



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MOKSLO DARBO ATASKAITA

TVIRTINU

Mokslo ir inovacijų prorektorius

Antanas Čenys

2018 m. kovo 30 d.

Užsakovas:
UAB „Bautopas“

Temos pavadinimas:
Sluoksniuotųjų sienų surenkamojo apdarinio – apsauginio sluoksnio prototipo kūrimas ir jo elgsenos analizė

Mokslo sritis:
T000 Technologijos mokslai, 02T Statybos inžinerija

2017 m. rugpjūčio 29 d. Sutartis Nr.16447

Mokslo direkcijos direktorius

Vaidotas Vaišis

Fakulteto dekanas

Algirdas Juozapaitis
(vardas, pavardė, parašas)

Katedros vedėjas

Juozas Valivonis
(vardas, pavardė, parašas)

Temos vadovas

Robertas Zavalis
(vardas, pavardė, parašas)

Vykdytojų sąrašas

Doc. dr. Robertas Zavalis (vadovas)

Doc. dr. Bronius Jonaitis (vykdytojas)

Įvadas

UAB „Bautopas“ užsakymu sukurtas sluoksniuotųjų sienų apdarinio – apsauginio sluoksnio konstrukcinis sprendinys (prototipas). Eksperimentais ištirtos apsauginio sluoksnio (mūro) mechaninės savybės: gniuždomasis stipris ir mūro stipris lenkiant lygiagrečiai su gulsčiosiomis siūlėmis ir statmeniau joms. Atlikta apdarinio – apsauginio įtemptojo mūro sluoksnio elgsenos veikiant trumpalaikiai horizontaliajai apkrovai elgsenos analizė. Ataskaitoje pateikiami tyrimų rezultatai. Apdarinio sluoksnio mūro bandiniai ir apdarinio – apsauginio sluoksnio prototipas pagaminti VGTU Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedros laboratorijoje, bandinius sumūrijo užsakovo mūrininkai. Paruošto sluoksniuotųjų sienų surenkamojo apdarinio – apsauginio sluoksnio prototipo pagrindu, užsakovas yra pateikęs registraciją patentui (Reg. Nr. LT2018511).

Darbo tikslas:

sukurti sluoksniuotosios sienos surekamąjį įtempto mūro apdarinio – apsauginio sluoksnio sprendinį ir atlikti įtempių būvio veikiant statinei horizontaliai apkrovai analizę.

Uždaviniai darbo tikslui pasiekti:

1. Trisluoksnių su ventiliuojamu fasadu konstrukcinių sprendinių analizė
2. Įtemptojo mūro apdarinio – apsauginio sluoksnio konstrukcinio sprendinio (prototipo) sukūrimas
3. Apsauginio – apdarinio sluoksnio medžiagų mūro mechaninių savybių tyrimas.
4. Įtemptojo mūro apsauginio – apdarinio sluoksnio veikiamo statine horizontalia apkrova įtempių būvio analizė.

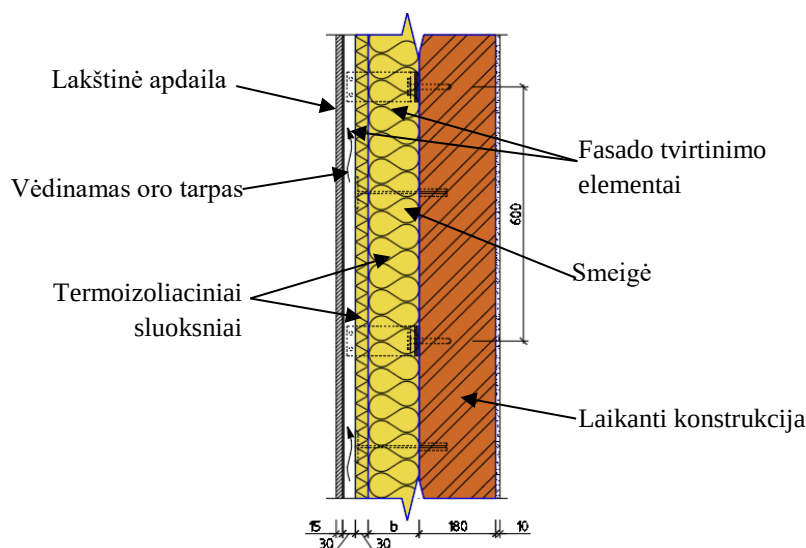
Darbo aktualumas:

Sukurtas sluoksniuotosios sienos įtemptojo mūro surenkamojo apdarinio – apsauginio sluoksnio konstrukcinis sprendinys bei išanalizuotas sukurtos konstrukcijos įtempių būvis, veikiant statinei horizontaliai apkrovai.

1. Apdarinio apsauginio sluoksnio konstrukcinis sprendinys (prototipas)

1.1. Bendrosios žinios

Mūrinių pastatų statyboje pastaruoju metu plačiai naudojamos sluoksniuotosios sienos su ventiliuojamu fasadu. Apdarinio sluoksnio įrengimui naudojamos lakštinės medžiagos. Tokio sluoksnio tvirtinimui reikalingas papildomas medinių elementų ar plieno lankstinių karkasas. Naudojant karkasą sienoje susidaro šiluminiai tilteliai, kurie pablogina sluoksniuotosios sienos šiluminės savybės (sumažina atitvarų šiluminę varžą) (1 pav.).

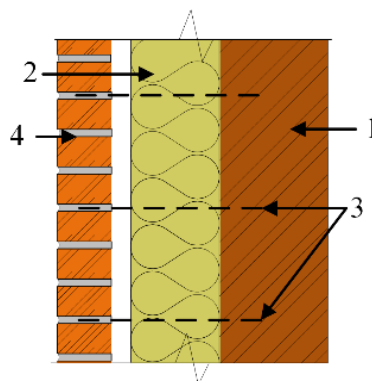


1 pav. Sluoksniuotoji siena su lakštinės medžiagos apdariniu sluoksniu

Dėl didelio plieninių fasado tvirtinimo elementų šilumos laidumo koeficiento, reikalingas termoizoliacinio sluoksnio storis, priklausomai nuo energetinio naudingumo klasės, padidėja nuo 120 iki 160 mm. Tai sudarytų 35-50% viso reikalingo termoizoliacinio sluoksnio. Mūrinių pastatų statyboje pastaruoju metu plačiai naudojamos sluoksniuotosios sienos ventiliuojamų įrengiamų iš apdailinių keraminių, dažniausiai klinkerinių, plytų. Išorinio apdarinio sluoksnio storis dažniausiai yra 120 mm.

Apdarinis apsauginis sluoksnis paprastai remiamas į pamatą arba į specialias pakankamai tankiai išdėstomas gembes ir papildomai tvirtinamas prie sienos laikančiojo sluoksnio lanksčiaisiais ryšiais. Tausojant aplinką ir mažinant energijos sąnaudas medžiagų gamybai pastebima tendencija ploninti sluoksniuotųjų sienų apdarinio sluoksnio storį.

Apdariniam sluoksniui įrengti siūloma naudoti 50 - 65 mm pločio keramines (klinkerines) plytas. Sluoksniuotosiose sienose apdarinis sluoksnis su vidiniu laikančiuoju jungiamas lanksčiaisiais ryšiais (2 pav.).



2 pav. Sluoksniuotosios sienos sprendinys: 1 – laikantysis sluoksnis, 2 – termoizoliacinis sluoksnis, 3 – lankstusis ryšys, 4 – apdarinis sluoksnis.

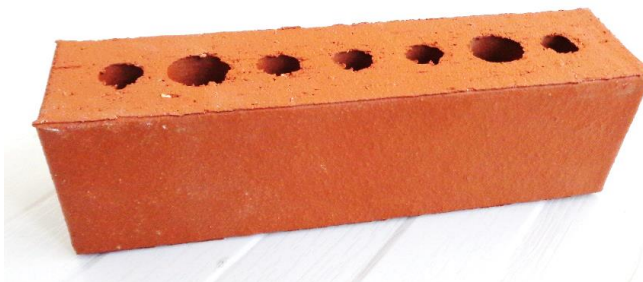
Įrengiant apdarinį apdailinį sluoksnį iš mažo pločio klinkerinių plytų statybvietėje susiduriama su technologinėmis problemomis. Kadangi klinkerinių plytų vandens įgertis yra labai maža, naudojant bendrosios paskirties skiedinį (gulsčiųjų siūlių storis yra 10 – 12 mm) sunku užtikrinti pradinį sukimbamąjį skiedinio ir plytų stiprį bei sluoksnio stabilumą. Šiuo atveju sudėtinga išlaikyti apdarinio –apsauginio sluoksnio plokštumą bei darbų kokybę. Kita vertus apdarinio – apsauginio sluoksnio įrengimas statybvietėje ribojamas klimatinų sąlygų pvz. lyjant arba esant neigiamai temperatūrai (žiema). Šias problemas galima išspręsti naudojant gamykloje pagamintą surenkamąjį apdarinį apsauginį sluoksnį iš klinkerinių plytų.

Gaminant tokį surenkamąjį apdarinį elementą gamykloje galima naudoti specialius standus. Standų panaudojimas išsprendžia anksčiau minėtas technologines problemas. Užtikrinama reikiama gaminių kokybės bei darbų kokybės kontrolė, išsprendžiamas sezoniškumo klausimai. Be to paspartėja fasado įrengimas statybvietėje.

Tyrimai rodo, kad tokio tipo konstrukcijų pritaikymas statyboje t.y. perkeltant statybos darbus darbus iš statybos aikštelės į gamyklą galima sutrumpinti darbų trukmę, o taip pat ir sąnaudas nuo 20 iki 30% [G. C. Lopes ir kiti 2017].

1.2. Apdarinio apsauginio sluoksnio konstrukcinis sprendinys (prototipas)

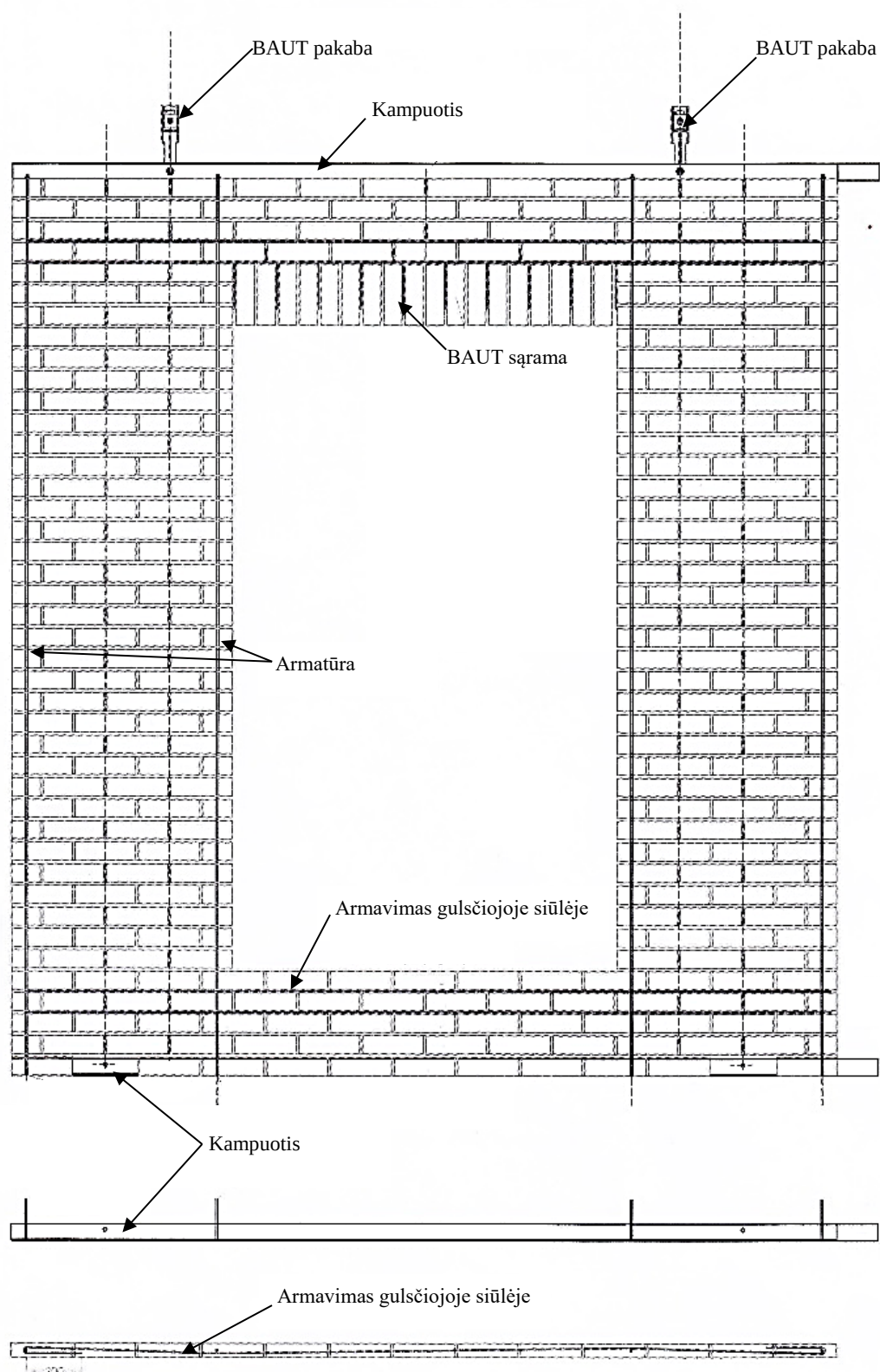
Apdarinis apsauginis surenkamas sluoksnis sudarytas iš specialiai pagamintu klinkerinių tuštymėtų plytų (3pav.). Plytų gamintojas – Wienerberger.



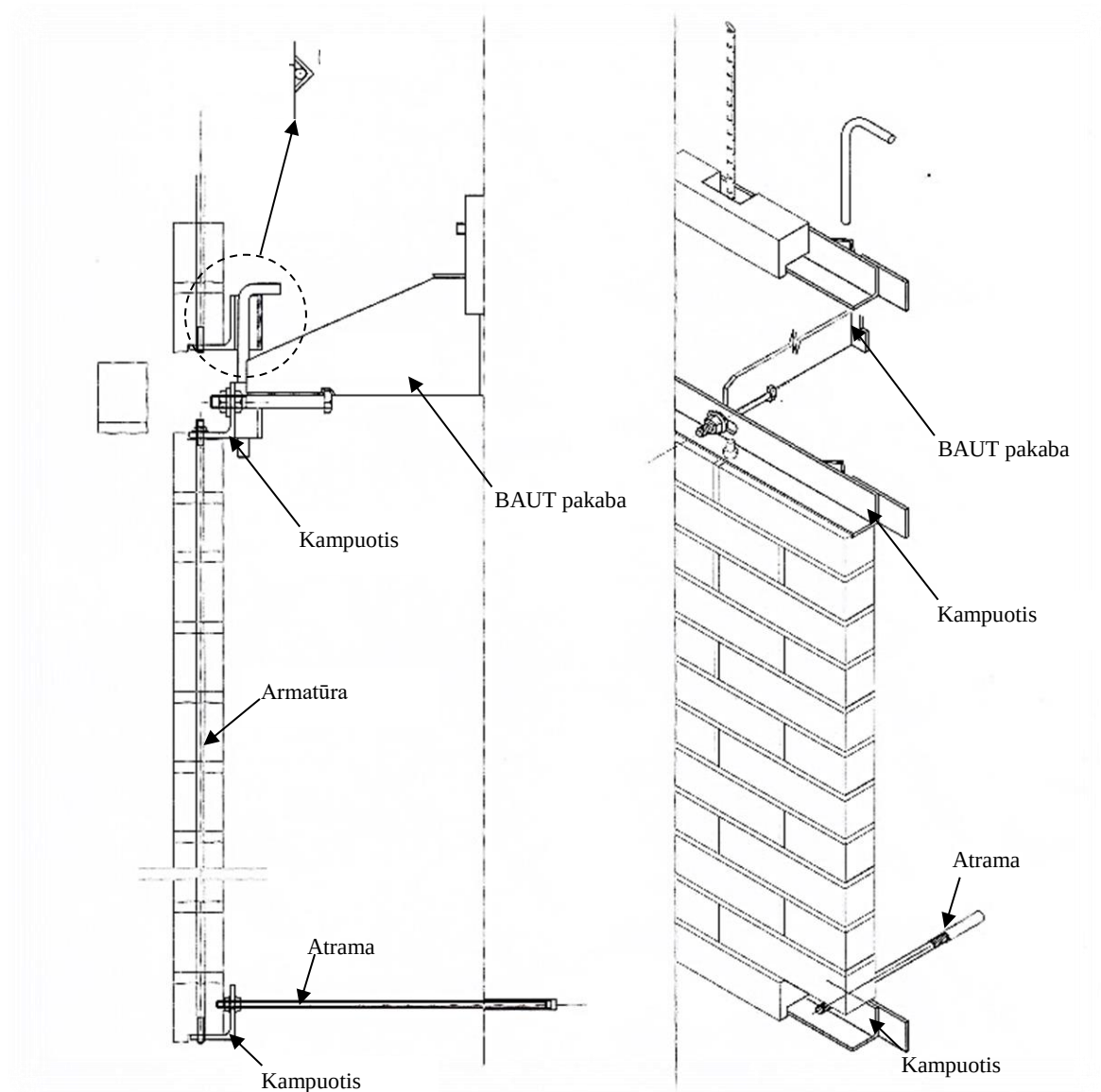
3 pav. Wienerberger tuštymėta klinkerinė plyta.

Gulsčiųjų siūlių storis 10 – 12 mm (bendrosios paskirties skiedinys). Gaminys armuotas vertikaliaja iš anksto įtemptąja armatūra. Vertiklioji armatūra įverinama į specialiai tam numatytas padidinto skersmens skyles. Padidinto skersmens skylių padėtis parinkta taip, kad užtikrinti plytų mūre perrišą. Gaminio apatinėje ir viršutinėje briaunose per skiedinio sluoksnį priglausti kampuočiai. Kampuočių paskirtis – tolygiai paskirstyti gniuždomuosius įtempius, sukeltus įtemptosios armatūros, į surenkamąjį mūrinį apdarinį – apsauginį sluoksnį (4 pav.). Armatūros kiekis parenkamas skaičiavimais.

Apdarinis apsauginis surenkamasis sluoksnis prie sluoksniuotosios mūro sienos laikančiojo sluoksnio tvirtinamas pakabinant ant specialių gėmbių. Apatinėje dirbinio dalyje numatyti fiksatoriai, kurie fiksuoja apdarinį sluoksnį projektinėje padėtyje bei perduoda vėjo apkrovą. Pakabų ir fiksatorių kiekis parenkamas skaičiavimais apkrovoms atlaikyti (5 pav.).



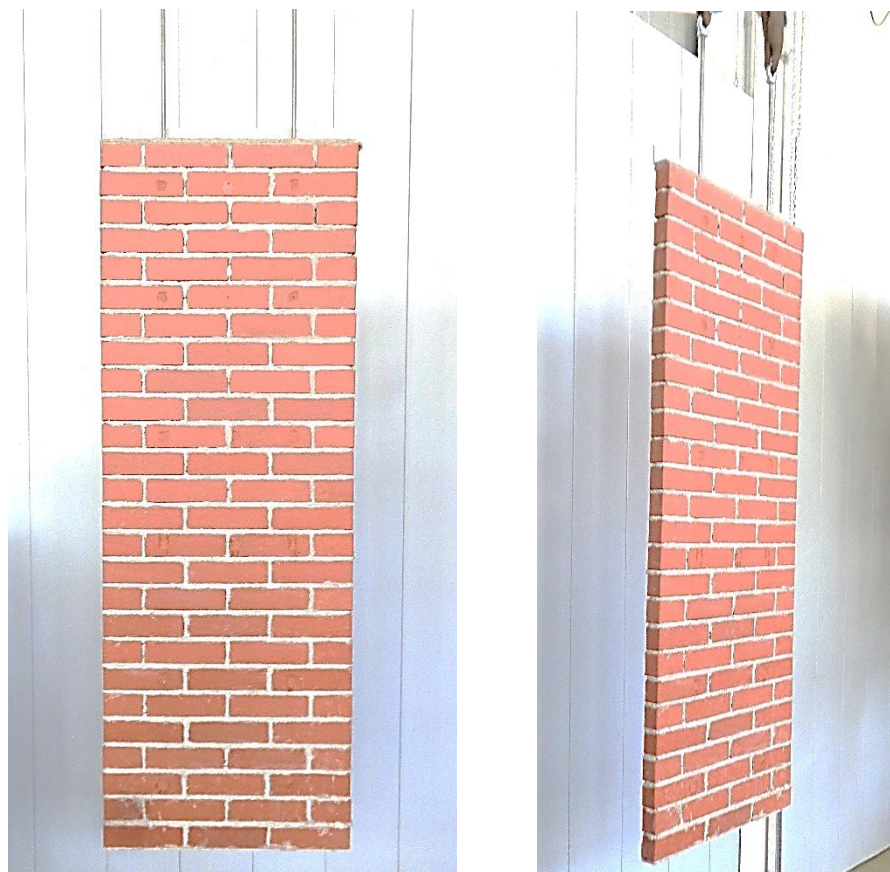
4 pav. Surenkamojo iš anksto įtemptojo apdarinio – apsauginio sluoksnio principinė schema (sienos fragmentas su anga langui)



5 pav. Apdarinio sluoksnio tvirtinimo prie laikančiojo sluoksnio sprendinys

Surenkamasis apdarinis apsauginis sluoksnis gali būti gaminamas įvairios konfigūracijos: be angų ir su angomis. Įrengiant angas mūro juostos virš angos (sąramos) ir po anga armuojamos specialiais armavimo elementais gulsčiosiose siūlėse. Kaip rodo atlikti tyrimai [Jonaitis, Zavalis ir Oganian 2017] sąramų armuotų dedant į gulsčiąsias siūles armavimo elementus lenkiamoji ir kerpamoji galia yra pakankamos apkrovoms atlaikyti. Naudojant tokį armavimą gali būti įrengiamos angos iki 2 m. Angoms didesnėms nei 2 m yra naudojamos tarpinės pakabos. Surenkamųjų apdarinių – apsauginių sluoksnių matmenys parenkami pagal pastatų fasadų sprendinius derinant pagal langų išdėstymą.

Kadangi gaminio sprendinį reprezentuoja tarpangis, laboratorijoje pagamintas surenkamojo iš anksto įtemptojo klinkerinių plytų apdarinis – apsauginio sluoksnio prototipas. Prototipo bendras vaizdas parodytas 6 pav.



6 pav. Įtemptojo klinkerinių plytų apdarinio – apsauginio sluoksnio prototipas (bendras vaizdas)

2. Apdarinio - apsauginio surenkamojo sluoksnio medžiagų ir mūro savybių tyrimas

2.1. Medžiagos, bandiniai, bandymo metodika

Medžiagos: Wienerberger skylėtosios keraminės apdailos plytos 220×51×60 mm, mūrijimo skiedinys Weber M100/600.

Keraminių plytų gniuždomasis stipris. Apdailinių skylėtųjų keraminių plytų gniuždomasis stipris nustatytas pagal LST EN 772-1:2011 standarto reikalavimus. Gniuždomasis stipris nustatytas gniuždant plytas statmenai guldomajam paviršiui (10 bandinių).

Bandymais nustatyta:

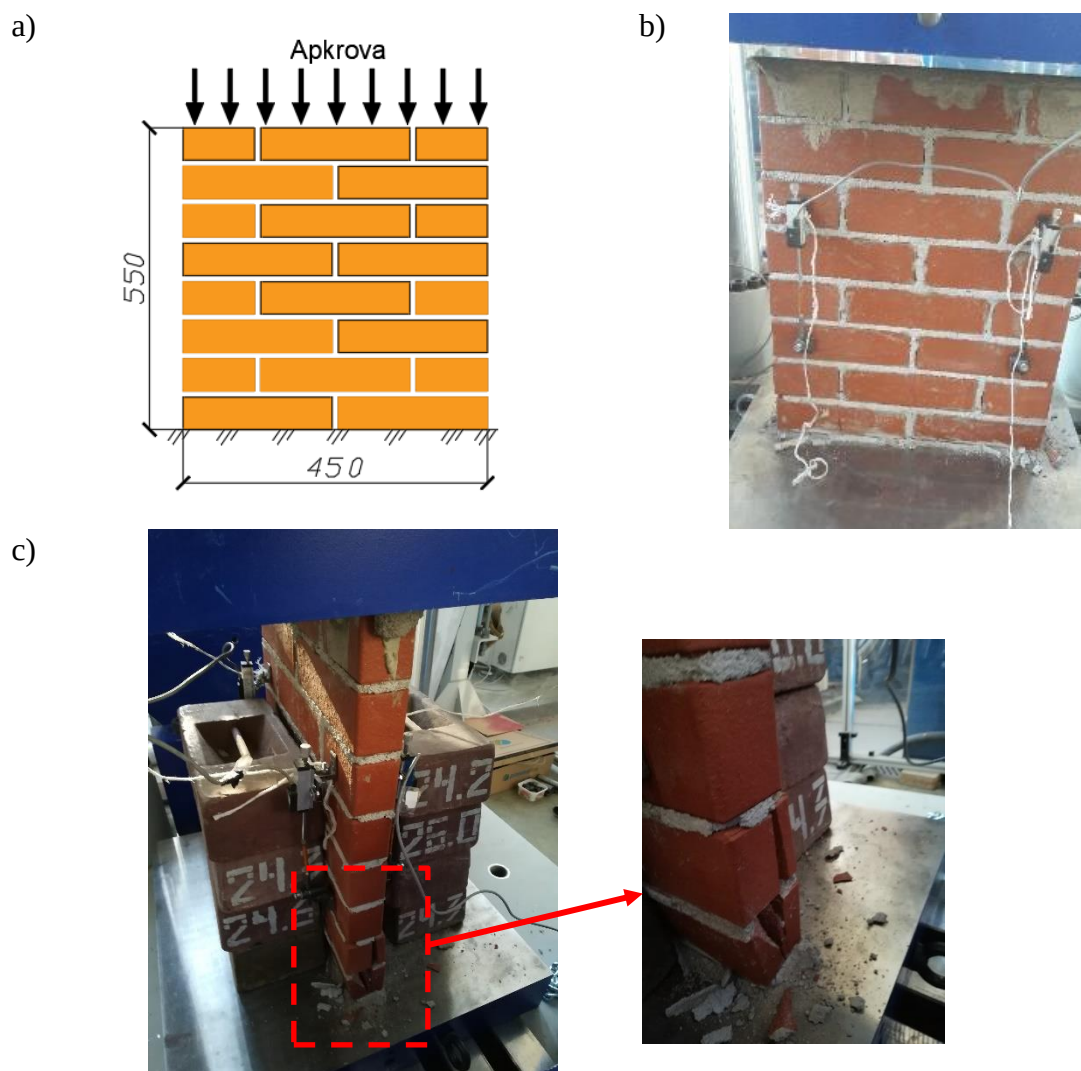
Apdailinių skylėtųjų keraminių plytų vidutinis gniuždomasis stipris statmenai guldomajam paviršiui $f_{bm} = 98$ MPa, variacijos koeficientas $\delta = 0,072$. Normalizuotas gniuždomasis stipris $f_b = 93$ MPa.

Apdailinių skylėtųjų keraminių plytų vidutinis lenkiamasis stipris statmenai fasadiniam paviršiui $f_l = 11,27$ MPa, variacijos koeficientas $\delta = 0,093$

Skiedinio gniuždomasis stipris nustatytas pagal LST EN 1015-11 standarto reikalavimus. Bandymais nustatyta, kad skiedinio vidutinis gniuždomasis stipris $f_m = 14,87$ MPa ($\delta = 0,091$). Skiedinio tamprumo modulis $E_{mor} = 11,8$ GPa, variacijos koeficientas $\delta = 0,11$.

Armatūra. Tam, kad kontroliuoti armatūros įtempimo lygį, eksperimentais (pagal LST EN ISO 15630 standarto reikalavimus) nustatyta įtempiamosios armatūros klasė atitinka S500 klasę. Nustatytas plieno tamprumo modulis $E_s = 196$ GPa.

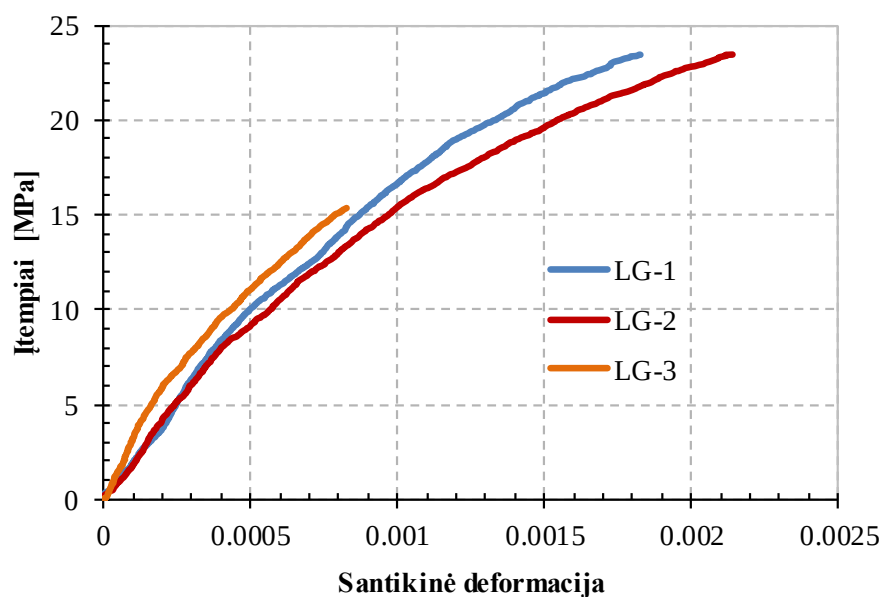
Skylėtųjų klinkerinių plytų mūro gniuždomasis stipris ir tamprumo modulis nustatyti bandant mūro bandinius pagal LST EN 1052-1 reikalavimus. Gniuždomi mūro bandiniai šifruojami raidėmis LG. Trumpalaikė statinė apkrova išbandyti trys bandiniai. Bandinių schema ir bandymų bendras vaizdas parodyta 7 pav. Bandymais nustatyta mūro vidutinis gniuždomasis stipris $f_{mean} = 22,3$ MPa (variacijos koeficientas $\delta = 0,09$). Mūro charakteristinis gniuždomasis stipris $f_k = 18,6$ MPa. Tyrimais nustatyta – vidutinis mūro tamprumo modulis $E_{cm} = 21,5$ GPa (variacijos koeficientas $\delta = 0,10$). Mūro atskirų bandinių rezultatai pateikti 1 lentelėje. Gniuždomo mūro įtempių ir deformacijų kreivės pateiktos paveiksle nr. 8.



7 pav. Mūro bandinių schema ir bendras vaizdas, a – bandinio schema, b – bendras vaizdas, c – irties charakteris

1 lentelė. LG bandymo rezultatai

Serija	Bandinio šifras	Maksimali apkrova F_{max} [kN]	Maksimalūs įtempiai σ_{max} [MPa]		Charakteristinis gniuždomasis stipris f_k [MPa]	Nustatytas tamprumo modulis E_{cm} [GPa]	
			bandinio	Vidurkis f_{mean} [MPa]		bandinio	Vidurkis E_{cm} [GPa]
LG	LG-1	539.5	23.4	22.26 (9%)	18.55	23.03	21.51 (10%)
	LG-2	540.0	23.4			19.10	
	LG-3	460.5	19.98			22.40	



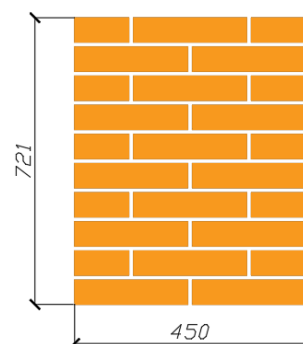
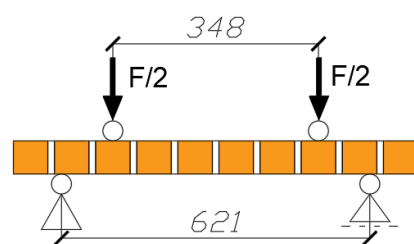
8 pav. Gniuždomo mūro įtempių ir deformacijų kreivės

Mūro tempiamasis stipris lenkiant lygiagrečiai su gulsčiosiomis siūlėmis f_{x1} nustatytas bandant mūro fragmentus (9 pav.) pagal LST EN 1052-2 reikalavimus. Lenkimo lygiagrečiai skiedinio siūlėms bandiniai šifruojami raidėmis LH Išbandyti 6 bandiniai. Bandymais nustatyta: vidutinis tempiamasis stipris $f_{x1m} = 1.19$ MPa, (variacijos koeficientas $\delta = 0.29$). Irtis įvyko per gulsčiąją siūlę (per neperrištą mūrą). Lenkiamo lygiagrečiai gulsčiosioms siūlėms mūro bandymo rezultatai pateikti lentelėje nr. 2.

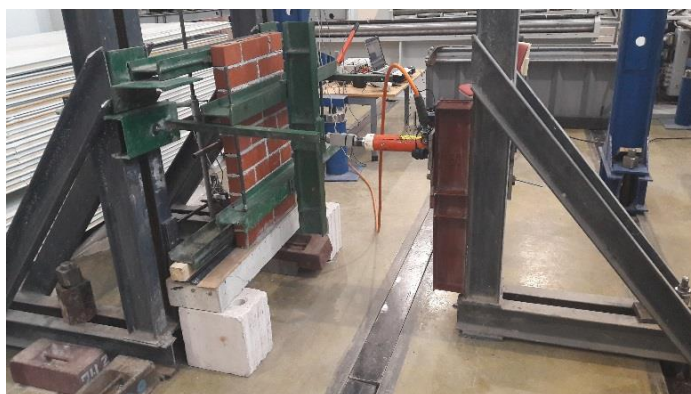
2 lentelė. LH bandymo rezultatai

Serija	Bandinio šifras	Maksimali apkrova F_{max} [kN]	Maksimalūs lenkimo momentas M_{max} [kNm]	Maksimalūs įtempiai σ_{max} [MPa]	
				bandinio	vidurkis
LH	LH-1	1.93	0.129	0.688	1.19 (29%)
	LH-2	2.46	0.159	0.847	
	LH-3	3.49	0.233	1.245	
	LH-4	3.63	0.243	1.295	
	LH-5	3.77	0.252	1.345	
	LH-6	4.72	0.315	1.684	

a)



b)



9 pav. Mūro bandinių schema ir bendras bandymo vaizdas: a – bandinio ir bandymo schema, b – bendras bandymo vaizdas

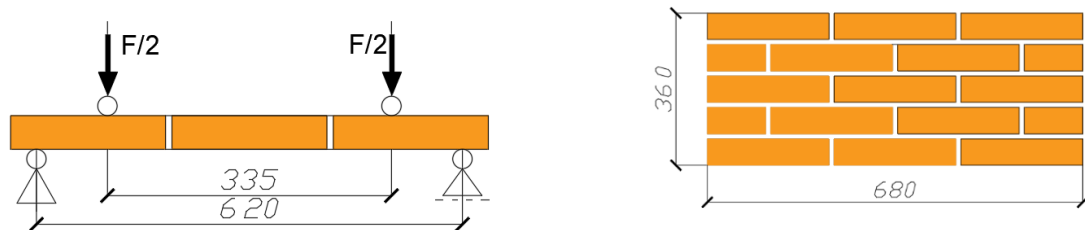
Mūro tempiamasis stipris lenkiant statmenai gulsčiosioms siūlėms f_{x2} nustatytas bandant mūro fragmentus (10 pav.) pagal LST EN 1052-2 reikalavimus. . Lenkimo statmenai skiedinio siūlėms bandiniai šifruojami raidėmis LV Išbandyti 6 bandiniai.

Bandymais nustatyta: vidutinis tempiamasis stipris $f_{x2m} = 2.56$ MPa, (variacijos koeficientas $\delta = 0.11$). Irtis įvyko per perrištą mūrą, statmenai gulsčiosioms siūlėms (10 pav. c). Lenkiamo statmenai gulsčiosioms siūlėms mūro bandymo rezultatai pateikti lentelėje nr. 3.

3 lentelė. LV bandymo rezultatai

Serija	Bandinio šifras	Maksimali apkrova F_{max} [kN]	Maksimalūs lenkimo momentas M_{max} [kNm]	Maksimalūs įtempiai σ_{max} [MPa]	
				bandinio	vidurkis
LV	LV-1	5.11	0.317	2.11	2.56 (11%)
	LV-2	6.82	0.423	2.82	
	LV-3	6.05	0.375	2.50	
	LV-4	6.97	0.432	2.88	
	LV-5	6.24	0.387	2.58	
	LV-6	5.92	0.367	2.45	

a)



b)



c)



10 pav. Mūro bandinių schema ir bendras bandymo ir irties vaizdas: a – bandinio schema, b – bendras bandymo vaizdas, c- irtis per perrištą mūrą

3. Apdarinio – apsauginio įtemptojo mūro sluoksnio elgsenos veikiant trumpalaikiai horizontaliajai apkrovai elgsenos analizė

3.1. Fasado apdarinio sluoksnio įtempių būvis

Išorinės sluoksniuotosios sienos apdarinį – apsauginį sluoksnį veikia horizontalioji vėjo apkrova, kuri gali būti kintamo ženklo. Pagal LST EN 1996-1-1 lenkiamieji momentai skaičiuojami atsižvelgiant į sluoksnio įtvirtinimo sąlygas. Kadangi sukurtas surenkamas apdarinis sluoksnis yra pakabinamas viršutinėje dalyje ant gembių bei papildomai apatinėje dalyje tvirtinamas prie laikančiojo sluoksnio jungėmis, kurios užtikrina apdarinio sluoksnio projektinę padėtį bei atlaiko teigiamą ir neigiamą vėjo slėgį. Sudarant skaičiuotinę schemą galima priimti, kad sluoksnis dirba viena linkme, kaip laisvai atremta plokštė. Priklausomai nuo vėjo apkrovos gali būti panaudota didesnis kiekis jungių. Jungių kiekis turi būti parenkamas skaičiavimais veikiančioms apkrovoms atlaikyti. Kai sluoksnis atremtas dviem kraštais lenkiamieji momentai skaičiuojami taikant įprastinius mechanikos dėsnius.

Nearmuotojo mūro, veikiamo šoninės apkrovos, laikomoji galia pakankama, jei tenkinama sąlyga:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}, \quad (1)$$

M_{Ed} – vėjo apkrovos sukeltas lenkiamasis momentas.

Mūrinio sluoksnio skaičiuotinė lenkiamoji galia M_{Rd} apskaičiuojama:

$$M_{Rd} = f_{xd} \times W, \quad (2)$$

čia f_{xd} – mūro skaičiuotinis lenkiamasis stipris atitinkamos lenkimo plokštumos atžvilgiu (f_{xd1} arba f_{xd2}); W – vienetinio aukščio arba ilgio atsparumo momentas $W=bt^2/6$ (b – skaičiuojamojo vienetinio ruožo plotis; t – sluoksnio storis).

Kai apdarinis sluoksnis dirba viena linkme (dviatramis laisvai atremtas elementas) $f_{xd} = f_{xd1}$.

Jeigu veikia vertikalioji gniuždymo jėga, o jos sukelti gniuždomieji įtempiai padidina mūro lenkiamąjį stiprį. Šiuo atveju:

$$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d,$$

f_{xd1} – mūro skaičiuotinis lenkiamasis stipris, kai irimo plokštuma yra lygiagreti su gulsčiosiomis siūlėmis.

Skačiuotiniai gniuždomieji įtempiai σ_d pagal LST EN 1996-1-1 rekomendacijas imami ne didesni kaip $0,2f_d$.

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{Ed}}{bt} \leq 0,2 f_d, \quad (3)$$

Čia f_d – mūro skaičiuotinis gniuždomasis stipris.

Kadangi nagrinėjamas išorinis apdarinis – apsauginis sluoksnis pakabintas ir veikiamas tik savojo svorio, tikslinga pakabinimo temple iš anksto įtempti ir tokiu būdu suteikti sluoksniui gniuždomuosius įtempius, kurių dydis pagal LST EN 1996-1-1 rekomendacijas galėtų būti toks, kad sukelti mūriniame sluoksnyje gniuždomuosius įtempius $\sigma_{sd} \leq 0,2 f_d$.

Šiuo atveju vienas iš pagrindinių reikalavimų yra vienodas (tolygus) surenkamojo elemento skerspjuvio išankstinis apgniuždymas. Elementas apgniuždomas statmenai gulsčiosioms siūlėms.

Tam, kad nustatyti apgniuždymo įtaką surenkamojo apdarinio – apsauginio sluoksnio lenkiamajai galiai atlikti eksperimentiniai tyrimai.

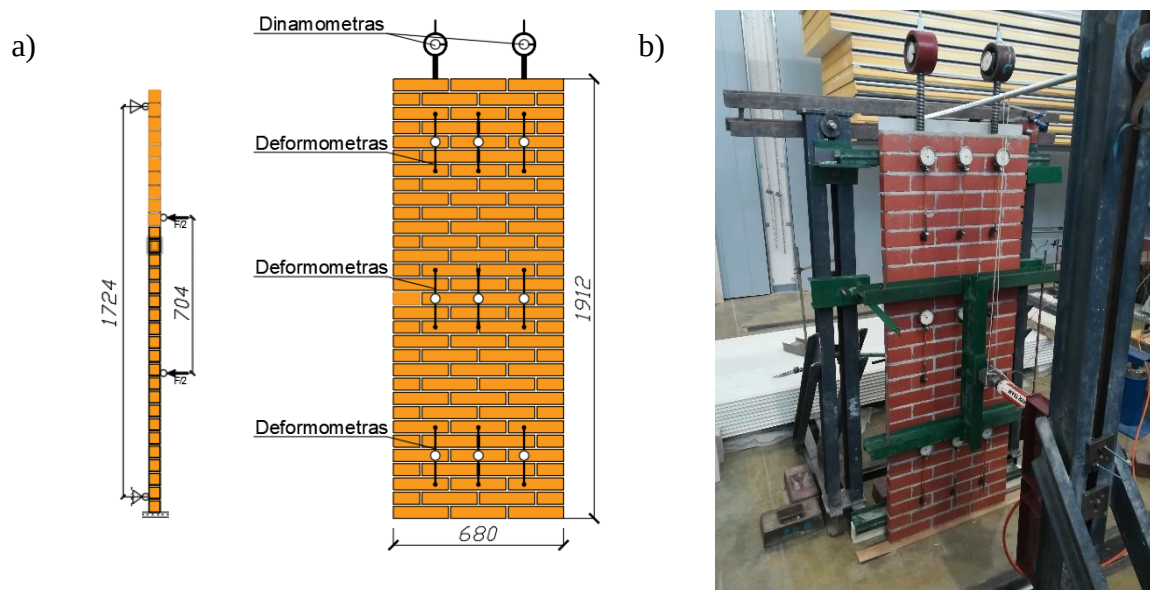
3.2. Surenkamojo klinkerinių plytų mūrinio apdarinio – apsauginio sluoksnio konstrukcinis sprendinys, medžiagos ir bandymo metodika

Surenkamojo apdarinio – apsauginio sluoksnio (prototipo) gamybai panaudotos klinkerinės skylėtosios plytos bei skiedinys (plytų ir skiedinio mechaninės savybės pateiktos 1 skyriuje). Gulsčiosios siūlės 10–12 mm storio. Mūrijimui naudotas bendrosios paskirties skiedinys. Surenkamas elementas buvo mūrijamas ant specialaus stendo, užmaunant plytas ant templių. Skiediniui pasiekus projekcinį stiprį elementas buvo perkeltas į bandymo stendą. Tam kad nustatyti išankstinio apgniuždymo lygį buvo išbandyti mūro fragmentai ir nustatytas mūro gniuždomasis stipris. Bandymo rezultatai pateikti 1 skyriuje.

Pastačius elementą į bandymo stendą buvo įtempiamos temple. Temple buvo įtempiamos mechaniniu būdu tiesiogiai perduodant gniuždomuosius įtempius į mūrą. Įtempimo lygis buvo kontroliuojamas dinamometrais. Elemento apgniuždymo tolygumas buvo kontroliuojamas matuojant elemento vertikalias deformacijas.

Templės įtempimos etapais fiksuojant prietaisų rodmenis. Prietaisų nustatymo bei dinamometrų išdėstymas parodytas 11 paveiksle.

Įtempus templates (armatūrą) elementas apkraunamas horizontaliąja statine apkrova. Armuojant mūrą įtempta armatūra pasireiškia įtempių nuotoliai dėl valkšnumo ir traukumo [Brooks 1990, Brooks ir Bakar 2004]. Tyrimuose armatūros įtempimas buvo atliekamas prieš bandymą. Parinkta įtempimo ir bandymo metodika leido išvengti išankstinių įtempių nuostolių. Horizontalioji apkrova sukelia hidrauliniu domkratu. Bandant fiksuojami elemento įlinkiai bei plyšių susidarymo momentas. Elemento bandymo schema parodyta 11 paveiksle. Iš viso išbandyti trys elementai, vienas iš jų kontrolinis, t. y. be išankstinio įtempimo. Bandymų rezultatai pateikti 3.3 skyriuje.

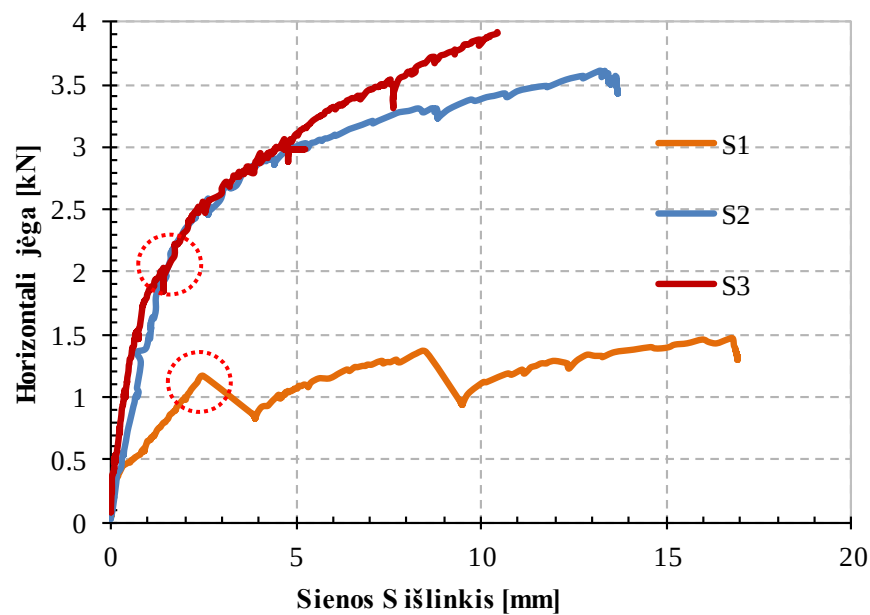


11 pav. Apatinio apsauginio įtempiojo mūro sluoksnio (prototipo) deformacijų matavimo prietaisų ir domkratų išdėstymo ir bandymo schema

3.3. Bandymo rezultatai ir jų analizė

Apkraunant apdarinį apsauginį sluoksnį statine horizontaliąja apkrova buvo matuojami elemento įlinkiai. Horizontalios jėgos – įlinkių grafikas pateiktas 13 paveiksle. Bandant vizualiai buvo stebimas plyšių susidarymo momentas. Plyšių susidarymo momentas patikslintas iš grafiko 12 pav. Lenkiamo lygiagrečiai gulsčiosioms siūlėms sienų S bandymo rezultatai pateikti lentelėse nr. 4 ir 5.

Bandymo metu nustatyta, kad nukrovus elementų plyšys užsivėrė. Bandymo metu pažaidų ar irties požymių nepastebėta. Įtempiojo surenkamojo apdarinio-apsauginio mūrinio elemento laikomąją galią galima apibūdinti plyšimo momentų arba ribojant įlinkį.



12 pav. Apsauginio apdarinio sluoksnio horizontalios jėgos – įlinkių priklausomybė

4 lentelė. S bandinių bandymo rezultatai (iki pirmo plyšio)

Serija	Bandinio šifras	Plyšio atsivėrimo apkrova F_{crc} [kN]	Lenkimo momentas M_{crc} [kNm]	Įtempiai σ_{crc} [MPa]		Pastabos
				bandinio	vidurkis	
S	S-1	1.17	0.300	1.058	-	Kontrolinis (be įtempimo)
	S-2	2.39	0.610	2.152	2.00	Įtemptas
	S-3	2.04	0.523	1.845		Įtemptas

Plyšio susidarymo momentu kontrolinės sienos S1 išlinkis sudarė 2.49 mm. Tuo tarpu apgniuždytų sienų S2 ir S3 išlinkio ir jėgos grafikai buvo panašūs ir plyšio susidarymo momentu siekė apie 1.85 mm.

5 lentelė. S bandinių bandymo rezultatai (maksimali apkrova)

Serija	Bandinio šifras	Maksimali apkrova F_{max} [kN]	Maksimalūs lenkimo momentas M_{max} [kNm]	Maksimalūs įtempiai σ_{max} [MPa]		Pastabos
				bandinio	vidurkis	
S	S-1	1.41	0.361	1.274	-	Kontrolinis (be įtempimo)
	S-2	3.57	0.915	3.228	3.287	Įtemptas
	S-3	3.70	0.948	3.345		Įtemptas

Išvados

Literatūros analizė parodė, kad naudojant ventiliuojamiesiems fasadams apdarinius apsauginius sluoksnius padidėja tvirtiklių bei darbo sąnaudos; sluoksniuotųjų sienų apdarinį apsauginį sluoksnį tikslinga įrengti naudojant surenkamųjų iš anksto įtemptųjų klinkerinių ar keraminių plytų sluoksnį.

Tyrimais nustatyta, kad:

- sukurtas surenkamas įtemptasis apdarinis apsauginis mūrinis sluoksnis pasižymi pakankamu atsparumu pleišėjimui ir nedideliu įlinkiu veikiant statine horizontaliaja apkrova;
- nustojus veikti horizontaliajai apkrovai atsivėrę plyšiai užsiveria. Plyšių atsivėrimas yra trumpalaikis. Tai padidina apdarinio apsauginio sluoksnio ilgalaikiškumą. Surenkamojo apdarinio apsauginio sluoksnio panaudojimas įrengiant ventiliuojamą fasadą išsprendžia fasadų įrengimo sezoniškumo klausimus.
- Išankstinis surenkamojo apdarinio apsauginio elemento apgniuždymas padidina plyšimo momentą lyginant su elementu be išankstinio apgniuždymo iki 2 kartų.
- Išankstinis surenkamojo apdarinio apsauginio elemento apgniuždymas sumažina išlinkius lyginant su elementu be išankstinio apgniuždymo atitinkamai 35%.

Literatūra

1. Lopes G. C., Vicente R., Azenha M., Ferreira T. M. (2017) A systematic review of Prefabricated Enclosure Wall Panel Systems: focus on technology driven for performance requirements. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.027>
2. Jonaitis B.; Zavalis R.; Oganian J. (2017) Experimental investigation of the behaviour of brick lintels. *Procedia Engineering. Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016*. Vol. 172, p. 465-472.
3. LST EN 771-1:2011. Mūro gaminių techniniai reikalavimai.
4. LST EN 772-1. Mūro gaminių bandymo metodai. 1 dalis. Gniuždymo stipris.
5. LST EN 772-2. Mūro gaminių bandymo metodai. 2 dalis. Užpildų betono, autoklavinio akytojo betono, dirbtinio ir gamtinio akmens mūro gaminių kapiliarinio vandens įmirkio ir keraminių mūro gaminių pradinės vandens įmirkio spartos nustatymas.
6. LST EN 772-21:2011. Mūro gaminių bandymo metodai. 21 dalis. Keraminių ir silikatinių mūro gaminių vandens įmirkio nustatymas panardinant juos į šaltą vandenį.
7. LST EN 998-2. Techniniai mūro skiedinio reikalavimai. 2 dalis. Mūro skiedinys.
8. LST EN 1015-11:2004. Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymas.
9. Brooks J. J. (1990) Composite modelling of masonry deformation. *Materials and structures*. Vol 23, p. 241-251.
10. Brooks J. J., Abu Bakar B. H. (2004) Shrinkage and creep of masonry mortar. *Materials and structures*. Vol 37, p. 177-183.
11. LST EN 846-9:2000. Pagalbinių mūro komponentų bandymo metodai. 9 dalis. Saramų atsparumo lenkimui ir kirpimui nustatymas.
12. LST EN 1996-1-1:2006. Eurokodas 6. Mūrinių konstrukcijų projektavimas. 1–1 dalis. Bendrosios armuotųjų ir nearmuotųjų mūrinių konstrukcijų taisyklės.

PRIEDAS

Skylėtųjų klinkerinių plytų gniuždymo bandymo rezultatai

Keraminių plytų gniuždymo rezultatai pateikti lentelėje nr. 1.1.

1.1 lentelė. Plytų gniuždymo bandymai

Bandinio šifras	Plotis [mm]	Ilgis [mm]	Aukštis [mm]	Maks. Apkrova [kN]	Gniuždomasis stipris [MPa]	
					bandinio	vidutinis
P-1	51.5	220.8	61.0	1209.5	106.0	98 (7.2%)
P-2	51.1	220.7	59.9	1182.9	104.9	
P-3	51.0	220.9	60.2	993.1	85.2	
P-4	51.3	220.9	61.4	1093.7	96.6	
P-5	51.1	221.0	61.3	1070.1	94.4	
P-6	51.2	221.1	61.0	1047.9	92.5	
P-7	51.5	221.9	61.4	1105.4	96.7	
P-8	51.3	220.8	61.8	1125.0	99.3	
P-9	51.3	221.3	60.2	1238.2	109.0	
P-10	51.6	221.0	61.4	1088.6	95.5	