17-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija
Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers „Science – Future of Lithuania“

STATYBA / CIVIL ENGINEERING

2014 m. kovo 19–28 d. Vilnius
19-28 March 2014, Vilnius, Lithuania

eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-457-694-2

MŪRO SKIEDINIO SIŪLĖJE GNIUŽDOMOJO STIPRIO TYRIMŲ METODŲ ANALIZĖ

Tomas Šlivinskas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: tomas.slivinskas@dok.vgtu.lt

Santrauka. Šiame straipsnyje nagrinėjamas mūras, kaip kompozitinė medžiaga. Apžvelgiami veiksniai, veikiantys mechanines mūro charakteristikas. Išnagrinėti dažniausiai naudojami mūro skiedinio gniuždomojo stiprio tyrimų metodai, pateikti metodų privalumai ir trūkumai. Straipsnyje, naudojant klijuotų skiedinio plokštelių bandymo metodiką, nustatyta mūro skiedinio gniuždomojo stiprio priklausomybė tarp mūro skiedinio stiprio nustatymo pagal įprastinę skiedinio bandymo metodiką ir skiedinio, galimai paimto iš mūro siūlės, gniuždomojo stiprio.

Reikšminiai žodžiai: mūras, mūro skiedinys, gulsčioji siūlė, neardantys tyrimų metodai, ultragarsas.

Įvadas

Nors mūras kaip statybinė medžiaga naudojamas jau ilgą laiką, tačiau vis dar lieka neišnagrinėtų mūro sudedamųjų elementų savybių nagrinėjant mūrą kaip kompozitinę sistemą.

Atliekant eksploatuojamų mūrinių pastatų būklės tyrimus dažnai tenka nustatyti mūro mechanines savybes (gniuždomąjį stiprį ir tamprumo modulį).

Mūro mechanines savybes apsprendžia mūro gaminių ir mūrijimo skiedinio savybės, darbų kokybė mūro skiedinio sutankinimas, gulsčiųjų siūlių storis, skiedinio savybė atiduoti vandenį bei kiti faktoriai. Atliekant mūro darbus, mūro gaminiai sugeria vandenį iš skiedinio siūlės, dėl to nepilnai įvyksta cemento hidratacija, kontakte susiformuoja sluoksnis, kurio stipris ir tamprumo modulis ženkliai skiriasi nuo skiedinio savybių vidiniuose sluoksniuose nustatytų standartuose nurodytais metodais (Huster 2000; Zavalis *et al.* 2011).

Reikia paminėti, kad mūro gaminių ir skiedinio deformacinės savybės skiriasi, dėl to mūro gaminiuose ir gulsčiojoje siūlėje susidaro sudėtingas įtempių būvis, t.y. skiedinio skersinės deformacijos yra varžomos standesnių elementų – mūro gaminių.

Dėl daugelio veiksnių poveikio mūro skiedinio fizikinėms ir mechaninėms savybėms, nustatyti mūro konstrukcijų skiedinio gulsčiosiose siūlėse tikrąsias savybes tampa sudėtinga.

Tiriant eksploatuojamus pastatus mūro gaminių gniuždomasis stipris dažnu atveju nustatomas ardančiais metodais, t.y. tiriant išimtus bandinius iš mūro konstrukcijų. Toks mūro gaminių bandymas atliekamas pagal atitinkamų standartų reikalavimus. Sudėtingesnis klausimas yra gulsčiųjų siūlių skiedinio savybių nustatymas. Paprastai skiedinio gniuždomasis stipris yra nustatomas bandant etaloninius bandinius pagal (EN 1015-11) reikalavimus.

Pastaruoju metu, tiriant mūro kaip kompozitinės medžiagos mechanines savybes, plačiai taikomas eksperimentinis mūro elgsenos skaitinis mikro ir makro modeliavimas pasitelkiant kompiuterinius analizės paketus. Siekiant gauti tikslius mūro elgsenos skaitinio modeliavimo rezultatus, būtina kuo tiksliau nustatyti gulsčiosios siūlės skiedinio mechanines charakteristikas (gniuždomąjį stiprį ir tamprumo modulį) kompozitinėje sistemoje.

Kaip rodo atlikti eksperimentiniai tyrimai (Lourenco *el al.* 2006; Brencich *et al.* 2005) fizikinės ir mechaninės skiedinio savybės mūro gulsčiojoje siūlėje ženkliai skiriasi nuo gautų rezultatų bandant skiedinį pagal standarto (EN 1015-11) reikalavimus. Toks neapibrėžtumas yra sąlygojamas mūro kaip kompozitinės medžiagos įrengimo bei sudedamųjų medžiagų specifikos.

Praktikoje nėra standartizuotos tyrimų metodikos skiedinio stipriui gulsčiojoje siūlėje nustatyti. Literatūroje pateikiami įvairūs skiedinio gulsčiojoje siūlėje mechaninių charakteristikų tyrimų metodai (Malhotra *et al.* 2004; Орлович *et al.* 2011).

Šio darbo tikslas išanalizuoti mūro gulsčiosios siūlės skiedinio mechaninių savybių tyrimų metodus.

Mūro skiedinio gniuždomojo stiprio tyrimų metodai

Esamų konstrukcijų mūro skiedinio charakteristikų nustatymui taikomi ardantys ir neardantys mūro tyrimų metodai. Ardančiais metodais bandiniai yra iš dalies arba visiškai suardomi. Tokių bandymų specifika priklauso

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2014

eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-457-694-2

nuo bandinių struktūros, norimo rezultatų patikimumo ir tikslų. Tiriant eksploatuojamų mūro pastatų savybes, iš esamų konstrukcijų imami mūro gaminių bei skiedinio bandiniai, stengiantis nepažeisti ir nesumažinti konstrukcijos laikomosios galios.

Naudojami šie ardantys metodai: mūro skiedinio plokštelės, paimtos iš siūlės, bandymas štampu; klijuoto skiedinio plokštelių, paimtų iš mūro siūlės, kubo bandymas gniuždant; mūro kerno paimto kartu su skiedinio siūle bandymas gniuždant ir kt. (Орлович *et al.* 2011). Tiriant konstrukcijas ardančiais tyrimų metodais galima tiesiogiai nustatyti skiedinio gniuždomąjį stiprį, tačiau nėra galimybės nustatyti skiedinio tamprumo modulio. Ardantys tyrimų metodai reikalauja daug laiko ir darbo sąnaudų.

Ne visada yra galimybė atlikti atskirų konstrukcijų tyrimus jas išimant, todėl taikomi dalinai ardantys metodai, pvz. mūro stiprio nustatymas bandant pleištu. Naudojant šį metodą, į mūro siūlėje esančią įpjovą talpinama tuščiavidurė pleišto formos plieninė talpa užpildyta tepalu, kurioje sukeliamas slėgis, tokiu būdu gniuždant mūrą matuojamos deformacijos. Atliekant tyrimus šiuo metodu gaunamos mūro, kaip kompozitinės sistemos, apibendrintos charakteristikos, tačiau skiedinio mechaninės charakteristikos nenustatomos.

Dažnais atvejais konstrukcijų pažeidimai nėra galimi, o bandinių iš esamų mūro konstrukcijų paėmimas neįmanomas, tada gali būti taikomi neardantys tyrimų metodai. Neardantys tyrimų metodai leidžia nustatyti mūro gaminių ir skiedinio mechanines savybes nepažeidžiant konstrukcijos ar jos elementų. Šiais metodais mechaninės charakteristikos nustatomos netiesiogiai, todėl jų parametrų nustatymui pasitelkiamas ryšys tarp tiriamų savybių ir fizikinių dydžių, pvz.: atšokimu, kietumu, ultragarso sklidimo greičiu ir kt. Todėl būtina turėti tiesiogines priklausomybes tarp mechaninių charakteristikų (gniuždomojo stiprio ir tamprumo modulio) ir nesunkiai išmatuojamų parametrų, pvz.: strypo atšokimo dydžio, kietumo, ultragarso sklidimo greičio ir kt. Tačiau atliekant tokius bandymus neišvengiamos gaunamų rezultatų paklaidos.

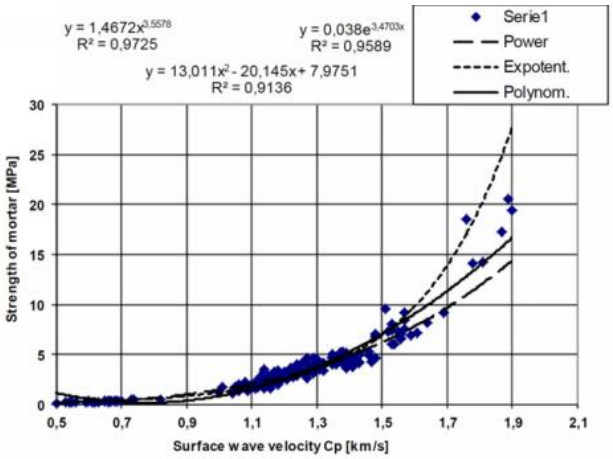
Stiprio ir tamprumo modulio nustatymui atšokimo metodu naudojamas mechaninis atšokimo prietaisas – sklerometras. Šio metodo privalumas – nesudėtingai ir greitai nustatomos medžiagos mechaninės savybės. Tačiau gali būti taikomas tik mūrui, kurio gulsčiosios siūlės storis 12 – 15 mm. Šio metodo panaudojimą apsprendžia gulsčiųjų siūlių storis (Malhotra *et al.* 2004).

Kaip rodo tyrimai (Stawiski *et al.* 2013), siūlės skiedinio gniuždomąjį stiprį galima nustatyti taikant ultragarso metodą. Ultragarso tyrimo metodas pagrįstas tam tikro dažnio bangų sklidimo per tiriamą konstrukcijos dalį greičio matavimu. Ultragarso bangų tyrimas yra tinkamas esant galimybei taikyti tiesioginio perdavimo metodiką, kai siųstuvas ir imtuvas statomas tiesiogiai vienas priešais kitą. Taip pat gali būti taikoma ir netiesioginio bangų sklidimo metodika (Breysse 2012).

Taikant tiesioginiu ultragarso bangų tyrimo metodu, bandinio paviršius išlyginamas, siųstuvas ir imtuvas prispaudžiami prie bandinio tolygia jėga dėl geresnės sklisties. Tačiau šio metodo taikymas tiriant smulkius konstrukcinius elementus mažai ištirtas.

Ultragarso tyrimo metodo privalumai: nesudėtingas taikymas, nepažeidžiamos konstrukcijos jas ardant ir kt. Tačiau pastebimi ir trūkumai, nesant galimybei taikyti tiesioginio perdavimo metodikos, gaunamos didesnės tyrimų paklaidos (Stawiski *et al.* 2013).

Atlikti tyrimai rodo, kad ultragarso bangų dažnio sklidimas priklauso nuo skiedinio sudėties. B. Staviskio (2008) publikacijoje nagrinėjami cementinio bei kalkinio skiedinių netiesioginio ultragarso tyrimai, kurių rezultatai pateikiami 1 paveiksle.



1 pav. Skiedinio koreliacijos priklausomybė bandant netiesioginio ultragarso tyrimo metodu.

Fig. 1. Correlation dependency in the ultrasound surface method for tested mortars.

Ultragarso bangų sklidimo metodas įprastai naudojamas didesnių gabaritų bandiniams (pvz.: 150 x 150 mm ir didesnių), tačiau kaip rodo tyrimai (Stawiski *et al.* 2013) jis gali būti taikomas skiedinio esančio gulsčiojoje siūlėje mechaninių savybių nustatymui.

Daugeliu atveju ultragarso bangos sklidimo greitis nepriklauso nuo bandinio dydžio bei formos. Tačiau norint nustatyti mūro skiedinio gulsčiojoje siūlėje mechanines savybes ultragarso metodu, turi būti tinkamai pa-

rinktas bangų sklidimo dažnis. Patikimi rezultatai gaunami tik tada, kai mažiausias bandinio matmuo yra didesnis už ultragarso bangos ilgį, kuris tiesiogiai priklauso nuo ultragarso dažnio ir bangos sklidimo greičio (Malhotra *et al*. 2004).

Ultragarso bangos ilgis λ apskaičiuojamas pagal priklausomybę:

$$\lambda = \frac{v}{f}, \qquad (1)$$

čia v – ultragarso bangos sklidimos greitis; f – ultragarso dažnis.

Norint parinkti tinkamą ultragarso bangų dažnį, mūro skiedinio gulsčiųjų siūlių stiprio priklausomybei nustatyti, buvo atliktas eksperimentinis tyrimas.

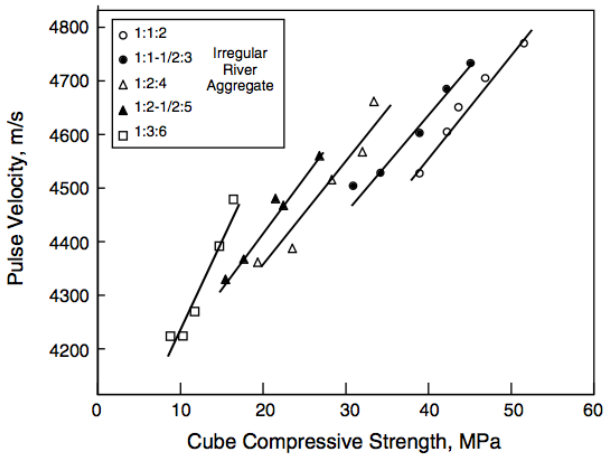
Laboratorijoje, taikant tiesioginį ultragarso bangų tyrimo metodą, išmatuotas kontrolinių mūro skiedinio prizmių (40 x 40 x 90 mm) ultragarso bangos sklidimo vidutinis greitis – 2300 m/s. Tiriamų bandinių tankis kinta nuo 1484 kg/m^3 iki 1617 kg/m^3. Nustatant kontrolinių bandinių ultragarso bangos sklidimo greitį buvo naudojamas 85 kHz dažnis.

Tačiau norint nustatyti esamų mūro konstrukcijų skiedinio gulsčiojoje siūlėje, kurios aukštis 10 – 15 mm, mechanines savybes, ultragarso bangos sklidimo dažnis pagal (1) priklausomybę turi būti ne mažesnis kaip 200 – 250 kHz. Tokio dažnio ultragarso bangos sklistų tik mūro siūlėje ir nepereitų į mūro gaminį.

Taikant ultragarso tyrimo metodą, galima nustatyti priklausomybę tarp mūro skiedinio mechaninių savybių ir išmatuoto ultragarso bangos sklidimo greičio. V. Malhotros ir kitų (2004) publikacijoje nagrinėjama betono gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo ultragarso bangos sklidimo greičio. Gauti rezultatai pateikiami 2 paveiksle.

Taikant ultragarso tyrimo metodą galima nustatyti ne tik stiprį gniuždant, bet ir tamprumo modulį mūro skiedinio siūlėje.

Reikia paminėti, kad duomenų apie esamų mūro konstrukcijų tyrimus atliekamus neardančiais metodais yra mažai. Tokių tyrimų teikiami rezultatai mažai ištirti, todėl būtina nustatyti gaunamų rezultatų priklausomybes tiriant kontrolinių bandinių savybes. Siekiant gauti patikimus rezultatus, siūloma taikyti kelių skirtingų tyrimų metodų duomenis.



2 pav. Betono gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo ultragarso bangos sklidimo greičio.

Fig. 2. Relationship between pulse velocity and compressive strength of concrete.

Euro normose nėra aptariama esamo mūro skiedinio stiprio gniuždant nustatymo metodika. Senesnėje literatūroje siūloma naudoti skiedinio, paimto iš mūro sienos stiprio nustatymo metodiką, kurios pagrindu atliktas tolimesnis tyrimas.

Ardančiojo tyrimo metodika

Šio tyrimo tikslas – nustatyti mūro skiedinio stiprio priklausomybę tarp stiprio, nustatyto tiriant standartinius bandinius, ir sudarytus klijuojant skiedinio plokšteles naudojant tos pačios sudėties skiedinį.

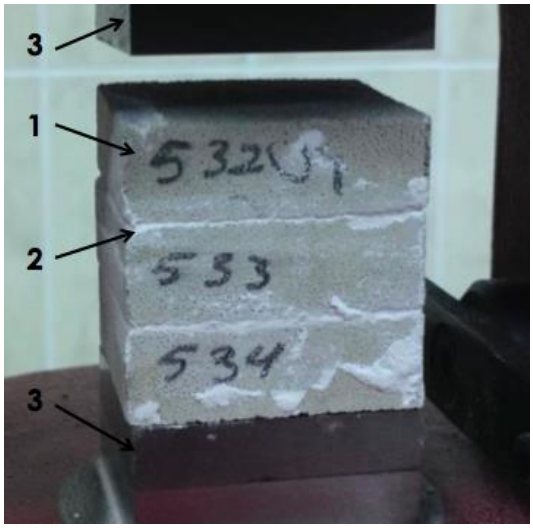
3 pav. Atpjautos mūro skiedinio plokštelės ir likusi prizmės dalis.

Fig. 3. Mortar prisms and the remaining parts.

Tyrime naudojamos penkios mūro skiedinio imtys, kurių kiekvieną sudaro po tris bandinius, t.y. viso 16 standartinių matmenų (40 x 40 x 160 mm) skiedinio prizmių pagal (EN 1015–11) reikalavimus. Bandinių skiedinio vidutinis tankis: 1484 kg/m^3 iki 1617 kg/m^3.

Iš kiekvienos prizmės išpjautos 3 plokštelės, kurių kiekvienos matmenys yra: 40 x 40 x 12 mm (3 pav.). Išlyginus paruoštų plokštelių paviršius, klijuojamos gipso tešla. Suklijavus gaunami kubai, kurių mat-

menys 40 x 40 x 40 mm, o gipso siūlių storis 1–2 mm. Bandiniai paruošti pagal standarto GOST 5802-86 rekomendacijas (4 pav.).



4 pav. Mūro skiedinio kubas, klijuotas gipso tešla. 1 – mūro skiedinio plokštelė 40 x 40 x 12 mm; 2 – gipso skiedinio siūlė 1 – 2 mm; 3 – preso plokštė.

4 pav. Cube of masonry mortar bonded using gypsum.paste 1 – Masonry mortar plate 40 x 40 x 12 mm; 2 – gypsum grout 1 – 2 mm; 3 – press plate.

Suklijuoti kubai ir tos pačios sudėties skiedinio prizmių likusios dalys bandomi pagal (EN 1015-11) standarto reikalavimus.

Mūro skiedinio kubai bandomi gniuždant praėjus 3 paroms po suformavimo. Bandiniai kruopščiai padedami taip, kad apkrova būtų perduodama visam bandinio paviršiaus plotui, besiliečiančiam su preso plokštėmis. Apkraunama pastoviu 250 N/s greičiu. Bandymo rezultatai pateikiami 1 lentelėje.

Suklijuotų iš skiedinio plokštelių kubų suirimo pobūdis parodytas 5 paveiksle.

Klijuoto mūro skiedinio kubų suirimo charakteris artimas ne klijuotų bandinių suirimui bandant pagal standartuose nustatytą metodiką. Tai rodo, kad gipso siūlės neturi įtakos suirimui ir praktiškai nesuvaržo bandinio skersinių deformacijų bei neturi įtakos suirimo pobūdžiui.

Pagal gautus bandymų duomenis (1 lentelė) nustatomas mūro skiedinio gniuždomojo stiprio redukavimo koeficientas β_m, kuris įvertina priklausomybę tarp skiedinio gniuždomojo stiprio $f_{m,EN}$, nustatyto bandant neklijuotus bandinius normatyviniu metodu ir skiedinio gniuždomojo stiprio $f_{m,kl}$, nustatyto bandant klijuoto skiedinio kubus:

$$\beta_m = \frac{f_{m,EN}}{f_{m,kl}} \ . \qquad (2)$$

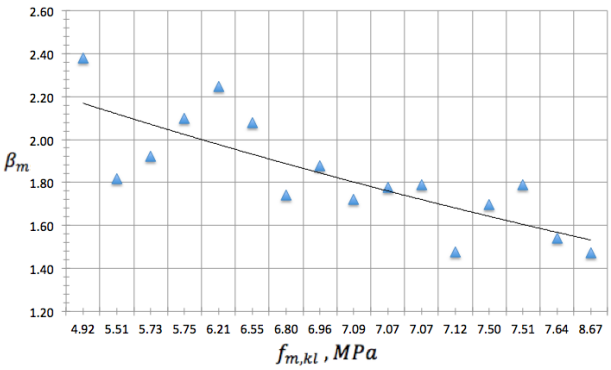
Koeficiento β_m reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

5 pav. Suiręs mūro skiedinio kubas, klijuotas gipso tešla.

5 pav. Collapsed masonry mortar cube bonded using gypsum paste.

Bandymo rezultatai parodė, kad skiedinio stiprio redukavimo koeficientas β_m priklauso nuo skiedinio gniuždomojo stiprio, t.y. mažėjant skiedinio stipriui koeficientas didėja. Mūro skiedinio stiprio redukavimo koeficiento priklausomybė nuo gniuždomojo stiprio pateikiama 6 paveiksle.

Atlikta mūro skiedinio bandinių gniuždomojo stiprio eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė parodė, kad skiedinio stiprio redukavimo koeficientas β_m leidžia nustatyti ir apskaičiuoti vidutinį gniuždomąjį stiprį mūro gulsčiojoje siūlėje bei priklausomybę nuo klijuoto skiedinio gniuždomojo stiprio.



6 pav. Mūro skiedinio stiprio redukavimo koeficiento β_m priklausomybė nuo klijuoto skiedinio gniuždomojo stiprio $f_{m,kl}$.

6 pav. The dependency of masonry mortar strength reduction coefficient β_m on bonded masonry mortar compressive strength $f_{m,kl}$.

1 lentelė. Bandinių tyrimo duomenys

Table 1. Sample test data

Bandinio numeris	Bandinio tankis, kg/m^3	Klijuoti kubai		Standartiniai bandiniai		$\beta_m = \frac{f_{m,EN}}{f_{m,kl}}$
		Gniuždomasis stipris $f_{m,kl}$, MPa	Variacijos koeficientas, %	Gniuždomasis stipris $f_{m,EN}$, MPa	Variacijos koeficientas, %	
11	1482	5.73	13.7	11.00	7.27	1.92
12	1476	5.51		10.03		1.82
13	1494	7.09		12.21		1.72
14	1484	4.92		11.70		2.38
21	1547	5.75	9.23	12.07	8.90	2.10
22	1570	7.12		10.50		1.48
23	1543	6.96		13.07		1.88
31	1548	8.67	10.08	12.78	3.45	1.47
32	1540	6.80		11.85		1.74
33	1532	7.50		12.74		1.70
41	1619	6.21	5.35	13.94	4.39	2.25
42	1611	6.55		13.61		2.08
43	1614	7.07		12.56		1.78
51	1619	7.07	3.29	12.66	5.34	1.79
52	1610	7.51		13.44		1.79
53	1622	7.64		11.79		1.54

Išvados

1. Atlikus eksperimentinį tyrimą bandinių rezultatai parodė, kad mūro skiedinio stiprio redukavimo koeficientas β_m priklauso nuo skiedinio gniuždomojo stiprio. Mažėjant skiedinio gniuždomąjam stipriui koeficiento reikšmė didėja (6 pav.). Eksperimentinis tyrimas parodė, kad taikant mūro skiedinio stiprio redukavimo koeficientą galima nustatyti skiedinio gniuždomojo stiprio vidurkį.

2. Norint nustatyti mūro skiedinio gulsčiosios siūlės mechanines savybes ultragarso bangų tyrimo metodu, ultragarso bangų dažnis turėtų būti 200 – 250 kHz.

Literatūra

Alejandre, F. J.; Flores-Ales, V.; Villegas, R.; Garcia-Heras, J.; Moron, E. 2014. Estimation of Portland cement mortar compressive strength using microcores. Influence of shape and size, *Construction and Building Materials* 55: 359–364.

Breysse, D., 2012. Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods, *Construction and Building Materials*, 33:139–163.

Brencich, A.; Gambaarotta, L. 2005. Mechanical response of solid clay brickwork under eccentric loading. Part I: Unreinforced masonry, *Materials and Structures* 38: 257–266.

Huster, U. 2000. Tragverhalten von einschaligem Naturstein-mauerwerk unter zentrischer Druckbeanspruchung. Kassel University Press, Kasse.

Cotic, P.; Jaglicic, Z.; Niederleithinger, E.; Effner, U. 2013. Effect of moisture on the reliability of void detection in brickwork masonry using radar, ultrasonic and complex resistivity tomography, *Materials and Structures* 46: 1723–1735

Lourenco, P. B; Pina-Henriques, J. 2006. Validation of analytical and continuum numerical methods for estimating the compressive strength of masonry, *Computers and Structures* 84: 1977–1989.

LST EN 1015–11:2004 Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymas. 2004.

LST EN 1996–1–1:2006 Eurokodas 6. Mūrinių konstrukcijų projektavimas. 1–1 dalis. Bendrosios armuotųjų ir nearmatuotųjų mūrinių konstrukcijų taisyklės. 2010.

Malhotra, V. M.; Carino, N. J. 2004. Nondestructive testing of concrete, Florida: CRC Press, 189–205.

Pfeifer, G.; Ramcke, R.; Achtziger, J., Zilch, K. 2001. Masonry Construction Manual, Basel: Birkhäuser, 92–95.

Shevaldykin, V. G.; Samokrutov, A. A.; Kozlov, V. N. 2003. Ultrasonic Low-Frequency Short-Pulse Transducers with Dry Point Contact. Development and Application. *International Symposium: Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, September 16–19, 2003, Berlin.

Stawiski, B., 2008. Ultrasonic testing of concrete and mortar using point probes. Wroclaw University of Technology. Publishing House of the Wroclaw University of Technology. Wroclaw. 154 p.

Stawiski, B.; Kania, T. 2013. Determination of the Influence of Cylindrical Samples Dimensions on the Evaluation of Concrete and Wall Mortar Strength Using Ultrasound Method, *Procedia Engineering* 57: 1078–1085.

STR 2.05.09:2005 Mūrinių konstrukcijų projektavimas. Statybos techninis reglamentas. 2005. 58 p.

Zavalis, R.; Jonaitis, B. 2011. Mūro gaminių ir gulščiųjų siūlių įtempių deformacijų būvio ypatumų analizė, *Statybinės konstrukcijos ir technologijos* (3): 105–111.

ГОСТ 24332-80 Кирпич и камни силикатные ультразвуковой метод определения прочности при сжатии. 1989.

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные методы испытаний. 1986.

Орлович, Р.Б.; Деркач, В.Н. 2011. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий, *Инженерно-строительный журнал* 7: 3–10.

THE ANALYSIS OF THE COMPRESSIVE STRENGTH TESTING METHODOLOGIES IN THE MASONRY MORTAR JOINTS

T. Šlivinskas

Abstract

The article contains the analysis of masonry as composite material. This overview presents the factors that affect the mechanical characteristics of masonry. The article also analyses the most frequently used destructive and non-destructive compressive strength testing methods of masonry mortar as well as the related advantages and disadvantages. Moreover, the analysis of ultrasonic wave testing methods has been made. The article reveals that using the mortar bonded wafer testing methodology the compressive strength correlation of masonry mortar is set between the ascertainment of the masonry mortar strength using the regular mortar testing methodology (EN 1015-11) and the compressive strength of mortar, possibly taken from the masonry joints. The results of an experimental study of samples have demonstrated that the strength reduction ratio of masonry mortar depends on the compressive strength of the mortar. The value of the ratio is increasing with the descensing compressive strength of mortar.

Keywords: masonry, masonry mortar, bed joint, non-destructive testing methods, ultrasounds.