

Marie STARÁ¹, Radim ČAJKA², Pavlína MATEČKOVÁ³, Martina JANULÍKOVÁ⁴

LABORATORNÍ MĚŘENÍ PŘEDPJATÉHO ZDIVA

LABORATORY MEASUREMENT OF PRESTRESSED MASONRY

Abstrakt

Předpínání zdiva je jednou z nejpoužívanějších a současně nejúčinnějších metod sanace u staticky porušených objektů. Na stavební fakultě bylo vyrobeno laboratorní zařízení právě pro bližší zkoumání chování předpínaného zdiva. A to konkrétně pro měření deformací zděného rohu především v okolí kotevních desek, které slouží pro přenos předpínacích sil do zdiva. Měření bylo provedeno pro dvě hodnoty předpínacích sil. Předpětí bylo instalováno v obou směrech. Dále je zde okrajově pojednáno, jak se budou vytvářet numerické modely pro srovnání s provedenými měřeními.

Klíčová slova

Zdivo, předpětí, deformace, síla, měření.

Abstract

Prestressing masonry is one of the most common and concurrently the most effective method of redeveloping masonry. At Faculty of Civil Engineering was constructed laboratory equipment for closer examination of the behavior of tensioned masonry. Specifically for measuring the deformation of brick corner mainly around the anchor plates that used for transmission of tensile forces into masonry. Measurements were performed for two values of prestressing forces. Preload was installed in both directions. There is also marginally discussed how they will develop numerical models for comparison with measurements made.

Keywords

Masonry, prestressing, deformation, force, measurement.

1 ÚVOD

Zděné konstrukce se v dnešní době běžně vyztužují vkládanou výztuží do spár, popřípadě sepnutím objektu pomocí předpjatých lan nebo tyčí při stavbě nových konstrukcí, pro zvýšení únosnosti zdiva, zabránění vzniku trhlin a současně snížení spotřeby materiálu.

Sanování objektů pomocí předpínání, zajišťuje nejen dostatečnou stabilitu, ale rovněž prodlužuje délku životnosti takto sanovaného objektu. Základním principem je vnesení tlakových sil do konstrukcí tak, aby bylo zamezeno vzniku nových trhlin, [1].

¹ Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 375, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

² Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

³ Ing. Pavlína Matečková, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: pavlina.mateckova@vsb.cz.

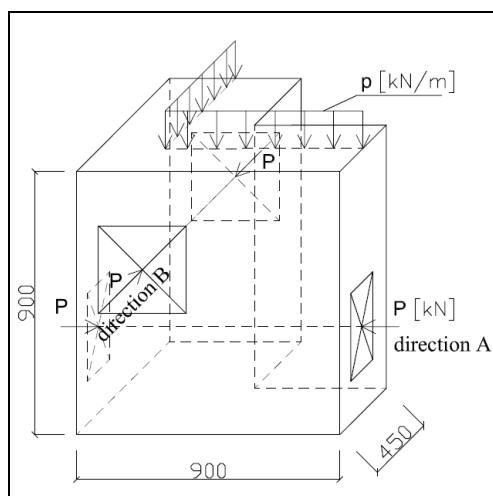
⁴ Ing. Martina Janulíková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: martina.janulikova@vsb.cz.

Způsob sanace pomocí dodatečného předeprnutí je podrobně prozkoumán u železobetonových konstrukcí, zatímco u zdiva tomu tak není. Chybí zde vazba pevnosti na aktuální stav zdiva, na charakter a míru poškození zdiva. Poněkud náročnější je především stanovení hodnot předpínacích sil. Dle provedených zkoušek in situ, se jako bezpečná hodnota uvažuje 1/10 pevnosti zdiva v tlaku kolmo k ložným spárám. Ve skutečnosti jsou tyto hodnoty závislé na dostatečných informacích o zdivu a také na tom, jak kvalitně jsou vyplněny svislé spáry maltou, [2].

2 POSTUP MĚŘENÍ

2.1 Popis zařízení

Laboratorní měření bylo prováděno na vyrobeném zařízení, určené pro měření trojosé napjatosti zděného rohu. Zdivo má půdorysný rozměr 900×900 mm o výšce 870 mm. Jako zdící prvek byla použita cihla CP $290 \times 140 \times 65$ s pevností $f_b = 20,88$ MPa, spojována maltou M10 o pevnosti $f_m = 9,8$ MPa. Pevnosti obou materiálů byly stanoveny dle normy [3] a [4], z nichž pak byla stanovena hodnota charakteristické pevnosti zdiva kolmo na ložné spáry $f_k = 7,6$ MPa, [5]. V průběhu zdění byly do ložných spár vloženy dvě předpínací tyče, které byly na sebe vzájemně kolmé. Výška předpínací tyče ve směru A je 370 mm a ve směru B je ve výšce 520 mm. Celý model pro laboratorní zkoušky je proveden v poměru 1:1, (skutečný model: experimentální model).

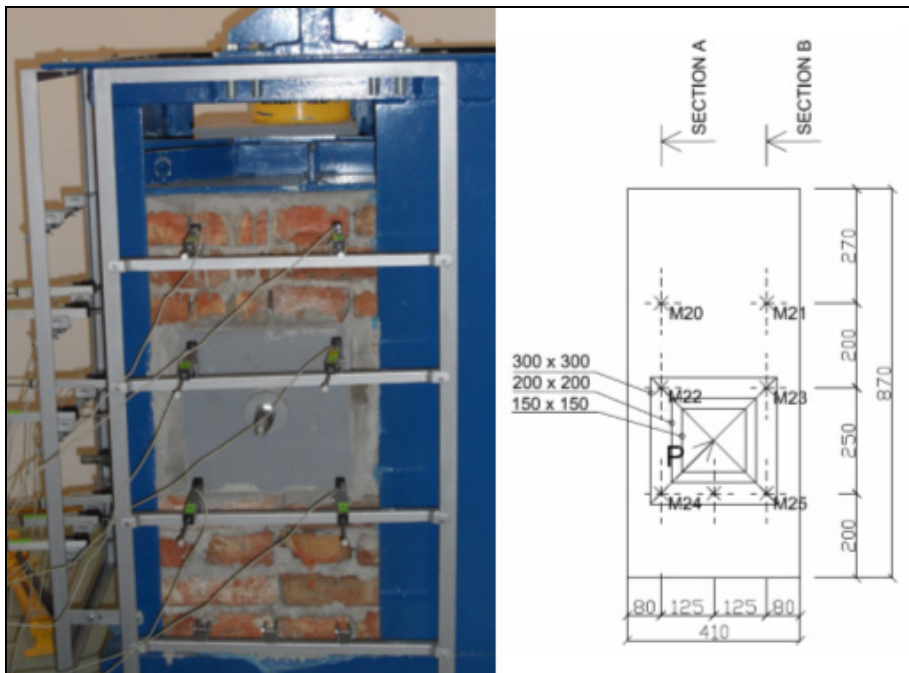


Obr. 1: Schématický model zdiva a umístění předpínacích tyčí ve směru A a B

2.2 Zatížení

Celý zděný roh je zatížen svislým rovnoměrným zatížením, jehož hodnota byla 0,12 MPa. Svislé zatížení je instalováno pomocí hydraulického válce, který je umístěn mezi navařeným I profilem a roznášecí deskou. Roznášecí deska je ocelová, tloušťky 12 mm, s navařenými ocelovými výtuhami pro zajištění rovnoměrného zatížení zdiva. Vodorovná síla, která byla instalována do předpínacích tyčí pomocí hydraulických válců přes kotvení desky, nabývala hodnot 50 a 100 kN. Pro jednotlivá měření byly použity tři kotvení desky o velikostech 300×300 , 200×200 a 150×150 mm. Tloušťka všech kotveních desek činí 10 mm. K zajištění rovnoměrného přenosu předpínacích sil bylo zdivo, v místě kotvení desky, vyrovnáno maltou. Předpínání zdiva bylo prováděno v obou směrech současně.

Výsledné deformace byly zaznamenány pomocí potenciometrických čidel, která byla upevněna na laboratorním zařízení, ve směru A i B. Čidla byla označena M20 až M25 a jejich umístění bylo dle obr. 2.



Obr. 2: Síť měřených bodů deformace ve směru A

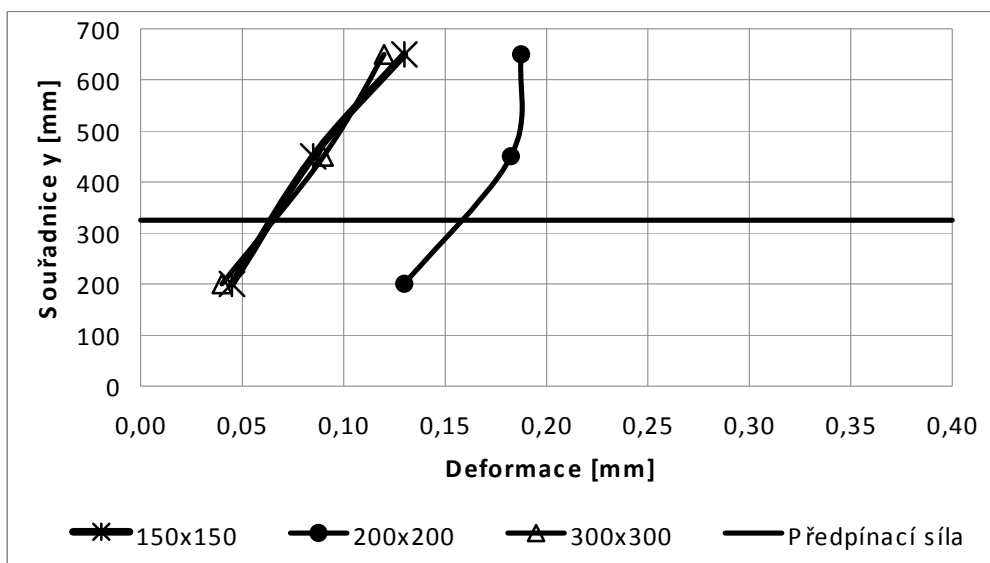
V Tab. 1 jsou uvedeny hodnoty pro měření. V prvních dvou sloupcích jsou uvedeny rozměry použitých kotevních desek včetně velikosti ploch. Třetí sloupec je věnován hodnotám napětí, která vznikají přímo pod kotevní deskou po instalování předpínací síly o hodnotě 50 a 100 kN.

Tab. 1: Vstupní hodnoty pro měření, předpínací síly 50 a 100 kN

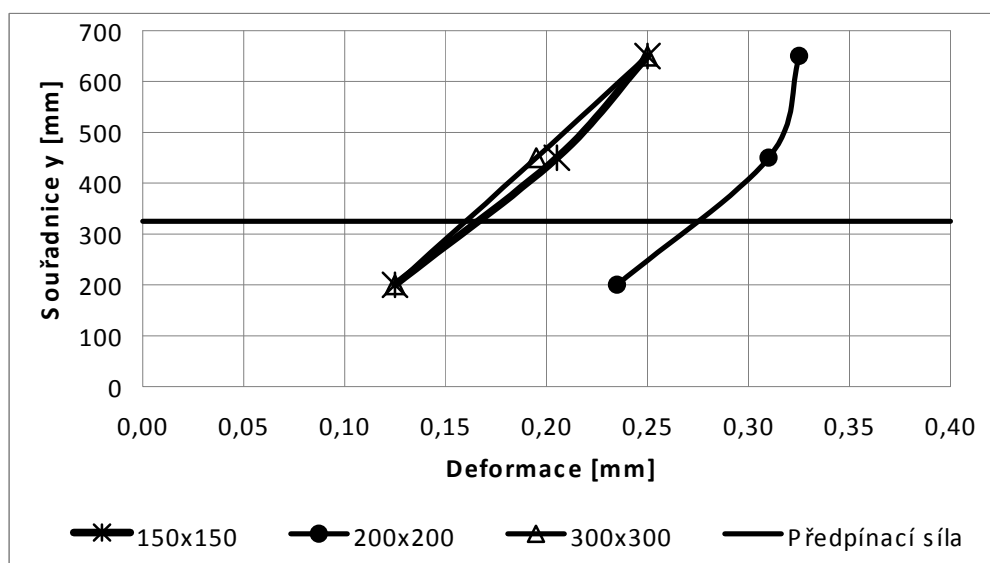
Kotevní deska	Plocha [m ²]	Napětí [MPa]	
		50 kN	100 kN
300 × 300	0,09	0,555	1,111
200 × 200	0,04	1,250	2,500
150 × 150	0,0225	2,222	4,444

2.3 Výsledky

Síť měřených bodů deformací pro směr A je na Obr. 2, pro směr B bylo umístění čidel obdobné. Na grafech, obr. 3 a obr. 4 jsou vykresleny deformace ve směru A, dle obr. 2. Svislé zatížení bylo uvažováno 0,12 MPa a předpínací síla o hodnotě 50 a 100 kN. Na obou grafech jsou zjištěny velikosti deformací pro kotevní desky o rozměrech 150 × 150, 200 × 200, 300 × 300, a propojeny křivkou. Čára vodorovná označuje umístění předpínací síly. Výsledné deformace na obr. 3 a obr. 4 byly provedeny zprůměrováním hodnot mezi body M20 a M21, M22 a M23, M24 a M25. Souřadnice y [mm] odpovídá výškovému umístění potenciometrických čidel.



Obr. 3: Deformace od předpínací síly 50 kN ve směru A



Obr. 4: Deformace od předpínací síly 100 kN ve směru A

Z obr. 3 a obr. 4 můžeme vidět, že celkové deformace, pro jednotlivé kotevní desky, jsou při použití předpínací síly 50 kN, přibližně o polovinu menší než při předpínací síle 100 kN.

Na obou grafech vidíme, že deformace kotevních desek 300×300 je výrazně menší než v případě desky 200×200 , vlivem působení většího napětí přímo pod kotevní deskou 200×200 , viz tab. 1. Deformace zdiva v místě kotevní desky 150×150 jsou téměř shodné, jako v místě kotevní desky 300×300 . Tato shoda může být způsobena umístěním potenciometrických čidel. Ta nejsou v přímém kontaktu s kotevní deskou 150×150 stejně jako kotevní desky 200×200 , viz obr. 2a, tím pádem zde působí mnohem menší napětí, než které vzniká přímo pod kotevní deskou zatíženou předpínací silou. Současně zde mohou mít vliv i samotné kotevní desky, které vlivem soustředěného zatížení se mohou deformovat a tím ovlivňovat výsledné deformace zdiva.

Výsledky dále ukazují, že deformace jsou největší v místě nad kotevními deskami. Tyto průběhy deformací mohou být způsobeny nedokonalým přilnutím roznášecí desky s povrchem zdiva, které bylo vyrovnáno vrstvou malty, ačkoliv tato vrstva byla provedena současně s položením roznášecí desky.

Provedené měření ve směru B mělo obdobné průběhy jednotlivých deformací.

3 MODELOVÁNÍ ZDIVA

Modelování zděné konstrukce je mnohem obtížnější nežli modelování ocelové nebo betonové konstrukce, jelikož zdivo je nehomogenní a anizotropní materiál, skládající se z kusového staviva a spojovacího prostředku. Obě tyto složky zdiva mají různé fyzikální a materiálové vlastnosti. Proto vytváření vhodného modelu, který by vyjadřoval skutečné materiálové a fyzikální vlastnosti zdiva je obtížné. U zděných konstrukcí nelze zajistit ve všech místech stejné vlastnosti, čímž nám vstupují proměnné hodnoty do procesu modelování, jako např.:

- pevnost malty a zdících prvků,
- stáří zdiva,
- vzájemné působení mezi komponenty,
- způsob uložení zdících prvků (nesprávné převazby zdiva),
- kvalita provedení,
- kvalita použitého materiálu,
- rozměry zdících prvků,
- tloušťka spár mezi vrstvami,
- okolní prostředí a klimatické vlivy,
- excentricita působení zatížení,
- efektivní plocha roznášecích desek.

Postup modelování a následné analýzy statického působení zdiva může být vzhledem k rozsahu zděných konstrukcí rozdělen na dvě části. V první části provedení analýzy dílčích částí zdiva na podrobném mikromodelu s podrobným vymodelováním cihel a malty včetně skutečné vazby zdiva. V druhé části vytvoření méně podrobného makromodelu (bez vymodelování jednotlivých cihel a spár malty) s homogenizovanými vlastnostmi zdiva, který simuluje chování zdiva, [6], [7].

Modelování zdiva v programu na principu MKP bylo provedeno již v minulosti, pro různé případy předpínání zdiva [8]. Nyní se připravují modely konkrétního laboratorně testovaného zděného rohu, aby tyto numerické modely co nejvíce odpovídaly jeho skutečnému provedení.

4 ZÁVĚR

Příspěvek se věnuje laboratornímu měření předpínaného zděného rohu, který byl zatížen svislým zatížením a předpínací silou o velikosti 50 a 100 kN. Simuluje tak případy zesilování a sanací zděných budov. Výsledné deformace zdiva mohou být ovlivněny nedokonalým provedením vyrovnávací maltové vrstvy, která byla provedena pod kotevními deskami i pod roznášecí deskou, pro vyrovnání povrchu zdiva, popř. deformací kotevních desek vlivem soustředného zatížení od předpětí.

V přípravě jsou další měření zděného rohu s použitím malty o menší pevnosti v tlaku a použitím větších předpínacích sil, aby se zdivo svými vlastnostmi více přiblížilo vlastnostem sanovaného zdiva. Dále budou prováděna srovnání s numerickým modelováním v programu na principu MKP, jak je uvedeno v kap. 3.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl realizován za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi.

LITERATURA

- [1] BRADÁČ, J. *Účinky poddolování a ochrana objektů, díl první a druhý*. Dům techniky Ostrava. Ostrava, 1999. ISBN 80-02-01276-3.
- [2] BAŽANT, Z., KLUSÁČEK, L. *Statika při rekonstrukcích objektů*. VUT Brno, 2004.
- [3] ČSN EN 1052-1: *Zkušební metody pro zdivo, Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*. Český normalizační institut, 2000.
- [4] ČSN EN 1015-11: *Zkušební metody malt pro zdivo, Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Český normalizační institut, 2000.
- [5] ČSN EN 1996-1-1: *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby – Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Český normalizační institut, 2007.
- [6] MATERNA, A., BROŽOVSKÝ, J. Constitutive model for two-dimensional modeling of masonry. In *proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing 2007*, Malta 2007.
- [7] LOURENCO, P. B. *Computational strategies for masonry structures*. Delft University Press, 1996.
- [8] MYNARZOVÁ, L. *Statická analýza konstrukcí zděných staveb*. Disertační práce 2009. VŠB-TU Ostrava 2009. ISBN 978-80-248-2064-4.
- [9] ČAJKA, R., KALOČOVÁ, L. Modeling and Analysis of Post – Tensioned Masonry. *The eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. 18-21. September 2007, St. Julians, Malta 2007, ISBN 978-1-905088-17-1.
- [10] ČAJKA, R. Strengthening of Historical Structures on Flooded and Undermined Territory. *International Geotechnical Engineering, Saint Petersburg*. 17-19. September 2003, Russian, ISBN 5-93093-204-2.
- [11] ČAJKA, R. Lifetime Enhancement of Historical Structures on Flooded and Undermined Territory. *Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, and International Symposium ILCDES 2003*. 1-3. December 2003, Kuopio, Finland, ISSN 0356-9403, ISBN 951-758-436-9.
- [12] ČAJKA, R., KALOČOVÁ, L. Progressive approach to the analysis of post-tensioned masonry structures using FEM. In *EngOpt 2008 - International Conference on Engineering Optimization*. Rio de Janeiro 1-5. Juni 2008. Ed. J. Herkovitz, A. Canelas, H. Cortes, M. Aroztequi, 2008. ISBN 978-85-7650-152-7.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Václav Cepek, CSc., Ostrava.

Doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., Ústav betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.