

ESTIMATION OF MULTILAYERED WALL SLENDERNESS DEPENDING ON BEHAVIOUR OF FLEXIBLE TIES

G. Marčiukaitis & V. Popovas

To cite this article: G. Marčiukaitis & V. Popovas (1999) ESTIMATION OF MULTILAYERED WALL SLENDERNESS DEPENDING ON BEHAVIOUR OF FLEXIBLE TIES, *Statyba*, 5:1, 3-10, DOI: [10.1080/13921525.1999.10531426](https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531426)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531426>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 56

SLUOKSNIUOTŲJŲ SIENŲ LIAUNIO ĮVERTINIMAS, ATSIŽVELGIANT Į LANKSČIŲ RYŠIŲ DARBĄ

G. Marčiukaitis, V. Popovas

1. Įvadas

Daugelio pastatų sienos yra daromos sluoksniuotos, kadangi tokia konstrukcinė schema leidžia ją padaryti norimų eksploatacinių savybių. Vienas sluoksnis negali atitikti visų keliamų pagrindinių reikalavimų: perimti visus poveikius, riboti šilumos netekimą, būti ugniai atsparus ir kt. Sluoksniuotųjų konstrukcijų naudojimas leidžia sukurti naujų ekonomiškėsių konstrukcinių ir eksploatacinių savybių pastatus. Kadangi sluoksniai yra iš medžiagų su skirtingomis fizikinėmis mechaninėmis savybėmis ir ne visuomet gali būti tarp savęs sujungiami adhezija, yra daromi specialūs ryšiai tarp jų.

Žinomi du sienų sluoksnių sujungimo ryšių tipai: standūs ir lankstūs ryšiai. Tačiau daugeliu atvejų standūs ryšiai tampa šalčio tilteliais. Jeigu viduriniai sluoksniai gaminami liejimo būdu iš betono tipo medžiagų, taip pat gaunamas standus ryšys. Viduriniams sluoksniams naudojant minkštas arba birias termoizoliacines medžiagas, išoriniai sluoksniai tarp savęs sujungiami lanksčiais ryšiais.

Kai ryšiai yra standūs, tokios sienos elementas paprastai yra apskaičiuojamas redukuojant jos skerspjūvį pagal stipriausio sluoksnio medžiagų savybes [1, 2]. Tačiau šiuo atveju nėra pakankamai įvertinamos sluoksnių deformacinės savybės ir todėl visų jų darbas panaudojamas nevienodai [3].

Antruoju atveju – kai ryšiai yra lankstūs – konstrukcijos darbas yra daug sudėtingesnis. Tokia sienos konstrukcija dirba kaip sudėtinis strypas, kurio pavienių sluoksnių darbui įtakos turi kiti šalia esantys ir lanksčiais ryšiais prijungti sluoksniai. Todėl sienos gniuždomų sluoksnių darbas bendroje konstrukcijoje yra efektyvesnis, negu atskirai paimtų sluoksnių.

Pagal esamus normatyvinius reikalavimus [1, 2] daugiastuoksnių laikančiosios sienos su lanksčiais

ryšiais stiprumo apskaičiavimas atliekamas atskirai apskaičiuojant kiekvieno sluoksnio apkrovą, kuri jį veikia. Tačiau tai neparodo realaus konstrukcijų darbo, kadangi ir liauni ryšiai tam tikrą dalį vidinių įrašų nuo vieno sluoksnio perduoda kitam. Be to, sluoksnių klupimo pobūdis gali būti skirtingas ir lankstūs ryšiai tam taip pat turi įtakos.

2. Lanksčių ryšių įtakos sluoksniuotųjų sienų darbui įvertinimo teorinės prielaidos

Sluoksniuotosios sienos atskirus sluoksnius statiniu požiūriu galima nagrinėti kaip gniuždomus elementus, kurie gniuždamas išsikirovina ir kurių galai tampriai pasisuka, bet nepasislenka horizontalia kryptimi.

Tokią atrėmimo schemą galima imti dėl to, kad remdamiesi į perdangų plokštes arba pamatų galai gali tampriai pasisukti, bet negali pasislinkti. Gniuždomo sluoksnio išklupimo forma gali būti įvairi. Įvairiai dirbs ir ryšiai. Tarp vertikalių sluoksnių esantys visi ryšiai gali būti tempiami, kai sluoksnis klups į išorę, visi gniuždomi, kai klups į vidų, ir dalis tempiamų bei dalis gniuždomų, kai išklupimas bus sinusoidės formos. Vadinasi, ryšiai perima skersines sluoksnio atžvilgiu jėgas. Be to, tarp sluoksnių atsiranda ir šlyties įrašos. Vadinasi, ryšiai bus ir kerpami dėl šlyties jėgų, o galuose prie sluoksnių jie bus veikiami momentų. Gniuždomi ryšiai išklups. Tai priklausys nuo jų standumo ir atstumo tarp sluoksnių. Ryšių standumas, palyginti su vertikaliu sluoksnių standumu, yra mažas. Tačiau net išoriniam sluoksniui išklupus į vidų, dalis lanksčių ryšių, esančių arčiau galų, gali būti tempiami ir dalį įrašų perduoti kitam sluoksniui. Vadinasi, bet kokio išklupimo atveju ryšiai bus įtraukti į bendrą darbą ir sumažins labiau gniuždomo sluoksnio klupumą. Išanalizavus visas išklupimo formas matyti, kad lankstūs ryšiai mažiausią įtaką klupimo išorinio

sluoksnio darbui turės, kai sluoksniai klups į vidų ir tai priklausys nuo ryšių standumo, jų išdėstymo, atstumo tarp sluoksnių, taip pat ir nuo jų standumo ir inercijos momento santykio su viso skerspjūvio inercijos momento santykiu.

Tai patvirtina teoriniai tyrimai [4, 5, 6]. Vienas iš pagrindinių parametrų, turinčių įtakos sluoksnių bendram darbui, yra šlyties ryšių standumo koeficientas

$$\xi = T_{sh} n \cdot \gamma, \quad (1)$$

čia T_{sh} – šlyties jėga, tenkanti vienam ryšiui; n – ryšių skaičius; γ – dviejų gretimų sluoksnių, sujungtų ryšiais, priešingo pasislinkimo deformacija.

Kitas parametras – skersinių ryšių standumo koeficientas

$$\chi = S_{sh} \frac{n}{\delta}, \quad (2)$$

S_{sh} – tempimo jėga, tenkanti vienam ryšiui; δ – sluoksnių, sujungtų ryšiais, pasislinkimas vienas nuo kito.

Šių lygčių analizė rodo, kad ryšių standumas, jų išdėstymas turi didelę reikšmę bendram jais sujungtų sluoksnių darbui.

Remiantis [5] nesunku įrodyti, kad

$$\xi = \chi = \frac{E_t \cdot A_t}{b^2}, \quad (3)$$

čia E_t – ryšio deformacijų modulis; A_t – jo skerspjūvio plotas; b – atstumas tarp ryšių.

Antra vertus, nuo šių koeficientų priklauso šlyties įrašų tarp sluoksnių pasiskirstymo pobūdis. Pagal A. Ržanicyno sudėtinių strypų teoriją, ši įraša yra:

$$T = C_1 sh \lambda x + C_2 ch \lambda x + \frac{\xi}{\lambda} \int_0^x \Delta(t) sh \lambda (x-t) dt, \quad (4)$$

čia C_1 ir C_2 – laisvieji pastovieji dydžiai, priklausantys nuo kraštinių sąlygų; x – atitinkamo taško pagal aukštį padėtis; $\Delta(t)$ – laisvasis narys:

$$\Delta(t) = \frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} + \frac{C^2}{E_1 A_1 + E_2 A_2}. \quad (5)$$

Dydis λ , pasinaudojus (3) ir (5) lygtimis, gali būti apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$\lambda = \sqrt{\frac{E_t A_t}{b^2} \left(\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} + \frac{C^2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \right)}. \quad (6)$$

(5) ir (6) formulėse E_1, A_1, E_2, A_2 – elemento sluoksnių tamprumo moduliai ir skerspjūvio plotai; C – atstumas tarp sluoksnių svorio centrų.

(4), (5) ir (6) lygčių analizė ir kiti autorių tyrimai [7] rodo, kad šlyties įrašų pasiskirstymo pobūdis pagal konstrukcijos aukštį ir kartu ryšių darbas priklauso nuo šių pagrindinių veiksnių: ryšių ir sluoksnių standumo, išdėstymo atstumo pagal aukštį, taip pat ir nuo atstumo tarp sluoksnių.

3. Sluoksniuotųjų sienų su lanksčiais ryšiais darbo tyrimo modeliai

Teorinės prielaidos buvo patikrintos taikant kompiuterinės skaitinės analizės metodus ir atlikus skaitinius eksperimentus.

Parenkant skaitinio eksperimento variantų parametrus ir sudarant sluoksniuotųjų sienų su liaunais ryšiais skaičiuojamąsias schemas buvo įvertinti tokie veiksniai:

- 1) dažniausiai statybos praktikoje pasitaikančių sluoksniuotųjų sienų su liaunais ryšiais konstrukciniai sprendiniai;
- 2) rekomendacijos dėl laikančiojo ir apsauginio sluoksnių storį, įvertinant sienos liaunio ir stiprio reikalavimus;
- 3) šiluminiais techniniais apskaičiavimais pagrįsti tarpai tarp sluoksnių termoizoliaciniam intarpams;
- 4) reikalavimai dėl liaunų ryšių kiekio ir jų išdėstymo geometrijos;
- 5) mažaukštėje statyboje daugiausia naudojamos mažagabaričių dirbinių (plytų, blokelių) ir skiedinio markės.

Buvo nagrinėjamas 1 m pločio ir 3 m aukščio tri sluoksnės sienos ruožas su viena eile liaunų metalinių ryšių.

Sluoksniuotosios sienos laikančiojo sluoksnio storiai δ_1 atitiko standartinį variantą (plytos storį 120 mm). Išorinio kompleksinio sienos sluoksnio storiai δ_2 buvo 60, 100, 120 mm.

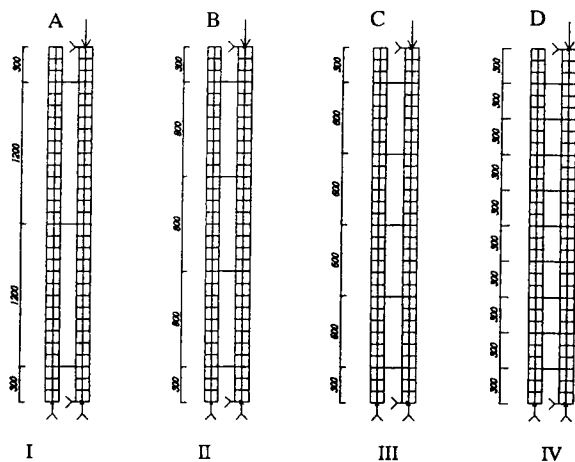
Laikantis rekomendacijų dėl liaunų ryšių kiekio ir jų išdėstymo, buvo imti tokie variantai: 3 ryšiai sienos aukštyje išdėstyti kas 1,2 m; 4 ryšiai – kas 80 cm; 5 ryšiai esant atstumui tarp jų 60 cm. Tankiausiai juos išdėstant – kas 30 cm – reikėjo net 9 ryšių per visą sienos aukštį. Visuose variantuose ryšiai buvo išdėstyti

simetriškai. Atstumas nuo sienos viršaus arba apačios iki kraštinių ryšių buvo lygus 30 cm. Metalinių ryšių skersmuo kito nuo 3 iki 8 mm kas 1 mm, išskyrus 7 mm skersmens, kuris nenumatytas sortimento. Atsižvelgiant į ryšių išdėstymo variantus ir strypų skersmenį bendras ryšių skerspjūvio plotas keitėsi nuo 0,071 cm² iki 4,53 cm². Imta 3, 4 ir 5 mm skersmens B_p-I klasės viela ir 6 ir 8 mm skersmens A-I klasės viela.

1 lentelė. Sienų elementų skerspjūvių geometrinės charakteristikos

Table 1. Geometrical characteristics of cross-sectional elements of walls

Sluoksnių storiai (mm) $\delta_2-\delta_3-\delta_1$	Išorinių sluoksnių storių santykiai (δ_2/δ_1)	Sluoksnių inercijos momentų santykiai (I_2/I_1)
60-50-120	0,5	0,125
100-50-120	0,833	0,578
120-50-120	1	1
60-100-120	0,5	0,125
100-100-120	0,833	0,578
120-100-120	1	1
60-150-120	0,5	0,125
100-150-120	0,833	0,578
120-150-120	1	1



1 pav. Liaunų ryšių išdėstymo schemas (I, II, III, IV)

Fig 1. Diagrams (I, II, III, IV) of situation of flexible ties

Sienos skaičiuojamosios schemas pavaizduotos 1 paveiksle. Sienos aukštis $h=3,0$ m, o plotis $b=1,0$ m. Atstumas tarp sienų sluoksnių centrinių plokštumų

keičiasi priklausomai nuo nagrinėjimo varianto sluoksnių (išorinio ir vidinio) storio. Kitos geometrinės charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

Išorinių sluoksnių medžiagų tipai ir savybės vienodos, t. y. $E_1=E_2$. Deformacinės išorinių sienų sluoksnių medžiagų savybės buvo parinktos tokios, kad skaičiavimai apimtų plačią mūro stiprumo rodiklių $R=(0,5...3,9)$ MPa bei tamprumo charakteristikų $\alpha=(350...1500)$ grupę. Ryšių plieno tamprumo modulis imtas lygus $E_s=2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Vidinio (termoizoliacinio) sluoksnio darbas ir jo įtaka sluoksnuotosios sienos darbui pirmajame etape nebuvo nagrinėjama. Jo įvertinimo nenumato ir normos [1, 2].

4. Sluoksnuotųjų sienų su liaunais ryšiais skaitinio eksperimento rezultatai

Skaitinis eksperimentas buvo atliktas kiekvienam sienos konstrukciniam variantui, esant įvairiam ryšių išdėstymui ir jų kiekiui (1 pav.), pagal programinį kompleksą COSMOS/M [8].

Išanalizuotos penkios skaitinių tyrimų serijos. Buvo analizuojamas kompleksinių sienų su liaunais ryšiais įtempimų ir deformacijų būvis ir jų pastovumo problema.

Vienas iš sluoksnuotųjų sienų apskaičiavimo būdų yra sluoksnių bendro darbo įvertinimas per jų liaunio charakteristikas. Apskaičiuota, kad išorinis apsauginis sienos sluoksnis turi įtakos vidinio laikančiojo sluoksnio pastovumui. Akivaizdu, kad sluoksnuotosios sienos standis esant ekscentriniam gniuždymui yra didesnis, negu atskirai dirbančio vidinio (apkrauto) sienos sluoksnio. Apskaičiavimai tai patvirtino ir leido įvertinti bendrą sluoksnių ir jungiančių juos liaunų ryšių darbą tiek kiekybiškai, tiek ir kokybiškai.

Skaitiniu eksperimentu nustatyta, kad išorinio apsauginio sluoksnio poveikis vidiniam laikančiajam sluoksniui labai priklauso nuo jų dviejų storių δ_2 ir δ_1 arba inercijos momentų I_1 ir I_2 santykio (pirmuoju numeriu pažymėtas vidinis, o antruoju – išorinis sienos sluoksniai). Rezultatų analizė rodo, kad šis poveikis gali būti įvertintas kompleksinės (sluoksnuotosios) sienos klupumo koeficientu ϕ_n , kurio teorinė reikšmė yra lygi kompleksinės sienos ir pavienio laikančiojo sluoksnio kritinių jėgų santykiui:

$$\varphi_h = N_{cr} / N_{cr,o}, \quad (7)$$

čia

$$N_{cr,o} = \frac{\pi^2 E_1 I_1}{(\mu l)^2}, \quad (8)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (E_1 I_1 + E_2 I_2)}{(\mu l)^2}. \quad (9)$$

čia $E_1 I_1$ ir $E_2 I_2$ – laikančiojo vidinio ir apsauginio išorinio sienos sluoksnių standis lenkimui; μl – sienos skaičiuojamasis ilgis (aukštis).

Paveiksluose 2, 3, 4 parodytos klupumo koeficiento reikšmės priklausomai nuo ryšių bendro ploto A_s pagal jų išdėstymo variantus (1, 2, 3 ir 4) (žr. 2 pav.) bei išorinio (apsauginio) ir vidinio (laikančiojo) sluoksnių storijų δ_2 ir δ_1 santykį, kai atstumas tarp sluoksnių δ_3 lygus 150 mm (2 pav.), 100 mm (4 pav.) ir 50 mm (5 pav.).

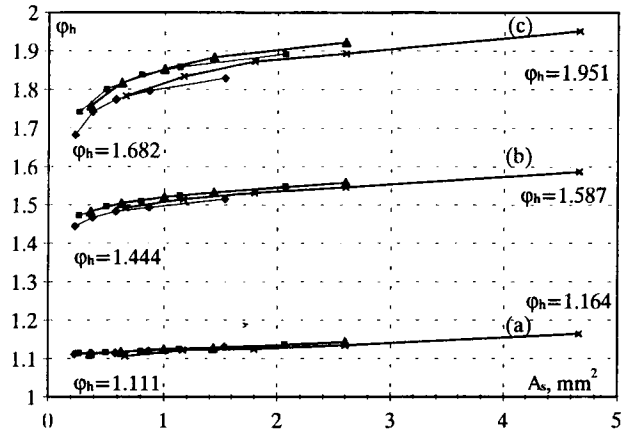
Iš grafikų, pateiktų 2, 3, 4 paveiksluose, matyti, kad sluoksniuotosios sienos klupumo koeficiento φ_h reikšmės keičiasi priklausomai nuo sienos storijų santykio ir bendro ryšių skerspjūvio ploto A_s .

Didėjant kompleksinės sienos sluoksnių storio santykiui $\delta_2/\delta_1=0,5(I_2/I_1=0,1)$, vis labiau pasireiškia išorinio apsauginio sluoksnio poveikis bendram sienos standžiui (liauniui). Koeficiento φ_h reikšmės pastebimai padidėja (2, 3, 4 pav.). Kita vertus, išryškėja liaunų ryšių kiekio (skersmens ir bendro ryšių ploto) diferencijuota įtaka jungiant abudu sienos sluoksnius bendram darbui. Tai aiškiai matyti iš pateiktų šiuose paveiksluose b ir c kreivių.

I ir II bei III ir IV ryšių išdėstymo variantų analizė parodė, kad kuo toliau kraštiniai ryšiai (apatinis ir viršutinis) nutolę nuo sienos aukščio vidurio, tuo abiejų sienos sluoksnių darbas yra efektyvesnis. Kritinės jėgos praeis, esant II ir IV ryšių išdėstymo variantams, sudarė nuo 9% iki 12% priklausomai nuo sluoksnių storijų santykio. Kuo didesnis šis santykis, tuo labiau pasireiškia ryšių išdėstymo įtaka, palyginti su I ir III variantais. Nors šiais atvejais ir buvo nesilaikoma projektavimo normų rekomendacijų [2] dėl atstumo tarp ryšių.

Kuo didesnis ryšių bendras skerspjūvio plotas A_s , tuo efektyvesnis abiejų sluoksnių darbas. Šią taisyklę patvirtina 2, 3, 4 paveiksluose pavaizduotos kreivės.

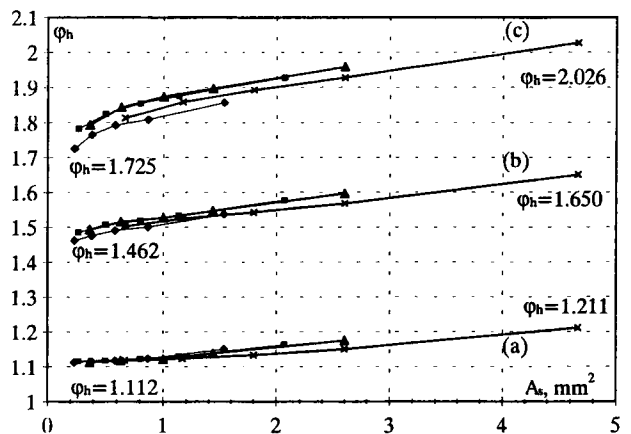
Vienodesnis ryšių išdėstymas pagerina sluoksnių bendrą darbą. Tačiau santykinai didesnis efektas gaunamas, kai vidutinis ryšių skaičius yra: 4, 5 strypai per sienos aukštį (2 ir 3 ryšių išdėstymo variantai (1 pav.)). Labai gerai ryšių išdėstymo įtaką išorinės sienos sluoksnių bendram darbui iliustruoja 5 paveiksle



2 pav. Klupumo koeficiento φ_h priklausomybė nuo ryšių bendro ploto A_s pagal ryšių išdėstymo variantus: a – 120–150–60, b – 120–150–100; c – 120–150–120 serijoms
Variantai 1 – \blacklozenge ; 2 – \blacksquare ; 3 – \blacktriangle ; 4 – \blacktimes

Fig 2. Relationship between buckling coefficient φ_h and total area A_s of ties according to 1–2–3–4 variants of situation of ties: a – 120–150–60, b – 120–150–100; c – 120–150–120.

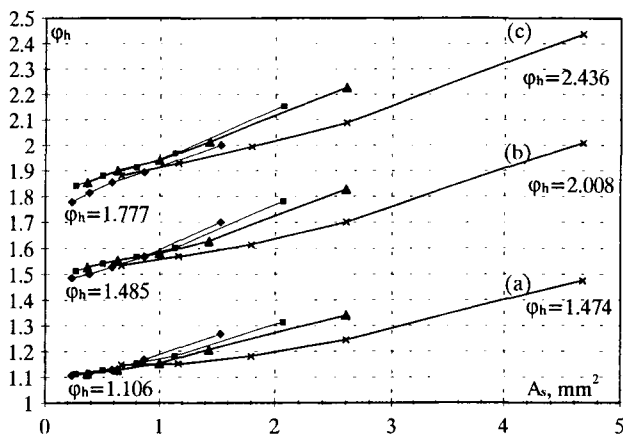
Variants: 1 – \blacklozenge ; 2 – \blacksquare ; 3 – \blacktriangle ; 4 – \blacktimes



3 pav. Klupumo koeficiento φ_h priklausomybė nuo ryšių bendro ploto A_s pagal ryšių išdėstymo variantus: a – 120–100–60, b – 120–100–100; c – 120–100–120 serijoms
Variantai 1 – \blacklozenge ; 2 – \blacksquare ; 3 – \blacktriangle ; 4 – \blacktimes

Fig 3. Relationship between buckling coefficient φ_h and total area A_s of ties according to 1–2–3–4 variants of situation of ties: a – 120–100–60, b – 120–100–100; c – 120–100–120

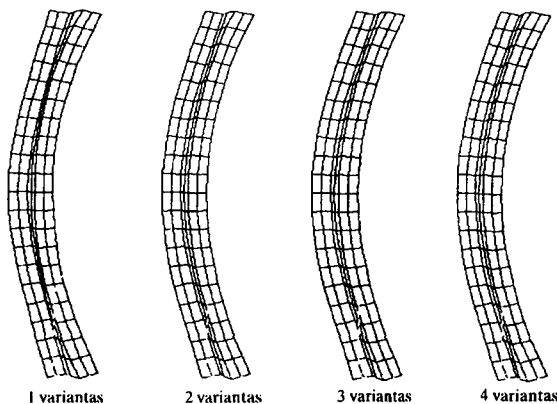
Variants: 1 – \blacklozenge ; 2 – \blacksquare ; 3 – \blacktriangle ; 4 – \blacktimes



4 pav. Klupumo koeficiento φ_h priklausomybė nuo ryšių bendro ploto A_s pagal ryšių išdėstymo variantus: a – 120–50–60, b – 120–50–100; c – 120–50–120 serijoms
Variantai 1 – \blacklozenge ; 2 – \blacksquare ; 3 – \blacktriangle ; 4 – \times

Fig 4. Relationship between buckling coefficient φ_h and total area A_s of ties according to 1–2–3–4 variants of situation of ties: a – 120–50–60, b – 120–50–100; c – 120–50–120

Variants: 1 – \blacklozenge ; 2 – \blacksquare ; 3 – \blacktriangle ; 4 – \times



5 pav. Sluoksniuotųjų sienų pastovumo netekimo formos 1, 2, 3, 4 ryšių išdėstymo variantams, kai ryšių skersmuo $d=8$ mm, o sienų sluoksnių matmenys 60+50+120, čia $\delta_1=120$, $\delta_2=60$, o $\delta_3=50$ mm

Fig 5. Diagrams of loss of stability of layered walls according 1, 2, 3, 4 ties distribution variants, where diameter of ties is 8 mm, wall layer thicknesses are: $\delta_1=120$, $\delta_2=60$, $\delta_3=50$ mm

pateiktos sluoksniuotųjų sienų pastovumo netekimo formos. Aiškiai matyti, kad, kai liauni ryšiai rečiau išdėstyti (1 variantas – 3 strypai per sienos aukštį), sluoksniai prasiskečia galuose ir suartėja viduriniuose aukščio trečdaliuose. Tuo tarpu 2, 3 ir 4 ryšių išdėstymo variantai duoda panašius tolygaus sluoksnių deformavimosi rezultatus.

Liaunų ryšių kiekio didinimas (4 variantas – 9 ryšiai per sienos aukštį) neduoda didesnio klupumo

koeficiento padidėjimo efekto. Liaunio koeficiento φ_h reikšmės asimptotiškai artėja prie stabilios pastovios reikšmės vidurinio sluoksnio storiui esant $\delta_3=100\dots150$ mm (2, 3 pav.). Sienų deformuoto būvio analizė gali tik patvirtinti šią išvadą (5 pav.).

Kiek kitokie ryšių įtakos sluoksnių bendram darbui rezultatai buvo gauti esant mažam atstumui tarp išorinių sienos sluoksnių ($\delta_3=50$ mm).

Iš priklausomybių, pateiktų 5 paveiksle, analizės galima padaryti išvadą, kad ryšių kiekio (pločio A_s ir išdėstymo tankio) didinimas beveik tiesiogiai, netgi su tam tikra nedidele geometrine progresija didina koeficiento φ_h reikšmes. Abu išoriniai sluoksniai efektyviai dirba, kas ypač matyti palyginus (a) kreives visuose 2, 3, 4 paveiksluose. Tai galima būtų paaiškinti liaunų ryšių kaiščio efekto atsiradimu ir jų darbu ne tik kaip tempiamų (skersinių), bet ir kaip šlyties (išilginių) ryšių [4, 5].

5. Teorinių ir eksperimentinių klupumo koeficiento reikšmių palyginimas

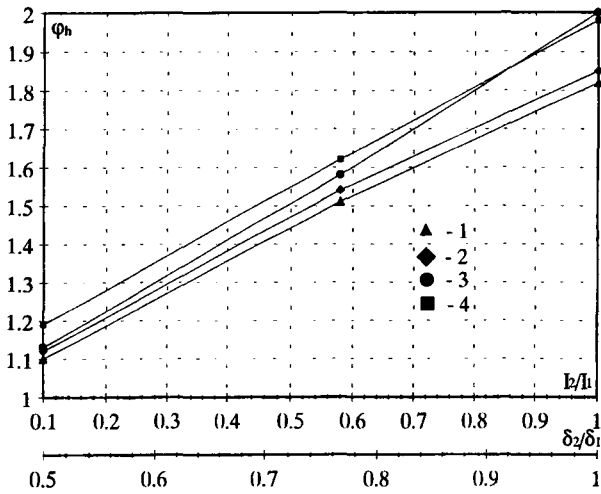
Teorinės pagal normų metodiką [1, 2] ir vidutinės eksperimentinės sluoksniuotosios sienos klupumo koeficiento φ_h reikšmės visiems išnagrinėtiems sienų konstrukciniams variantams pavaizduotos 6 paveiksle ir 2 lentelėje.

Nesunku pastebėti, kad kai išorinio sluoksnio storis mažas – $\delta_2=60$ mm ($\delta_2/\delta_1=0,5$, $I_2/I_1\approx 0,1$), teorinės ir eksperimentinės vidutinės klupumo koeficientų reikšmės praktiškai sutampa, o jų išsibarstymas yra nedidelis – nuo 1,11 iki 1,21 (išskyrus atvejį, kai $\delta_3=50$ mm).

Padidėjus išorinio sluoksnio storiui iki 100 mm ($\delta_2/\delta_1=0,667$, $I_2/I_1\approx 0,58$) visos eksperimentinės reikšmės išsibarsto apie teorinę $\varphi_h=1,58$.

Kai abiejų išorinių sluoksnių storiai tampa vienodi ($\delta_2=\delta_1=120$ mm), išorinio sluoksnio įtaka bendram sienos darbui pasireiškia nemažu klupumo koeficiento sumažėjimu, esant vidutiniam ir dideliu atstumui tarp išorinių sienos sluoksnių ($\delta_3=100\text{--}150$ mm).

Vidutinės klupumo koeficiento reikšmės sluoksniuotosios sienos variantui, kai mažas atstumas tarp išorinių sienos sluoksnių ($\delta_3=50$ mm), apie 6–8% skiriasi nuo kitų eksperimentinių reikšmių, tačiau šių reikšmių išsibarstymas 3–5 kartus yra didesnis (4 pav.).



6 pav. Teorinių (1) ir eksperimentinių (2, 3, 4) sluoksniuotosios sienos klumpumo koeficiento φ_n reikšmių priklausomybė nuo sienos sluoksnių inercijos momentų storių santykio, kai vidurinio sluoksnio δ_3 storis lygus: 2–50 mm; 3–100 mm; 4–150 mm

Fig 6. Relationship between theoretical (1) and experimental (2, 3, 4) values of buckling coefficients φ_n and ratio of moments of inertia (thickness) of wall layers when thickness of middle layer (δ_3) is: 2–50 mm; 3–100 mm; 4–150 mm

Įdomu, kad vidutinės koeficiento φ_n eksperimentinės reikšmės tarpusavyje išsidėsto beveik lygiagrečiai ir kiek kitokiu kampu negu teorinės reikšmės, apskaičiuotos pagal normų metodiką [1, 2]. Tai dar kartą parodo, kad ši metodika yra taisytina.

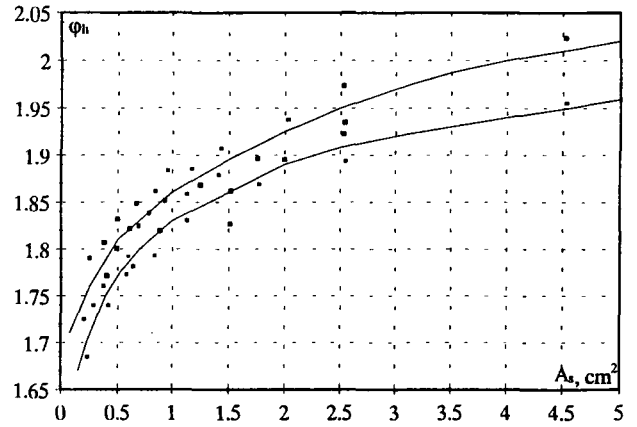
6. Skaitinio eksperimento rezultatų regresinė analizė

Atlikus skaitinio eksperimento regresinę analizę nustatyta sluoksniuotosios sienos klumpumo koeficiento φ_n funkcinės priklausomybės nuo ryšių bendro ploto A_s su minimaliu statistinių reikšmių išsibarstymu. Jos leidžia pakankamai tiksliai (standartiniu patikimumo intervalu) analitiškai nustatyti koeficiento φ_n reikšmes,

2 lentelė. Teorinės ir eksperimentinės klumpumo koeficiento φ_n reikšmės

Table 2. Theoretical and experimental values of buckling coefficient φ_n

Sluoksniuotosios sienos variantai pagal išorinių sluoksnių δ_1 ir δ_2 storius	δ_2/δ_1	Koeficiento φ_n eksperimentinės vidutinės reikšmės, kai δ_3 (mm)			Teorinės koeficiento φ_n reikšmės
		50	100	150	
120– δ_3 –120	1,0	1,968	1,858	1,823	2,0
120– δ_3 –100	0,667	1,616	1,531	1,511	1,58
120– δ_3 –60	0,50	1,190	1,135	1,125	1,125



7 pav. Sluoksniuotosios sienos koeficiento φ_n funkcijos grafikas 120–150–120 ir 120–100–120 sienos konstrukciniams variantams

Fig 7. Diagram of buckling coefficient φ_n of layered wall for wall structural cases: 120–150–120 and 120–100–120 mm

turint duomenis apie ryšių bendrą skerspjūvio plotą A_s sienoje arba jos ruože. Palyginimui buvo paimtos trys tos pačios kreivės funkcijos pagal: polinomines priklausomybę, eksponentinę priklausomybę, logaritminę arba laipsnio funkciją.

Didžiausią tikslumą duoda polinomine funkcija, bet ji nepatogi praktiniam skaičiavimui. Logaritminės arba laipsnio funkcijos yra paprastesnės ir pakankamai tikslios, todėl jas ir siūloma taikyti praktiškai (3 lentelė, 7 pav.).

Sluoksniuotosioms sienoms, kurių mažas atstumas tarp išorinių sienų sluoksnių, t. y. kai $\delta_3=50$ mm, siūloma taikyti laipsnio funkciją $\varphi_n=a+b(A_s)^2$, kuri leidžia labai tiksliai nustatyti klumpumo koeficientų reikšmes pagal diskretųjį ryšių išdėstymo variantą (4 lent.).

3 lentelė. Klupumo koeficiento φ_h matematinės funkcijos, kai $\delta_3=150$ ir 100 mm

Table 3. Mathematical functions of buckling coefficient φ_h , when $\delta_3=150$ and 100 mm

Sienos konstrukcinis variantas $\delta_1 - \delta_3 - \delta_2$ (mm)	Matematinės funkcijos koeficientui φ_h nustatyti	Matematinė viltis
120-150-120	$\varphi_h = \sqrt{a + b \cdot \ln(A_s)}$ $a=3,351; b=0,204$	0,92634
120-150-100	$\varphi_h = a + b(A_s)^c$ $a=1,265; b=0,246; c=0,167$	0,92815
120-150-60	$\varphi_h = \sqrt{a + b(A_s)}$ $a=1,232; b=0,027$	0,94218
120-100-120	$\varphi_h = \sqrt{a + b \cdot \ln(A_s)^c}$ $a=1,547; b=0,311; c=0,274$	0,92350
120-100-100	$\varphi_h = a + b \cdot (A_s)^c$ $a=1,443; b=0,083; c=0,594$	0,94305
120-100-60	$\varphi_h = a + b(A_s)^c$ $a=1,108; b=0,0207; c=1,06$	0,92726

4 lentelė. Klupumo koeficiento φ_h matematinės funkcijos, kai $\delta_3=50$ mm

Table 4. Mathematical functions of buckling coefficient φ_h , when $\delta_3=50$ mm

Sienos konstrukcinis variantas $\delta_1 - \delta_3 - \delta_2$ (mm)	Ryšių skaičius	Matematinės funkcijos koeficiento φ_h nustatymas	Konstantų reikšmės			Matematinė viltis
			a	b	c	
120 - 50 - 120	3	$\varphi_h = a + b(A_s)^c$	1,759	0,165	1,321	0,99823
	4		1,82	0,126	1,404	0,99892
	5		1,836	0,106	1,424	0,99907
	9		1,846	0,059	1,515	0,99969
120 - 50 - 100	3	$\varphi_h = a + b(A_s)^c$	1,477	0,115	1,612	0,99967
	4		1,505	0,084	1,656	0,99971
	5		1,512	0,069	1,655	0,99987
	9		1,516	0,038	1,677	0,99998
120 - 50 - 60	3	$\varphi_h = a + b(A_s)^c$	1,111	0,073	1,820	0,99999
	4		1,115	0,053	1,824	0,99999
	5		1,117	0,042	1,829	0,99999
	9		1,116	0,024	1,784	0,99999

7. Išvados ir rekomendacijos

1. Didžiausią įtaką sluoksniuotosios sienos darbui turi išorinių sluoksnių storių santykis bei liaunų ryšių bendras plotas.

2. Mažėjant atstumui tarp sluoksnių iki 50 mm pasireiškia liaunų ryšių šlyties efekto įtaka bendram sienos darbui.

3. Sluoksniuotosios sienos su liaunais ryšiais ir oro tarpu arba buriu termoizoliaciniu sluoksniu išorinių sluoksnių bendrą darbą galima įvertinti per skaičiuojamąjį liaunį $\lambda_h = \frac{l_0}{\varphi_h \cdot \delta_l}$, čia $l_0 = \mu l$ – skaičiuojamasis sienos ilgis (aukštis); δ_l – laikinčiojo sluoksnio storis; φ_h – sluoksniuotosios sienos klumpumo koeficientas.

4. Klumpumo koeficiento reikšmės priklausomai nuo sienų sluoksnių storių santykio bei liaunų ryšių bendro ploto A_v ir jų išdėstymo varianto siūloma apskaičiuoti pagal 3 ir 4 lentelių duomenis. Tarpinės koeficiento φ_h reikšmės nustatomos interpoliuojant.

5. Tolesnis sluoksniuotosios sienos su liaunais ryšiais stiprumo apskaičiavimas gali būti atliekamas pagal normų [1, 2] rekomendacijas.

Literatūra

1. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1980. 62 с.
2. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. 152 с.
3. G. Marčiukaitis. Deformacinių savybių įtakos betono stiprumo išnaudojimui sluoksniuotame elemente įvertinimas // 4-sios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1995 m. gegužės 10–13 d., straipsniai. T. 2. Vilnius: Technika, 1995, p. 73–78.
4. А. Р. Ржаницын. Устойчивость равновесия упругих систем. М.: Гостехиздат, 1955. 475 с.
5. А. Р. Ржаницын. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 316 с.
6. Г. И. Шапиро. Расчет составных стержней со случайными связями сдвига // Строительная механика и расчет сооружений, 1975, № 5, с. 33–36.
7. G. Marčiukaitis, V. Popovas. Lanksčių ryšių įtaka sluoksniuotų sienų liauniui // Konferencijos „Statyba ir architektūra“ pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 1996, p. 127–131.

8. COSMOS/M. Finite element analysis system. Basic FEA System. User guide. Structural Research & Analysis Corp., Los Angeles, 1995. 760 p.

Įteikta 1998 12 22

ESTIMATION OF MULTILAYERED WALL SLENDERNESS DEPENDING ON BEHAVIOUR OF FLEXIBLE TIES

G. Marčiukaitis, V. Popovas

S u m m a r y

The problem of slenderness effect of multilayered wall with flexible ties is discussed. Numerical analysis was carried out with the aim to evaluate the influence of rigidity of exterior protective wall layer connected with interior load bearing layer by flexible ties. The buckling effect of layered wall was investigated. The main variables taken into account were thickness of the load bearing and protective layers, the distance between mentioned layers, total amount, diameter and distribution of flexible ties, physical and mechanical properties of wall materials. The results of analysis are discussed and compared with the results of analytical calculation methods. On the basis of numerical simulation data some proposals for buckling coefficient φ_h calculation were suggested, depending on the structural type of the wall and the total amount of flexible ties distributed between the inner layers. The way of evaluation of the slenderness effect on the general behaviour of multilayered wall is provided additionally to the requirements of the codes of practice.

Gediminas MARČIUKAITIS. Professor, Doctor Habil. Dept of Reinforced Concrete Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.

PhD (1963). Research visit to the University of Illinois (1969). Doctor Habil (1980). Author and co-author of 4 monographs, 2 text-books and more than 250 scientific articles. Research interests: mechanics of reinforced concrete, masonry and layered structures, new composite materials, investigation and renovation of buildings.

Vladimiras POPOVAS. Doctor, Associate Professor. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor (1990). Author of over 50 publications, 5 patented inventions. Research interests: theory of reinforced concrete behaviour, including structures subjected to fire; computer-aided analysis and design applications.