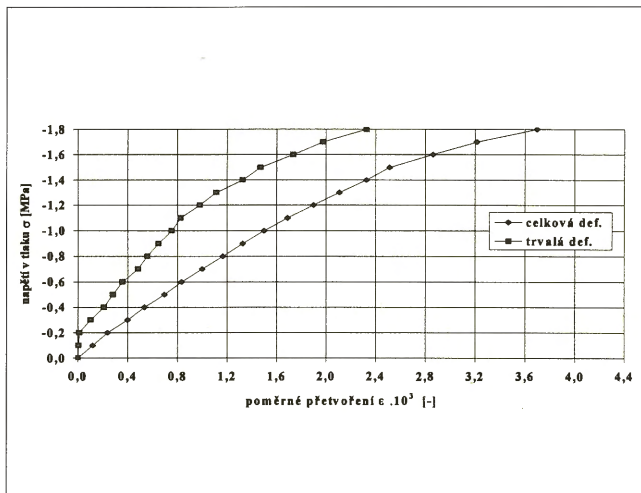
Grafy na obr. 3 a 4 zachycují charakteristický výsledek zkoušky jedné stěny, tj. pracovní diagramy svislých a příčných poměrných přetvoření.

Pevnosti malty v tahu za ohybu a v tlaku byly zkoušeny podle ČSN 72 2450 na trámečcích 40 × 40 × 160 mm. Průměrná hodnota pevnosti v tahu za ohybu byla 0,56 MPa, v tlaku 1,38 MPa. Pevnosti odpovídaly maltě MVC 1.

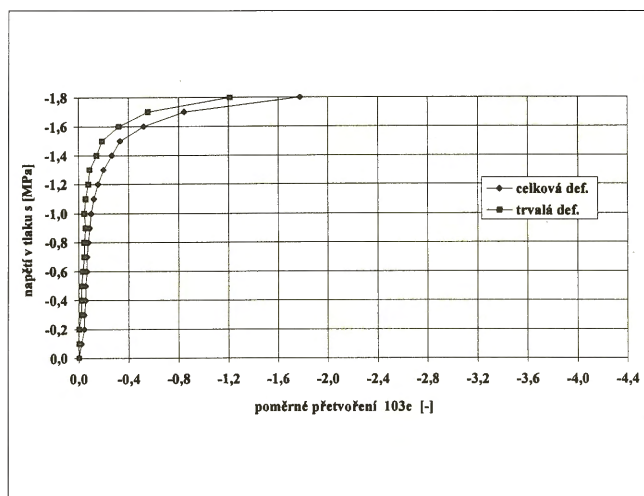
Cihly byly zkoušeny podle ČSN 72 2605. Zkouškou byla stanovena pevnost v tahu za ohybu tříbodovým ohybem při rozpětí 240 mm. Půlky cihel byly zkoušeny v tlaku. Při výpočtu jak pevnosti v tahu za ohybu, tak pevnosti v tlaku byla odečtena velikost vybrání v tělese cihly. Průměrná hodnota pevnosti v tahu za ohybu byla 0,88 MPa, pevnosti v tlaku 7,5 MPa. Hodnoty odpovídají pevnostní třídě cihel P7.

Výpočtová pevnost zdiva v tlaku  $R_d$ , vztažená na celkovou plochu vodorovného průřezu stěny, byla dále stanovena podle ustanovení českých a evropských norem:

- ♦ ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí,
- ♦ ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách,



Obr. 3 – Charakteristické závislosti napětí v tlaku  $\sigma$  na poměrném přetvoření ve svislém směru  $\epsilon_v$  nízké zděné stěny s rozměry  $450 \times 600 \times 1200$  mm / Stress-vertical strain relationship of masonry of the walls  $450 \times 600 \times 1200$  mm under compression.



Obr. 4 – Charakteristické závislosti napětí v tlaku  $\sigma$  na poměrném přetvoření ve vodorovném směru  $\epsilon_h$  nízké zděné stěny s rozměry  $450 \times 600 \times 1200$  mm / Stress-horizontal strain relationship of masonry of the walls  $450 \times 600 \times 1200$  mm under compression.

- ♦ ČSN P ENV 1991 Základy navrhování a zatížení konstrukcí. Část 1: Základy navrhování,
- ♦ ČSN P ENV 1996-1-1 Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce.

Průměrná pevnost v tlaku stanovená zatěžovacími zkouškami šesti nízkých stěn byla:

$$R_{ms, tst} = 1,55 \text{ MPa.}$$

Pro stanovení výpočtové pevnosti  $R_d$  byl odvozen vztah:

$$R_d = \frac{R_n}{\gamma_m} = \frac{R_n}{2,5} = \frac{0,754}{2,5} \cdot R_{ms, tst} = \frac{R_{ms, tst}}{3,315}$$

$$R_n = R_{ms, tst} \cdot (1 - k_p \cdot v_R) = 0,754 \cdot R_{ms, tst},$$

kde:  $R_n$  ..... normová pevnost zdiva v tlaku,  
 $\gamma_m$  ..... dílčí součinitel spolehlivosti  
 (uvažován  $\gamma_m = 2,5$ ),  
 $k_p$  ..... součinitel odhadu 5% kvantilu  
 (uvažován  $k_p = 1,64$ ),  
 $v_R$  ..... variační koeficient (uvažován  $v_R = 0,15$ ).

Pro výpočet modulu přetvárnosti všech druhů zdiva platí ustanovení článků 37, 38, 39 a 40 normy ČSN 73 1101. V příslušných vztazích (2) až (56) je zahrnut fyzikální parametr – součinitel přetvárnosti  $\alpha$ , který je rozhodujícím parametrem ve vztazích (6) a (7) článku 40 uvedené normy. Vztahy (6) a (7) popisují průběh pracovního diagramu zdiva (tj. závislost napětí  $\sigma$  na poměrném přetvoření  $\epsilon_{vert}$ ) při krátkodobém zatížení.

Hodnota součinitele přetvárnosti  $\alpha$  se stanovila vyrovnáním experimentálně stanovené závislosti  $\sigma = \sigma(\epsilon_{vert})$ , získané jako průměrná lomená čára měření deformací 6 nízkých stěn pomocí regresní analýzy.

## Závěr

Poznatky a výsledky provedených zkoušek lze shrnout takto:

- ♦ Průměrná pevnost cihel v tlaku byla  $R_c = 7,5$  MPa při variačním rozpětí  $\langle 4,6; 9,6 \rangle$  MPa. Cihly odpovídají pevnostní třídě P7.
- ♦ Průměrná pevnost malty v tlaku byla  $R_m = 1,38$  MPa při variačním rozpětí  $\langle 1,22; 1,47 \rangle$  MPa. To odpovídá maltě MVC 1.
- ♦ Průměrná hodnota pevnosti zdiva v tlaku (při porušení), stanovená ze šesti zkušebních stěn, byla  $R_{ms, tst} = 1,55$  MPa.
- ♦ Pro výše uvedený typ cihel a malty byla odvozena výpočtová pevnost  $R_d$  pro navrhování zdiva podle ČSN 73 1101 hodnotou  $R_d = 0,47$  MPa.
- ♦ Součinitel přetvárnosti zdiva  $\alpha$  byl odvozen  $\alpha = 500$ .
- ♦ Součinitel příčného přetvoření  $\nu$  byl odvozen  $\nu = 0,1$ .

I když získané charakteristiky se vztahují na konkrétní použité cihly z cementem stabilizované hlíny společnosti SOLITERA, domníváme se, že získané parametry charakterizují chování tohoto zdiva i v obecnější rovině. Pro posuzování zdiva z tohoto materiálu je však vždy třeba pečlivě zvažovat případné účinky vlhkosti, které mohou únosnost značně negativně ovlivnit.

## Literatura:

- [1] ČSN 72 2450 Zkouška pevnosti malty v tahu za ohybu.
- [2] ČSN 72 2605 Zkušenie tehliarskych výrobkov. Stanovenie mechanických vlastností.
- [3] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách.
- [4] ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí.
- [5] ČSN 73 2061 – 1,2 Zatěžovací zkoušky zdiva.
- [6] ČSN 73 2310 Provádění zděných konstrukcí.
- [7] ČSN P ENV 1991 Základy navrhování a zatížení konstrukcí. Část 1: Základy navrhování.
- [8] ČSN P ENV 1996-1-1 Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce.

Ing. Jiří Kolísko, Ing. Dimitrij Pume, DrSc., ČVUT Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha 6