

SHRINKAGE INFLUENCE ON STRESS-STRAIN STATE OF COMPOSITE MASONRY MEMBERS

G. Marčiukaitis

To cite this article: G. Marčiukaitis (2001) SHRINKAGE INFLUENCE ON STRESS-STRAIN STATE OF COMPOSITE MASONRY MEMBERS, *Statyba*, 7:3, 177-183, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531721](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531721)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531721>



Published online: 30 Jul 2012.



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



Article views: 99

SUSITRAUKIMO DEFORMACIJŲ ĮTAKA KOMPLEKSINIŲ MŪRO ELEMENTŲ ĮTEMPIŲ IR DEFORMACIJŲ BŪVIUI

G. Marčiukaitis

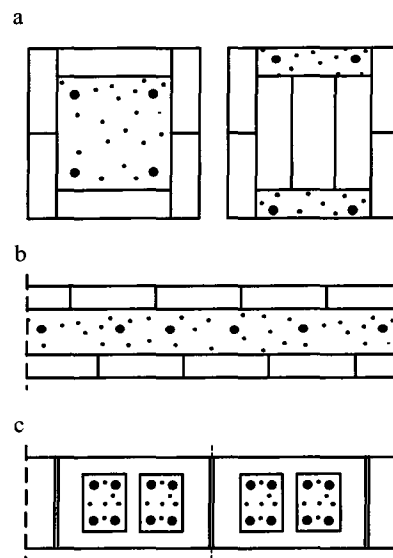
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Kompleksiniais mūriniais yra vadinami mūriniai, sudaryti iš mūro ir gelžbetonio arba betono.

Gelžbetonis gali būti išdėstomas kompleksinio elemento skerspjūvio viduje, išorėje arba, jeigu mūrinys yra iš tuštymėtų blokelių, – jų tuštumose (1 pav.). Kompleksiniai mūriniai vis plačiau taikomi įvairių tipų konstrukcijose. Tam yra gaminami specialūs keraminiai ir betoniniai blokeliai, į kurių tuštumas arba įpjovas yra dedama armatūra ir likusi erdvė užbetonuojama. Pagal veikiančias normas tokios konstrukcijos yra skaičiuojamos skerspjūvių redukavimo metodu. Tačiau pagal šį metodą neįvertinamas deformacijų suderinamumas. Įvairių literatūros duomenų [1–4] ir projektavimo normų [5–7] nurodymų palyginimas ir analizė rodo, kad mūro deformatyvumas labai skiriasi nuo betono ir gelžbetonio, tačiau nenurodoma, kaip tai įvertinti atliekant skaičiavimus. Antra vertus, praktiškai neįmanoma pasiekti, kad būtų suderintos, t. y. vienodos tokios svarbios šių dviejų skirtingų medžiagų deformacinės savybės, kaip susitraukimas bei valkšnumas, kurios turi didelę įtaką kompleksinio ir sluoksniuotojo mūrinio pradiniam įtempimui ir deformacijų būviui ir bendram sluoksnių darbui. Reikia pažymėti, kad mūrinių ir kartu kompleksinių konstrukcijų gyvavimo stadijų tyrimai mūsų šalyje jau beveik neatliekami. Paskutinis didesnis darbas, kuriame yra pateikiami kai kurie įvairių šalių autorių atlikti tyrimai, yra prof. A. Rozenbliumo darbai [3]. Juose nurodoma, kad egzistuoja skirtingas kompleksinio mūro komponentų (mūro ir gelžbetonio) deformavimasis (susitraukimas, ribinės gniuždymo deformacijos), tačiau nėra duomenų, kaip analitiškai ir praktiškai juos suderinti kompleksiniame mūrinyje. Tai rodo, kad nebuvo atliekami išsamesni nei teoriniai, nei eksperimentiniai tyrimai su įvairių tipų kompleksiniais mūriniais.

Nebuvo skelbta panašių tyrimų rezultatų ir kitose šalyse, nors eksperimentais įrodyta, kad nuo mūro dirbinių ir jų savybių priklauso mūro traukiamasis ir pleišėjimas [8, 9].



1 pav. Kompleksinių mūrinių schemas: a – kolonų, kai gelžbetonis skerspjūvio viduje ir išorėje; b – gelžbetonis mūro sienų viduje; c – gelžbetonis blokelių tuštumose

Fig 1. Composite masonry: a – columns with reinforced concrete inside and outside the cross-section; b – reinforced concrete inside of masonry walls; c – reinforced concrete inside the openings of blocks

Praktika rodo, kad skirtingos mūro ir gelžbetonio (betono) susitraukimo deformacijos šiose medžiagose sukelia pradinis įtempimus, kurie turi įtakos atskirų sluoksnių ir viso skerspjūvio bendram darbui. Dėl to sumažėja sukibimas tarp mūro ir gelžbetonio ar betono sluoksnių, mūro sluoksnyje (sienose) gali atsirasti net plyšių [4, 8] arba jis gali pirma laiko išklupti. Todėl, norint tiksliai įvertinti tokių kompleksinių konstrukcijų būvį jas apkrovus, reikia žinoti pradinį įtempimų ir

deformacijų būvį esant skirtingam medžiagų ir sluoksnių iš jų susitraukimui. Tačiau tokių tyrimų beveik nėra. Be to, trūksta duomenų apie mūro ir gelžbetonio susitraukimo deformacijas bei jų pobūdį, kai jie vienas su kitu yra sukibę.

2. Mūro ir gelžbetonio laisvųjų susitraukimo deformacijų nustatymas ir palyginimas

Mūro ir betono bei gelžbetonio susitraukimas priklauso nuo daugelio veiksnių, kuriuos sudėtinga tiksliai įvertinti. Tačiau, kaip rodo daugelio įvairių autorių ir mūsų atlikti tyrimai [1, 2, 4, 8], mūro susitraukimo deformacijoms daugiausia įtakos turi mūru naudojamų dirbinių medžiagos tipas (keramika, silikatas, betonas ir pan.), jų matmenys, mūro siūlių skiedinio tipas (cementinis, kalkių, mišrus) bei siūlių storis. Įvairių duomenų analizė rodo, kad mūro susitraukimo dydžiui ir pobūdžiui daugiausia įtakos turi drėkimo procesai, vykstantys tarp vandens turinčio skiedinio ir mūro dirbinio, kurio pradinis drėgnis būna daug mažesnis. Apskritai mūro susitraukimas – tai siūlės skiedinio ir mūro dirbinio susitraukimas. Antra vertus, siūlės skiedinio susitraukimas susideda iš jo nusėdimo kietėjimo pradžioje, iš susitraukimo, vykstant fiziniams ir cheminiams procesams kietėjančiame skiedinyje, ir drėgminio susitraukimo arba išsiplėtimo. Skiedinio susitraukimą skersine kryptimi varžo daug mažiau besitraukiantys mūro dirbiniai. Tai sukelia šlyties įtempimus dirbinio ir siūlės kontakto plokštumoje. Tačiau mūro vertikaliam susitraukimui tai neturi daug įtakos. Kaip ir betonui [10–14], mūro susitraukimui, esant to paties tipo dirbiniams, įtakos turi skiedinio drėgmės netekimas. Tačiau laisvasis vanduo (drėgmė) iš skiedinio tuoj po jo padėjimo į siūlę yra mūro dirbinių sugeriamas ir tuo pagreitina susitraukimas. Tai yra pagrindinis skirtumas tarp laisvo skiedinio susitraukimo pobūdžio, kuris panašus į betono susitraukimą, ir skiedinio, esančio tarp mūro dirbinių (siūlėse). Vandens ištraukimas iš skiedinio ir kartu skiedinio susitraukimas priklauso nuo skiedinio tipo, t. y. jo sugebėjimo sulaikyti drėgmę (vandenį) ir mūro dirbinių tipo, jų struktūros, pradinio drėgnio ir pan. Antra vertus, skiedinys, perduodamas savo drėgnį dirbiniams, didina jų drėgnį ir jie pradeda plėstis. Vadinasi, galima laikyti, kad, kiek skiedinys netekdamas drėgnio susitraukia, tiek dėl papildomos drėgmės iš skiedinio mūro dirbiniai santykinai išsiplėčia. Tai patvirtina daugelio

autorių duomenų analizė [2, 15]. Įrodyta, kad betono ir kartu skiedinio susitraukimas tiesiogiai priklauso nuo aplinkos drėgnio ir taip pat vidinio drėgnio pokyčio, t. y.

$$\varepsilon_{sh} = \beta_{sh}(u_0 - u_1), \quad (1)$$

u_0 ir u_1 – pradinis santykinis drėgnis ir santykinis drėgnis po tam tikro laiko; β_{sh} – koeficientas, priklausantis nuo viso atitinkamo elemento (siūlės dirbinio) V tūrio ir jo kietosios fazės V_1 tūrio, gali būti nustatomas pagal tokią formulę [16]:

$$\beta_{sh} = \frac{1}{3} \frac{V}{V_1}, \quad (2)$$

β_{sh} koeficientas yra vadinamas ir linijinio susitraukimo koeficientu. Tyrimai ir įvairių autorių duomenų analizė parodė, kad šis koeficientas cementiniam skiediniui

gali būti imamas kaip ir betonui $0,03 \frac{\text{mm/mm}}{\text{g/g}}$, o miš-

riam (cemento ir kalkių) $0,024 \frac{\text{mm/mm}}{\text{g/g}}$, nes šis skie-

dinys labai sulaiko vandenį. Tyrimai rodo, kad mūru naudojamų medžiagų susitraukimo ir išsiplėtimo pobūdis nėra vienodas, tačiau ribinės absoliutinės jų reikšmės beveik vienodos. Vadinasi, pasinaudojus kompozitų teorijos mišinio dėsniumi, galima užrašyti:

$$\varepsilon_{sh,m}(t) = \delta_{mor} \varepsilon_{sh,mor}(t) + \delta_{un} \varepsilon_{sh,un}(t), \quad (3)$$

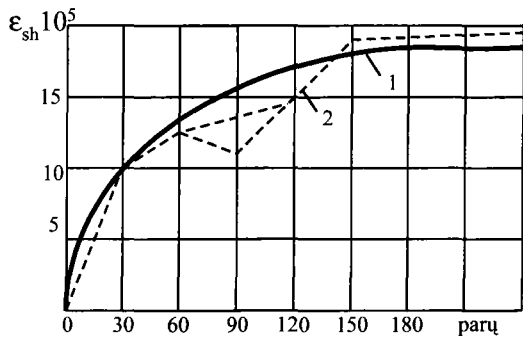
$\varepsilon_{sh,m}(t)$ – mūro vertikaliosios susitraukimo deformacijos bet kuriam t laikui; $\varepsilon_{sh,mor}(t)$, $\varepsilon_{sh,un}(t)$ – siūlės skiedinio ir mūro ir dirbinių susitraukimo deformacijos

tuo pačiu metu; δ_{mor} – santykiniai siūlės $\left(\frac{h_j}{h_j + h_{un}} \right)$

ir mūro dirbinio (plytos, bloklio) aukščiai $\left(\frac{h_{un}}{h_j + h_{un}} \right) \cdot \delta_{mor} + \delta_{un} = 1$.

(3) formulės analizė rodo, kad, žinant mūro eilių aukščius (ir siūlės storį) ir medžiagų susitraukimo deformacijas, galima apskaičiuoti mūro vertikaliasias susitraukimo deformacijas.

Tačiau literatūroje mažai sutinkama duomenų apie mūru naudojamų medžiagų susitraukimo deformacijas. Remiantis tyrimų rezultatais pagal (3) formulę [2] buvo apskaičiuotos mūro susitraukimo deformacijos. Palyginus šiuos duomenis, matyti, kad mūro deformacijos, apskaičiuotos pagal (3) formulę, duoda pakankamai tikslūs rezultatus (2 pav.).



2 pav. Mūro susitraukimo deformacijos: 1 – apskaičiuotos pagal (3) formulę; 2 – eksperimentinės [2], apskaičiuojant pagal (1) formulę, medžiagų $\epsilon_{sh}(t)$ imtos iš [2]

Fig 2. Masonry shrinkage deformations: 1 – calculated according to eq. (3); 2 – experimental. Calculated according to eq. (1), where $\epsilon_{sh}(t)$ is taken from [2]

Kaip rodo mūsų atlikta analizė [4], mūro susitraukimo deformacijų kitimą per laiką galima aprašyti tokia priklausomybe:

$$\epsilon_{sh,m}(t) = \epsilon_{sh,0} (1 - e^{-bt}), \quad (4)$$

$\epsilon_{sh,0}$ – ribinės susitraukimo deformacijos; t – laikas; b – koeficientas, priklausantis nuo mūro dirbinių; praktiškai skaičiuojant galima imti tokias jo reikšmes:

- keraminių plytų mūriui – 0,035;
- keraminių blokelių – 0,040;
- silikatinių plytų ir blokelių mūriui – 0,020;
- betoninių blokelių mūriui – 0,025.

Ribinės mūro susitraukimo deformacijos daugeliui mūrų yra beveik vienodos ir lygios $\epsilon_{sh,0} = 20 \cdot 10^{-5}$, išskyrus mūrius iš keraminių dirbinių, kuriam jos gali būti ir priešingo ženklo, t. y. nesitraukia, o plečiasi dėl gaunamos drėgmės [1, 2, 7].

Iš 2 paveikslu matyti, kad mūro susitraukimo deformacijos labiau didėja pirmosiomis dienomis ir per 30 parų pasiekia beveik pusę ribinių deformacijų dydžio. Analizė rodo [4, 12, 15], kad (4) formule galima aprašyti ir betono susitraukimo deformacijų kitimo pobūdį. Tačiau jo ribinės susitraukimo deformacijos $\epsilon_{sh,0}$ ir koeficientas b yra kitokie negu mūro. Literatūroje pateikti jų duomenys yra labiau apibendrinti ir pagrįsti. Tačiau, kaip rodo tyrimai ir sukaupytų duomenų analizė [10–12], ribinės betono susitraukimo deformacijos ir jų pobūdis taip pat priklauso nuo daugelio veiksnių. Todėl b koeficiento (4) formulėje nustatymas turi būti pagrįstas eksperimentais. Euronormos [11, 17]

rekomenduoja betono susitraukimo ribines deformacijas imti priklausomai nuo elemento dydžio (skerspjūvio plotas A_c ir perimetro u santykio) ir aplinkos drėgmės. Kompleksiniuose mūriniuose $2A_c/u = h \leq 150$, kai aplinkos santykinis drėgnis 50% – $\epsilon_{sh,0} = 60 \cdot 10^{-5}$, kai 80% ir daugiau – $\epsilon_{sh} = 33 \cdot 10^{-6}$.

Tačiau kompleksiniame mūrinyje betono sluoksnis yra aplinkoje, kurios santykinis drėgnis dažniausiai yra ne didesnis kaip 50% (mūro dirbiniai – plytos, blokeliai ir pan.). Mūras traukia iš betono laisvąjį vandenį ir tuo padidina jo susitraukimo deformacijas.

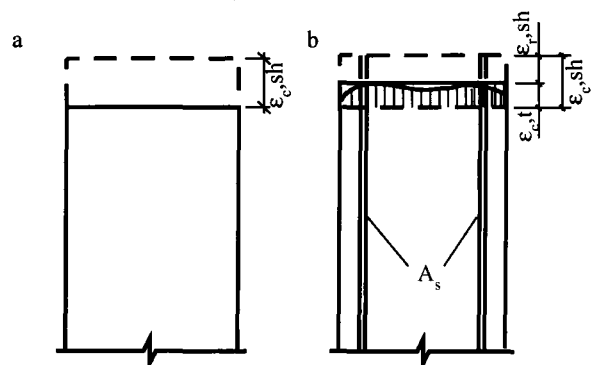
Analizė parodė, kad betono sluoksnio susitraukimo deformacijos yra 3–4 kartus didesnės už mūro susitraukimo deformacijas. Kadangi technologiškai mūrijimas ir betonavimas vyksta beveik vienu metu, mūro dirbiniai (plytos, blokeliai ir pan.) traukia drėgmę iš betono, mūro susitraukimo deformacijos sumažėja, o betono – padidėja.

Neturint b koeficiento (4) formulėje reikšmių, betono susitraukimo kitimą laikui bėgant galima apskaičiuoti pagal formulę, kuri gauta remiantis euronormomis [7, 15]:

$$\epsilon_{sh,c}(t) = \epsilon_{sh,0} \left[\frac{t/t_1}{350(h/h_0)^2 + t/t_1} \right]^{0,5}, \quad (5)$$

t – susitraukimo deformacijų vystymosi laikas dienomis; t_1 – 1 diena; $h = \frac{2A_c}{u}$; $h_0 = 100$ mm.

Tačiau daugeliu atveju kompleksinių mūrinių betono komponentas yra armuojamas. Armatūra varžo jo laisvąjį susitraukimą ir kartu sumažina bendrąsias jo susitraukimo deformacijas (3 pav.).



3 pav. Nearmuotojo (a) ir armuotojo (b) betono susitraukimo schemas, naudojamos daugelio autorių tyrimuose

Fig 3. Shrinkage diagrams of non-reinforced (a) and reinforced (b) concrete used in experiments by most authors

Kaip matyti iš 3 paveikslo schemų, armuotojo betono susitraukimo deformacijos $\epsilon_{r,sh}$ yra mažesnės už nearmuotojo $\epsilon_{c,sh}$. Armuotame betone atsiranda tempimo deformacijos $\epsilon_{c,t}$. Taigi armuotojo betono susitraukimo deformacijos analogiškai bus:

$$\epsilon_{r,sh} = \epsilon_{c,sh} - \epsilon_{c,t}. \quad (6)$$

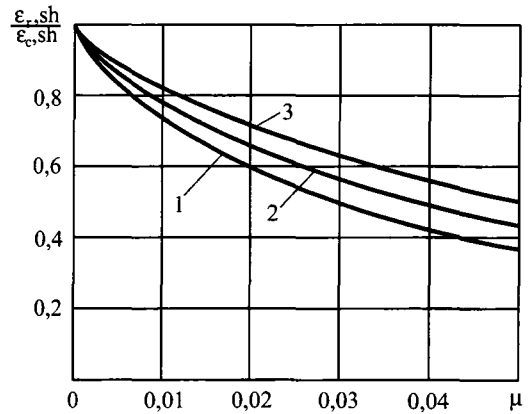
Laikant, kad armuotojo betono susitraukimo deformacijos lygios armatūros gniuždymo nuo betono suspaudimo tampriosioms deformacijoms $\left(\epsilon_{r,sh} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{\sigma_{c,t}}{\mu E_s}; \epsilon_{c,t} = \frac{\sigma_{c,t}}{E_{c,t}} \right)$ ir į (6) formulę įrašius deformacijų reikšmes bei atlikus atitinkamus pertvarkymus, gaunama:

$$\epsilon_{r,sh} = \epsilon_{c,sh} \left(\frac{\nu_t E_c}{\nu_t E_c + \mu E_s} \right). \quad (7)$$

σ_s – gniuždymo įtempiai armatūroje; $\sigma_{c,t}$ – tempimo įtempiai betone; μ – armavimo koeficientas $\mu = A/A_s$; E_s – armatūros deformacijų modulis; ν_t – betono tempriai plastinių deformacijų koeficientas tempiant (jis kinta nuo 1 iki 0,15, praktiškai galima laikyti, kad jis lygus 0,5).

Ši formulė analogiška daugelio kitų autorių, nagrinėjančių armuotojo betono susitraukimo įtaką įtempimų būviui, formulėms.

Esant vidiniams įtempiams betone ir armatūroje, pasireiškia valkšnumo deformacijos, kurios turi įtakos armuotojo betono susitraukimui. Be to, kinta betono stipris ir deformacijų modulis. Tačiau, kaip rodo tyrimai [12], betono deformacijų modulio padidėjimas iki dviejų kartų turi nedaug įtakos armuotojo betono susitraukimui, įvertinant jo valkšnumą. Apskritai apskaičiuojant armuotojo betono susitraukimo deformacijas daugelis normatyvinių dokumentų valkšnumo įtakos neįvertina [12]. Daugiausia įtakos turi armatūros kiekis, t. y. armavimo koeficientas μ , taip pat betono ir armatūros deformacijų modulių santykis $\frac{E_s}{E_c}$ (4 pav.). Kai $\mu=0,01$, susitraukimo deformacijos vidutiniškai sumažėja 20%. Beveik perpus sumažėja, kai $\mu=0,3$. Vadinasi, galima parinkti tokią betono klasę ir jai atitinkantį tamprumo modulį arba armavimo koeficientą, kad mūro ir gelžbetonio susitraukimo deformacijos būtų vienodos arba artimos.



4 pav. Armavimo μ koeficiento ir deformacijų modulių E_s/E_c įtaka betono susitraukimui: 1 – $E_s/E_c=10$; 2 – 8; 3 – 6

Fig 4. Reinforced ratio (μ) and modulus ratio E_s/E_c influence on shrinkage of concrete: 1 – $E_s/E_c=10$; 2 – 8; 3 – 6

3. Įtempimų ir deformacijų būviai dėl skirtingo susitraukimo ir jų apskaičiavimas

Kaip buvo nurodyta, mūras ir gelžbetonis arba betonas traukiasi skirtingai. Todėl viename iš komponentų gali atsirasti gniuždymo, kitame tempimo įtempiai. Tempimo įtempiai atsiras komponente, kurio susitraukimo deformacijos yra didesnės, panašiai kaip ir pavaizduotos 3 paveikslo schemoje. Vadinasi, galimi trys įtempimų būviai:

1 – jeigu mūro ir gelžbetonio susitraukimo deformacijos yra vienodos, įtempimų kompleksiniame mūre dėl susitraukimo nebus;

2 – jeigu mūro susitraukimo deformacijos yra mažesnės negu betono arba gelžbetonio, tai mūre atsiras gniuždymo įtempimai, o betone (arba gelžbetonyje) – tempimo;

3 – jeigu mūro susitraukimo deformacijos yra didesnės, mūre atsiras tempimo įtempimai, o betone arba gelžbetonyje – gniuždymo.

Įtempius sluoksniuose galima apskaičiuoti iš pusiausvyros sąlygos, t. y. iš susitraukimo įtempių sluoksniuose tarpusavio pusiausvyros sąlygos.

Kai yra ryšys tarp mūro ir betono ar gelžbetonio sluoksnių, jie deformuojasi vienodai [18, 19]:

$$\epsilon_c(t) = \epsilon_{r,c}(t) = \epsilon_m(t) \quad (8)$$

arba

$$\epsilon_{r,c}(t) - \epsilon_m(t) = 0. \quad (9)$$

Įtempių ir dėl jų atsiradusių įrašų pusiausvyros sąlyga bus:

$$\varepsilon_1(t)E_1A_1 - [\varepsilon_2(t) - \varepsilon_1(t)]E_2A_2 = 0. \quad (10)$$

$\varepsilon_1(t)E_1A_1$ – mažiau besitraukiančio komponento gniuždymo deformacijos modulis ir skerspjūvio plotas; $\varepsilon_2(t); E_2; A_2$ – daugiau besitraukiančio komponento susitraukimo deformacijos, jo deformacijų modulis ir plotas.

Iš (10) lygties gauname:

$$\varepsilon_1(t) = \varepsilon_2(t) \frac{E_2A_2}{E_1A_1 + E_2A_2}. \quad (11)$$

Mažiau besitraukiančiame sluoksnyje atsiradę gniuždymo įtempiai praktiškai neviršija sąlyginės tamprumo ribos. Tuomet iš (11) formulės gauname:

$$\sigma_1(t) = \varepsilon_2(t)E_1 \frac{E_2A_2}{E_1A_1 + E_2A_2}. \quad (12)$$

Vidutiniai tempimo įtempiai labiau besitraukiančiame sluoksnyje bus:

$$\sigma_2(t) = \varepsilon_2(t)E_1 \frac{A_1}{A_2} \frac{E_2A_2}{E_1A_1 + E_2A_2}. \quad (13)$$

Apskaičiuojant įtempius pagal (12) ir (13) formules reikia žinoti ne tik vieno iš sluoksnių susitraukimo deformacijas, bet ir jų tamprumo modulius. Reikia pažymėti, kad susitraukimas vyksta nuo pat mūrijimo pradžios, tačiau, kol nėra visiško sukibimo, visos medžiagos (mūro skiedinys ir betonas) yra takios (plastiškos), jų tamprumo modulio kitimo ir apskritai įtempių atsiradimo kitimo per pirmąsias dienas praktiškai galima neįvertinti. Toliau analizuojant galima laikyti, kad mūro ir gelžbetonio tamprumo moduliai yra pastovūs. Kaip žinoma, normatyviniuose dokumentuose ir apskritai literatūroje gelžbetonio tamprumo ir deformacijų moduliai nepateikiami. Todėl šiuos gelžbetonio modulius $E_{r,c}$ galima apskaičiuoti, žinant betono (E_c) ir armatūros (E_s) modulių reikšmes ir taikant kompozitų teoriją. Kai įrašų veikimo kryptis sutampa su armatūros išdėstymo kryptimi, tai

$$E_{r,c} = E_s \frac{A_s}{A_{r,c}} + E_c \frac{A_c}{A_{r,c}}, \quad (14)$$

A_s, A_c ir $A_{r,c}$ – išilginės armatūros betono ir viso gelžbetoninio elemento skerspjūvio plotai.

Mūro tamprumo ir deformacijų moduliai priklauso

nuo mūro tipo (plytų, blokelių, jų matmenų, skiedinio stiprumo ir kt.), tačiau pagal mūsų šalyje galiojančias normas jis yra nustatomas skirtingai. Pagal SNiT [5, 6]:

$$E_m = \alpha R_m, \quad (15)$$

α – mūro tamprumo charakteristika, kuri priklauso nuo mūro tipo (pateikiama lentelėse).

Pagal euronormas [7]

$$E_m = k \cdot R_m, \quad (16)$$

$R_m = f_k$ – mūro stipris; k – koeficientas, priklausantis nuo mūro dirbinių tipo. Jeigu dirbiniai (plytos, blokėliai) yra silikatiniai arba autoklavinio kietėjimo betoniniai, $k=650$, kitų tipų $k=1000$. Praktiškai tai beveik atitinka ir pagal [5, 6] nustatytas reikšmes, kai skiedinio markė ne mažesnė kaip 10.

Žinant komponentų susitraukimo deformacijų kitimo laikui bėgant reikšmes, nustatomas pagal (4) arba (5) formules, įtempiai komponentuose (sluoksniuose) yra apskaičiuojami pagal (12) ir (13) formules. Šios formulės nusako bendrąjį įtempimų būvio pobūdį. Jų absoliutinės reikšmės kinta dėl įtempių persiskirstymo.

4. Įtempimų ir deformacijų pasiskirstymo sluoksniuose analizė

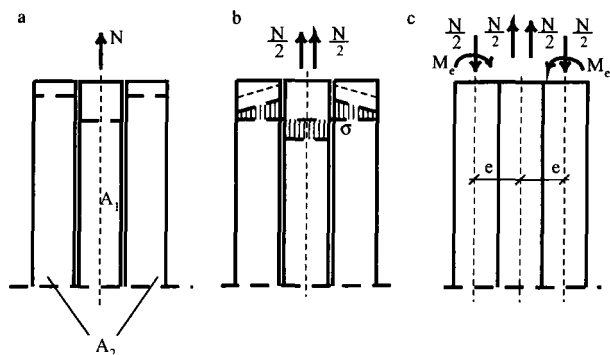
Iš (12)–(14) formulių analizės matyti, kad jose pateiktos atitinkamo komponento (sluoksniu) vidutinės deformacijų ir įtempimų reikšmės. Tačiau vienam sluoksniui traukiantis daugiau, įrašos nuo jo kitam persiduoda per kontakto plokštumą, vadinasi, ne iš karto į visą atitinkamo sluoksniu skerspjūvio plotą. Jeigu imamas simetrinis skerspjūvio elementas (1 pav. b, c), tai labiau besitraukiantis vidurinis sluoksniu necentriškai gniuždys išorinius sluoksnius (5 pav.).

Jėga, kuri atsiranda nuo labiau besitraukiančio vidurinio sluoksniu, bus:

$$N = A_2 \sigma_2(t), \quad (17)$$

$\sigma_2(t)$ – vidutiniai įtempimai, apskaičiuojami pagal (13) formulę.

Kadangi N simetriškai gniuždomi abu sluoksniu (5 pav. a pavaizduota jos reakcija), tai vienam sluoksniui tenka $0,5N$. Tačiau ji gaunama pridėta necentriškai lietimosi plokštumoje. Ties išorinio sluoksniu centru pridėję dvi viena kitai priešingas jėgas, lygias $0,5N$, gauname tipišką necentrinį gniuždymą (5 pav. c). Išori-



5 pav. Deformacijų ir įrašų pasiskirstymo schemas: a – laisvas sluoksnių deformavimasis; b – įtempių ir įrašų pasiskirstymas; c – įrašos sluoksniuose

Fig 5. Diagrams of stress-strain distribution: a – free shrinkage strain of layers; b – distribution of stresses and strain; c – strains in layers

nį sluoksnį veikia ašinė jėga $0,5 N$ ir lenkimo momentas:

$$M_e = 0,5 N \cdot e. \quad (18)$$

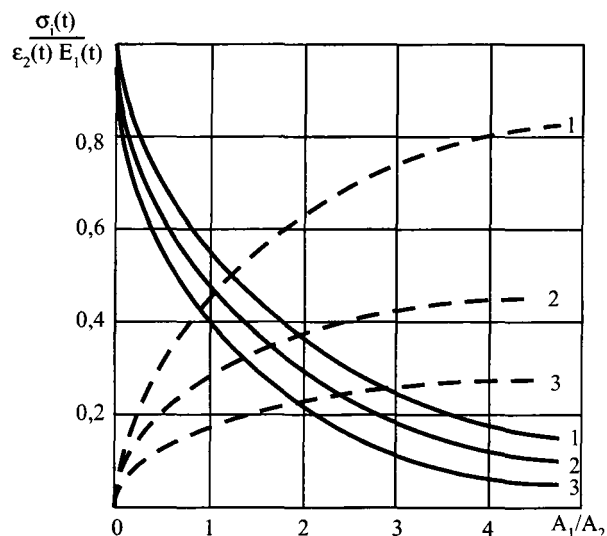
Kadangi mūras daugeliui darbo stadijų yra skaičiuojamas kaip tamprusis kūnas, įtempimų pasiskirstymas išoriniuose sluoksniuose apskaičiuojamas pagal žinomą medžiagų atsparumo formulę:

$$\sigma = \frac{N}{A_1} \pm \frac{M_e \cdot y}{I}, \quad (19)$$

y – atstumas nuo sluoksnio svorio centro iki skaičiuojamojo taško; I – sluoksnio skerspjūvio inercijos momentas.

Iš 6 pav. pateiktų kreivių matyti, kad atitinkamai parenkant kompleksinio skerspjūvio atskirų sluoksnių matmenis ir jų medžiagų tamprumo modulių santykius galima gauti tokio skerspjūvio konstrukciją, kurio sluoksniuose bus mažiausi tempimo (labiau besitraukiančiame) ir gniuždymo (mažiau besitraukiančiame) įtempimai.

Daugeliu atvejų mūro stiprumas gniuždymui kompleksiniuose elementuose dėl didesnių ribinių susispaudimo deformacijų nėra visiškai išnaudojamas [20]. Todėl pateikta metodika leidžia reguliuoti šį išnaudojimo laipsnį, įvertinant įtempimus dėl susitraukimo deformacijų ir juos perskirstant tarp sluoksnių atitinkamai parinkus medžiagų (mūro ir betono) savybes ir sluoksnių skerspjūvio plotus.



6 pav. Vidutinių įtempių priklausomybė nuo sluoksnių skerspjūvių plotų (A_1/A_2) santykių ir medžiagų tamprumo modulių ($E_1(t)/E_2(t)$) santykių: — gniuždymo įtempiai; - - - tempimo įtempiai (skaičiai prie kreivių reiškia ($E_1(t)/E_2(t)$) santykių dydį

Fig 6. Average stress on dependence the ratio of cross-sectional areas of the layers (A_1/A_2) and the modulus ratio ($E_1(t)/E_2(t)$): — compression stresses, - - - tension stresses; number near lines correspond to ($E_1(t)/E_2(t)$)

5. Išvados

Gniuždomos kompleksinės mūrinės konstrukcijos priklauso sluoksniuotųjų kompozitinių konstrukcijų grupei, tačiau jų skaičiavimas atliekamas supaprastintais metodais, neatsižvelgiant į pagrindinį reikalavimą šio tipo konstrukcijai – sluoksnių deformacijų suderinamumą. Pastaraisiais metais pasirodo vis daugiau dirbinių mūrai, tačiau nėra metodų mūro iš tokių dirbinių deformacinėms savybėms nustatyti, todėl sunku tiksliau įvertinti konstrukcijų sluoksnių skirtingų susitraukimo deformacijų įtaką bendram jų įtempimų ir deformacijų būviui.

Pasiūlyta metodika, kaip apskaičiuoti mūro iš įvairių dirbinių ir gelžbetonio susitraukimo deformacijas ir tamprumo modulius ir sumažinti jų skirtumą.

Gniuždymo ir tempimo įtempiai, esant vienodam susitraukimui, priklauso nuo tų sluoksnių skerspjūvių plotų ir tamprumo modulių santykių. Pagal pasiūlytas formules galima apskaičiuoti vidutinius įtempimus esant skirtingam susitraukimui sluoksniuose ir jų kitimą pagal sluoksnių storį. Jų dydžius galima reguliuoti atitin-

kamai parenkant sluoksnių tamprumų modulius ir skersp-
jūvių plotus.

Įtempimų ir deformacijų būvio ir jų persiskirstymo
tarp sluoksnių įvertinimas leidžia vienodžiau išnaudoti
jų laikomąją galią, esant skirtingoms gniuždymo ribi-
nėms deformacijoms.

Literatūra

1. A. W. Hendry. Structural Masonry. London: Macmillan Education Ltd. 1990. 282 p.
2. С. В. Поляков. Длительное сжатие кирпичной кладки. Научное сообщение. Вып. 11. М.: Стройиздат, 1959. 181 с.
3. A. Rozenbliumas. Mūrinės konstrukcijos. Vilnius, 1956. 443 p.
4. G. Marčiukaitis, J. Valivonis. Mūro susitraukimo deformacijų įvertinimas, analizuojant pastatų vidinių sienų supleišėjimą // Statyba, VI t., Nr. 1. Vilnius: Technika, 2000, p. 11–16.
5. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Каменные и армокаменные конструкции. СНИП II-22-81. М.: Стройиздат, 1983. 38 с.
6. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНИП II-22-81). М.: Стройиздат, 1988. 149 с.
7. Eurocode 6. Design of Masonry Structures. Part 1-1: General Rules for Buildings. Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry. Brussels, 1994. 210 p.
8. R. O. Hedstrom, A. Litvin, I. A. Hanson. Influence Mortar and Block Properties on Shrinkage Cracking of Masonry Walls. Portland Cement Association, Bulletin 0131, Skokie, Illinois, 1968. 51 p.
9. J. O. Bryson, D. Watstein. Comparison of Four Different Methods of Determining Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units // Journal of the American Concrete Institute, Vol 58, No 2, 1961, p. 163–184.
10. R. Gilbert. Time Effect in Concrete Structures. Amsterdam. Elsevier Science Publisher B.V., 1988. 284 p.
11. Concrete Structures Euro-Design Handbook. Edit. By Eibl J. Berlin, Erkstand Sohn, 1995. 754 p.
12. И. И. Улицкий. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. Киев: Будивельник, 1967. 346 с.
13. С. В. Александровский. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажные воздействия. М.: Стройиздат, 1973. 442 с.
14. Z. P. Bazant, J. K. Kim. Improved Prediction Model for Time-Dependent Deformations of Concrete // Materials and Structures. Part 1 – Shrinkage, Vol 24, 1991, p. 327–345.
15. Г. Марчукайтис. Исследование физико-механических свойств бетона и железобетона, пропитанных полиме-

рами, и их учет при расчете конструкций. Дис. ... габил. д-ра. Вильнюс-Москва, 1979. 407 с.

16. Г. В. Лобанова. Теоретическое исследование зависимости ползучести и усадки бетона от изменения его влажностного состояния. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1973. 21 с.
17. Eurocode 2 (EC2). Design of Concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels, Belgium, 1992. 458 p.
18. G. Marčiukaitis. Sluoksniuotųjų statybinių kompozitų valksnumo parametrų nustatymas // Statyba, IV t., Nr. 2. Vilnius: Technika, 1998, p. 101–108.
19. G. Marčiukaitis. Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai. Vilnius: Technika, 1998. 134 p.
20. G. Marčiukaitis. Deformacinių savybių įtakos betono stiprumo išnaudojimui sluoksniuotame elemente įvertinimas // 4-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios 1995 m. gegužės 10–13 d., straipsniai. II tomas. Vilnius: Technika, 1995, p. 73–78.

Įteikta 2001 02 28

SHRINKAGE INFLUENCE ON STRESS-STRAIN STATE OF COMPOSITE MASONRY MEMBERS

G. Marčiukaitis

Summary

Composite masonry structures consists of various units (bricks or ceramic, concrete and other blocks) masonry and concrete or reinforced concrete layers. Analysis has shown that in most cases deformation properties of masonry, concrete and reinforced concrete are different. There is a big difference in modulus of elasticity and shrinkage deformations. Methods for determination of shrinkage and modulus of elasticity for different types of masonry and reinforced concrete have been presented. Analysis of distribution of stresses and deformations in layers has shown that for a given difference of shrinkage in layers the stresses of tension and compression in the layers depend on the cross-section area of these layers and the ratio of the modulus of elasticity. Formulas are given for calculation of these stresses.

.....
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.