

PECULIARITIES OF STRUCTURAL PROPERTIES OF MASONRY FROM HOLLOW BLOCK UNITS AND THEIR ESTIMATION

B. Jonaitis , G. Maršiukaitis , V. Papinigis & J. Valivonis

To cite this article: B. Jonaitis , G. Maršiukaitis , V. Papinigis & J. Valivonis (2001) PECULIARITIES OF STRUCTURAL PROPERTIES OF MASONRY FROM HOLLOW BLOCK UNITS AND THEIR ESTIMATION, Statyba, 7:5, 386-390, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531759](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531759)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531759>



Published online: 30 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 92



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

MŪRO IŠ TUŠTYMĖTŲ BLOKELIŲ KONSTRUKCINIŲ SAVYBIŲ YPATUMAI IR JŲ ĮVERTINIMAS

B. Jonaitis, G. Marčiukaitis, V. Papinigis, J. Valivonis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

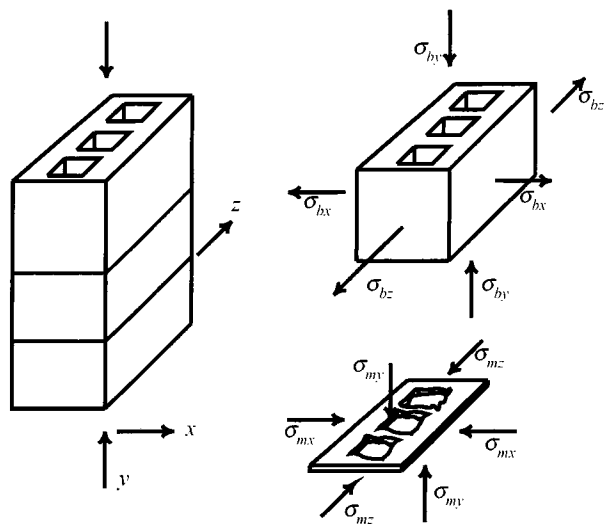
Pastaraisiais metais mūras vis plačiau naudojamas įvairių pastatų statybai. Taip sukuriama įdomesnės architektūros pastatai, be to, galima panaudoti sluoksniuotąsias konstrukcijas, duodančias medžiagų ir energijos ekonomiją. Antra vertus, tam reikia tokių gaminių, kurie leistų paspartinti statybą, palengvinti ir atpiginti konstrukcijas. Tyrimai ir praktika rodo, kad šie reikalavimai geriausiai tenkinami, kai vietoj tipinių molio arba silikatinė plytų naudojami tuštymėti blokėliai, kurių tūris atitinka kelių sudėtų plytų tūrį. Plečiantis medžiagų ir technologijų įvairovei, atsiranda vis įvairesnių blokėlių, kurie skiriasi ne tik medžiagų, iš kurių yra pagaminti, tipu (keraminiai, įvairių betonų, silikatiniai, mišrūs – medžio pjuvenų, drožlių betono ir kt.), bet ir konstrukcine forma. Įvairių autorių tyrimai rodo [1], kad visa tai turi įtakos mūro iš tokių dirbinių konstrukcinėms savybėms. Mūsų šalyje galiojančios projektavimo normos ir rekomendacijos [2–4] skirtingai vertina nurodytus blokėlių ypatumus, nustatant jų konstrukcines savybes.

Projektuojant mūrines konstrukcijas reikia žinoti tokias pagrindines konstrukcines savybes, kaip stiprumas gniuždam, glemžiant, tamprumo modulis. Kaip rodo tyrimai [1, 5–7], šias savybes lemia ne tik plytų arba blokėlių ir skiedinio savybės, bet ir tuštymė bei sienėlių tarp jų matmenų, bendro tuštymėto, siūlių storio bei apkrovimo schema. Yra ir tokių blokėlių [8, 9], iš kurių mūras gali būti daromas be skiedinio arba dedant labai ploną jo sluoksnį (tikslų matmenų silikatiniai blokėliai). Visa tai turi įtakos mūro stiprumui ir deformacinėms savybėms. Mūro deformacinės savybės yra svarbios iš skirtingų medžiagų sluoksnių projektuojant ne tik vienalyčio mūro, bet ir sluoksniuotąsias konstrukcijas. Tai turi įtakos sluoksnių medžiagų savybių išnaudojimui ir bendram jų darbui veikiant apkrovai. Kaip

rodo projektavimo normos [2–4] bei įvairių autorių tyrimų analizė [1], praktiškai neįmanoma sukurti metodikos mūro iš įvairių tipų ir formų blokėlių konstrukcinėms savybėms nustatyti ir įvertinti, kadangi beveik nėra duomenų apie galimybę projektavimo normas [2, 3] taikyti konstrukcijoms iš tokių blokėlių projektuoti. Šiame straipsnyje yra analizuojami tuštymėtų betoninių ir silikatinė blokėlių mūro ypatumai.

2. Mūro konstrukcinių savybių nustatymo metodų analizė

Mūras yra sudėtinga kompleksinė medžiaga, sudaryta iš dviejų skirtingų savybių komponentų: dirbinių (plytų arba blokėlių) ir skiedinio. Šių dviejų komponentų stiprumas ir deformacijų modulis skiriasi. Veikiant apkrovai gaunamas sudėtingas įtempimų būvis (1 pav.), kurio sudėtingumą dar padidina blokėlių tuštymės, nes skiedinio siūlė (sluoksnis) jų neuždengia.



1 pav. Gniuždomo tuštymėtų blokėlių mūro įtempimų būvio schema

Fig 1. Diagram of stress state in compressed masonry from hollow blocks

Blokelių ir skiedinio siūlės medžiagų deformacinės savybės yra skirtingos, todėl horizontalia kryptimi šiuose mūro sluoksniuose atsiranda skirtingos krypties įtempimai. Kaip rodo įtempimų pasiskirstymas, blokeliai skersine kryptimi yra tempiami. Tempimo deformacijoms pasiekus ribines reikšmes, blokeliuose y ašies kryptimi pradeda plisti plyšiai. Tempimo deformacijos blokeliuose gali būti nustatomos remiantis tamprumo teorijos sąlygomis:

$$\varepsilon_{bx} = \frac{1}{E_b} [\sigma_{bx} + \nu_b (\sigma_{by} - \sigma_{bz})], \quad (1)$$

$$\varepsilon_{bz} = \frac{1}{E_b} [\sigma_{bz} + \nu_b (\sigma_{by} - \sigma_{bx})]. \quad (2)$$

Panašiai galima nustatyti horizontalias gniuždymo deformacijas skiedinio siūlėse, t. y.:

$$\varepsilon_{mx} = -\frac{1}{E_m} [\sigma_{mx} - \nu_m (\sigma_{my} - \sigma_{mz})], \quad (3)$$

$$\varepsilon_{mz} = -\frac{1}{E_m} [\sigma_{mz} - \nu_m (\sigma_{my} - \sigma_{mx})]. \quad (4)$$

Šiose lygtyse E_b ir E_m – blokelių ir skiedinio tamprumo moduliai, o ν_b ir ν_m – jų Puasono koeficientai.

Kaip rodo plytų mūro tyrimai [1], tarp skersine kryptimi atsiradusių įtempimų blokeliuose ir skiedinyje yra toks ryšys:

$$\sigma_{mx} = \beta \sigma_{bx} \quad \text{ir} \quad \sigma_{mz} = \beta \sigma_{bz}, \quad (5)$$

β – blokelių aukščio ir skiedinio siūlių storio santykis.

Iš (1)–(5) lygčių, atlikus atitinkamus pertvarkymus, gaunama:

$$\sigma_{bx} = \sigma_{bz} = \frac{\sigma_{by} (\nu_m E_b - \nu_b E_m)}{E_m (1 - \nu_b) + \beta E_b (1 - \nu_m)}. \quad (6)$$

Ši formulė leidžia patikrinti blokelių stiprumą skersine kryptimi ir suprojektuoti jų tuštynes taip, kad būtų geriau išnaudotas blokelių gniuždymo stiprumas.

Tačiau, kaip rodo daugelio autorių tyrimų rezultatai apžvalga [1], taip pat ir mūsų tyrimai, mūro stiprumo apskaičiavimas pagal tamprumo teoriją ne visais atvejais duoda tikslius rezultatus, nes neleidžia pakankamai įvertinti įvairius technologinius veiksnius ir jų ypatumus. Todėl, remiantis eksperimentiniais tyrimais, yra pasiūlytos empirinės ir pusiau empirinės formulės mūro stiprumui apskaičiuoti. Tokios metodikos rekomenduojamos ir projektavimo normose [2–4].

Pagal projektavimo normas ir rekomendacijas [2, 4] gniuždomo mūro stipris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f = A f_b \left(1 - \frac{a}{b + f_m / 2 f_b} \right) \eta, \quad (7)$$

f_b ir f_m – atitinkamai akmenų ir skiedinio gniuždymo stipriai (MPa); a ir b – empiriniai koeficientai, taikomi atsižvelgiant į mūro rūšį; A – koeficientas, kuriuo įvertinamas akmenų stipris, jų dydis, forma ir kiti veiksniai.

Tačiau taikant šią gniuždomo mūro stiprio apskaičiavimo metodiką neatsižvelgiama į horizontaliųjų siūlių storio įtaką ir laikoma, kad siūlių storis $t_m = 10\text{--}12$ mm.

Plonų horizontaliųjų siūlių įtaka gniuždomo mūro stipriui yra mažesnė. Šis veiksnys yra įvertinamas Euronormose [3]. Charakteringasis gniuždymo stipris apskaičiuojamas įvertinant ne tik skiedinio stiprį, bet ir horizontaliųjų siūlių storį. Kai šios siūlės yra įprastinio storio ($t_m > 3$ mm), centriškai gniuždomo mūro charakteringasis stipris

$$f_k = K f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}, \quad (8)$$

K – koeficientas, kuriuo įvertinamas mūro tipas priklausomai nuo blokelių formos, jų matmenų, vertikalinių siūlių skiedinio ir kitų veiksnių, kinta nuo 0,60 iki 0,40.

Priklausomybė (8) galioja mūriniams su įprastiniu skiediniu, kurio stipris $f_m < 20$ MPa ir $f_m < 2f_b$. Mūro su plonomis horizontaliosiomis siūlėmis ($t_m < 3$ mm) gniuždymo stipris gali būti apskaičiuojamas taip:

$$f_k = 0,8 f_b^{0,85}. \quad (9)$$

Kita labai svarbi mūro savybių charakteristika – tamprumo modulis, kuriam apskaičiuoti taip pat nėra metodikos [1–4, 7]. Mūro tamprumo modulis taip pat priklauso nuo daugelio veiksnių, pavyzdžiui, nuo blokelių bei siūlių matmenų. Tačiau mūsų ir kitų autorių tyrimų analizė parodė, kad galima taikyti tokią bendrą formulę tamprumo moduliui apskaičiuoti:

$$E_m = \alpha f_k. \quad (10)$$

α – koeficientas, kuriuo įvertinamos mūro tamprumo savybės priklausomai nuo blokelių ar plytų formos, medžiagų tipo ir kt. Remiantis daugelio autorių ir projektavimo normų pasiūlymais [1–3, 6, 7], mūro tamprumo charakteristika kinta nuo 350 iki 1500. Euronormos [3] šią charakteristiką siūlo imti 650 naudojant silikatinius

ir betoninius autoklavinio kietinimo blokelius, ir 1000 – visų kitų tipų mūrą. Pagal normas [2] priklausomai nuo blokelių tipo ir skiedinio stiprumo – $\alpha=350\text{--}1000$. Tačiau nėra duomenų apie blokelių tuštymėtumo įtaką deformatyvumui. Tamprumo modulio E nustatymo metodų analizė rodo, kad to paties tipo mūro deformacijų modulis gali skirtis iki 30%.

3. Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų analizė

Buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai su tuštymėtu betoninių ir silikatinių blokelių mūro bandiniais, naudojant skirtingus skiedinius. Bandinių pagrindinės charakteristikos ir tyrimo rezultatai pateikti 1 ir 2 lentelėse.

Remiantis mūsų pasiūlymais [5] ir atlikta analize, mūro tamprumo charakteristiką galima apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$\alpha = \frac{1}{2f_k} \left(E_b \delta_b + E_m \delta_m + \frac{E_b E_m}{E_m \delta_b + E_b \delta_m} \right). \quad (11)$$

E_b ir E_m – blokelių ir siūlių skiedinio tamprumo moduliai; d_b ir d_m – blokelių ir siūlių santykinis aukštis ir storis:

$$\delta_b = \frac{h_b}{h_b + t_m}, \quad \delta_m = \frac{t_m}{h_b + t_m}; \quad \delta_b + \delta_m = 1.$$

Reikia pažymėti, kad, skirtingai nuo normų [2, 3] siūlymų, (11) formulėje įvertinamas ne tik mūro stiprumas, bet ir blokelių deformacinės savybės ir jų aukštis, taip pat siūlių skiedinio savybės ir jų storis. Šie veiksniai, kaip parodė mūsų eksperimentiniai tyrimai, turi didelę įtaką mūro deformacinėms savybėms.

Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad betoninių blokelių mūro gniuždymo stiprumas, apskaičiuotas pagal Euronormas [3], yra mažesnis negu pagal [2]. Tačiau silikatinių blokelių mūro stiprumas pagal [3] yra gerokai didesnis (beveik 1,5 karto) ir viršija eksperimentines reikšmes. Vadinas, nustatant mūro iš silikatinių blokelių gniuždymo stiprio reikšmes, reikia vadovautis SNiT [2]. Tai galima paaiškinti tuo, kad (9) formulėje pagrindinis veiksnys yra tik blokelių gniuždymo stipris ir

1 lentelė. Bandinių pagrindinės charakteristikos

Table 1. Main characteristics of specimens

Bandinio šifras	Betono bloko tuštymėtumas, %	Bandinio matmenys, mm	Bandinio aukštis, mm	Skiedinio tipas	Vidutinis horizontalių siūlių storis t, mm	Vidutinis bloko gniuždymo betono stipris f_b , MPa	Gniuždomo skiedinio stipris f_m , MPa	Bloko betono tamprumo modulis $E_b \times 10^{-3}$, MPa	Skiedinio tamprumo modulis $E_m \times 10^{-3}$, MPa
B1		240×364	980	cementinis smėlio	8,5	26,6	4,65	8,98	–
B2	32,5	240×364	980	"	10,0	26,6	3,09	"	–
B3		241×365	980	"	10,4	26,6	12,78	"	–
S1	28	150×680	800	smulkiagrūdis	2,0	16,7	8,93	5,05	6,44
S2		150×680	800	"	2,0	16,7	8,6	5,05	5,08

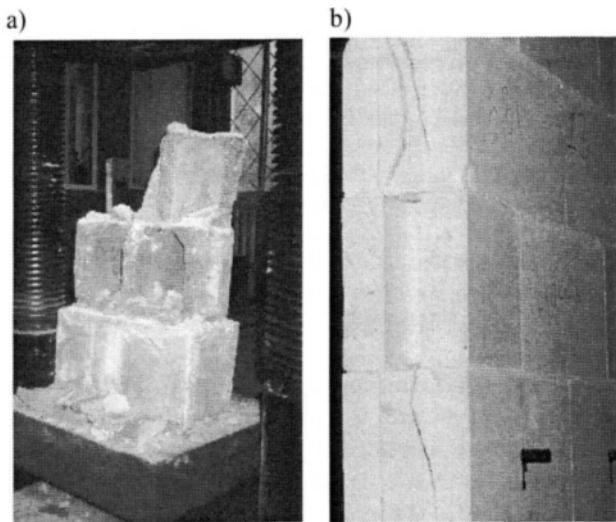
Pastaba: B – smulkiagrūdžio betono blokai; S – silikatinio betono blokai

2 lentelė. Gniuždomųjų mūrinių elementų tyrimo rezultatai

Table 2. Experimental results of compressed masonry members

Bandinio šifras	Vidutinis gniuždomo mūro stipris f_{obs} , MPa	Gniuždomo mūro vidutinis tamprumo modulis $E_m \times 10^{-3}$, MPa	Mūro tamprumo charakteristika, a_{obs}	Gniuždomo mūro stipris f_{cal} , MPa, apskaičiuotas pagal		Stiprių palyginimas f_{obs}/f_{cal}	
				SNiT [2]	LSTENV1996-1 [3]	SNiT [2]	LSTENV1996-1 [3]
B1	7,69	8,69	1130	7,34	6,2	1,05	1,24
B2	7,91	8,70	1221	6,96	5,6	1,14	1,4
B3	11,5	15,9	1387	8,65	8,0	1,33	1,44
S1	7,41	3,90	532	5,78	8,76	1,28	0,85
S2	7,66	3,64	475	5,38	8,76	1,42	0,87

neįvertinami kiti veiksniai. Analizė parodė, kad mūrai iš silikatinių blokelių daugiau neigiamos įtakos turi tuštymėtumas bei jų forma. Tai rodo ir gniuždomų elementų suirimo pobūdis (2 pav.). Mūsų tyrimai, atlikti taikant standartų metodiką, parodė, kad beveik visi tokio mūro elementai suyra plintant vertikaliems plyšiams (2 pav.).



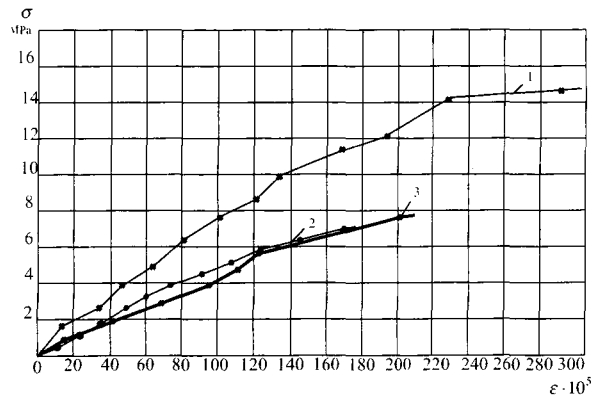
2 pav. Gniuždomo mūro iš tuštymėtų blokelių suirimo pobūdis: a – betoninis, b – silikatinis

Fig 2. Character of failure of compressed masonry from hollow blocks: a – concrete, b – calcium silicate

Silikatinių blokelių mūro bandiniai pradėdavo irti atsiradus vertikaliems plyšiams, kertantiems skersines tuštųjų sienelių, betoninių blokelių mūro – beveik vienodai visomis kryptimis. Vadinasi, silikatinių blokelių sienelių gniuždymo stipris išnaudojamas nevienodai – suirimas įvyksta dėl nepakankamo skersinių sienelių stiprumo.

Deformacinių savybių tyrimo rezultatai (2 lentelė) taip pat rodo, kad beveik vienodo stiprio betoninio mūro deformacijų modulis yra daugiau kaip dvigubai didesnis negu silikatinių blokelių. Vadinasi, veikiant tai pačiai apkrovai, silikatinių blokelių mūras daugiau deformuojasi ir tai reikia įvertinti mūrijant kompleksines (sluoksniuotąsias) konstrukcijas. Kokios didelės mūro iš silikatinių blokelių deformacijos, matyti iš 3 paveikslo pateikto grafiko.

Tyrimai taip pat parodė, kad deformacijų modulis labai priklauso nuo siūlių skiedinio deformacijų moduliui ir jų storio. Kai siūlės plonesnės, mūro deformacijų modulis didesnis ir jo reikšmės tampa artimos blokelių deformacijų moduliui. Tai galima paaiškinti tuo, kad



3 pav. Silikatinių blokelių (1), skiedinio (2) ir mūro iš jų (3) deformacijų įtempimų tarpusavio priklausomybė (sąryšis)

Fig 3. Relationships between strain and stress for calcium silicate blocks (1), mortar (2) and masonry of them (3)

plonesnėms siūlėms yra naudojami smulkesni skiedinio užpildai (smėlis) ir dėl to kontakto zonoje (siūlėje) susidaro mažesnė įtempimų koncentracija ir mūras mažiau deformuojasi.

4. Išvados

1. Nėra metodikos mūro iš tuštymėtų betoninių ir silikatinių blokelių gniuždymo stiprumui ir deformacijų moduliui nustatyti.

2. Teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai parodė, kad skersine kryptimi atsiradę horizontalūs tempimo įtempimai nuo vertikaliųjų apkrovų turi didelės įtakos blokelių mūro suirimo pobūdžiui ir stiprumui.

3. Parenkant blokelių tuštymėtumą ir skersines sienelles tarp tuštymėtu, reikia įvertinti pastarųjų tempimo stiprumą horizontalia kryptimi, t. y. išlaikyti sąlygą $\sigma_{bx} = \sigma_{bz}$.

4. Centriškai gniuždomo mūro stiprumo reikšmių, apskaičiuotų pagal galiojančius norminius dokumentus [2, 3], nuokrypos skiriasi nuo eksperimentinių rezultatų. Betoninių blokelių mūrai [2] jos yra mažesnės, kaip apskaičiuota pagal [3], o silikatinių blokelių mūrai – atvirkščiai. Pagal [3] apskaičiuotas mūro iš silikatinių blokelių stipris yra didesnis už eksperimentinį.

5. Mūro iš silikatinių blokelių deformacijų modulis yra mažesnis už tokio pat stiprumo mūro iš betoninių blokelių deformacijų modulį. Skirtingais skaičiavimo metodais apskaičiuotos deformacijų modulių reikšmės yra skirtingos. Geriausiai eksperimentines reikšmes atitinka tamprumo moduliai, apskaičiuoti pagal [2] metodiką arba taikant pasiūlytą (11) formulę.

6. Parenkant naujus tuštymėtų blokelių mūriui ti-
pus ir nustatant jų projektines charakteristikas rekomen-
duojama imti vidutines reikšmes, nustatytas pagal ga-
lijančias normas [2, 3], ir įvertinti tuštymėjų formos ir
dydžio įtaką blokelių tempimo stiprumui skersine lin-
kme, kuris atsiranda nuo vertikaliųjų apkrovų. Tempimo
įtempimai nustatomi pagal (6) formulę ir jie neturi
viršyti blokelių medžiagos stiprų tempimui.

Literatūra

1. A. W. Hendry. Structural Masonry. London, 1990. 283 p.
2. Строительные нормы и правила. СНиП П-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Москва: Стройиздат, 1983. 38 с.
3. Eurocode 6. Design of Masonry Structures. Part 1-1: General rules for Buildings. Brussels, European Committee for Standardization, 1994. 210 p.
4. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций. Москва: Центральный институт типового проектирования, 1988. 149 с.
5. G. Marčiukaitis. Sluoksniuotųjų sienų iš mažagabaričių dirbinių skaičiavimas. Vilnius: Technika, 1994. 67 p.
6. С. В. Поляков. Длительное сжатие кирпичной кладки. Научное сообщение. Вып. 1. Москва: Стройиздат, 1959. 182 с.
7. C. T. Grimm. Strength and Related Properties of Brick Masonry // Journal of the Structural Division. Vol 101, No ST1, 1975, p. 217–232.
8. G. Marčiukaitis, A. Naujokaitis. Kompozitiniai statybiniai dirbiniai gyvenamajai statybai // 3-iosios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“ straipsniai. Vilnius: Technika, 1993, p. 369–375.
9. G. Marčiukaitis, A. Naujokaitis. Dirbiniai iš pjuvenų betono ir jų panaudojimas konstrukciniams elementams // 4-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1995 m. gegužės 10–13 d., straipsniai. Vilnius: Technika, 1995, p. 128–133.

Įteikta 2001 09 17

PECULIARITIES OF STRUCTURAL PROPERTIES OF MASONRY FROM HOLLOW BLOCK UNITS AND THEIR ESTIMATION

B. Jonaitis, G. Marčiukaitis, V. Papinigis, J. Valivonis

Summary

Performed analyses of investigations have shown that properties of masonry from hollow blocks depend on many factors, and on material type and shape of the blocks including.

But there is no unified method for determining the main structural properties – the compressive strength and modulus of elasticity. Theoretical investigations into masonry from hollow blocks and analysis of character of failure have shown that horizontal stress due to vertical loads has great influence on the strength of such masonry. The failure is initiated by vertical cracks crossing transverse webs. Values of strengths of concentrically compressed masonry calculated according to codes [2, 3] lead to different deviations from experimental results. Lower deviations for masonry of blocks are obtained according to [2] than according to [3]. Strength of masonry of calcium silicate blocks calculated by [3] is greater than that determined by experiments. Modulus of elasticity of such type masonry is lower than that of the same strength masonry from concrete blocks. Different calculation methods give different values of deformation modulus. The best agreement with experimental values of modulus of elasticity is given by the calculation method [2]. For selection types of hollow blocks for masonry and determination of design characteristics it is recommended to take average values determined by operating codes [2, 3] and to evaluate influence of shape and size of hollows on transverse tensile strength of blocks.

.....
Bronius JONAITIS. Doctor, Associate Professor. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040, Vilnius, Lithuania. E-mail: gelz@st.vtu.lt

Doctor (1985). Author of over 45 publications, 3 patented inventions. Research interests: theory of reinforced concrete behaviour, composite structures, strengthening of structures.

.....
Gediminas MARČIUKAITIS. Professor, Doctor Habil, Head of Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040, Vilnius, Lithuania. E-mail: gelz@st.vtu.lt

PhD (Kaunas Polytechnical Institute, 1963). Research visit to the University of Illinois (1969). Doctor Habil (1980) at Moscow Civil Engineering University, Professor (1982). Author and co-author of 5 monographs, 3 text-books and about 280 scientific articles. Research interests: mechanics of reinforced concrete, masonry and layered structures, new composite materials, investigation and renovation of buildings.

.....
Vytautas PAPINIGIS. Doctor, Associate Professor. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040, Vilnius, Lithuania. E-mail: gelz@st.vtu.lt

Doctor (1982). Author of over 40 publications. Research interests: theory of reinforced concrete behaviour, composite structures, strengthening of structures.

.....
Juozas VALIVONIS. Doctor, Associate Professor. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040, Vilnius, Lithuania. E-mail: gelz@st.vtu.lt

Doctor (1986). Author of over 53 publications, 2 patented inventions. Research interests: theory of reinforced concrete behaviour, composite structures, reinforced concrete bridges.