



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

Kęstutis Misiūnas

**STIKLO PLASTIKU ARMUOTO BETONO SIJŲ STIPRUMO,
STANDUMO IR IRIMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Lekt. dr. Nerijus Partaukas

PANEVĖŽYS, 2015

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA**

TVIRTINU

Katedros vedėjas doc. Arūnas Tautkus

(parašas)

(data)

**STIKLO PLASTIKU ARMUOTO BETONO SIJŲ STIPRUMO,
STANDUMO IR IRIMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (621H30001)

Vadovas

Lekt. dr. Nerijus Partaukas

(parašas)

(data)

Recenzentas

(parašas)

(data)

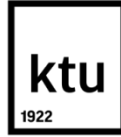
Projektą atliko

Kęstutis Misiūnas

(parašas)

(data)

PANEVĖŽYS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Kęstutis Misiūnas

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija, 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Stiklo plastiku armuoto betono sijų stiprumo, standumo ir irimo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 1 d.
_____ Panevėžys _____

Patvirtinu, kad mano **Kęstučio Misiūno** baigiamasis projektas tema „Tekstile armuoto betono sijų stiprumo, standumo ir irimo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Kęstutis Misiūnas Grupė PMM - 3

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Stiklo plastikų armuoto betono sijų stiprumo, standumo ir irimo tyrimas

Anglų kalba: Research on strenght, stiffness and fracture of fiberglass plastic reinforced concrete beams

Patvirtinta 2015 m. vasario mėn. 13 d. dekanu potvarkiu Nr. ST17-F-13-11

2. Darbo tikslas:

Atlikti daugiasluoksnių konstrukcinių elementų (DKE) stiprumo, standumo ir irimo tyrimus.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Bandinių matmenys 40 x 40 x 160. Armavimo tinklelio matmenys 2,85 x 2,85 mm, medžiaga – stiklo pluoštas. Armuojančių sluoksnių skaičius: 12, 18, 24. Klizai: dvi-komponenčiai, epoksido pagrindu. Bandymams naudojama trijų taškų lenkimo schema.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

*Santrauka
Įvadas
Daugiasluoksniai konstrukciniai elementai ir tyrimų apžvalga
Stiklo plastikų armuotų betono sijų elgsenos tyrimas
Tyrimo rezultatai
Rezultatų analizė
Išvados
Šaltinių sąrašas*

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2015-06-01

(data)

Užduotį gavau: Kęstutis Misiūnas

(studento vardas, pavardė, parašas)

2015-02-02

(data)

Vadovas: Lekt. dr. Nerijus Partaukas

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2015-02-02

(data)

Misiūnas, K. Stiklo plastikų armuoto betono sijų stiprumo, standumo ir irimo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas Lekt. dr. Nerijus Partaukas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra.

Panevėžys, 2015. 63 psl.

SANTRAUKA

Eksperimentinio tyrimo metu buvo tiriama stiklo armavimo įtaka betono konstrukcijoms. Bandymams atlikti pagaminta 60 betono konstrukcijų. Norint nustatyti armavimo įtaką, tiriamos nesustiprintos betoninės konstrukcijos. Atlikta 15 tyrimų su gryno betono sijomis.

Norint nustatyti stiklo pluošto armavimo įtaką, buvo atlikti bandymai su sustiprintomis sijomis. Sustiprinta 15 betoninių sijų su 12, 18 ir 24 sluoksnių stiklo pluošto armatūra, kuri prie konstrukcijų klijuojama epoksidine derva.

Eksperimentinis tyrimas atliekamas pagal trijų taškų lenkimo – gniuždymo schemą. Bandiniai dedami ant dviejų atramų ir spaudžiami per centrą jėgos F .

Tyrimo metu paaiškėjo, kad nesustiprintos konstrukcijos atlaiko vidutiniškai 2,74 kN apkrovą lenkiant, o sustiprintos konstrukcijos atlaikydavo vidutiniškai 6 kN apkrovą. Stebėta, kad sustiprintose konstrukcijose atsiradę pirmi įtrūkimai sutampa su nesustiprintos grupės suirimo apkrova.

Eksperimentinio tyrimo metu įrodyta, kad stiklo pluoštu stiprinant betono konstrukcijas gaunami teigiami rezultatai, o stiprinant konstrukcijas 12 sluoksnių ir daugiau, reikalingas stiklo pluošto armatūros inkaravimas.

Misiūnas, K. Research on strength, stiffness and fracture of fiberglass plastic reinforced concrete beams. Masters final project / supervisor Lekt. dr. Nerijus Partaukas; Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technology and Business, Department of Technologies. Panevėžys, 2015. 63 psl.

SUMMARY

During the experimental study, the research of fiberglass influence on steel structures was exercised. 60 steel structures were made to perform the tests. In order to determine fiberglass influence, non reinforced steel structures were tested. 15 tests were made with pure concrete beams.

In order to determine the influence of fibre glass quilt, tests were made with reinforced beams. 15 steel beams were reinforced with 12, 18 and 24 layers of fiber glass quilt framework which is glued to structures with epoxide resin.

Experimental study was performed according to a 3-point bending-pressing scheme. Samples are put on a 2 support units and are pressed through force center F.

The study revealed that non reinforced structures can withstand on average 2.74kN load when bended and reinforced structures can withstand on average 6 kN load. It has been noticed that the first cracks whose appeared on reinforced structures were coinciding with non reinforced structures disintegration load.

During the experimental study it was proved that strengthening steel structures with fibre glass results are positive but if steel structure is strengthened with 12 layers or more, fibre glass quilt framework anchoring is needed.

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. DAUGIASLUOKSNIAI KONSTRUKCINIAI ELEMENTAI.....	9
1.1 Daugiasluoksnių konstrukcinių elementų panaudojimas.....	9
1.2 Kompozitinės medžiagos.....	10
1.3 Daugiasluoksnių konstrukcinių elementų sandara.....	11
1.4 Konstrukcijų sustiprinimas anglies arba stiklo pluošto juostomis.....	13
1.5 Stiprinimas mechaniškai tvirtinant anglies arba stiklo pluoštu armuota juosta.....	15
1.6 Pluoštai.....	16
1.7 Dervos.....	17
1.8 Eksperimentinis tyrimas atliktas pluoštų armatūrą klijuojant ant gelžbetoninių sijų.....	21
1.9 Pluoštu sustiprintų elementų eksperimentiniai tyrimai.....	23
1.10 Skyriaus apibendrinimas.....	26
2. STIKLO PLASTIKU ATMUOTŲ BETONINIŲ SIJŲ ELGSENOS EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	28
1.11 Naudota įranga.....	28
1.12 Tyrimo eiga, bandinių gamyba - ruošimas.....	32
3. TYRIMO REZULTATAI.....	38
1.13 Pirmos bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	39
1.14 Antros bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	42
1.15 Trečios bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	46
1.16 Ketvirtos bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	50
1.17 Keturių grupių eksperimentų rezultatų palyginimas.....	54
1.18 Stiklo plastiko tempimo tyrimas.....	55
4. REZULTATŲ ANALIZĖ.....	57
IŠVADOS.....	61
ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	62

IVADAS

Betonas gaunamas iš rišamųjų medžiagų cemento, užpildo (smėlio, žvyro) ir vandens mišinio. Jo atsiradimas žinomas nuo 5600 m. pr. m. e., tačiau betono konstrukcijų sustiprinimas armatūra (gelžbetonio konstrukcija) pradėta naudoti XIX a. viduryje Vakarų Europoje. Pirmoji gelžbetonio konstrukcija buvo pagaminta 1849 m. Žano Lambos (Prancūzija). 1867 m. Žozefas Monjė (Prancūzija) pagamino perdangą ir užpatentavo gelžbetonio konstrukciją. Lietuvoje gelžbetonį pradėta naudoti XIX a. pabaigoje [1]. Pirmosios daugiakomponentės (daugiasluoksnės) sijos buvo pagamintos 1970 m. Vokietijoje, o 1980 m. užpatentuotos (patento Nr. 0038830).

Konstruciniuose elementuose, naudojant vienos rūšies medžiagą (homogeną), ne visuomet išeina suderinti stiprumo savybių su konstrukcijai keliamais reikalavimais – stiprumo, masės, kainos ir kitais. Tačiau naudojant keletą skirtingų medžiagų, turinčių skirtingas stiprumo, fizikines ir mechanines savybes, galima gauti optimalių parametrų konstrukcinius elementus [9].

Nuo senų laikų galima sukurti konstrukciją iš dviejų ar daugiau medžiagų. Tikslas – gauti tokią medžiagą, kuri pasižymėtų savybėmis, kurių neturi nė viena atskirai paimta konstrukcijos sudedamoji dalis. Kompozitinė medžiaga arba konstrukcija yra daugiakomponentė sistema, sudaryta iš dviejų ar daugiau komponentų. Tai mažiausiai dviejų skirtingų medžiagų derinys, kuriame galima nustatyti ribas, atskiriančias jų sudarančias medžiagas.

Pluoštų panaudojimas kompozitinėms medžiagoms armuoti pagrįstas tuo, kad įvairių medžiagų pluošto pavidalo panaudojimas suteikia kompozitui stiprumo ir standumo, o padidintas pluoštų lankstumas palengvina klojimą, nes armuotoji medžiaga gali būti įvairiai formuojama [9].

Daugiasluoksnės sijos plačiau pradėtos taikyti atsiradus kompozitinėms medžiagoms (stiklo, anglies ir kiti pluoštai, armuoti plastikai). Visos šios medžiagos pasižymi anizotropinėmis savybėmis, kai medžiagos savybės įvairiomis kryptimis yra skirtingos. Naudojant tokias medžiagas, galima gauti norimą stiprumą ir standumą, kai konstrukcija tempiama ar lenkiama.

Naują konstrukciją pagaminus iš skirtingų medžiagų, kurių charakteristikos yra žinomos (stiprumas, standumas), gautumėte visiškai naują konstrukciją, kuri nebus panaši savo charakteristikomis į ją sudariusių medžiagų. Daugiasluoksniai konstrukciniai elementai (DKE), mums leidžia pagaminti tokią konstrukciją, kuri turėtų minimalią kainą, svorį, maksimalų stiprumą ir standumą.

Gaminant naujas konstrukcijas, kai prie vienos medžiagos yra pridama stipresnė medžiaga, galima:

- 1) padidinti konstrukcijos stiprumą, standumą
- 2) sumažinti elementų svorį, skerspjūvį
- 3) pagerinti šilumos ir garso izoliacijos savybes
- 4) ženkliai sumažinti konstrukcijų gamybos, transportavimo bei montavimo išlaidas

Pagrindinis darbo tikslas – atlikti daugiasluoksnių konstrukcinių elementų (DKE) analizę, atliekant stiklo plastikų armuotų betono sijų stiprumo, standumo ir irimo tyrimus.

Tyrimo objektas – stiklo plastikas, kuris yra nebrangi medžiaga, atspari išoriniam aplinkos poveikiui, galinti sustiprinti jau egzistuojančias konstrukcijas ir apsaugoti nuo išorinio aplinkos poveikio.

1. DAUGIASLUOKSNIAI KONSTRUKCINIAI ELEMENTAI

1.1 Daugiasluoksnių konstrukcinių elementų panaudojimas

Daugiasluoksniai konstrukciniai elementai (DKE) yra konstrukcijos, kurios yra sudarytos iš dviejų ir daugiau skirtingų medžiagų, kurių stiprumo ir standumo charakteristikos žinomos. Tokios konstrukcijos išorines apkrovas atlaiko tarsi vientisa konstrukcija. Norint sukurti tvirtą ir patikimą DKE konstrukciją, reikia gerai žinoti mechanines medžiagų savybes, jas išreikšti skaičiais, kurių pagalba apskaičiuosime konstrukcinius elementus. [2].

DKE leidžia optimaliai konstruoti gaminius, todėl turime žinoti, kaip kinta savybės dėl įvairių veiksnių, kad galėtumėme numatyti konstrukcijos eksploatacijos patikimumą. Naudojant dvi ir daugiau skirtingų medžiagų, kurios skiriasi stiprumo, standumo charakteristikomis bei svorio mase, galima pagaminti konstrukciją su didele konstrukcijų įvairove ir skirtingais parametrais. Derinant kompozitinių medžiagų stiprumo ir standumo reikalavimus su sluoksnių skaičiumi ir storio bei tankiu, o taip pat kaina, galime gauti maksimalaus standumo ir stiprumo, minimalios masės ir kainos daugiasluoksnes konstrukcijas.

DKE stiprumas priklauso nuo: panaudotų medžiagų, sluoksnių skaičiaus ir išdėstymo, medžiagų kiekio, sudarančio sluoksnį (sluoksnio storio) bei jų mechaninių charakteristikų ir geometrinių parametru. Pagaminta konstrukcija iš vienos medžiagos negali prilygti stiprumu, mechaninėmis ar fizikinėmis savybėmis konstrukcijai, kuri susideda iš kelių ar kelių medžiagų.

Daug šiuolaikinių konstrukcinių medžiagų sudaro kompozicijos, kurios gaminiui suteikia tam tikrą savybių derinį. Tai skirtingų medžiagų sistema, kurios kiekvienas komponentas gaminyje turi tam tikrą paskirtį. Medžiagų bendras darbas kompozicijoje yra tolygus sukūrimui naujos medžiagos, kurios savybės kiekybiškai ir kokybiškai skiriasi nuo ją sudarančių komponentų savybių. Daugiakomponentiniai konstrukciniai elementai gali būti gauti naudojant polimerines, kompozicines medžiagas, plieną, betoną, medį, stiklo audinį ir kitas medžiagas. Labiausiai paplitusios sluoksniuotos (daugiasluoksnės) konstrukcijos, dažniausiai suformuotos iš kompozitinių medžiagų. Konstrukcinius elementus įprasta vadinti hibridiniais, kurie yra suformuoti naudojant įvairių geometrinių formų elementus iš skirtingų medžiagų.

1.2 Kompozitinės medžiagos

Žodis “kompozitas” lotyniškai kompozitus, reiškia sudėtinis, susidedantis iš keleto elementų [4]. Kompozitas, tai vienalytė medžiaga, sudaryta iš dviejų ar daugiau visiškai skirtingų medžiagų, kurios yra stipresnės sujungtos kartu, o ne atskirai. Kompozitinių medžiagų deriniai gali būti: molis ir šiaudai, betonas ir metalas (armatūra), stiklo pluoštu armuoti plastikai (stiklo plastikai), pluoštai ir dervos (klijai). Populiariausia kompozitinė medžiaga yra stiklo plastikas.

Mokslo tyrimuose ir praktikoje priimta, kad jeigu vienas iš medžiagos komponentų turi vientisą formą, tai jis laikomas matrica, o kita dalis, tam tikrais dydžiais ir forma įterpta į matricą, laikoma intarpais, armuojančiais ar kitokią paskirtį turinčiais elementais. Šie intarpai medžiagai-matricai suteikia naujų savybių, kurių ji neturi. Pavyzdžiui, į betono mišinį įmaišę porėtųjų granuliu, turėsime gaminį su mažesniu šilumos laidžiu. Intarpo terminas apima ir didesnes oro poras bei tuštynes, įterptas į matricą [5]. Praktika rodo, kad didžiausią įtaką kompozito savybėms turi užpildai, jų pasiskirstymas ir išdėstymas matricoje.

Esant tai pačiai matricai, bet keičiant užpildus, jų savybes ir kiekį, galima gauti pageidaujamų savybių kompozitines medžiagas. Kuriant kompozitinę medžiagą ar konstrukciją, siekiama kuo geriau panaudoti ne tik įvairių komponentų stiprį ir deformatyvumą, bet ir termoizoliacines savybes, antikorozinį atsparumą, drėgmės nepralaidumą ir kitus jų ypatumus.

Jei viena dedamoji dalis gerai atlaiko mechaninius poveikius, kita nepraleidžia šilumos, trečia – drėgmės, tai jas reikiamai išdėsčius ir sujungus galima gauti stiprią, gerai šilumą ir drėgmę izoliuojančią medžiagą ar konstrukciją, vadinamą statybiniu kompozitiniu dirbiniu [6].

Rišančiosios medžiagos svarba yra labai didelė ir smarkiai įtakoja galutinio junginio, kompozito charakteristikas. Todėl labai svarbu laikytis gamintojo nurodymų, išlaikyti technologinius gamybos režimus ir gamybos sąlygas. Naudojant epoksidinę dervą reikia maišyti su kietikliu tiksliai tokiu santykiu kaip nurodyta gamintojo. Didesnis ar mažesnis kietiklio kiekis epoksidinės dervos junginyje, reakcijos nei greitina, nei lėtina, o blogina medžiagos charakteristikas, gali padaryti dervą išvis nekietėjančia. Tam, kad būtų išlaikoma gamybos technologija, kompozitinių medžiagų gamyboje naudojama speciali įranga [4].

Kompozitų naudojimo privalumai: lengvumas ir tvirtumas, atsparumas korozijai, cheminiams veiksniams, ilgaamžiškumas, lengvas apdirbimas (lengva suteikti norimą formą). Iš kompozitinių medžiagų yra gaminami plataus vartojimo gaminiai: laivai – jachtos, kateriai, statybinės konstrukcijos, nameliai ant ratų, baseinai, sporto inventoriūs. Taip pat galima gaminti viską kas susiję su vandeniu (vamzdžiai, talpos, saugyklos), labai plačiai naudojama karo pramonėje, aviacijoje ir t.t.

Statybos reikmėms kuriami ir naudojami kompozitiniai dirbiniai, daugiausia gaminami iš tokių savo savybėmis skirtingų komponentų kaip cemento, plieno, aliuminio, medžio, įvairių putplasčių, stikloplasčio, mineralinės vatos ir kt. Kompozito struktūroje skiriamos dvi dalys: užpildai arba intarpai ir matrica, kuri sujungia visus komponentus į vieną kūną [10].

1.3 Daugiasluoksnių konstrukcinių elementų sandara

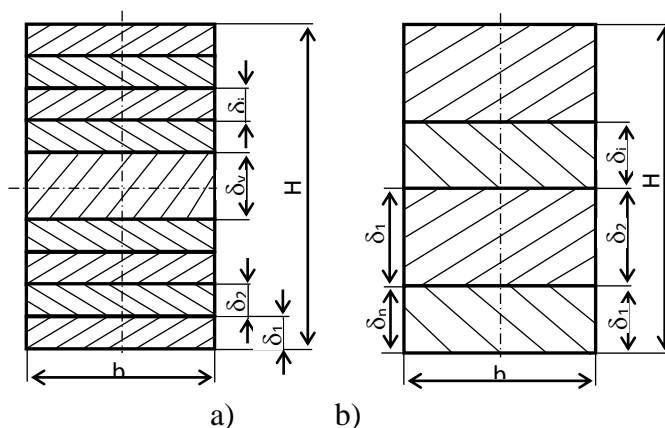
Kūnas, kuris yra pagamintas iš dviejų ar daugiau skirtingų medžiagų, turintis baigtinį sluoksnių skaičių yra vadinamas daugiasluoksniu arba sluoksniuota konstrukcija (DKE). Sluoksnių storis paprastai žymiai mažesnis už jų ilgį arba plotį. Veikiant apkrovoms, struktūriniai komponentai (sluoksniai) tarpusavyje sąveikauja ir užtikrina, kad konstrukcija jais atlaikytų tarsi vientisas kūnas. Sluoksniai dažniausiai būna plokštės arba cilindro formos, tačiau gali būti ir bet kokios formos [2].

Nagrinėjant sluoksniuotų konstrukcinių elementų (sijų ar strypų) stiprumą ir standumą, buvo pastebėta, kad priklausomai nuo konstrukcinio elemento sluoksnių medžiagos mechaninių savybių, sluoksnių formavimui naudojamų medžiagų skaičiaus, sluoksnių padėties (išsidėstymo) konstrukciniame elemente ir jų skaičiaus (lyginis ar ne), sluoksniuoto konstrukcinio elemento stiprumo ir standumo savybių kitimo dėsningumai atskiroms elementų konstrukcijoms skiriasi. Visi sluoksniuoti konstrukciniai elementai pagal jų savybių kitimo dėsningumų panašumą buvo suskirstyti į tipus ir grupes [7].

DKE ir kompozitas yra labai artimi, tačiau pagal apibrėžimą iš esmės skiriasi. Pirmiausia, kompozitas mikro lygyje būdamas konstrukcija, makro lygyje yra medžiaga. DKE aiškiai negalima išskirti matricos ir armatūros, nes paprastai nėra bendros, visus sluoksnius į vientisą

masę surišančios fazės (matricos). Bendru atveju, DKE sluoksniai gali būti pagaminti tiek iš homogeninių, tiek iš kompozitinių medžiagų, tiek iš šių medžiagų derinio. Nors DKE sąvoka iš dalies apima ir kompozitines medžiagas, tačiau tiek kompozito sąvoka gali būti apibendrinta iki DKE, tiek pastaroji supaprastinta iki kompozito. DKE akivaizdžiai skiriasi ir nuo įprastų homogeninių konstrukcijų, nes jose yra bent kelios skirtingų mechaninių savybių medžiagos, su aiškiai apibrėžta skiriamąją riba [2].

Pagal konstrukcinio elemento sluoksnių skaičių ir simetriškumą sluoksniuoti, konstrukciniai elementai suskirstyti į simetrinius (1 pav. a) ir asimetrinius (1 pav. b) konstrukcinius elementus.

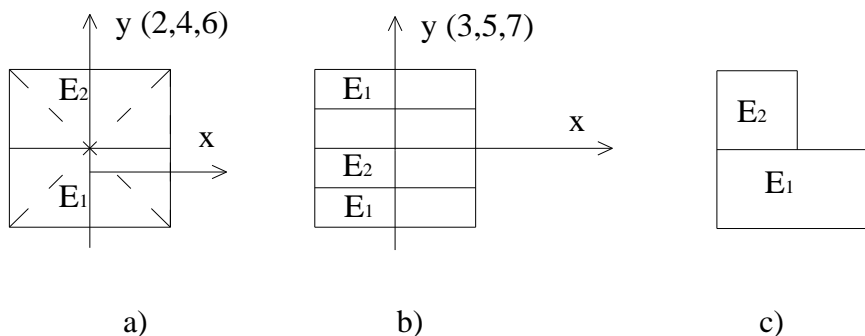


1 pav. Simetrinių (a) ir asimetrinių (b) konstrukcinių elementų skerspjūviai

Projektuojant DKE, galima keisti naudojamų medžiagų skaičių, jų pasirinkimą, sluoksnių skaičių, formą, išdėstymą ir sujungimo būdą. Dėl šių priežasčių, DKE savo įvairove gerokai pranašesni už tradicines konstrukcijas. DKE paprastai klasifikuojami pagal tris požymius: geometriją, apkrovimo tipą ir naudojimo sritį [8].

Simetriniai konstrukciniai elementai yra vienodo storio. Atitinkamų medžiagų sluoksniai yra simetriškai išdėstyti vidurinio sluoksnio atžvilgiu. Kai naudojamos dvi skirtingos medžiagos ir visų, išskyrus vidurinį, sluoksnių storiai yra vienodi, tai simetrinės konstrukcijos bus su nelyginiu sluoksnių skaičiumi (3, 5, 7, 9 ir t.t.).

Asimetrija standumo požiūriu gali būti vienos arba abiejų ašių atžvilgiu (2 pav.).



2 pav. a - simetrinė x, asimetrinė y; b – simetrinė abiejų ašių atžvilgiu; c – asimetrinė abiejų ašių atžvilgiu (skliaustuose prie y ašies nurodyta sluoksnių skaičius).

Asimetriniai konstrukciniai elementai yra skirtingų medžiagų arba sluoksnių, kurie periodiškai kartojasi, tačiau neutraliojo sluoksniu padėtis nesutampa su geometrine ašimi. Naudojant dvi skirtingas medžiagas, turėsime asimetrinę konstrukciją, kuri turi lyginį sluoksnių skaičių (2, 4, 6, 8 ir t.t.).

Simetriniai sluoksniuoti konstrukciniai elementai suskirstyti į tiesioginės ir atvirkštinės konstrukcijos elementus, pagal medžiagos sluoksnių fizines ir mechanines savybes, sluoksniu padėtį konstrukcijoje.

Tiesioginės konstrukcijos elementai yra simetriniai sluoksniuoti konstrukciniai elementai. Jų išorinio sluoksniu medžiagos tamprumo modulis E_1 yra didesnis ($E_1 > E_2$) už sekančio vidinio sluoksniu medžiagos tamprumo modulį E_2 (1.3.2 pav. b). Atvirkštinės konstrukcijos elementų išorinio sluoksniu medžiagos tamprumo modulis E_1 yra mažesnis ($E_1 < E_2$).

DKE pagal apkrovimo tipą skirstomos į keturis pagrindinius tipus: strypus, sijas, velenus ir indus. Toks skirstymas yra sąlyginis, nes vienu metu tas pats elementas gali būti veikiamas kelių apkrovų (pvz. lenkimo ir gniuždymo - ekscentrinis gniuždymas). DKE gali veikti ir vidinės apkrovos (pvz. temperatūros pokytis, elektromagnetinės jėgos).

DKE įvairiomis apsauginėmis dangomis padengtos konstrukcijos, pasižyminčios padidėjusiu atsparumu aplinkos poveikiui ir nepakitusiu stiprumu, priklauso atskirai medžiagų grupei – hibridinei, kai medžiaga pasižymi geriausiomis kelių komponentų savybėmis. Naudojant DKE galimų konstrukcijų tipų ir variantų yra gerokai daugiau, nei naudojant homogenines konstrukcijas. Tradicinėse konstrukcijose dažniausiai galima keisti medžiagą, geometriją ir apkrovimo būdą.

1.4 Konstrukcijų sustiprinimas anglies arba stiklo pluošto juostomis

XX a. devintajame dešimtmetyje, statybose pradėtas taikyti stiprinimo metodas, naudojant armuotą polimero juostą [11]. Šiuo būdu galima stiprinti daugelį gelžbetoninių elementų (pvz.: kolonas, sijas, perdangas, sienas). Sustiprinus elementą armuota polimero juosta, galima padidinti jo lenkiamąją, šlyjamąją ir sukamąją laikomąją galią bei elemento standumą. Mokslinis darbas [12] rodo, kad trečdalis sustiprintų sijų laikomoji galia padidėja 50 % ir daugiau, sijų standumas taip pat padidėja. Atlikti eksperimentiniai tyrimai [13] su įvairaus tipo stiklo pluoštu armuotomis polimerinėmis juostomis. Tyrimo metu, išbandytos sijos sustiprintos

prie jų klijuojant stiklo pluošto demblį, stiklo pluošto audinį, viena kryptimi orientuotą stiklo pluoštą ir stiklo pluošto demblio bei audinio mišinį. Šių laikomoji galia, stiprinant jas stiklo pluošto dembliu, padidėjo iki 7 %, stiprinant stiklo pluošto audiniu – iki 43 %, stiprinant viena kryptimi orientuotu stiklo pluoštu – iki 71 %, o stiprinant stiklo pluošto demblio bei audinio mišiniu – iki 85 %.

Lyginant su kitais stiprinimo metodais, stiprinimas pluoštu armuotu polimeru turi daug privalumų. Pluoštu armuotos polimerinės medžiagos pasižymi didesniu stipriu ir mažesniu tankiu nei plienas. Teisingai išnaudojant šias savybes, pluoštu armuoti polimerai įgauna gerokai didesnę stiprio ir svorio santykį nei plienas, todėl konstrukcijos stiprinimas tampa gerokai paprastesnis ir spartesnis. Šį stiprinimo būdą galima naudoti sunkiai prieinamose vietose, nes prieš montavimą pluoštu armuotas polimeras yra labai lankstus, o jeigu prie konstrukcijos klijuojamas audinys, o ne iš anksto pagaminta juosta, galima sustiprinti netgi labai sunkiai pasiekiamas vietas.

Dėl medžiagų lengvumo galima atsisakyti kėlimo mechanizmų, kurie būtų reikalingi naudojant plieną. Nebereikia varžtų, naudojamų laikinam detalių tvirtinimui, kol klėjai sustings. Kadangi nereikia varžtų, nereikia ir skylių jiems, nekyla grėsmė gręžiant pažeisti gelžbetonyje esančią armatūrą. Audiniu arba pluoštu armuotų polimerų juostos būna labai ilgos, todėl nereikia įrengti jungčių. Kai konstrukcijos forma sudėtinga, audinys prie jos klijuojamas. Jis lengvai atkartoja konstrukcijos išlinkius, vietos su aštriomis briaunomis taip pat nesukelia problemų. Priklijavus armuotą polimerą prie konstrukcijos, jos matmenys pasikeičia labai mažai, todėl atlikus apdailos darbus pokyčių nesimato. Sustiprinta konstrukcija praktiškai nereikalauja priežiūros, o ją pažeidus mechaniškai, remontas yra labai paprastas. Įvertinus visus šiuos privalumus, konstrukcijos stiprinimas armuotu polimeru yra gerokai paprastesnis ir spartesnis procesas, be to, reikalauja mažiau mechanizmų, negu konstrukcijų stiprinimas plienine juosta.

Konstrukcijų stiprinimas armuotais polimerais turi ir trūkumų. Vienas iš pagrindinių trūkumų yra mažas atsparumas ugniai. Sustiprintą konstrukciją būtina apsaugoti nuo ugnies poveikio, nes polimerai kaitinami minkštėja, šaldami kietėja [17]. Kitas trūkumas yra tai, kad beveik nėra projektavimo normų, reglamentuojančių, kaip projektuoti tokiu būdu sustiprintas konstrukcijas. Šis stiprinimo metodas naujas, todėl patirties sukaupta nedaug, o kvalifikuotų darbininkų mažai. Medžiagos, naudojamos taikant šį stiprinimo metodą, yra labai brangios. Norint išvelgti ekonominę naudą, reikia įvertinti daug veiksnių. Šis stiprinimo būdas reikalauja ilgo pasiruošimo. Betono paviršių, prieš klijuojant polimero juostą, reikia paruošti, nušveisti ir kruopščiai nuvalyti.

Ilgalaikių šiuo metodu sustiprintų konstrukcijų stebėjimų rezultatų beveik nėra, todėl apie jų ilgaamžiškumą galima spręsti tik iš laboratorijose atliktų bandymų, taikant ultravioletinius

spindulius ir šaldymo – šildymo ciklus. Renkantis stiprinimo metodus konstrukcijoms, kurių numatoma eksploataavimo trukmė ilga, labiau linkstama link ne tokių novatoriškų sprendimų, kai naudojamos plieno juostos.

Sustiprinus konstrukciją polimero juosta, staigaus irimo pavojus labai padidėja. Irimo pobūdis tampa sunkiai prognozuojamas. Staigi irtis įvyksta, kai suyra klijų sluoksnis arba betono paviršius prie pat klijų sluoksnio.

1.5 Stiprinimas mechaniškai tvirtinant anglies arba stiklo pluoštu armuota juosta

Siekiant dar labiau sumažinti darbų trukmę ir darbininkų kvalifikacijos poreikį, pradėtas plėtoti metodas – iš anksto pagamintą armuotą polimero juostą mechaniškai tvirtinti prie gelžbetoninės sijos. Armuota polimero juosta, kurioje iš anksto padarytos skylės yra prikalamos prie sijos, naudojant montažinį pistoletą. Tvirtinant juostą tokiu būdu sutaupoma daug laiko, nes visiškai nereikia ruošti betono paviršiaus, o konstrukcija gali būti naudojama iškart, kai baigiami juostos tvirtinimo darbai, nereikia laukti kol klijai sukietės. Labai didelis šio metodo privalumas yra kur kas lengviau prognozuojamas suirimo pobūdis. Jeigu polimerinė juosta nepažeista, konstrukcija suyra tvirtinimo varžtams išglemžus betoną juostos galuose arba varžtams po truputį išsitraukiant iš betono. Esant šioms irimo atvejams, prieš sijos suirimą, pastebimas didelis įlinkis [14].

Atlikti sijų tyrimai, sustiprintų mechaniškai tvirtinama kompozicine juosta [14]. Tyrimų metu išbandytos nedidelės sijos, pagamintos iš skirtingo stiprio betono. Sijų armavimo procentas buvo kintamas. Atliekant tyrimą taip pat išbandytos tokios pat sijos, sustiprintos priklijuotu anglies pluoštu. Sijų pagamintų iš betono, kurio stipris 20 MPa, bandymų rezultatai rodo, kad jų laikomoji galia padidėja nuo 16 % iki 30 %, lyginant su nesustiprintomis sijomis. Šių sijų stiprinimas, priklijuojant anglies pluoštą buvo 33 % efektyvesnis, nei stiprinimas mechaniškai tvirtinama anglies pluošto juosta. Bandant sijas, pagamintas iš 40 MPa stiprio betono, pastebėtas mažesnis mechaniškai tvirtinamos kompozitinės juostos stiprinimo sistemos efektyvumas. Šių sijų laikomoji galia padidėjo nuo 10 % iki 20 %. Nepaisant to, kokio stiprio betonas panaudotas sijoms gaminti, visos sijos iro lėtai, buvo pastebimi dideli įlinkiai. Šių tyrimų metu, tvirtinant juostą prie betono, skylės į betoną nebuvo gręžiamos.

Atlikti [15] didesnių sustiprintų sijų bandymai. Šių bandymų metu kompozitinė juosta buvo tvirtinama prie betono, kuriame prieš tai buvo išgręžtos skylės. Didesnių sijų bandymo rezultatai rodo, kad sustiprintų sijų laikomoji galia padidėjo nuo 13,8 % iki 20,1 %. Tų pačių tyrimų metu išbandytas stiprinimo sistemos patobulinimas, kai juostos galuose įsukami inkariniai

varžtai. Šių bandymų rezultatai rodo, kad sijų laikomoji galia padidėjo nuo 52 % iki 70 %, lyginant su kontroline sija.

Lyginant du stiprinimo variantus, kai skylės į betoną negręžiamos, ir kai gręžiamos, matyti, kad stiprinimo sistemos efektyvumas beveik nepriklauso nuo to ar prieš tvirtinant juostą prie betono jame buvo išgręžtos skylės.

1.6 Pluoštai

Pagal [16] armuotą polimero juostą yra kompozitinė medžiaga, dažniausiai pagaminta iš anglies arba stiklo pluošto, esančio polimerinėje matricoje (rektoplastinėje dervoje). Šios juostos stipris labiausiai priklauso nuo parinkto pluošto, taip pat nuo dervos bei pluošto tūrių santykio kompozite. Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f_k = f_{pl} * V_{pl} + f_m * V_m; \quad 1.4.2.1$$

Tamprumo modulis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$E_k = E_{pl} * V_{pl} + E_m * V_m; \quad 1.4.2.2$$

Formulėse (1.4.2.1) ir (1.4.2.2) f_k – kompozitinės medžiagos stipris, f_{pl} – pluošto stipris, f_m – matricos (dervos) stipris, E_k – kompozitinės medžiagos tamprumo modulis, E_{pl} – pluošto tamprumo modulis, E_m – matricos (dervos) tamprumo modulis, V_{pl} – pluošto santykinis tūris, V_m – matricos (dervos) santykinis tūris.

Pluoštai, naudojami polimerinėms kompozitinėms medžiagoms armuoti, yra stiprūs ir lengvi. Pageidautinos pluošto savybės yra didelis stipris, didelis tamprumo modulis ir didelė santykinė deformacija prieš pluoštui suyrant. Taip pat pageidautina, kad šių savybių variacijos koeficientai būtų maži. Kompozitinėms statybinėms medžiagoms gaminti naudojami stiklo, anglies, aramido ir bazalto pluoštai. Anglies ir aramido pluoštai yra anizotropinės medžiagos, o stiklo ir bazalto pluoštai – izotropinės. Tai reiškia, kad skirtingomis kryptimis anglies ir aramido pluoštų šiluminės ir mechaninės savybės yra skirtingos, o stiklo ir bazalto pluoštų tokios pat [18].

Stiklo pluoštas yra plačiausiai naudojamas polimerinėms kompozitinėms medžiagoms armuoti. Stiklo pluoštas gaminamas tempiant išlydytą stiklą ir taip suformuojant nenutrūkstamą giją. Gamybos metu stiklo gija padengiama specialia medžiaga, gerinančia dervos įgerti. Ši medžiaga taip pat užpildo stiklo gijos paviršiaus nelygumus. Dažniausiai naudojami trijų tipų stiklo pluoštai: S tipo, E tipo ir šarmų poveikiui atsparus stiklo pluoštas. E tipo pluoštas yra pats pigiausias. S tipo pluoštas pasižymi didesniu stipriu ir tamprumo moduliu, nei E tipo pluoštas.

Šarmų poveikiui atsparus stiklo pluoštas yra atsparus šarmų sukeliama korozijai. Tai labai svarbu, jeigu stiklo pluoštas liečiasi su betonu. Atsparumas šarmų poveikiui pasiekiamas į išlydyto stiklo masę pridendant cirkonio. Šarmų poveikiui atsparus stiklo pluoštas negali būti naudojamas kompozitinių medžiagų gamybai, kurių matrica gaminama iš rektoplastinės dervos.

Stiklo pluoštas netenka savo stiprio, esant aukštos temperatūros poveikiui, tačiau žymus stiprio sumažėjimas pasireiškia tik tada, kai temperatūra yra gerokai aukštesnė už tą, kurią gali atlaikyti polimerinė matrica [18].

Lyginant su stiklo pluošto gamyba, anglies pluošto gamyba yra gerokai sudėtingesnė. Anglies pluoštas gaminamas skaidant poliakrilnitrilą. Visą gamybos procesą sudaro keli karbonizacijos ir grafitizacijos etapai, kurie vyksta esant skirtingai temperatūrai.

Anglies pluošto savybės labai priklauso nuo gamybos technologijos. Kuo labiau grafitizuotas anglies pluoštas, tuo didesnis jo tamprumo modulis, tačiau didėjant grafitizacijos laipsniui – didėja grafito kristalai, o kuo didesni kristalai – tuo mažesnio stiprio anglies pluoštas. Anglies pluoštas yra labai atsparus temperatūros ir agresyvios aplinkos poveikiams, tačiau yra brangesnis už stiklo pluoštą. Kainų skirtumą lemia brangesnės žaliavos, naudojamos anglies pluoštui gaminti ir ilgesnis bei sudėtingesnis gamybos procesas.

1.7 Dervos

Kompozitinės medžiagos matrica yra gaminama iš polimerinių dervų. Į dervų mišinius gali būti dedami priedai. Priedai dedami pagerinti norimas dervos charakteristikas, kad būtų išgaunamos norimos matricos savybės. Derva į matricą pavirsta, kai sukietėja. Kompozitinėje medžiagoje matricos pagalba yra surišamas armuojantis pluoštas. Taip pat matrica perduoda ir paskirsto įtempimus tarp pluošto gijų, apsaugo armuojantį pluoštą nuo išorinio, cheminio bei mechaninio poveikio. Matrica gali sudaryti nuo 30 % iki 60 % viso kompozito masės. Iš to galima pasakyti, kad derva turi didelę įtaką kompozito savybėms. Todėl dervos ir jos priedų parinkimas yra labai svarbi kompozitinės medžiagos kūrimo dalis.

Kompozitinių medžiagų kūrimui yra tinkami du dervų tipai: rektoplastinės ir termoplastinės. Rektoplastinėms dervoms sukietėti reikalingas kietiklis ir aukšta temperatūra. Padidinus dervos temperatūrą, joje pradeda vykti polimerizacijos procesas, formuojasi matricos vidinė struktūra. Šis procesas yra negrįžtamas, nes matricą atvėsinus, ji netampa skysta. Polimerizacijos metu molekulių viduje ir tarp atskirų molekulių susidaro stiprūs negrįžtami ryšiai [18].

Termoplastinės dervos turi savybę sušilusios minkštėti, pasiekus tam tikrą temperatūrą jos pasidaro minkštos ir lanksčios. Tačiau atvėsusiosios vėl pasidaro kietos. Tokios dervos turi grįžtamą procesą. Šildant matricą, sudarytą iš termoplastinės dervos, galima suformuoti norimus gaminius. Toks procesas yra geras, kai neišeina iš pirmo karto gauti norimos formos. Labai dažnai šildant ir vėsinant gaminį iš termoplastinės dervos, nukenčia gaminio savybės. Gaminys gali pasidaryti nebe toks stiprus ir elastingas [18].

Kompozitinių medžiagų matricos statybose dažniausiai yra gaminamos iš rektoplastinių dervų, nes konstrukcijos, kurias veikia ultravioletas yra veikiamos ir šilumos. Statybų pramonėje dažnai naudojamos rektoplastinės dervos: epoksidinės, poliesterinės ir vinilesterinės. Pagrindinės iš šių dervų pagamintos matricos savybės pateikiamos (1 lent.).

1lentelė. Kompozitinių medžiagų gamybai naudojamų matricų savybės

Savybės	Matrica		
	Epoksidinė	Poliesterinė	Vinilesterinė
Tankis, kg/m^3	1200 - 1400	1200 - 1400	1150 - 1350
Tempimo stipris, MPa	55 - 130	34,4 - 104	73 - 81
Tamprumo modulis, PMa	2,75 - 4,10	2,10 - 3,45	3,00 - 3,50
Puasono koeficientas	0,38 - 0,40	0,35 - 0,39	0,36 - 0,39

Naudojant rektoplastines dervas kompozite, galima sumažinti dervos kiekį ir padidinti pluošto kiekį, nes šios dervos pasižymi nedideliu klampumu. Mažai klampios dervos gerai įsiskverbia į pluoštus, betono konstrukcijas, taip sudarydamos mažus tarpus tarp medžiagų. Rektoplastinės dervos, lyginant su termoplastinėmis yra labiau atsparesnės cheminiams veiksniams, jų šiluminis plėtimosi koeficientas yra mažesnis.

Dažniausiai dervų galiojimo laikas yra vieneri metai nuo jų pagaminimo datos. Sukietėjusios rektoplastinės dervos yra neatsparios smūgiams, todėl pasižymi didele irimo deformacija. Dervų kietėjimas ir trukmė priklauso nuo dervos sudedamųjų dalių, naudojamo kietiklio rūšies. Didelį poveikį dervos kietėjimui daro aplinkos temperatūra, greičiau sukietėja prie aukštesnės temperatūros. Dervos sukietėjimas gali tęstis nuo keletos minučių iki kelių valandų. Stingdama derva išskiria šilumą, nes joje tuo metu vyksta egzoterminė reakcija.

Rektoplastinės dervos džiūdamos traukiasi. Sukietėjusi derva gali susitraukti nuo 4 % iki 8 %. Mažiausiai traukiasi epoksidinė derva, o didžiausiai poliesterinė.

Poliesterines dervas sudaro etilenglikolis, metano rūgštis, gali būti naudojamas ortoftalis arba izoftalis. Poliesterinių dervų kietėjimo aplinka turi būti karštesnė už epoksidinės dervos, tačiau yra priedų, kurių pagalba gali sukietėti ir kambario temperatūroje. Poliesterinės dervos yra

pigesnės, jos kietėja greičiau už epoksidines dervas, tačiau jų adhezinės savybės daug prastesnės už epoksidinių dervų. Poliesterinės dervos negali kietėti be kietiklio (organinis peroksidas). Poliesterinės dervos kietėjimo metu, joje formuojasi panašūs ryšiai kaip ir epoksidinėje dervoje. Norint pagerinti poliesterinės dervos charakteristiką, galima įdėti priedų, kurie pagerins dervos patvarumą, padidins atsparumą nuo ultravioletinių spindulių, apsaugos nuo ugnies bei korozijos.

Vinilestireninės dervos yra gaminamos iš akrilo ir metilakrilato, tačiau įmanomos variacijos su uretanu ir esteriais. Sukietėjusios vinilestireninės dervos pasižymi dideliu atsparumu smūgiams, nes jose kietėjimo proceso metu susidaro mažiau termolekulinių ryšių nei poliesterinėse dervose. Vinilestireninės dervos pasižymi didesniu lankstumu, geru įsiskverbimu (gerai įsigeria į audinius), todėl reikia mažiau naudoti dervos. Tamprumo modulis ir tempiamasis stipris yra didesnis vinilestireninių dervų negu poliesterinių, bet mažesnis už epoksidinių dervų. Tačiau vinilestireninės dervos yra atsparesnės rūgštims, šarmams, tirpikliams ir peroksidams, negu epoksidines ir poliesterenines dervas. Norint gauti nedegią vinilestireninę dervą, reikia įdėti bromo priemaišų.

Epoksidinės dervos – tai tinklinius polimerus formuojančios sistemos, susidedančios iš dviejų komponentų (dervos ir kietiklio). Dervai reaguojant su kietikliu, susidaro tinklinės struktūros epoksidinė derva, kuri pasižymi geromis adhezinėmis savybėmis, dideliu tvirtumu ir yra chemiškai atspari [22].

Dervos – plati junginių grupė, kurios visos struktūros jungiamoji grandis yra epoksido žiedas. Molekulėje gali būti ne vienas, o keli epoksido žiedai, jie gali būti molekulės gale, įsiterpę į molekulę arba įsiterpę į ciklines struktūras. Jie lemia epoksidinių dervų reakingumą. Labiausiai paplitusi derva, kurią sudaro difenilpropano (bisfenolio A) ir epichlorohidrino reakcijos poliaduktas [22].

Kietikliai reaguodami su dervomis, sudaro susiūtą struktūrą. Poliadicijos reakcijos yra dažniausiai epoksidinių dervų kietinimui naudojamos reakcijos. Šių reakcijų tipui naudojamų kietiklių struktūroje yra judrių vandenilių turinčios funkcinės grupės. Nuo to, kiek funkciinių grupių turi kietiklis ir kiek judrių vandenilių turi funkcinė grupė, priklauso galutinio produkto struktūra [22].

Norint išgauti reikiamo kietumo, minkštumo, elastingumo ar kitokio parametro dervą, reikia naudoti atitinkamus kietiklius. Parenkant tinkamą kietiklį, reikia atsižvelgti į norimas gauti mechanines savybes, nes gali būti paveiktas dervos klampumas ir reakingumas. Reguojant kietikliui su derva, susidare ryšiai nulems galutinius dervos atsparumus cheminiams poveikiams, karščiui. Funkcinės grupės, supančios epoksidinę dervą, bei sferiniai faktoriai taip pat veikia kietėjimo procesą. Kietinant kietikliais, kurie turi lanksčias molekules tarp reaktyvių grupių, susidaro tvirtas ir lanksčiai sukietintas galutinis produktas.

Kietikliai yra suskirstyti į dvi grupes: kietiklius ir katalizatorius. Visi kietikliai reaguoja tik su epoksigrupėmis ir hidroksigrupėmis. Katalizatoriai inicijuoja epoksigrupių homopolimerizaciją [20].

Epoksidinės dervos – tai rektoplastinių dervų rūšis, kurių molekulėse vidutiniškai yra daugiau nei vienas epoksido žiedas. Vykstant polimerizacijos reakcijai, epoksidinei dervai kietėjant, tarp atskirų molekulių formuojasi ryšiai. Šių ryšių kiekis priklauso nuo naudojamos dervos, naudojamo kietiklio ir reakcijos sąlygų [20]. Kuo ryšių daugiau, tuo didesniu stipriu ir tamprumo modulių pasižymi sukietėjusi derva, o jei susidaro mažiau ryšių tada derva pasižymės didesnėmis irimo deformacijomis.

Esant netinkamoms kietėjimo sąlygoms, epoksidinė derva gali nesukietėti arba dalinai sukietėti. Taip gali nutikti jeigu derva kietės per žemoje temperatūroje. Iš anksto impregnuotiems audiniams gaminti, galima naudoti tokią epoksidinę dervą.

Epoksidinių dervų paruošimas yra labai paprastas. Reikia tinkamu santykiu sumaišyti tarpusavyje dervą ir kietiklį (3 pav.). Dažniausiai yra siūloma derva su kietikliu maišyti 1:1 santykiu, tačiau neretai tą santyki galima koreguoti pagal tai, kokį gaminį norima gauti. Klijų masę patartina maišyti ne žemesnėje kaip +10 °C temperatūroje [19], kadangi šiltesnė klijų ir kietiklio masė geriau išmaišoma.



3 pav. Kietiklis su derva

Epoksidinę dervą galima tarpusavyje bei vieną su kitu klijuoti pluoštus, metalus, stiklą, keramiką, betono konstrukcijas, kompozitines medžiagas ir kitas medžiagas. Epoksidiniai klijai gali būti naudojami kaip gruntas, hermetikas, išlyginamas sluoksnis ar elektros izoliatorius. Naudojant epoksidinę dervą, bandinių paviršiai turi būti švarūs, sausi ir neriebaluoti. Norint pagerinti suklijavimo kokybę, patartina klijuojamus daiktus pašildyti iki +50 +70 °C, nes pašildžius pagerėja ir pagreiteja klijų stingimas, padidėja sujungimo tvirtumas [19].

Epoksidinių dervų privalumai: didelis tamprumo modulis ir tempiamasis stipris, mažos takumo deformacijos dervai kietėjant, geros adhezinės savybės ir atsparumas korozijai, aplinkos poveikiams, lengvas epoksidinės dervos paruošimas naudojimui.

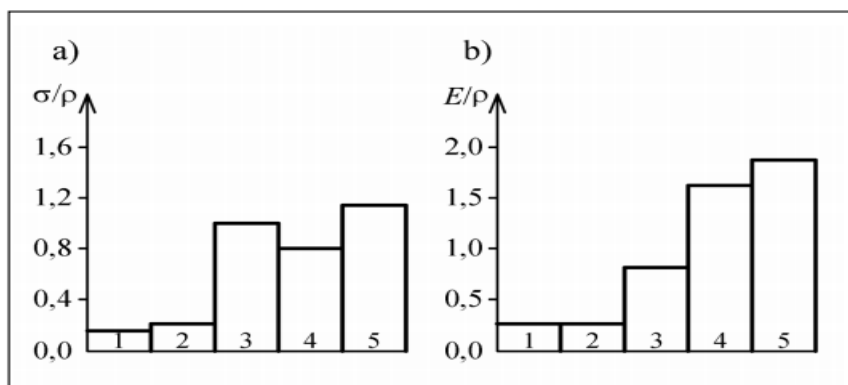
Pagrindiniai epoksidinių dervų trūkumai: ilgas kietėjimo laikas, neatspari ugniai, esant aukštai temperatūrai epoksidinė derva minkštėja, negalima dirbti žemoje temperatūroje, didelė kaina.

1.8 Eksperimentinis tyrimas atliktas pluoštų armatūrą klijuojant ant gelžbetoninių sijų

Šio eksperimentinio tyrimo metu buvo stengiamasi nustatyti kokia įtaką turi sustiprinimas gelžbetoninių sijų išorine stiklo pluošto armatūra. Trumpų tyrimų metu buvo nagrinėjama išorinės pluošto armatūros įtaka lenkiamų gelžbetoninių sijų laikomajai galiai bei įlinkiams nustatyti.

Statybinių konstrukcijų sustiprinimui naudojamų pluoštų pagrindiniai parametrai yra: stiprumas (f), sunkio santykis (p) ir deformacijų bei tamprumo moduliai (E). Pagal tai buvo palyginami penki skirtingi pluoštai (plieno, aliuminio, stiklo pluoštas, boro pluoštas, anglies pluoštas). Iš pateiktų duomenų matome (4 pav.), kad iš visų pluoštų pagal parametrus efektyviausias yra anglies pluoštas, nes jis net aštuonis kartus yra stipresnis, o lyginant pagal deformacijas, tai net septynis kartus jis yra efektyvesnis už plieno ar aliuminio pluoštus.

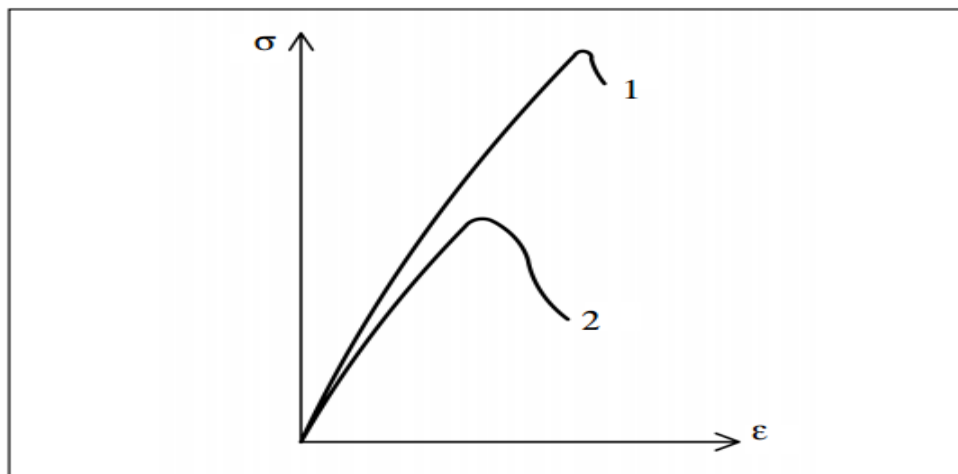
Gelžbetoninėms konstrukcijoms armuoti naudojami pluoštai turi būti specialiai apdirbami arba paruošiami. Iš (4 pav.) nurodytų pluoštų konstrukcijų armavimui yra gaminamos specialios plokštės, siūlai, audiniai, lynai. Stiprinant konstrukcijas šiomis kompozicijomis, pagrindinės mechaninės ir fizinės savybės priklauso netik nuo pluošto, bet ir jį jungiančios matricos savybių.



4 pav. Kompozitų komponentų liginamieji stipriai (a) ir tamprumo moduliai (b): 1 plieno; 2 aliuminio; 3 stiklo pluošto; 4 boro pluošto; 5 anglies pluošto [24]

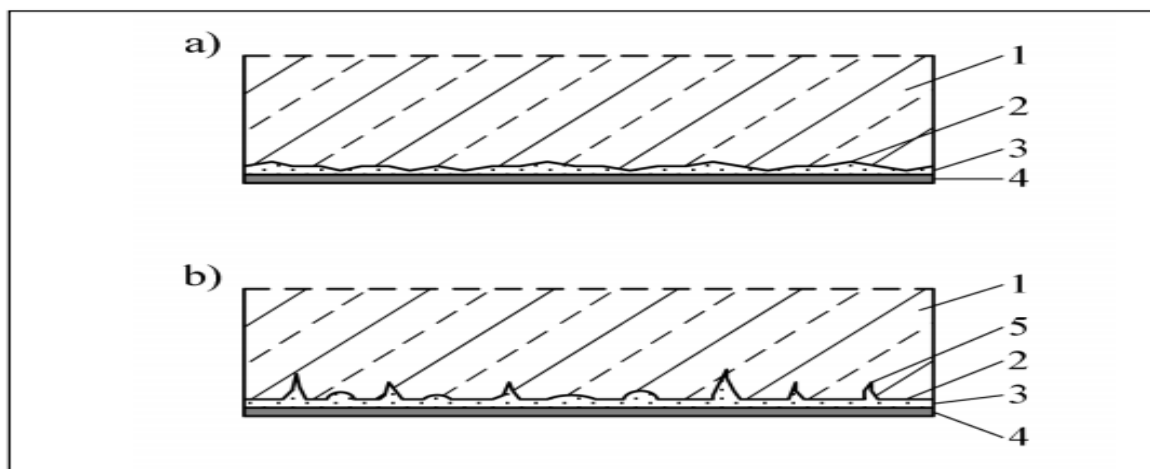
Išoriškai stiprinant konstrukcijas pluoštais dažniausiai tam yra naudojamos dervos, kurios kiekis negali sudaryti daugiau kaip 5 % bendro tūrio. Todėl naudojamų stiprinti polimerinių dervų savybės yra imamos tokios pat kaip ir pluoštų.

Straipsnyje [24] autoriaus tyrimai parodė, kad sustiprintos betoninės konstrukcijos išorine pluoštų armatūra iki pat tempiamojo suirimo dirba tarpusavyje tampriai, o betonas tampriai ir plastiškai (5 pav.).



5 pav. Tempiamas pluoštas (1) ir betonas (2) deformavimosi charakteris [24]

Vienas iš svarbesnių pluoštų armavimo komponentų yra rišamoji medžiaga kuri suriša pluošto armatūrą su kita konstrukcijos dalimi. Nuo naudojamų klijų priklauso betono ir pluošto bendras darbas (6 pav.). Pagrindinis klijams keliamas reikalavimas, kuo geriau surišti tarpusavyje pluoštą su betono konstrukcija. Nuo didesnio tamprumo modulio bei tempiamojo ir gniuždomojo stiprio priklauso kerpmasis stipris.



6 pav. Klijų pasiskirstymas betono paviršiuje: a – tankaus betono paviršius nelygus; b – betono paviršius; 3 – klijai; 4 – klijais užpildytos poros ir kapiliarai

Taigi klijų kerpamasis stipris yra net 10 – 11 kartų didesnis už betono, o tamprumo modulis net 6 – 8 kartus mažesnis. Tai tik parodo kad veikiant konstrukciją apkrova, joje veikia šlyties įtempimai ir pluoštas gali pasislinkti betono konstrukcijos atžvilgiu ir nesuirti (horizontaliąją konstrukcijos kryptimi).

1.9 Pluoštu sustiprintų elementų eksperimentiniai tyrimai

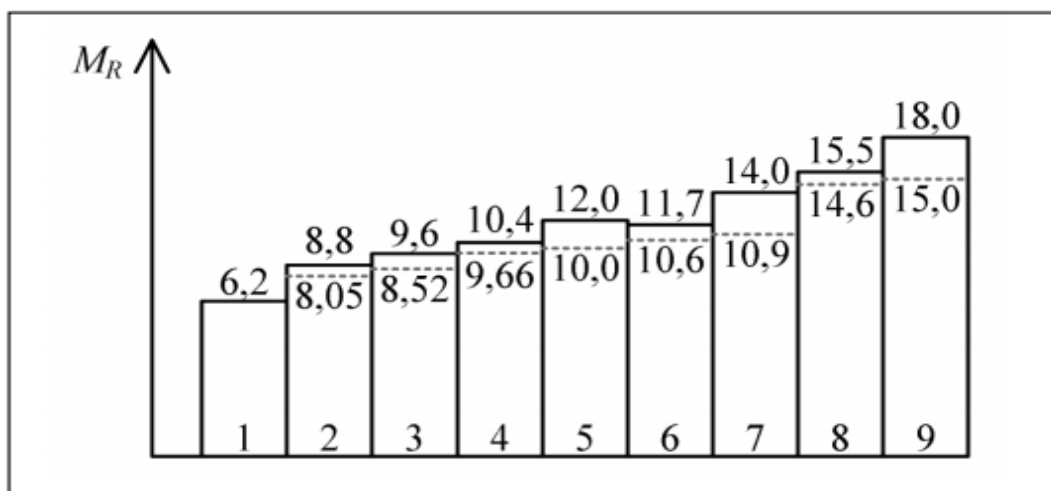
Eksperimento metu buvo pagamintos betoninės sijos, kurias suskirstė į grupes. Pirmos grupės betono stipris $f_c = 32,87 \text{ N/mm}^2$, $E_{cm} = 31 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$, antros grupės $f_c = 38,27 \text{ N/mm}^2$, $E_{cm} = 34,1 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$. Sijoms pagaminti buvo naudotas žvyras max 18 mm. Sijos papildomai tempiamojoje zonoje buvo sustiprintos plienine armatūra $f_y = 358 \text{ N/mm}^2$, o $f_u = 460 \text{ N/mm}^2$. Konstrukcijos buvo džiovinamos 100 parų, tik tada buvo stiprinamos išorine armatūra, kurios tamprumo modulis $E_c = 231 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$, stipris $f_c = 3800 \text{ N/mm}^2$. Išorinė armatūra buvo klijuojama derva, kuri $f_{gc} = 80 \text{ N/mm}^2$, $f_{gt} = 30 \text{ N/mm}^2$ ir $E_g = 3000 \text{ N/mm}^2$.

Sijų paviršius pirmiausiai buvo nuvalytas nuo nelygumų ir riebalų, tuomet nugruntuotas ir tik tada buvo klijuojama išorinė pluošto armatūra. Pagal autorių gruntuojama buvo tam kad pagerinti sluoksnių sukibimo fizines ir mechanines savybes.

Eksperimento metu buvo išbandytos šešios stačiakampio skerspjūvio (197X100 mm) 1500mm ilgio gelžbetoninės sijos. Buvo tiriami keturi skirtingi pluošto tvirtinimo būdai prie betono konstrukcijų. Pirmuoju būdu buvo klijais tepama zona tarp atramų. Antruoju būdu tas pats kas pirmuoju būdu, tik papildomai atraminėje zonoje padarytos 10 mm gylio įpjovos, į kurias buvo įleidžiama pluošto armatūra. Trečiuoju atveju atraminėse zonose buvo įrengtos pluošto apkabos, kuriomis buvo apgaubiamas pluošto ir betono konstrukcija. Ketvirtu atveju pluoštas buvo tvirtinamas per visą sijų tempiamosios zonos ilgį.

Pluošto sustiprinimo įtakai nustatyti buvo išbandyta kontrolinė sija, kuri nebuvo papildomai sustiprinta išorine pluošto armatūra. Betoninės konstrukcijos buvo tiriamos veikiant dviem sutelktomis jėgomis. Eksperimento metu buvo matuojamos betono konstrukcijos ir pluošto deformacijos ties viduriu, ties atramomis.

Eksperimentinio tyrimo metu buvo pastebėta, kad sustiprintos betoninės konstrukcijos apkrovimo metu stipris padidėja ženkliai (7 pav.).



7 pav. Sustiprintų sijų eksperimentinių ir teorinių stiprumų lyginimas: 1 - kontrolinė sija; 2 - SB6-1 sija; 3 – SB6-2 sija; 4 – SC6-1 sija; 5 – SC6-2 sija; 6 – SD6-1 sija; 7 – SD6-2 sija; 8 – SA6-1 sija; 9 – SA6-2 sija. Viršutinis skaičius – eksperimentinės reikšmės

Pluošto skerspjūvio plotas eksperimentinėje konstrukcijoje sudarė tik 24,5% tempiamojoje zonoje esančios armatūros, 76,5 % sudarė plieninės armatūros plotas. Tačiau pluošto tempiamasis stipris 8,26 karto viršijo plieninis armatūros stiprį. Todėl nedidelis pluošto kiekis gerokai padidino gelžbetoninės konstrukcijos elemento stiprį. Eksperimentinių tyrimu metu buvo nustatyta, kad gelžbetoninių sijų, kurios buvo sustiprintos išorine pluošto armatūra, stiprumas padidėjo nuo 41 net iki 290 %. Tyrimais įrodyta, kad sustiprintų konstrukcijų stiprumas padidėja pagal pluoštų tvirtumo metodiką.

Eksperimentinio tyrimo metu buvo įrodyta, kad sijos, kurios nebuvo papildomai impregnuotos kljais ar kitaip inkaruotos, ar pluoštas užleistas už atramų, stiprumo efektyvumas buvo mažiausias iš visų tirtų konstrukcijų. Tokiu atveju konstrukcijos stipris padidėjo nuo 41 iki 55 % (7 pav.). Bandinių su inkarinėje zonoje įrengtais grioveliais pluoštui stipris didėjo nuo 68 iki 93 %, ir lyginat pirmąją konstrukcija buvo didesnis net 22 %. Konstrukcijos, kurios buvo papildomai apkabinamos pluošto juostomis, jų stipris didėjo 1,85 iki 2,25 karto ir lyginant su pirmąją sija tai jos stipris vidutiniškai didesnis 39 %.

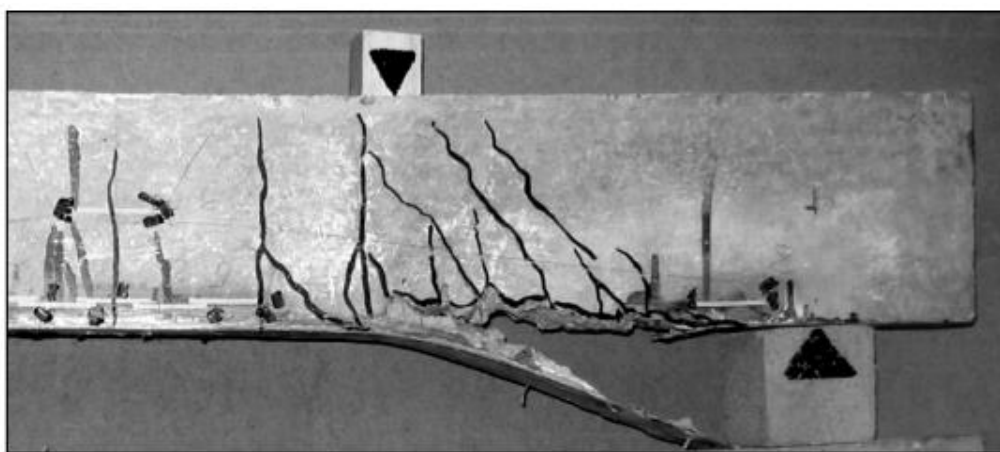
Didžiausias efektas buvo pasiektas tuo atveju, kai anglies pluoštas buvo pritvirtintas per visą sijos ilgį ir bandymo metu jis buvo prispaustas atramose (SA sijos). Šiuo atveju gelžbetoninių sijų stiprumas padidėjo 2,5 – 2,9 karto ir, palyginti su SB sijomis (kai anglies pluoštas nesiekė atramų ir nebuvo papildomų inkasavimų), buvo vidutiniškai 82 % didesnis.

Eksperimentinių tyrimu metu buvo pastebėta, kad lenkiant gelžbetonines konstrukcijas, kurios buvo sustiprintos išorine pluoštų armatūra, išryškėjo jose jungties pasidavimas. Pluošto pasislinkimas horizontaliąja bandinio kryptimi daro didelę įtaką sustiprinimui. Pastebėta, kad

kuo didesnis pluošto poslinkis konstrukcijos atžvilgiu, tuo gaunamas mažesnis norimas sutiprinimo rezultatas.

Eksperimentinių tyrimu metu buvo pastebėta, kad pluošto ir betoninės konstrukcijos lietimosi zonoje atsiranda stačių ir įstrižų plyšių. Atsiradę plyšiai virš išorinės pluošto armatūros sąlyčio zonoje dažniausiai ją atlenkia (8 pav.). Tyrimo metu pastebėta, kad dažniausiai tokie plyšiai nėra dideli, bet dažniausiai jie jungiasi į gretimus statmenuos plyšius.

Horizontalieji plyšiai bandiniuose atsirasdavo 2 – 10 mm aukščiau už išorinės pluošto armatūros ir dervos sluoksnį. Tai tik įrodo, kad klijai įsigeria į betono konstrukcijas ir jas jas sustiprina. Tyrimai parodė, kad tokių plyšių kiekius lemia ir naudojamas papildomas pluošto inkaravimas. Eksperimentai parodė kad kai pluoštas nesiekia atramų, ar nėra papildomai inkaruojamas betono atžvilgiu, tokie plyšiai būna didesni.

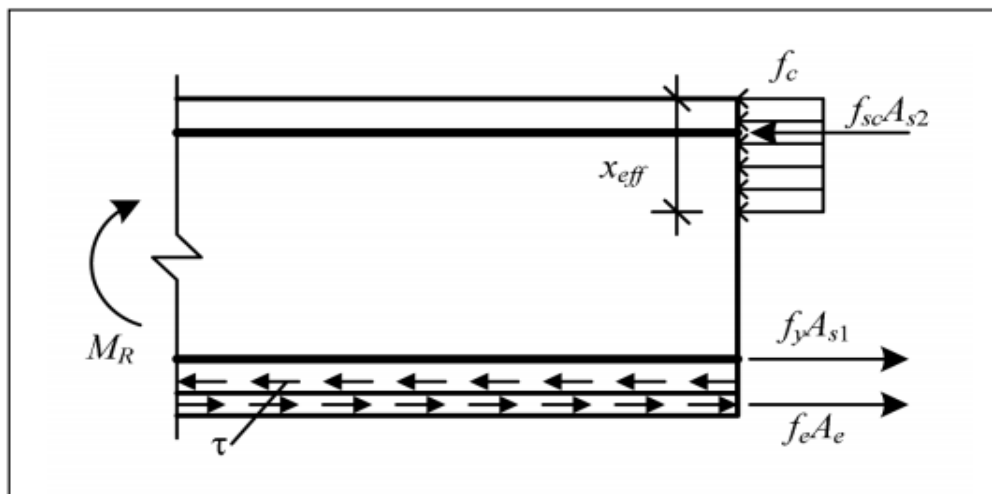


8 pav. Bendras sijų suirimo vaizdas

Plyšių atsiradimą įtakoja tarp pluošto ir betono konstrukcijos esančiuose klijuose vykstančios šlyties deformacijos. Klijų tamprumo modulis yra apie du kart mažesnis už betono. Tačiau klijų tempiamasis stipris yra nuo 10 iki 11 kartų didesnis už betono. Todėl vykstant klijuose deformacijoms, pluoštas dažnai pasislenka konstrukcijos horizontaliąja kryptimi ir betone sukelia įtempius. Dėl jų ir atsiranda horizontalieji plyšiai šalia statmenųjų.

Tais atvejais, kai gelžbetoninės konstrukcijos tempimo zonoje atsiranda plyšiai, stipriai sumažėja betono ir pluošto sąlyčio zonos šlyjamasis standis. Tokiais atvejais pasireiškia labiau šlyties deformacijos, kurios daro didelę įtaką konstrukcijos stiprumui. Kai pluoštas atramos vietose yra prispaudžiamas reakcijų jėgų, šlyjamojo statumo sumažėjimas neturi didelės įtakos elemento stiprumui. Visais atvejais pastebima, kad pluošto naudojimo efektyvumą lemia jungtis tarp pluošto ir betono konstrukcijų.

Pluošto ir betono jungties standumo įvertinimas skaičiuojant sustiprinimą. Projektuojant gelžbetonių konstrukcijų stiprinimą, svarbiausiai apskaičiuoti jų stiprumą. Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad labai svarbu yra įvertinti pluošto ir betono konstrukcijos sujungimo standumą. Tai galima atlikti naudojant sudėtinių strypų teoriją [22]. Vygiant tokius skaičiavimus yra padaromos tokios prielaidos kaip, kad pluoštas su klėjais sudaro vientisą masę, o betono konstrukcija sudaro kitą sluoksnį (9 pav.)



9 pav. Sustiprintų sijų skaičiuojamoji schema

Paanalizavus konstrukcijas, kurios stiprinamos išorinėmis pluoštų armatūromis, pastebima, kad pluoštų kljavimo tvirtumas priklauso nuo naudojamų kljū ir betono savybių bei pačios betono konstrukcijos struktūros. Tyrimo metu pastebėta, kad kljū pasižymi savybe įsigerti į paviršutinius betono sluoksnius, taip padidindami konstrukcijos stiprumą, o kartu padidindamas ir pluošto sukibimas su pačia konstrukcija.

Teorinė analizė ir eksperimentiniai tyrimai parodė, kad jungtis tarp pluošto ir betono konstrukcijų yra pasyvi, todėl labai priklauso nuo daugelio nurodytų technologinių ir konstrukcinių veiksnių.

Eksperimentų metu buvo pastebėta, kad pluošto tvirtinimas prie gelžbetoninių sijų konstrukciją sustiprina nuo 1,4 iki 2,9 karto.

1.10 Skyriaus apibendrinimas

Polimerinių kompozitų gamybos technologija turi reikšmingą įtaką fizikinėms ir mechaninėms elemento savybėms, ypač tais atvejais, kai gamybos procesas nėra automatizuotas. Vienas seniausių ir populiariausių kompozitų gamybos būdų yra dengimas rankomis. Dengiant rankomis pluošto lakštai impregnuojami derva, ir sluoksniais sudedami į iš anksto paruoštą vietą.

Šio gamybos būdo privalumai yra šie: nesudėtingas technologinis procesas, galimybė pasigaminti bet kokios formos gaminius, yra darbams atlikti reikalingų dervų ir pluoštų įvairovė. Didžiausias šio būdo trūkumas - nekontroliuojamas dervos ir pluošto santykis bei oro tuštumų skaičius tarp pluošto lakštų, todėl gaminio kokybė tiesiogiai priklauso nuo dirbančių asmenų žinių, įgūdžių ir patirties. Dėl didelių darbo sąnaudų dengimo rankomis būdu pagaminti elementai yra brangūs. Statyboje šis metodas dažniausiai taikomas stiprinant eksploatuojamas gelžbetonines ir mūrines konstrukcijas [23].

Pagrindiniai kompozitinės armatūros pranašumai yra ypač didelis stipris (kelis kartus viršijantis plieno), atsparumas korozijai, nedidelis svoris ir lengvas apdirbimas statybos aikštelėje. Be šių pranašumų, susiduriama ir su kompozitinės armatūros trūkumais, susijusiais su fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis bei kaina.

Fizikinėms ir mechaninėms kompozitinės armatūros savybėms nustatyti gali būti taikomi ne tik eksperimentiniai tyrimai, bet ir mikromechaninis principas. Jis pagrįstas matricos ir pluošto savybių bei jų tūrio (arba masės) dalies įtakos kompozitinio elemento savybėms įvertinimu. Mikromechaniniu metodu galima nustatyti ne tik kompozitinės armatūros tankį ar temperatūrinio plėtimosi koeficientą, bet ir tempiamąjį, gniuždomąjį ar šlyties stiprius.

Kompozitinės medžiagos nėra atsparios aukštų temperatūrų poveikiui. Aukšta temperatūra pirmiausia paveikia kompozitinės armatūros matricą (polimerinę dervą). Veikiant neaukštomis temperatūroms (90–180 °C), matrica pradeda plastifikuotis, dėl to mažėja jos efektyvumas dėl sąveikos su plaušu, pažeidžiamas sukibimas su betonu ir konstrukcija gali suirti arba patirti dideles deformacijas. Polimerinės armatūros nerekomenduojama naudoti toms armuotojo betono konstrukcijoms, kurios nuolatos veikiamos aukšta temperatūra arba kurias eksploatuojant kyla didelis aukštų temperatūrų poveikio pavojus [23].

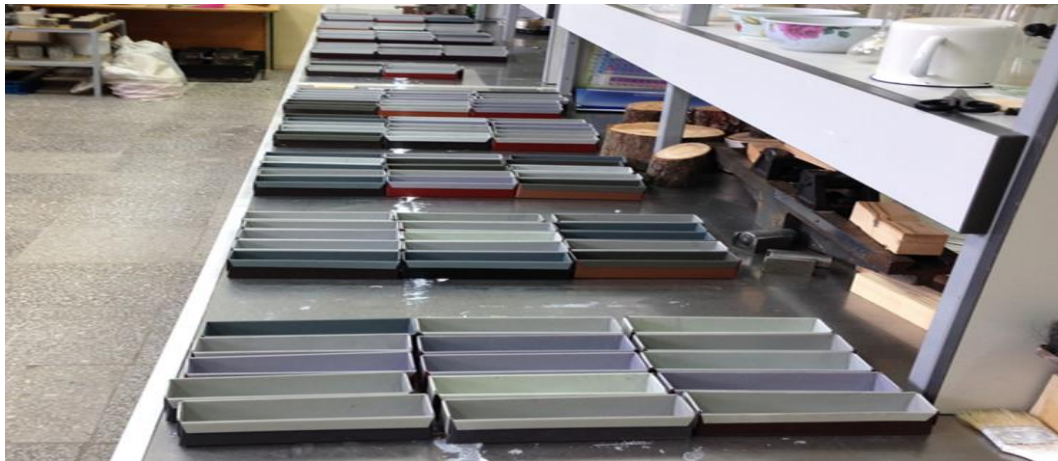
Tradiciniai betoniniai ir gelžbetoniniai elementai turi nemažai trūkumų: plieninė armatūra nėra atspari korozijai, o betonas yra trapus, turi mažą atsparumą pleišėjimui. Siekiant išvengti plieno korozijos sukeltų padarinių ir užtikrinti betoninių konstrukcijų ilgaamžiškumą, buvo sukurta kompozitinė polimerinė armatūra. Jau daug dešimtmečių naudojama betono konstrukcijoms armuoti ir stiprinti. Tačiau dėl medžiagų įvairovės ir gamybos technologijos nevienodumo yra ypatumų, kurie turi įtakos kompozitinių polimerinių medžiagų ilgaamžiškumui:

- mechaninių savybių degradavimas eksploatacijos metu;
- agresyviosios aplinkos (cheminių medžiagų) poveikis;
- ultravioletinių spindulių poveikis (ypač aktualus polimeriniams kompozitams, kurie naudojami konstrukcijos išorėje).

2. STIKLO PLASTIKU ATMUOTŲ BETONINIŲ SIJŲ ELGSENOS EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

1.11 Naudota įranga

Tyrimui atlikti buvo panaudotos specialiai pagamintos skardinės formelės (10 pav.). Plieninės formelės buvo gaminamos iš 0,45 mm storio skardos. Buvo pagaminta 60 formų, kurių vidiniai matmenys: ilgis 160 mm. plotis 40 mm. aukštis 40 mm.



10 pav. Skardinės formelės

Į metalines formeles buvo dedamas betono skiedinys. Eksperimentiniame tyrime skiediniui buvo naudojamas tik sijotas žvyras (11 pav.). Žvyras sijojamas kad betono masė būtų vienodos konsistencijos ir geriau pasiskirstytu po formelę.



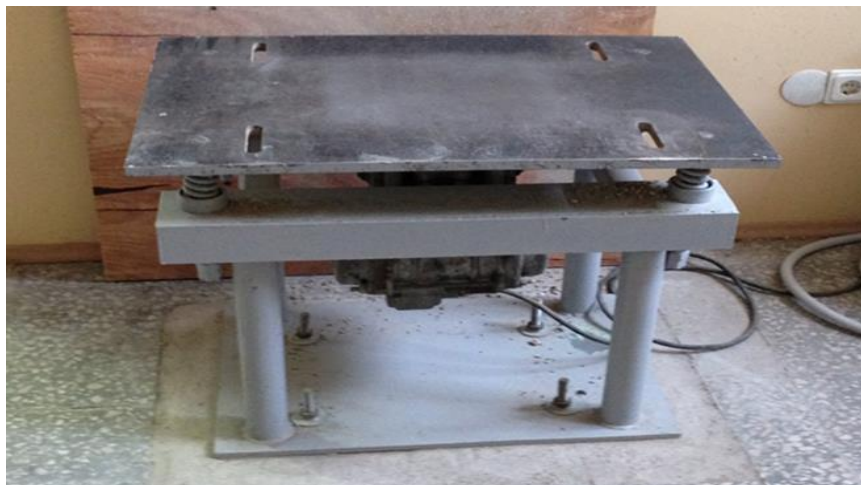
11 pav. Žvyro ruošimas maišymui

Eksperimentinio tyrimo bandiniams betono masė buvo maišoma specialiu skiedinio maišytuvu (12 pav.). Maišytuvą turi specialų antgalį, kurio pagalba sumaišomi tarpusavyje skiedinio ingredientai. Maišant tokiu prietaisu skiedinyje tolygiai pasiskirsto cementas.



12 pav. Skiedinio maišyklė

Sumaišytas skiedinys sudozuojamas į skardines formeles ir dedamas ant vibracinio stalo (12 pav.) suvibruojama. Bandiniai yra specialiai vibruojami tam, kad formelėse geriau susislėgtų mišinys, pasišalintų iš skiedinio oras ir būtų išstumtas vanduo.

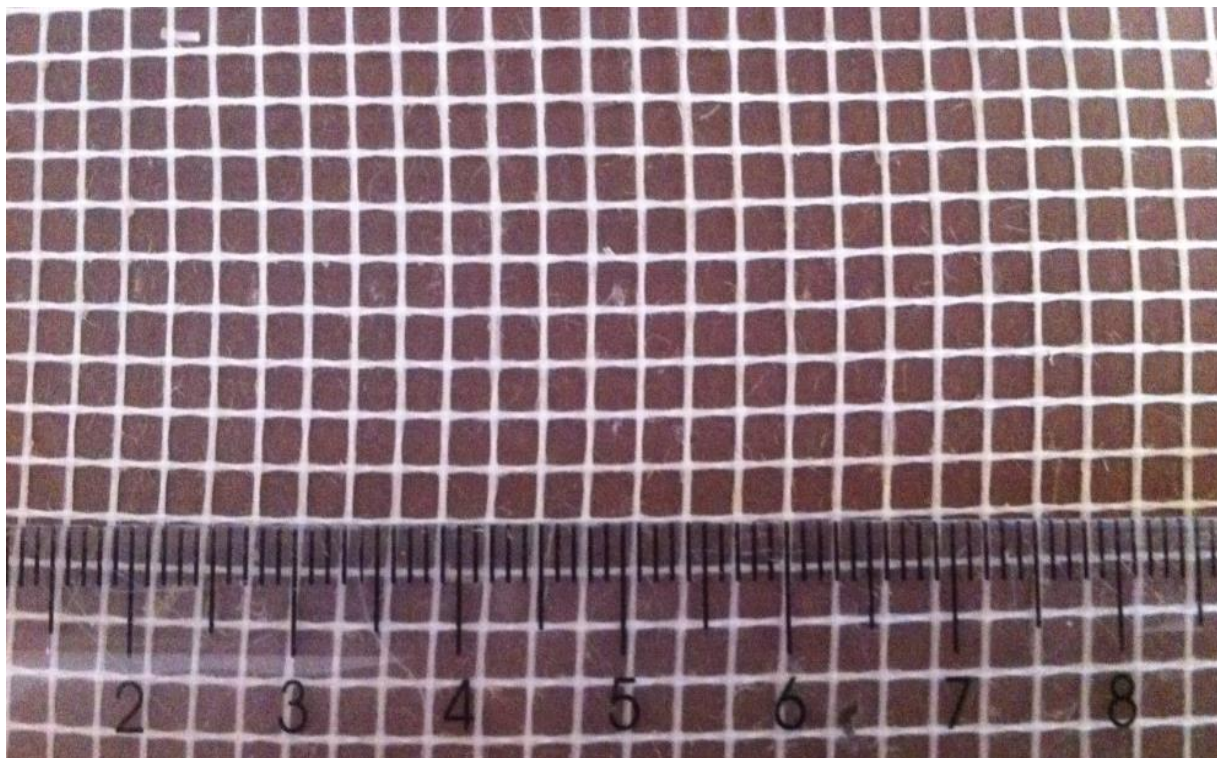


13 pav. Vibro plokštė

Pagamintas betonines konstrukcijas sustiprinti buvo naudojamas stiklo pluošto armavimo tinklelis (14 pav.). Jis buvo sukarpytas: ilgis 160 mm. plotis 40 mm. tam, kad idealiai tiktų prie betoninės sijos.

Stiklo pluošto tinklelis prie betoninių bandinių buvo montuojami specialia epoksidine derva. Prieš naudojimą klijai buvo pašildomi ir sumaišomi su kietikliu (15 pav.). Derva su

kietikliu pašildomi tam, kad geriau susimaišytų (pašildžius klijai su kietikliu skistėja). Kietiklis naudojamas tam, kad epoksidinė derva greičiau sukietėtų.



14 pav. Stiklo pluošto ritinėlis



15 pav. Epoksidinė derva dervos kietiklis

Specialiai iš polietileno buvo pagaminta formelė (16 pav.), kurios pagalba bus tiriamas stiklo pluošto stiprumas ir tamprumas. Pagal formelės vidinius matmenis buvo sukarpytas stiklo pluošto tinkliukas ir sudėtas į formelę. Susukta formelė užpildoma epoksidine derva.



16 pav. Forma stiklo pluošto ir dervos bandiniui

Eksperimentinis tyrimas su betono sijomis buvo atliktas Kauno technologijos universiteto laboratorijoje su gniuždymo – lenkimo presu (17 pav.). Šio presu maksimali lenkimo gniuždymo jėga 200 kN.

Eksperimentiniai bandiniai (nearmuotos ir armuotos stiklo audinių betoninės sijos) buvo dedami ant specialių briaunų, tarp kurių buvo 140 mm atstumas.



17 pav. Lenkimo presas Walter+bai AG ir poslinkio daviklis, ir gniuždymo presas BRÜTSCH/RÜEGGER

Stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandiniai buvo tiriami su specialiu tempimo gniuždymo presu LLOYD (18 pav.). Bandiniai į presą buvo dedami tarp gnybtų.



18 pav. Tempimo presas

1.12 Tyrimo eiga, bandinių gamyba - ruošimas

Eksperimentiniam tyrimui atlikti buvo naudojamos dviejų tipų sijos: gryno betono sijos ir betono sijos sustiprintos išorine stiklo pluošto armatūra. Sustiprintos konstrukcijos buvo suskirstytos į tris grupes ir atitinkamais sluoksniais sustiprintos išorine stiklo pluošto armatūra: 12 sluoksnių, 18 ir 24 sluoksniais.

Tyrimo naudotoms sijoms pagaminti buvo atlikti 5 skirtingi betono skiedinio maišymai (1 lentelė). Visos skiedinio sudedamosios dalys buvo sveriamos.

1 lentelė Medžiagų santykis skirtinguose maišymuose

Ingredientai	1 maišymas	2 maišymas	3 maišymas	4 maišymas	5 maišymas
Žvyras	12474 g.	13491,2 g.	13748,8 g.	13902,5 g.	13889,7 g.
1/3 žvyro	4158 g.	4497,1 g.	4582,9 g.	4634,16 g.	4629,9 g.
Cementas	4212,2 g.	4548,1 g.	4583,3 g.	4634,26 g.	4630,3 g.
Vanduo	1618,4 g.	1779,5 g.	1786 g.	1853,6 g.	1851,9 g.
W/C	0,389	0,395	0,39	0,4	0,4

Eksperimentinio tyrimo metu iš vieno atlikto maišymo buvo pagaminta po 12 betoninių sijų, kurios buvo suskirstytos į keturias grupes (2 lentelė). Pirmoje grupėje bandiniai nesustiprinti, antroje grupėje bandiniai sustiprinti 12 sluoksnių stiklo audinio tinkleliu, o trečioje grupėje bandiniai sustiprinti 18 sluoksnių. Ketvirtoje bandiniai sustiprinti 24 sluoksniais stiklo audinio.

Iš atliktų penkių skirtingų betono maišymų buvo pagaminta 60 bandinių. Skirtingoms bandinių grupėms tenka po 15 bandinių.

2 lentelė lentelė Bandinių grupavimas

Nr	1 maišymas			Nr	2 maišymas			Nr	3 maišymas			Nr	4 maišymas			Nr	5 maišymas		
	2	10	12		4	8	7		4	2	1		13	6	3		5	9	14
1	2	10	12	4	8	7	4	2	1	13	6	3	5	9	14	4	15	11	3
4	7	14	6	3	10	11	3	3	9	15	4	2	12	13	1	1	8	2	5
3	13	5	15	1	14	2	9	4	3	10	7	1	11	4	8	3	1	6	12
2	8	9	3	2	5	1	13	1	12	14	11	4	15	2	6	2	7	4	10

Pateiktoje lentelėje matome kad bandiniai išdalinti padrikai (randomizacijos būdu). Tai tokia matematinė procedūra, kuri užtikrina kad parinkti bandiniai yra atrinkti atsitiktinai. Iš to sekakad kiekvieno nario parinkimas yra lygus bet kurio kito nario parinkimui iš to paties maišymo. Tai užtikrina, kad vienų bandinių parinkimas neturi jokios įtakos kitų bandinių atrinkimui.

Betoninių bandinių gamybos procesas buvo pradedamas nuo sumaišytos betono masės sudozavimo į skardines formeles. Tuomet formelės buvo dedamos ant vibracinio stalo (19 pav.) ir vibruojama apie 60 sekundžių. Po pirmo vibravimo formelės buvo papildomos skiediniu ir dar kartą vibruojamos nuo 15 iki 20 sekundžių ir paliekamas skiedinys stingti.



19 pav. vibruojamos formos ant vibracinio stalo

Sumaišytas betono skiedinys yra vibruojamas tam, kad iš formelėse sudozuotos betono masės pasišalintu oro burbulai, esantis vanduo ir pats skiedinys formelėje susitankintų.

Betoninės sijos formelėse stingo apie 1 parą laiko. Sustingę bandiniai buvo išimami iš formelių ir patalpinami į rezervuarą su vandeniu. Vandenyje bandiniai kietėjo 14 parų ir tik tada buvo išimti.

Rezervuare, kur buvo kietinamos betoninės sijos, yra palaikoma pastovi kambario šilumos temperatūra, bei ribojimas organinių priemaišų kiekis, kuris gali lėtinti kietėjimo procesą. Bandiniai vandenyje buvo kietinami dėl betono susitraukimo, nes betonui džiūnant mažėja ir tūris. Pagrindinė priežastis tai greitas vandens garavimas iš cementinio akmens konstrukcijos.

Pilnai sukietėję bandiniai ištraukiami iš vandens vonelės ir sudedami ant stalo, kad pabaigtų džiūti. Taip bandiniai džiuvo apie 14 parų. Pilnai išdžiuvę bandiniai buvo sunumeruoti, pasverti ir išmatuoti. Bandinių nominaliniai matmenys: $l = 160 \text{ mm.}$, $b = 40 \text{ mm.}$, $h = 40 \text{ mm.}$, Svoris: $m_g = \text{tarp } 560 \text{ ir } 620 \text{ gr.}$

Eksperimentiniai bandiniai buvo suskirstyti į keturias skirtingas grupes. Pirmoji grupė (3 lentelė) tai betoninės sijos, kurios nebuvo sustiprinamos. Sukietėję bandiniai buvo sunumeruoti, išmatuoti ir pasverti.

3 lentelė Pirmos grupės eksperimentinių bandinių duomenys

Nr.	b, mm.	h, mm.	m, g.
1.10 – 1	41,35	40,62	570,67
1.2 – 1	40,91	41,14	584,59
1.12 – 1	41,30	40,89	582,96
1.1 – 2	40,78	39,22	569,02
1.14 – 2	41,99	40,55	611,03
1.9 – 2	41,08	40,62	574,12
1.5 – 3	40,82	39,61	574,84
1.15 – 3	40,31	40,51	567,81
1.11 – 3	40,34	40,66	574,74
1.1 – 4	41,06	38,36	570,53
1.3 – 4	40,21	39,63	581,54
1.8 – 4	41,82	40,27	601,96
1.13 – 5	40,98	39,15	578,79
1.6 – 5	40,42	40,26	587,28
1.7 – 5	42,01	39,50	597,85

Pateiktoje lentelėje b , mm. - betoninės sijos plotis. h , mm. – sijos aukštis. m , g. – sijos svoris.

Likusios trys grupės bus atitinkamai sustiprinamos stiklo pluošto armatūra. Antra grupė bandinių bus armuota 12 sluoksnių stiklo pluošto tinkliuku, trečia grupė - 18 sluoksnių o ketvirta grupė - 24 sluoksniais.

Pirmiausiai buvo paruošiamos betoninės sijos. Jų paviršius prieš klijavimą buvo metaline mentele apdirbamas nuo didesnių nelygumų. Esant reikalui, bandinių paviršius ant kurio bus montuojama stiklo pluoštas buvo apdirbamas šlifavimo popieriumi. Galiausiai nuo bandinių buvo nuvalomos dulkės ir riebalai, ypač tose vietose, kur bus stiprinama. Visa tai buvo daroma tam, kad galėtume užtikrinti kuo geresnį sukibimą tarp stiklo pluošto armatūros ir betoninių sijų.

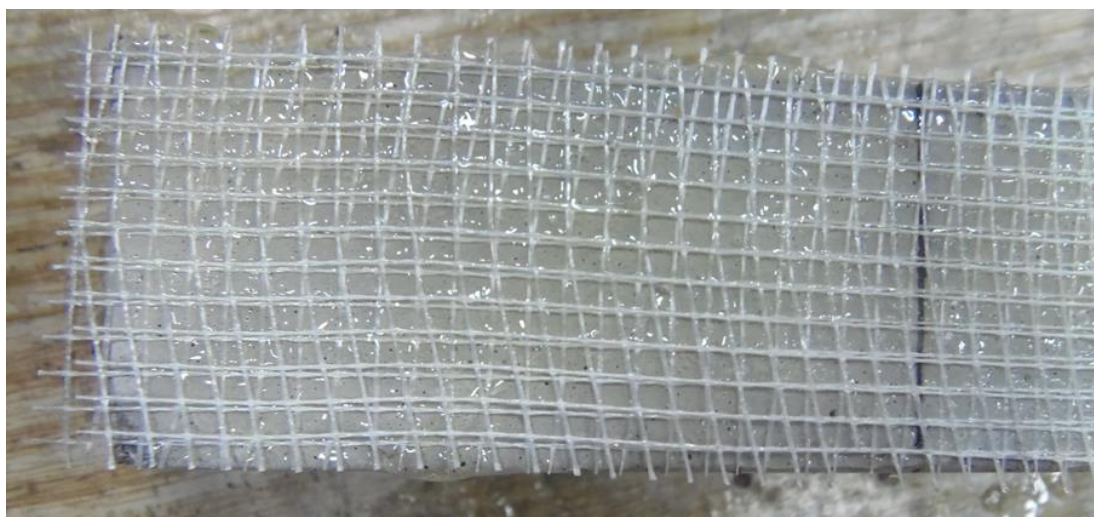
Stiklo pluošto armatūros paruošimas labai paprastas, tiesiog buvo sukarpoma į juostas: $l = 160$ mm. $b = 40$ mm. Tuomet pagal kiekvieną grupę sudedame krūvelėmis po 12, 18 ir 24 juostas (20 pav.).



20 pav. Stiklo pluošto paruošiamieji darbai

Stiklo pluošto armatūrai tvirtinti prie betoninių konstrukcijų buvo naudojama epoksidinė derva. Pirmiausiai derva su kietikliu buvo pašildoma iki $+50^{\circ}\text{C}$ temperatūros. Padidėjus medžiagų temperatūrai, jų konsistencija pasidaro skystesne, tokiu atveju geriau tiksliau dozuoti bei lengviau išmaišyti.

Sumaišytais klėjais pirmiausia buvo įtrinamas betono paviršius kur bus klijuojama armatūra. Gruntavimas klėjais buvo atliekamas tam, kad klėjai įsiskverbtų į betono sluoksnį ir tvirčiau prisiklijuotų stiklo pluoštas. Po atlikto gruntavimo klėjais dedamas pirmas sluoksnis armatūros, tuomet pertepama klėjais ir vėl klijuojamas sluoksnis stiklo pluošto tinkliuko (21 pav.). Visa tai yra kartojama iki tol kol gaunamas reikalingas sluoksnių skaičius (12, 18 ar 24). Sustiprintos konstrukcijos paliekamos džiūti.



21 pav. Pradedamas klijuoti stiklo armavimo tinklelis

Sukietėjus matricai eksperimentiniai bandiniai vėl matuojami ir sveriami: (4 lentelė) bandiniai sustiprinti 12 sluoksnių stiklo pluošto armatūra, (5 lentelė) sustiprinti bandiniai 18 sluoksnių ir (6 lentelė) bandiniai sustiprinti 24 stiklo armavimo tinklelio sluoksniais.

4 lentelė Antros grupės eksperimentinių bandinių duomenys

Nr.	b, mm.	h, mm.	m, g.	h', mm.	m', g.	m, f g.
2.9 – 1	40,94	39,80	571,42	43,04	592,60	4,41
2.3 – 1	41,96	42,74	621,43	45,62	639,86	5,04
2.8 – 1	41,94	39,66	571,47	43,32	594,74	4,96
2.1 – 2	41,98	39,86	577,94	42,89	597,84	4,32
2.13 – 2	39,86	40,72	570,70	43,99	595,91	5,11
2.5 – 2	40,54	40,67	570,23	43,72	593,36	4,88
2.2 – 3	41,00	40,43	574,44	42,94	593,48	4,31
2.6 – 3	40,20	40,40	579,03	44,53	605,50	4,49
2.14 – 3	41,11	38,48	545,39	42,39	572,64	4,15
2.7 – 4	40,00	39,49	572,55	42,67	591,86	4,14
2.12 – 4	41,05	39,66	584,32	42,70	602,39	4,33
2.11 – 4	40,36	40,29	580,04	43,34	600,84	4,52
2.10 – 5	40,95	39,27	571,67	41,79	588,80	4,28
2.15 – 5	41,94	40,14	595,63	42,88	613,72	4,38
2.4 – 5	41,37	38,94	577,64	41,56	594,58	4,21

Pateiktose lentelėse: h' , mm. – betoninės sijos aukštis su priklijuota stiklo pluošto armatūra. m' , g. – sijos svoris su priklijuota armatūra. m , f g. – stiklo pluošto armatūros svoris apnaudotas bandinių sustiprinimui (be epoksidinės dervos).

5 lentelė Trečios grupės eksperimentinių bandinių duomenys

Nr.	b, mm.	h, mm.	m, g.	h' , mm.	m' , g.	m, f g
3.15 – 1	40,01	39,26	546,21	44,22	581,38	6,94
3.13 – 1	41,09	40,27	576,80	45,19	608,03	6,79
3.5 – 1	40,05	39,08	542,99	43,16	572,82	6,72
3.10 – 2	40,87	40,01	574,87	44,87	604,19	6,91
3.11 – 2	40,76	42,04	599,98	46,40	625,85	6,84
3.3 – 2	40,75	40,20	590,14	44,98	620,54	6,90
3.14 – 3	41,10	40,93	609,32	45,48	641,88	6,72
3.4 – 3	40,56	41,94	592,40	45,89	622,85	6,47
3.9 – 3	40,24	41,10	586,22	45,39	614,07	6,37
3.7 – 4	41,16	40,18	602,90	45,16	634,64	6,62
3.2 – 4	40,18	40,92	599,42	46,02	632,12	6,95
3.8 – 4	41,37	39,24	579,92	43,94	610,47	6,68
3.1 – 5	40,77	40,33	589,39	44,68	617,35	6,32
3.6 – 5	40,06	40,03	579,00	44,44	610,36	6,49
3.12 – 5	41,80	38,42	567,80	43,10	601,61	6,60

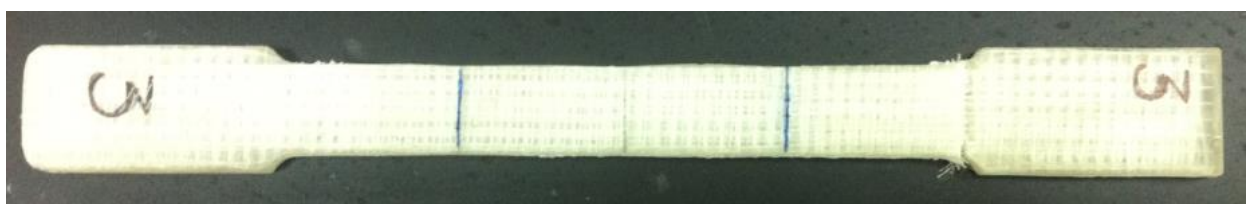
6 lentelė Ketvirtos grupės eksperimentinių bandinių duomenys

Nr.	b, mm.	h, mm.	m, g.	h' , mm.	m' , mm.	m, f
4.7 – 1	40,87	40,75	576,57	46,87	620,24	8,70
4.14 – 1	42,16	40,49	581,53	46,16	622,69	9,45
4.6 – 1	41,19	39,65	570,58	45,68	609,50	8,47
4.11 – 2	42,61	39,06	584,71	44,53	623,36	7,95
4.4 – 2	40,86	39,31	571,78	46,13	615,81	8,77
4.8 – 2	41,12	39,14	565,19	45,35	606,44	9,43
4.3 – 3	42,23	38,15	572,07	45,11	615,68	10,08
4.10 – 3	41,11	41,51	600,18	47,85	649,40	8,84

Lentelės tęsinys kitame puslapyje

4.9 – 3	41,26	42,32	609,70	48,57	641,91	8,93
4.15 – 4	42,05	42,20	619,87	48,61	664,76	9,50
4.2 – 4	40,31	40,88	582,58	47,23	629,16	9,23
4.12 – 4	41,05	41,19	601,61	46,26	640,10	8,67
4.13 – 5	42,05	40,63	612,34	47,38	658,78	10,01
4.5 – 5	41,55	40,03	587,30	46,36	633,96	9,02
4.1 – 5	41,54	39,65	592,12	44,95	633,63	8,75

Norint nustatyti stiklo pluošto armavimo tinklelio ir epoksidinės dervos stiprumą, reikėjo pagaminti bandinius (22 pav.). Vienam tokiam bandiniui reikėjo 18 juostų stiklo audinio, kurios buvo specialiai pagal formelės vidinius matmenis iškirptos. Paruoštas stiklo pluoštas buvo sudedamas į formą ir susukamas varžtais. Tuomet buvo paruošiami klįjai lygiai taip pat kaip ir bandiniams stiprinti. Tada švirkšto pagalba pro formos apačioje esančią skylę išvirkščiami. Klįjai švirkščiami iki tol kol formelės viršus nepradeda tekėti. Tuomet neištraukus švirkšto formelė dedama statmenai į pašildytą pečių ir paliekame kietėti. Kitą dieną išimamas bandinys iš formos.



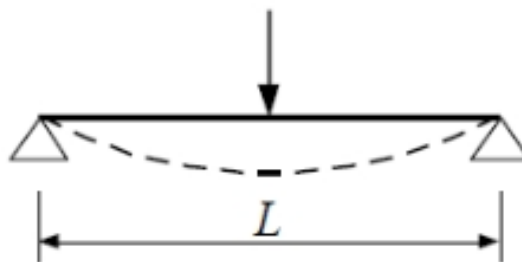
22 pav. Stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandinys

3. TYRIMO REZULTATAI

Eksperimentinio tyrimo metu buvo tiriama stiklo pluošto armatūros įtaka betono konstrukcijoms. Eksperimentiniam tyrimui buvo atlikti 5 betono skiedinio maišymai, iš kurių buvo pagaminta 60 betoninių sijų. Iš visų konstrukcijų 15 buvo nesustiprintos, kitos 45 buvo atitinkamai sustiprintos stiklo pluoštu.

Pirmiausia buvo atlikti bandymai su nesustiprintomis betoninėmis konstrukcijomis tam, kad būtų nustatyta kokias maksimalias apkrovas gali atlaikyti gryno betono konstrukcijos. Tuomet buvo tiriama stiklo pluošto armavimo įtaka betono konstrukcijoms ir atliekami tyrimai su sustiprinus konstrukcijas 12, 18 ir 24 sluoksniais stiklo pluošto audinio.

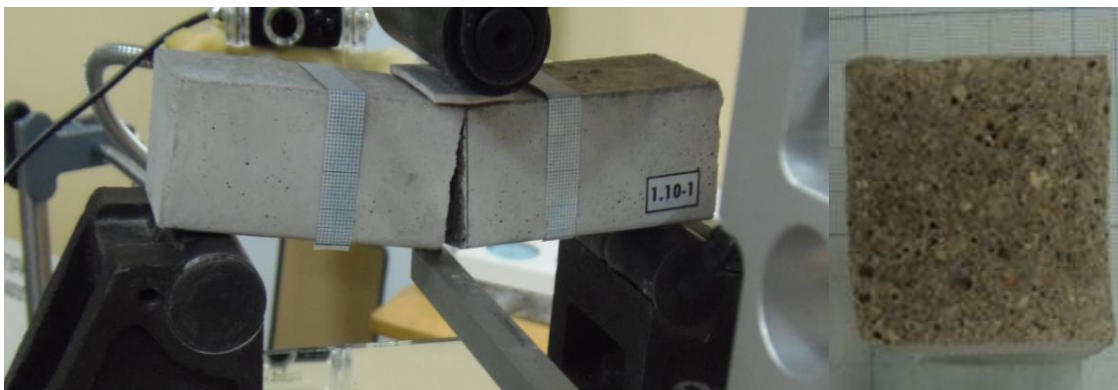
Eksperimentinių bandymų metu tyrėme betoninių konstrukcijų stiprumą lenkimui, tam tikslui naudojome trijų taškų lenkimo-gniuždymo schemą (23 pav.).



23 pav. Trijų taškų lenkimo schema

1.13 Pirmos bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai

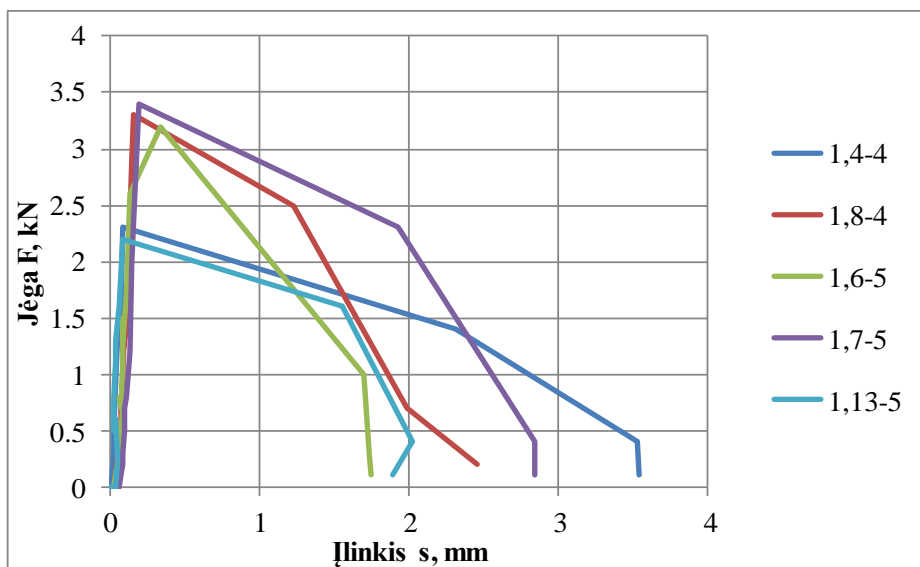
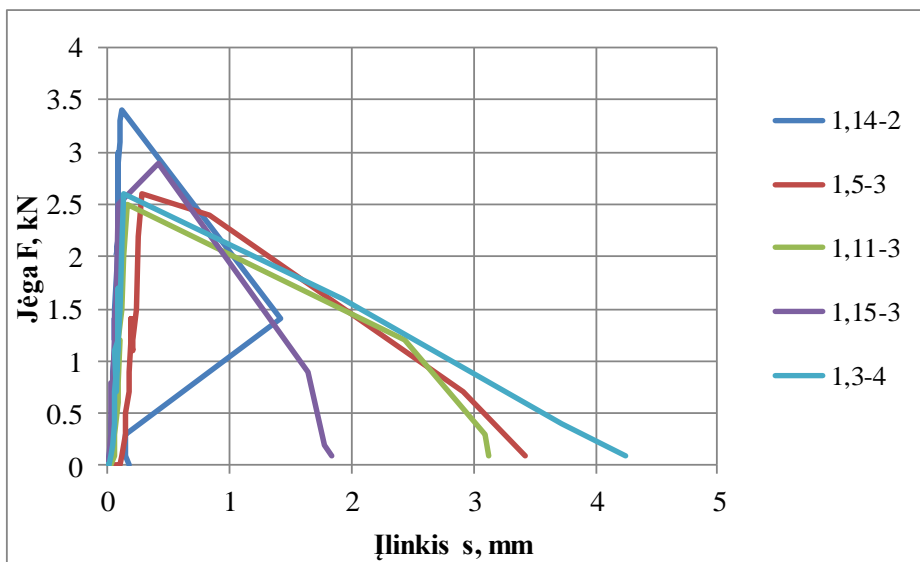
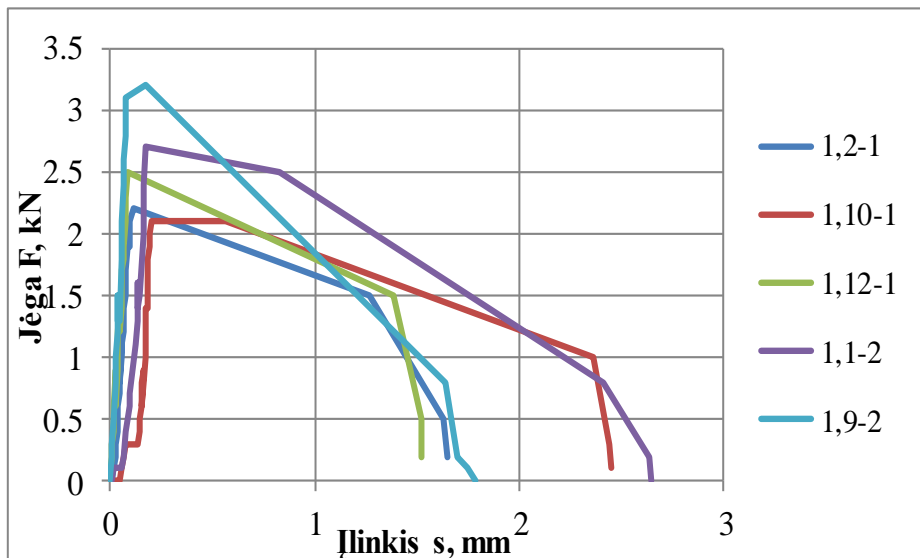
Nesustiprintų betono sijų tyrimas buvo atliekamas pastatant bandinius ant atramų, tarp kurių buvo 140 mm. atstumas. Bandiniai buvo taip pastatomi, kad iš viršaus spaudžianti atrama būtų tiesiai per bandinio centrą. Bandiniai eksperimento metu buvo apkraunami 0,15 kN jėga per sekundę.



24 pav. Suirusios betono konstrukcijos

Eksperimentinio tyrimo metu buvo pastebėta, kad lenkiama gryno betono sija labai greitai suyra. Lenkiant betono konstrukciją, joje atsiradęs menkiausias įtrūkimas iš karto suardydamo ją pusiau. Visais bandymų atvejais įtrūkimas atsirasdavo betono konstrukcijos apačioje. Bandinius suardęs plyšis būdavo vertikalus (24 pav.) ir eidavo tiesiai per tą vietą, kur būdavo spaudžiamas apkrovos.

Bandinių testavimui ir duomenų fiksavimui buvo naudojama gniuždymo mašina Walter+bai AG ir poslinkio davikliu BRÜTSCH/RÜEGGER. Iš eksperimentiškai gautų bandinių rezultatų, nubraižome jėgos ir poslinkio grafikus (25 pav.).



25 pav. Nearmuotų betoninių konstrukcijų F-s diagramos

Iš gautų grafikų diagramų galima teigti, kad gryno betono konstrukcijų suyrimo pobūdis labai panašus. Didėjant jėgai F kreivė kyla aukštyr truputį pasvirus, nes yra atsiradę nedideli betono konstrukcijos įlinkiai nuo apkrovos. Bandiniui pasiekus maksimalią atlaikomą jėgą, jis greitai suyra. Paskutiniame grafike matosi, kad įlinkio atžvilgiu pirmos grupės bandiniai suyra vienodai.

Analizuojant gautus pirmos grupės bandinių rezultatus (7 lentelė), pastebime, kad bandinių maksimali atlaikoma apkrova svyruoja nuo 2,1 kN iki 3,4 kN. Paanalizavus visos grupės bandinius gavau, kad maksimali vidutinė bandinio atlaikoma jėga F yra 2,74 kN. Analizuojant nesustiprintas betono konstrukcijas matosi, kad maksimalus konstrukcijos poslinkis svyruoja nuo 0,08 mm. iki 0,56 mm. Paanalizavus konstrukcijas su mažiausiais poslinkiais buvo pastebėta, kad šios konstrukcijos turi mažiausius skerspjuvio plotus. Iš to galima spręsti, kad nesustiprintoms betono konstrukcijoms yra svarbi geometrija. Paskaičiavus gauname, kad maksimalus vidutinis poslinkis pirmos grupės bandinių yra 0,204 mm.

7 lentelė Pirmos grupės bandinių

Kodas	b, mm	h, mm	m, g	F_1 kN	S_1 mm	A, mm ²	I, mm ⁴
1,2 – 1	40,91	41,14	570,67	2,2	0,11	1683	237378
1,10 – 1	41,35	40,62	584,59	2,1	0,56	1680	230948
1,12 – 1	41,30	40,89	582,96	2,5	0,09	1689	235299
1,1 – 2	40,78	39,22	569,02	2,7	0,17	1599	205016
1,9 – 2	41,08	40,62	611,03	3,2	0,17	1669	229440
1,14 – 2	41,99	40,55	574,12	3,4	0,12	1703	233312
1,5 – 3	40,82	39,61	574,84	2,6	0,28	1617	211401
1,11 – 3	40,34	40,66	567,81	2,5	0,16	1640	225973
1,15 – 3	40,31	40,51	574,74	2,9	0,42	1633	223315
1,1 – 4	41,06	38,36	570,53	2,6	0,13	1575	193141
1,3 – 4	40,21	39,63	581,54	2,3	0,08	1594	208557
1,8 – 4	41,82	40,27	601,96	3,3	0,16	1684	227587
1,6 – 5	40,42	40,26	578,79	3,2	0,34	1627	219804
1,7 – 5	42,01	39,50	587,28	3,4	0,19	1659	215756
1,13 – 5	40,98	39,15	597,85	2,2	0,08	1604	204921
Min	40,21	38,36	611,03	2,1	0,08	1575	193140,56
Max	42,0	41,1	567,81	3,4	0,56	1703	237378
Mean	41,03	40,07	581,85	2,74	0,204	1643	220123,24
SD	0,59	0,78	12,91	0,46	0,138	40,27	13154,33
CI_U 95%	41.35	40.50	589,00	3.00	0.28	1666	227407.86
CI_L 95%	40.70	39.63	574,70	2.48	0.13	1621	212838.61

SD - standartinis nuokrypis (arba vidutinis kvadratinis nuokrypis) – dydis, nusakantis atsitiktinio dydžio įgyjamų reikšmių sklaidą apie vidurkį. CI_U 95% - pasikliautinas intervalas – intervalas, kuriame, tikėtina, yra matuojamo didžiausias parametras. CI_L 95% - pasikliautinas

intervalas – intervalas, kuriame, tikėtina, yra matuojamo mažiausias parametras. I , mm^4 - inercijos momentas. A , mm^2 - skerspjūvio plotas. F_1 – maksimali atlaikyta jėga. s_1 - maksimalūs poslinkiai.

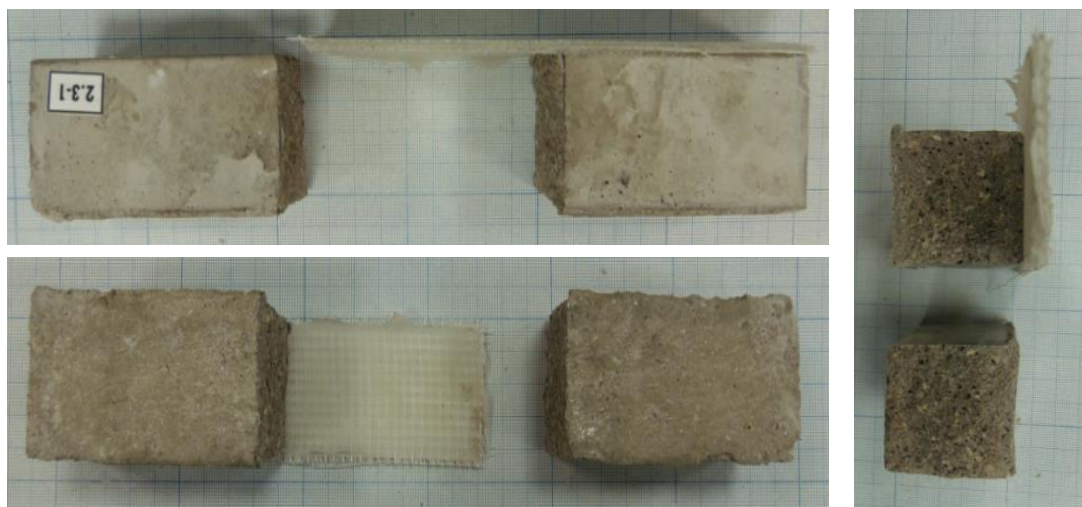
Iš bandinių rezultatų lentelės (žr. 7 lent.) matome, kad maksimali ir minimali jėga yra vienodai nutolusios nuo vidutinės apkrovos. Tuo tarpu poslinkiai labai nevienodi, mažiausi poslinkiai yra tris kartus mažesni už vidutinį poslinkį, o didžiausia poslinkio riba yra du su puse karto didesnė už vidutinį poslinkį.

1.14 Antros bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai

Tiriant stiklo pluošto armavimo įtaka betono konstrukcijai buvo atlikti bandymai su 12 sluoksnių stiklo pluošto armatūra, kuri prie bandinių buvo priklijuota specialia epoksidine derva. Tyrimo metu buvo analizuojama 15 bandinių su vienodu armatūros sluoksniu.

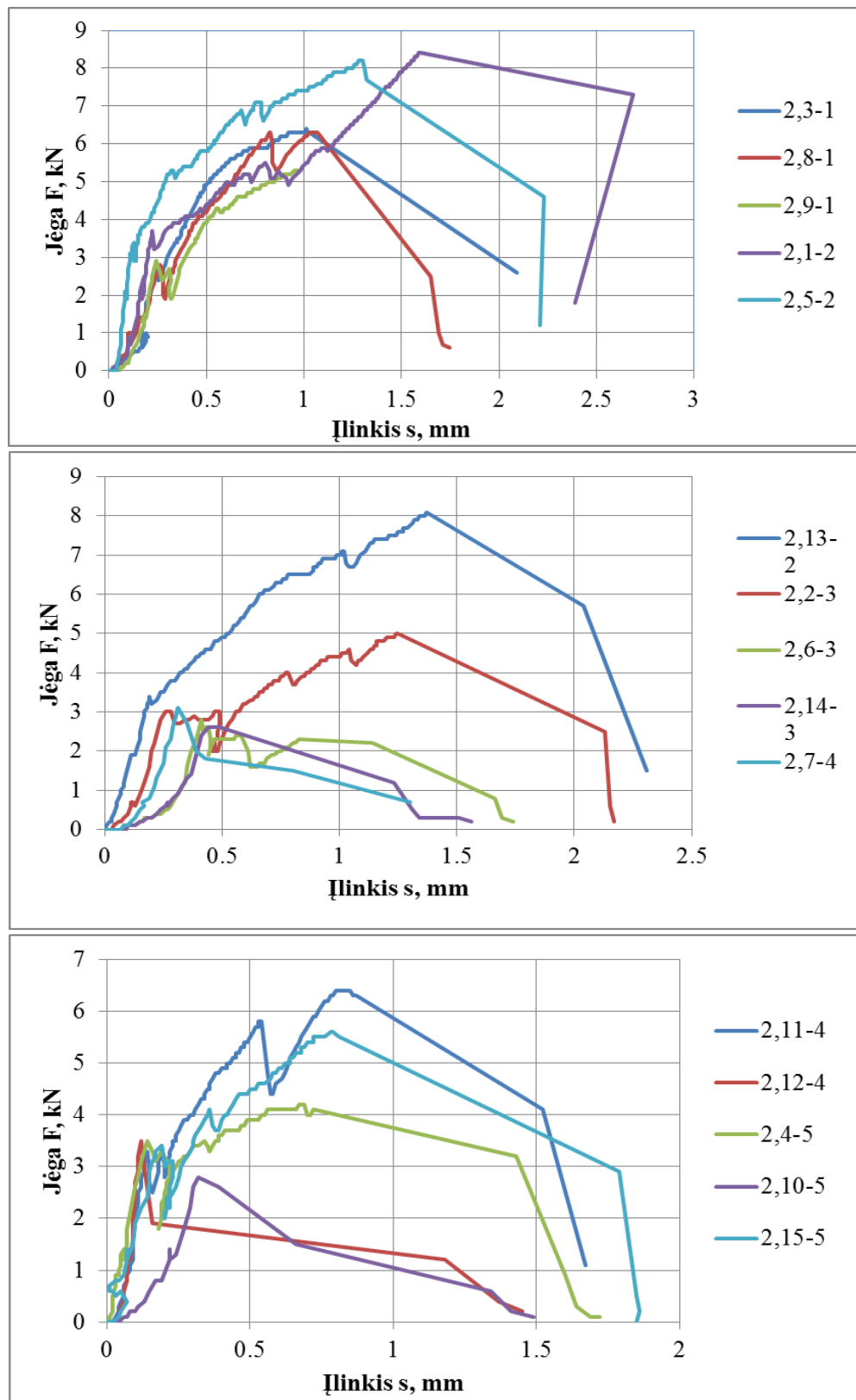
Iš atliktų bandymų buvo pastebėta, kad lenkiant armuoto betono konstrukcija joje atsiradę įtrūkimai - įtrūkimai iš karto nesuardydavo konstrukcijos. Visais atvejais įtrūkimai atsiradavo betono sluoksnio apačioje, ten kur betono sluoksnį veikdavo didžiausios tempimo jėgos.

Konstrukcijų suirimas labai panašus. Pirma įskildavo betoninė konstrukcijos dalis. Vėliau betoninė konstrukcijos dalis skildavo pusiau, atplėsdama betono konstrukcijos dalį nuo stiklo pluošto armatūros. Eksperimentinio tyrimo metu suirdavo tik betoninė konstrukcijos dalis, stiklo pluošto armatūra visais atvejais likdavo sveika (26 pav.). Betoninė konstrukcijos dalis suirdavo per centrą arba netoli jo, suirimas būdavo statmenas bandinio atžvilgiu.



26 pav. 12 sluoksnių armuotos konstrukcijos suirimas

Eksperimento metu gautų rezultatų nubraižome jėgos (F) ir poslinkio (s) grafikus (27 pav.).



27 pav. 12 sluoksnių armuotų betoninių konstrukcijų F-s diagramos

Pateiktuose antros grupės bandinių grafikuose, matome, kad kreivių pobūdis visiškai skiriasi nuo pirmos grupės bandinių. Iš grafikų matome, kad bandinių diagramos yra

besikeičiančios dinamikos. Kreivėse matoma po kelias viršūnes. Pirmoji viršūne (pikas) yra bandinio irimo pradžia. Ties pirmuoju piku bandinyje atsiranda pirmas įtrūkimas. Antros grupės bandinių kreivėse yra pastebima nuo dviejų pikų. Paskutinė viršūnė, po kurios kreivė leidžiasi žemyn yra bandinio suirimas.

8 lentelė Antros grupės bandinių

Bandini o nr.	b, mm	h, mm	m, g	h', mm.	m', g	I, mm ⁴	A, mm ²	F1. kN	s1. mm	F2. kN	s2. mm
2,3 – 1	41,96	42,74	571,42	43,04	592,60	272997	1793	2,9	0,24	6,4	1,01
2,8 – 1	41,94	39,66	621,43	45,62	639,86	218025	1663	2,8	0,26	6,3	0,83
2,9 – 1	40,94	39,8	571,47	43,32	594,74	215088	1629	2,9	0,24	5,3	0,97
2,1 – 2	41,98	39,86	577,94	42,89	597,84	221551	1673	3,7	0,22	8,4	1,6
2,5 – 2	40,54	40,67	570,70	43,99	595,91	227261	1649	3,4	0,08	8,2	1,3
2,13 – 2	39,86	40,72	570,23	43,72	593,36	224274	1623	3,4	0,19	8,1	1,37
2,2 – 3	41	40,43	574,44	42,94	593,48	225795	1658	3	0,26	5	1,25
2,6 – 3	40,2	40,4	579,03	44,53	605,50	220897	1624	2,8	0,41	2,8	0,41
2,14 – 3	41,11	38,48	545,39	42,39	572,64	195196	1582	2,6	0,49	-	-
2,7 – 4	40	39,49	572,55	42,67	591,86	205277	1580	3,1	0,31	-	-
2,11 – 4	40,36	40,29	584,32	42,70	602,39	219969	1626	3,4	0,14	6,4	0,85
2,12 – 4	41,05	39,66	580,04	43,34	600,84	213398	1628	3,5	0,07	3,5	0,07
2,4 – 5	41,37	38,94	571,67	41,79	588,80	203560	1611	3,5	0,14	4,2	0,69
2,10 – 5	40,95	39,27	595,63	42,88	613,72	206659	1608	2,8	0,32	-	-
2,15 – 5	41,94	40,14	577,64	41,56	594,58	226037	1683	3,4	0,19	5,6	0,79
Min	39,86	38,48	621,43	45,62	639,86	195196 ,23	1579 ,60	2,6 0	0,07	2,8	0,07
Max	41,98	42,74	545,39	41,56	572,64	272996 ,94	1793 ,37	3,7 0	0,49	8,4	1,6
Vidurkis	41,01	40,04	577,59	43,16	598,54	219732 ,19	1642 ,08	3,1 5	0,24	5,8 5	0,93
SD	0,73	0,98	16,00	1,02	14,50	17533, 01	51,5 9	0,3 4	0,11	1,8 2	0,43
CI_U, 95%	41,41	40,58	586,46	43,73	606,57	229441	1670 ,65	3,3 3	0,30	6,8 6	1,16
CI_L, 95%	40,61	39,49	568,73	42,59	590,51	210022	1613 ,51	2,9 6	0,17	4,8 4	0,69

F1 – pirmo piko maksimali apkrova, s1 – pirmo piko maksimalus poslinkis, F2 – maksimali apkrova, kurią atlaikė bandinys, s2 – maksimalus poslinkis.

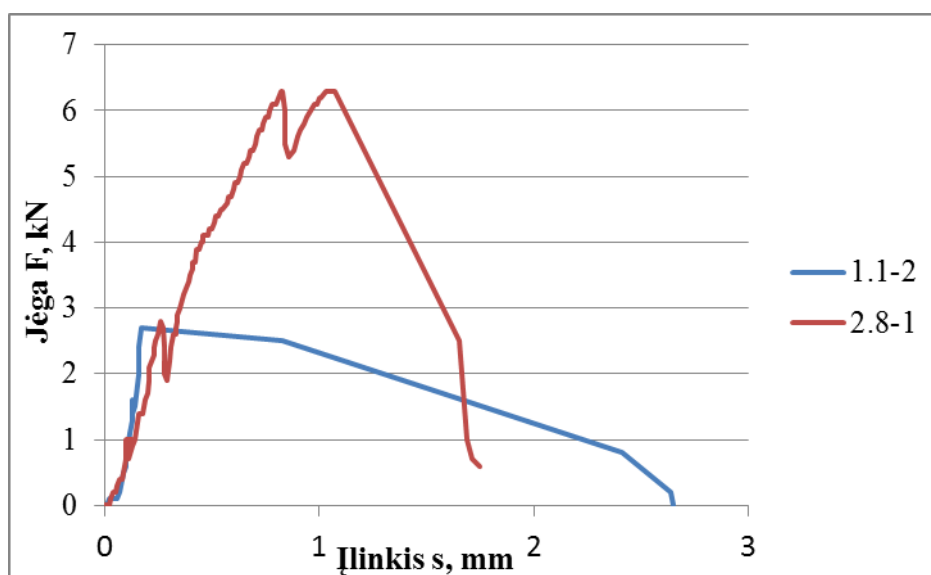
Iš pateiktos lentelės matome, kad antros bandinių grupės maksimali apkrova kinta nuo 2,8 iki 8,4 kN, o visos grupės maksimali vidutinė apkrova 5,85 kN. Paanalizavę bandinius, kurie suiro mažiausios apkrovos veikiami pastebėta grafikuose, kad jie neturi antrųjų viršūnių. Vadinasi iš to galima spręsti, kad bandiniai suirdavo panašiai kaip pirmos grupės bandiniai (nearmuoti). Paanalizavus vaizdinę medžiagą pastebėta, kad galėjo būti ne kokybiškai

pagamintos konstrukcijos (nekokybiškai priklijuota stiklo pluošto armatūra), nes eksperimento metu labai greitai atskildavo stiklo pluoštas nuo betono konstrukcijos.

Pateiktoje lentelėje matome, kad minimalūs ir maksimalūs poslinkiai antros grupės svyruoja nuo 0,07 iki 1,6 mm, visos grupės vidutinis poslinkis yra 0,93 mm. Paanalizavus bandinius su minimaliais poslinkiais paaiškėjo, kad tai tie patys bandiniai su minimaliom atlaikomomis jėgomis.

Sustiprinus betonines sijas 12 sluoksnių stiklo pluošto armatūros, bandiniai vidutiniškai pasunkėjo 20,95 g. o jų aukštis padidėjo vidutiniškai 3,12 mm.

Lyginant pirmos ir antros grupių bandinių suirimus (24 pav. 26 pav.) matome, kad daugiasluoksnės konstrukcijos betoninė dalis labai panašiai pradeda irti kaip nearmuota sija. Tačiau stiklo pluošto armatūra sijai neleidžia iš karto suirti kaip nearmuotai konstrukcijai. Palyginame pirmos ir antros grupės vidutinius parametrus turinčias kreives (28 pav.).



28 pav. Pirmos grupės (1,1-2) ir antros grupės (2,8-1) grafikų palyginimas

Lyginant kreives kurios atitinka gautus vidutinius rezultatus (28 pav.) matome, kad antrosios grupės kreivėje esanti pirma viršūnė praktiškai sutampa su pirmosios grupės lūžio tašku. Palyginam pirmos grupės bandinių maksimalius duomenis su antros grupės pirmos viršūnės maksimaliais duomenimis (9 lentelė).

9 lentelė Pirmos ir antros bandinių grupių F1, s1

	1 grupė		2 grupė			
	F1, kN	s1, mm.	F1, kN	s1, mm.	F2, kN	s2, mm.
Min	2,1	0,08	2,6	0,07	2,6	0,07
Vid	2,74	0,2	3,15	0,24	5,245	0,817
Max	3,4	0,56	3,7	0,49	8,4	1,6

Lyginant pirmos ir antros grupių gautus rezultatus matome, kad pirmos grupės vidutinė maksimali apkrova buvo 2,74 kN, o antros grupės (sustiprintos išorine stiklo pluošto armatūra) vidutinė maksimali apkrova 3,15 kN. Lyginant abi grupes matome, kad betoninės sijos sustiprintos stiklo pluošto audiniu tik pradeda irti ties maksimaliom pirmos grupės atlaikomoms jėgoms. Vidutiniai poslinkiai abiejų grupių yra labai panašūs, pirmos grupės 0,2 mm., antros 0,24. Vadinasi prie panašių jėgų abiejų grupių bandinių poslinkiai yra panašūs.

Iš pateiktos (9 lentelės) palyginami pirmos ir antros grupių gauti maksimalūs rezultatai. Matome, kad pirmos grupės vidutinė maksimali apkrova buvo 2,74 kN, o antros grupės (sustiprintos išorine stiklo pluošto armatūra) vidutinė maksimali apkrova 5,245 kN. Lyginant abi grupes matome, kad betoninės sijos sustiprintos stiklo pluošto audiniu atlaikoma maksimali vidutinė apkrova padidėjo du kartus. Vidutinis poslinkis pirmos grupės 0,204 mm, o antros grupės – 0,817 mm. Iš čia matome, kad maksimalus vidutinis poslinkis ties maksimalia apkrova antros grupės bandiniu padidėjo net keturis kartus.

1.15 Trečios bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai

Norint nustatyti stiklo pluošto armavimo storio įtaka betono konstrukcijai buvo atlikti bandymai su 18 sluoksnių stiklo pluošto armatūra, kuri prie betono bandinių buvo priklijuota. Tyrimo metu buvo analizuojama 15 bandinių su vienodu armatūros sluoksniu.

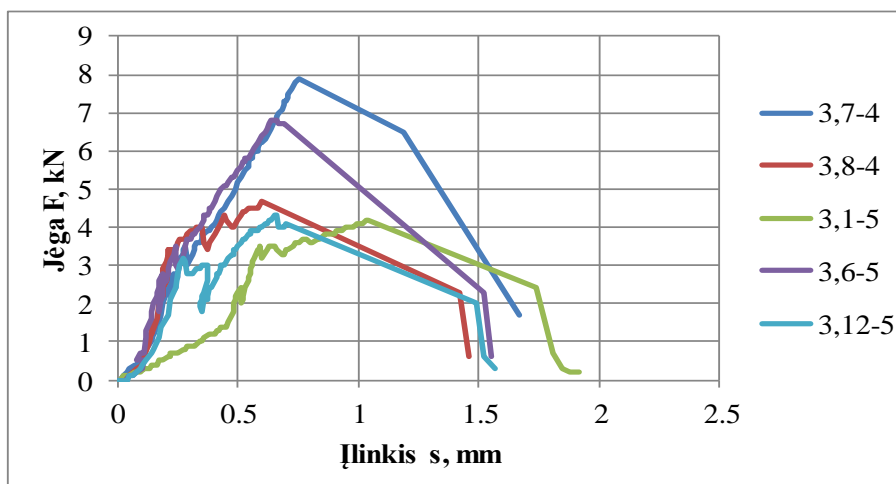
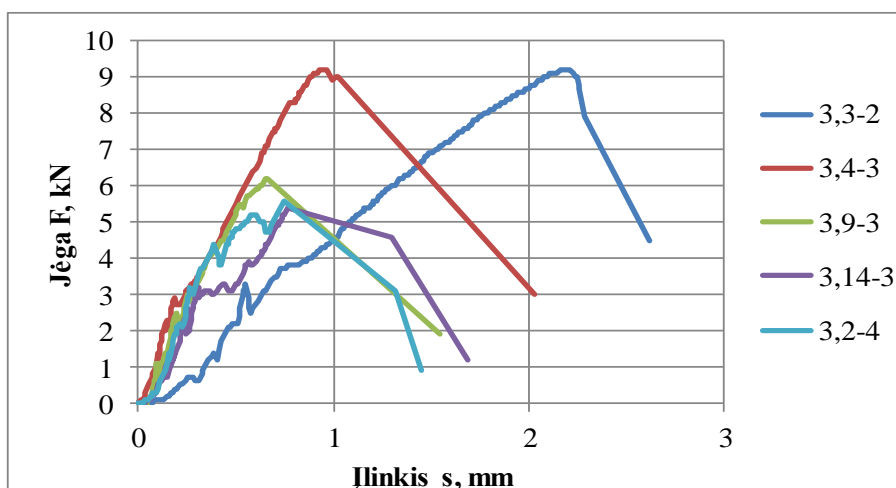
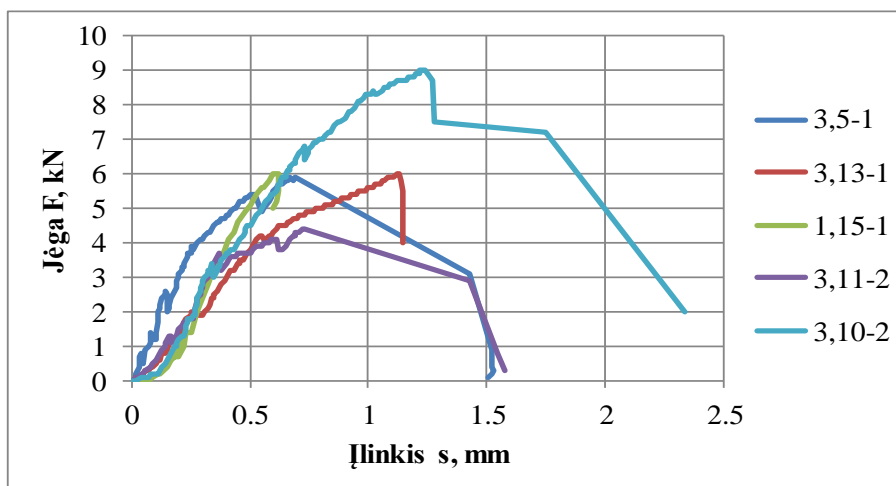
Iš atliktų bandymų buvo pastebėta, kad lenkiant sustiprintą betono konstrukcija joje atsiradę įtrūkimai - įtrūkimai iš kart nesuardo bandinio kaip kad pirmos grupės (nearmuotų) bandinių. Trečios grupės bandinių suirimas labai panašus, didėjant jėgai sijos betoninė dalis įskildavo, tačiau apkrova sumažėdavo trumpam ir vėl didėdavo iki tol kol neatlaikydavo stiklo pluošto ir betono sujungimas. Bandinys lūždavo pusiau atplėšdamas stiklo pluošto armatūrą. Visais atvejais įtrūkimai - įtrūkimai pirmiausiai atsirasdavo betono sluoksnio apačioje, ten kur betono sluoksnį veikdavo didžiausia tempimo jėga.



29 pav. 18 sluoksnių armuotos konstrukcijos suirimas

Trečios grupės bandinių suirimas panašus (29 pav.), lūžusi betoninė dalis pusiau, lūžis šiek tiek pasviręs, stiklo pluošto armatūra laikosi prie tvirčiau prisiklijavusios betono dalies arba prie didesnės betono dalies.

Iš gautų trečios grupės bandinių duomenų pateikiu jėgos (F) ir poslinkio (s) grafikus (30 pav).



30 pav. 18 sluoksnių armuotų betoninių konstrukcijų F-s diagramos

Pateiktuose trečios bandinių grupės grafikuose matome, kad kreivės yra labai panašaus pobūdžio kaip antros grupės. Iš grafikų matome, kad kreivės kyla netolygiai. Kreivėse matoma po kelias viršūnes kaip ir antros bandinių grupės. Pirmasis pikas parodo kada bandinys pradeda irti, o paskutinis kada suiro. Pastebėta, kad trečios bandinių grupės diagramose yra daugiau viršūnių. Kiekviena viršūnė reiškia, kad bandinys daugiau ar mažiau įtrūko. Panagrinėjus besikeičiančių kreivių duomenis (10 lentelė) pastebėta, kad jos neatlaikė labai didelių apkrovų.

10 lentelė Trečios grupės bandinių

Bandinio nr.	b, mm	h, mm	m, g	h', mm.	m', g	A, mm ²	I, mm ⁴	F1. kN	s1. mm	F2. kN	s2. mm
3,5 – 1	40,05	39,08	546,21	44,22	581,38	1565	199198	2,6	0,09	5,9	0,69
3,13 – 1	41,09	40,27	576,80	45,19	608,03	1655	223614	2	0,25	6	1,15
3,15 – 1	40,01	39,26	542,99	43,16	572,82	1571	201761	1,4	0,23	6	0,62
3,3 – 2	40,75	40,20	574,87	44,87	604,19	1638	220610	3,3	0,55	9,2	2,19
3,10 – 2	40,87	40,01	599,98	46,40	625,85	1635	218137	3,4	0,34	9	1,24
3,11 – 2	40,76	42,04	590,14	44,98	620,54	1714	252372	1,3	0,16	4,4	0,73
3,4 – 3	40,56	41,94	609,32	45,48	641,88	1701	249346	2,9	0,19	9,2	0,97
3,9 – 3	40,24	41,10	592,40	45,89	622,85	1654	232810	2,5	0,2	6,2	0,66
3,14 – 3	41,10	40,93	586,22	45,39	614,07	1682	234847	2,6	0,25	5,4	0,77
3,2 – 4	40,18	40,92	602,90	45,16	634,64	1644	229422	3,2	0,26	5,6	0,75
3,7 – 4	41,16	40,18	599,42	46,02	632,12	1654	222497	2,8	0,23	7,9	0,75
3,8 – 4	41,37	39,24	579,92	43,94	610,47	1623	208301	3,4	0,22	4,7	0,60
3,1 – 5	40,77	40,33	589,39	44,68	617,35	1644	222866	2,4	0,25	4,2	1,04
3,6 – 5	40,06	40,03	579,00	44,44	610,36	1604	214134	3,5	0,24	6,8	0,66
3,12 – 5	41,80	38,42	567,80	43,10	601,61	1606	197545	3,2	0,27	4,3	0,66
Min	40,01	38,42	542,99	43,10	572,82	1565,15	197545,49	1,3	0,09	4,2	0,60
Max	41,80	42,04	609,32	46,4	641,88	1713,55	252371,93	3,5	0,55	9,2	2,19
Vidurkis	40,72	40,26	582,49	44,86	613,21	1639,32	221830,80	2,70	0,25	6,3	0,90

Lentelės tęsinys kitame puslapyje

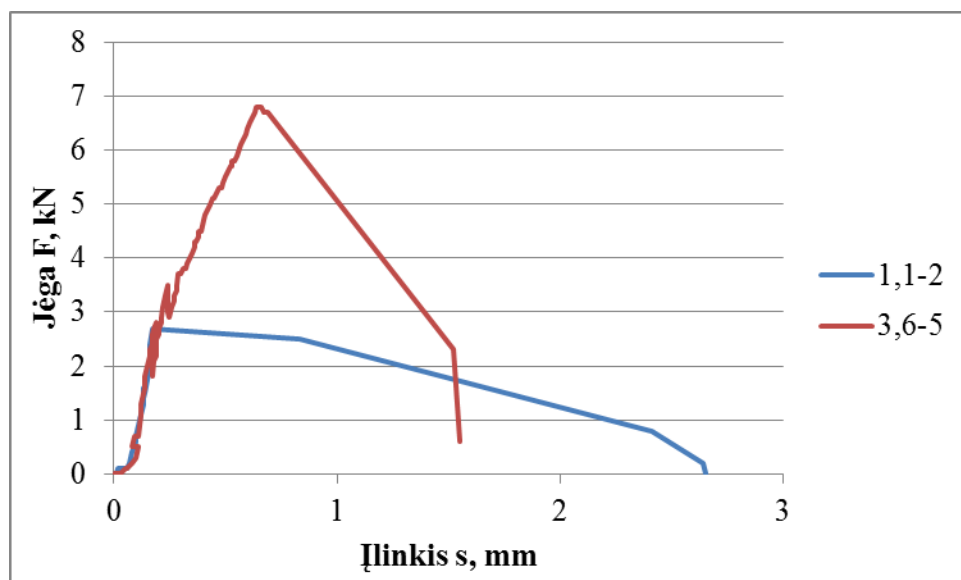
SD	0,54	1,02	19,18	0,97	18,64	42,03	16484,56	0,70	0,10	1,7	0,41
CI_U, 95%	41,02	40,83	593,11	45,40	623,53	1662,60	230959,64	3,09	0,30	7,3	1,13
CI_L, 95%	40,42	39,70	571,87	44,33	602,89	1616,05	212701,95	2,31	0,19	5,4	0,67

Iš pateiktos (10 lentelės) matome, kad trečios grupės bandiniai atlaiko apkrova nuo 4,2 iki 9,2 kN. visos grupės vidutinė maksimali atlaikoma jėga 6,32 kN. Paanalizavus bandinius su nedidelėmis atlaikomomis jėgomis pastebėta, kad bandymo metu labai greitai betoninė konstrukcijos dalis atplyšo nuo armavimo sluoksnio. Iš to galime teigti, kad konstrukcijos stiprinimo metu galimai buvo padarytas brokas, ir stiklo pluoštas netvirtai prisiklijavo prie betono.

Analizuojant trečios grupės bandinių poslinkius matome, kad jie svyruoja nuo 0,6 iki 2,19mm. o visos grupės vidurkis yra 0,90 mm. Panagrinėjus bandinius su nedideliais poslinkiais pastebėta, kad tai tie patys bandiniai kurie suiro ties mažiausiomis apkrovomis.

Pateiktoje (10 lentelėje) matome, kad trečios grupės bandiniai sustiprinus stiklo pluošto armatūra vidutiniškai pasunkėjo 30,72gr. o konstrukcija paaukštėjo vidutiniškai 4,6 mm.

Palyginame pirmos ir trečios grupių bandinių grafikus su vidutinėmis maksimaliomis jėgomis ir vidutiniais maksimaliais poslinkiais (31 pav.).



31 pav. Pirmos grupės (1,1-2) ir trečios grupės (3,6-5) grafikų palyginimas

Pateiktam grafike matome, kaip pirmos ir trečios grupės bandinių kreivės pradeda kilti vienodai iki pirmos grupės bandinio maksimalios atlaikomos jėgos. Iš pateikto grafiko matome,

kad trečios grupės bandiniai vidutiniškai atlaiko du kartus stipresnes apkrovas už pirmos grupės bandinius (nearmuotus). Palyginame pirmos bandinių grupės maksimalius duomenis F1, s1 su trečios grupės pirmojo piko F1, s1 ir maksimaliais duomenimis F2, s2 (11 lentelė)

11 lentelė Pirmos ir trečios bandinių grupių F1, s1

	1 grupė		3 grupė			
	F1, kN	s1, mm.	F1, kN	s1, mm.	F2, kN	s2, mm.
Min	2,1	0,08	1,3	0,09	4,2	0,60
Vid	2,74	0,2	2,7	0,25	6,32	0,9
Max	3,4	0,56	3,5	0,55	9,2	2,19

Iš pateiktos lentelės matome, kad pirmos ir trečios grupių F1 ir s1 yra labai panašūs, pirmos grupės vidutinė F1 jėga 2,74 kN trečios grupės F1 2,7 kN, pirmos grupės vidutinis poslinkis s1 yra 0,2 mm., o trečios grupės vidutinis s1 0,25 mm. Lyginant pirmos grupės vidutinius F1 s1 su trečios grupės vidutiniais F2 s2 matome, kad pirmos grupės maksimali jėga yra 2,5 karto mažesnė už trečios grupės armuotų konstrukcijų.

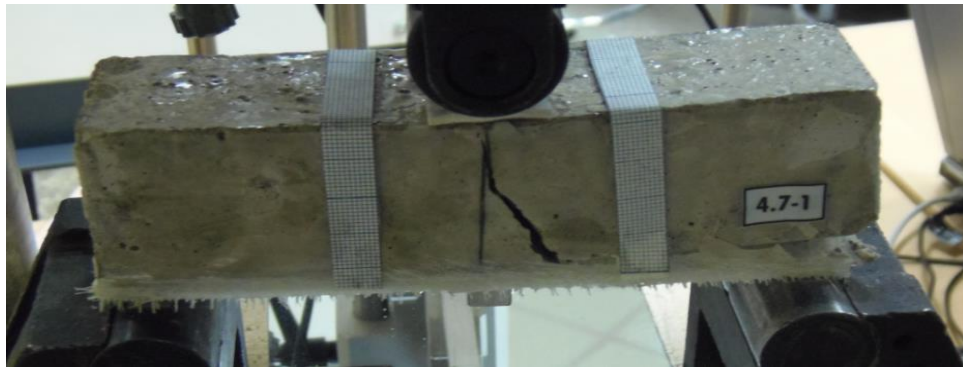
1.16 Ketvirtos bandinių grupės eksperimentinio tyrimo rezultatai

Tiriant stiklo pluošto armavimo įtaką atliekame bandymus su konstrukcijomis sustiprintomis 24 sluoksniais stiklo pluošto armatūros juostomis. Eksperimento metu buvo atlikti 15 bandymų su vienodu kiekiu stiklo pluošto armatūros.

Bandymu metu pastebėta, kad ketvirtos grupės bandiniai suyrimas labai vienodas. Bandiniui suyrant nuskildavo mažesnė betono konstrukcijos dalis (32 pav.), arba bandinys suirdavo per pusę.

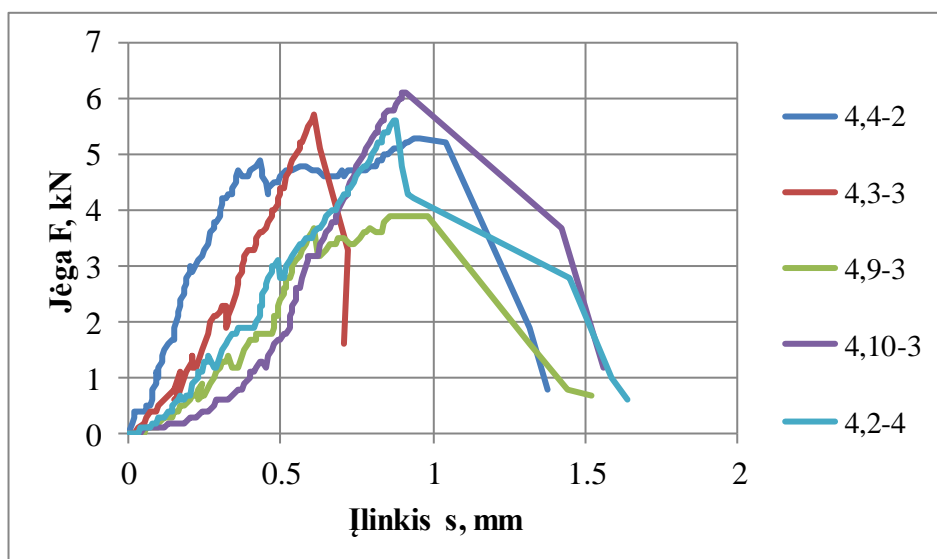
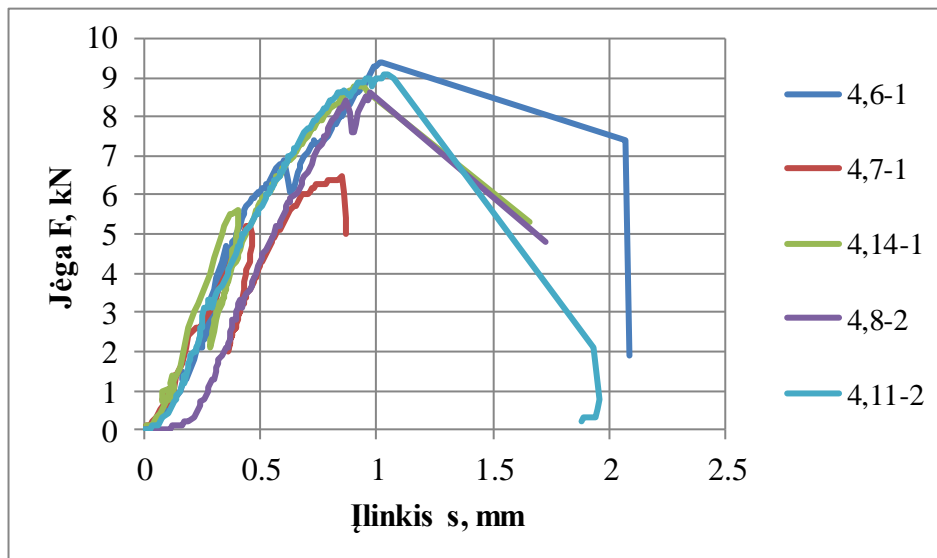


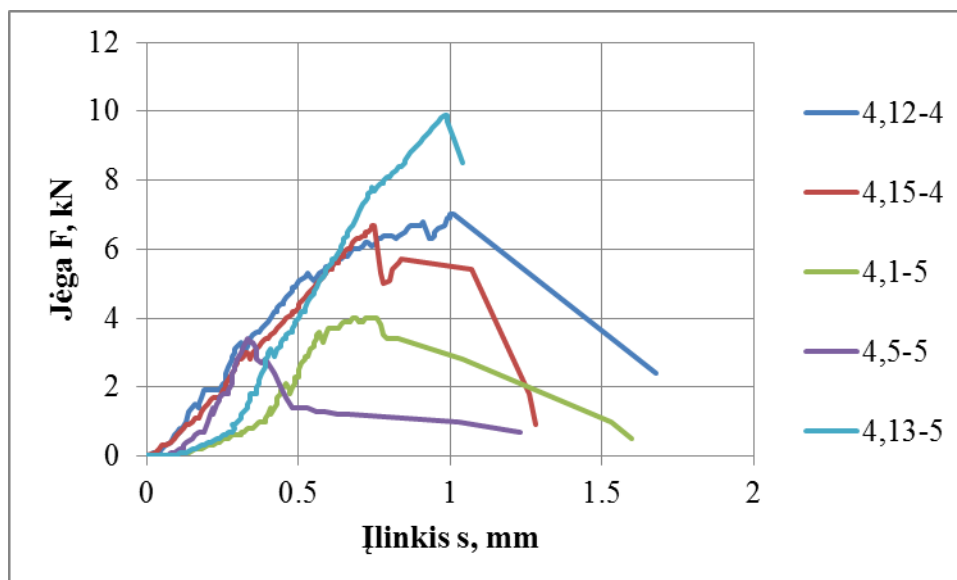
32 pav. 24 sluoksnių armuotos konstrukcijos suirimas



32 pav. 24 sluoksnių armuotos konstrukcijos suirimas

Iš gautų ketvirtos grupės bandinių duomenų pateikiu jėgos (F) ir poslinkio (s) grafikus (33 pav).





33 pav. 24 sluoksnių armuotų betoninių konstrukcijų F-s diagramos

Iš pateiktų ketvirtos grupės bandinių grafikų matome, kad kreivių diagramos yra besikeičiančios ir labai panašaus pobūdžio. Iš grafikų matome, kad kreivės kyla netolygiai. Kreivėse matoma po kelias viršūnes kaip antros ir trečios bandinių grupių.

12 lentelė Ketvirtos grupės bandinių

Bandini o nr.	b, mm	h, mm	m, g	h', mm.	m', g	A, mm ²	I, mm ⁴	F1. kN	s1. mm	F2. kN	s2. mm
4,6 – 1	41,19	39,65	576,57	46,87	620,24	1633	213964	4,7	0,35	9,4	1,02
4,7 – 1	40,87	40,75	581,53	46,16	622,69	1665	230466	5,2	0,44	6,5	0,85
4,14 – 1	42,16	40,49	570,58	45,68	609,50	1707	233218	5,6	0,4	8,9	0,92
4,4 – 2	40,86	39,31	584,71	44,53	623,36	1606	206836	3,3	0,27	5,3	0,96
4,8 – 2	41,12	39,14	571,78	46,13	615,81	1609	205463	4,7	0,36	8,6	0,97
4,11 – 2	42,61	39,06	565,19	45,35	606,44	1664	211606	3,3	0,41	9,1	1,05
4,3 – 3	42,23	38,15	572,07	45,11	615,68	1611	195400	2,3	0,32	5,7	0,61
4,9 – 3	41,26	42,32	600,18	47,85	649,40	1746	260606	0,9	0,24	3,9	0,98
4,10 – 3	41,11	41,51	609,70	48,57	641,91	1706	245033	1,3	0,43	6,1	0,91
4,2 – 4	40,31	40,88	619,87	48,61	664,76	1648	229490	3,1	0,49	5,6	0,88
4,12 – 4	41,05	41,19	582,58	47,23	629,16	1691	239060	3,3	0,31	7	1,01
4,15 – 4	42,05	42,2	601,61	46,26	640,10	1775	263343	3	0,32	6,7	0,75
4,1 – 5	41,54	39,65	612,34	47,38	658,78	1647	215782	2,1	0,46	4	0,76
4,5 – 5	41,55	40,03	587,30	46,36	633,96	1663	222099	1,4	0,22	3,4	0,33
4,13 – 5	42,05	40,63	592,12	44,95	633,63	1708	235031	3,1	0,41	9,9	0,99
Min	40,31	38,15	565,19	44,53	606,44	1606,21	195399,51	0,90	0,22	3,40	0,33
Max	42,61	42,32	619,87	48,61	664,76	1774,51	263343,20	5,60	0,49	9,90	1,05

Lentelės tęsinys kitame puslapyje

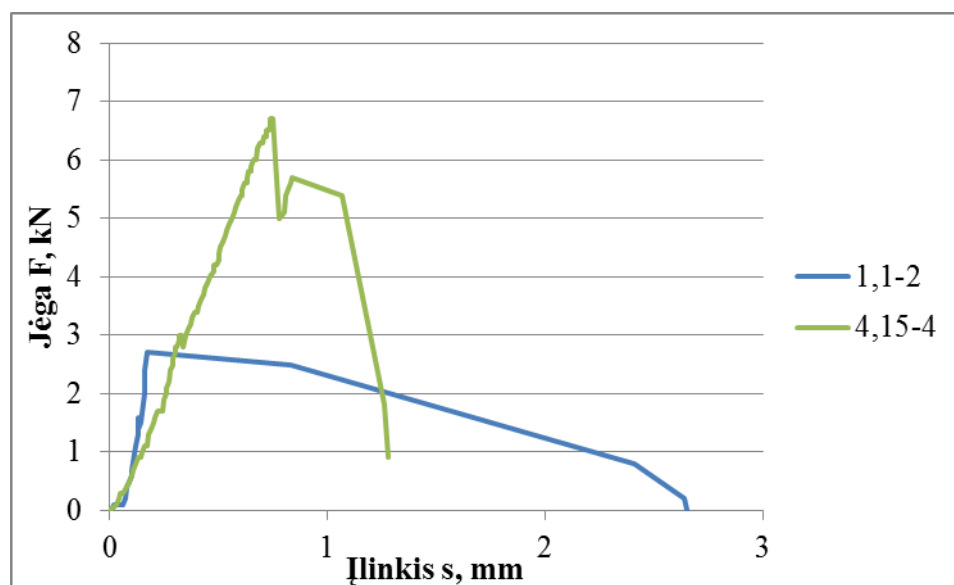
Vidurkis	41,46	40,33	588,54	46,47	631,03	1672,09	227159,79	3,15	0,36	6,67	0,87
SD	0,64	1,20	16,86	1,27	17,41	49,96	19762,25	1,43	0,08	2,11	0,19
CI_U, 95%	41,82	40,99	597,88	47,17	640,67	1699,76	238103,76	3,94	0,41	7,84	0,97
CI_L, 95%	41,11	39,67	579,21	45,77	621,38	1644,42	216215,82	2,36	0,32	5,50	0,76

Pateiktoje (12 lentelėje) matome, kad ketvirtos grupės bandinių atlaikoma maksimali apkrova F2 kinta nuo 3,4 kN iki 9,9 kN, o visos grupės vidutinė maksimali jėga yra 6,67 kN. Paanalizavus bandinius su nedidelėmis atlaikomomis jėgomis pastebėta, kad bandymo metu labai greitai atplyšo betonas nuo armavimo sluoksnio. Iš to galime spręsti, kad buvo nekokybiškai sustiprinti bandiniai.

Analizuojant ketvirtos bandinių grupės maksimalius poslinkius matome, kad jie svyruoja nuo 0,33 iki 1,05 mm., o visos grupės vidurkis yra 0,87 mm. Panagrinėjus bandinius su nedideliais poslinkiais pastebėta, kad tai tie patys bandiniai kurie suiro ties mažiausiomis apkrovomis.

Pateiktoje (12 lentelėje) matome, kad sustiprinus bandinius 24 sluoksniais stiklo pluošto armatūros jie vidutiniškai pasunkėjo 42,49 gr., o konstrukcija paaukštėjo vidutiniškai 6,14 mm.

Palyginame pirmos ir ketvirtos grupių bandinių grafikus su vidutinėmis maksimaliomis jėgomis ir vidutiniais maksimaliais poslinkiais (34 pav.).



34 pav. Pirmos grupės (1,1-2) ir ketvirtos grupės (4,15-4) grafikų palyginimas

Lyginant pirmos ir ketvirtos grupių gautus rezultatus matome, kad pirmos grupės vidutinė maksimali apkrova buvo 2,74 kN, o ketvirtos grupės (sustiprintos 24 sluoksniais išorine

stiklo pluošto armatūra) vidutinė maksimali apkrova 6,67 kN. Lyginant abi grupes matome, kad betoninės sijos sustiprintos stiklo pluošto audiniu tik pradeda irti ties maksimaliom pirmos grupės atlaikomoms jėgoms. Lyginant abiejų grupių maksimalius vidutinius F1 ir s1 matome, kad nearmuotos bandinių grupės F1 yra 2,74 kN., o sijos armuotos 24 sluoksniais stiklo pluošto armatūros F2 yra 6,67 kN., skirtumas apie 2,5 karto, lyginant maksimalius vidutinius poslinkius pirmos grupės s1 yra 0,2 mm., o ketvirtos grupės s2 0,87 mm., keturis kart didesnis už pirmos grupės.

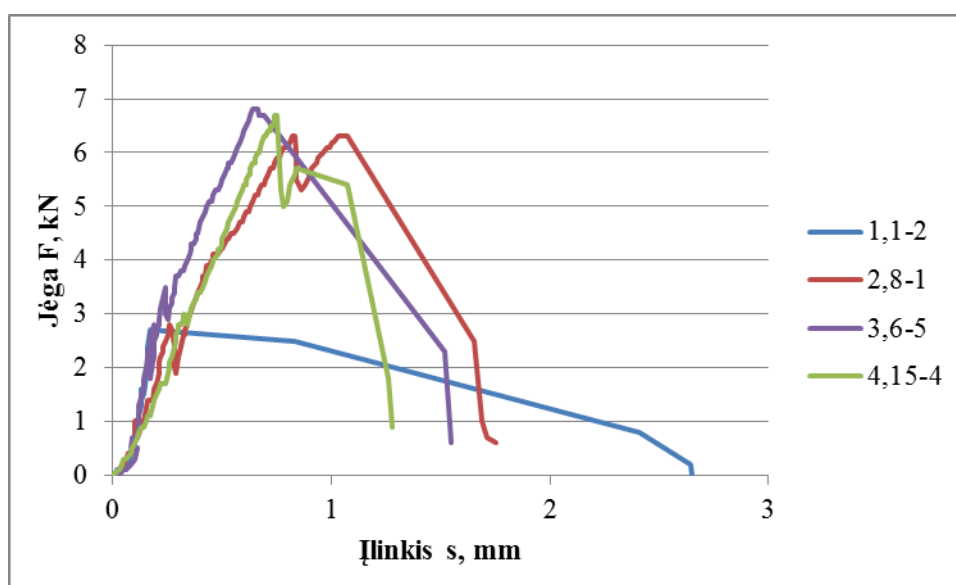
13 lentelė Pirmos ir ketvirtos bandinių grupių F1, s1

	1 grupė		3 grupė			
	F1, kN	s1, mm.	F1, kN	s1, mm.	F2, kN	s2, mm.
Min	2,1	0,08	0,90	0,22	3,40	0,33
Vid	2,74	0,2	3,15	0,36	6,67	0,87
Max	3,4	0,56	5,60	0,49	9,90	1,05

Pateiktoje (13 lentelėje) palyginam pirmos ir ketvirtos grupių maksimalius ir minimalius parametrus. Pirmos grupės minimalūs F1 2,1 kN, ketvirtos grupės minimali F2 3,4 kN, maksimali pirmos grupės F1 jėga 3,4 kN, ketvirtos grupės F2 jėga 9.9 kN. Iš pateiktos lentelės matome, kad minimali ketvirtos grupės jėga skiriasi labai nedaug, tačiau maksimali atlaikoma ketvirtos grupės jėga yra tris kart didesnė už pirmos grupės maksimalią jėgą.

1.17 Keturių grupių eksperimentų rezultatų palyginimas

Palyginame visų keturių grupių bandinių grafikus su vidutinėmis maksimaliomis jėgomis ir vidutiniais maksimaliais poslinkiais (35 pav.).



35 pav. Pirmos grupės (1,1-2), antros grupės (2,8-1), trečios grupės (3,6-5) ir ketvirtos grupės (4,15-4) grafikų palyginimas

Pateiktame grafike matoma, kad sustiprintų bandinių kreivių diagramos labai panašios, visos sustiprintų bandinių kreivės akivaizdžiai skiriasi nuo pirmos grupės bandinio (nearmuotos konstrukcijos). Tarp armuotų bandinių maksimalių jėgų ir poslinkių skirtumas yra nedidelis, todėl palyginame visų keturių grupių jėgas ir poslinkius (14 lentelė).

14 lentelė lentelė Keturių grupių poslinkiai ir jėgos

Grupė	F1 min	F1 vid	F1 max	s1 min	s1 vid	s1 max	F2 min	F2 vid	F2 max	s2 min	s2 vid	s2 max
1	2,1	2,74	3,4	0,08	0,2	0,56	-	-	-	-	-	-
2	2,6	3,15	3,7	0,07	0,24	0,49	2,6	5,24	8,4	0,07	0,81	1,6
3	1,3	2,7	3,5	0,09	0,25	0,55	4,2	6,32	9,2	0,6	0,9	2,19
4	0,9	3,15	5,60	0,22	0,36	0,49	3,40	6,67	9,90	0,33	0,87	1,05

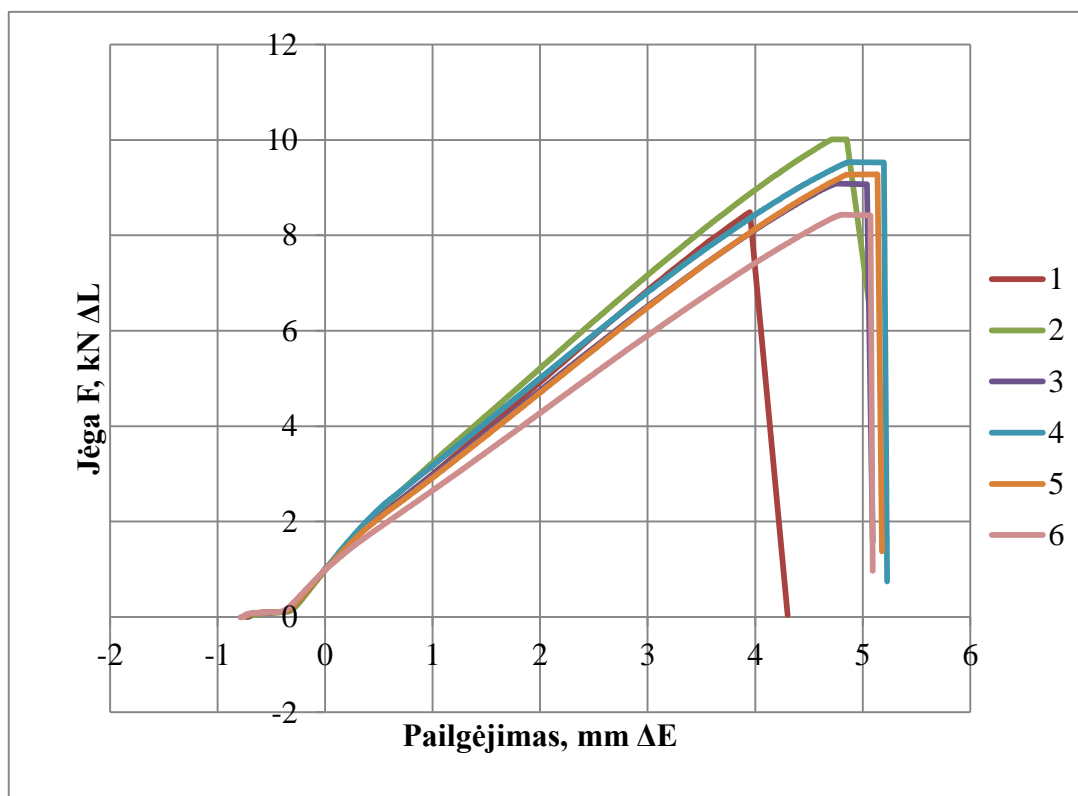
Pateiktoje lentelėje matome, kad visų keturių grupių jėgų vidurkiai F1 yra labai panašūs ir skirtumas tarp grupių jėgų nėra didelis, poslinkių vidurkiai s1 taip pat labai panašūs, išskyrus ketvirtą grupę, ji 0,1 mm didesnis nei kiti. Lyginant 12, 18 ir 24 sluoksnių sustiprintų sijų maksimalius jėgų vidurkius F2 matome, kad 12 sluoksnių armuoti bandiniai vidutiniškai atlaikė 1 kN silpnesnes apkrovas negu likusios dvi grupės, tarp 18 ir 24 sluoksniais sustiprintų bandinių vidurkių F2 skirtumas nėra didelis, 0,25 kN stipresnė ketvirtoji grupė. Lyginant armuotų grupių poslinkių vidurkius s2 matome, kad 12 sluoksnių armuoti bandiniai vidutiniškai 0,06 mm mažiau išsilenkia, didžiausi vidutiniai poslinkiai 18 sluoksnių armuotose bandiniuose, juose 0,03 mm didesni už 24 sluoksniais sustiprintus bandinius.

Lyginant nearmuotų bandinių su armuotų maksimaliomis atlaikomomis jėgomis, tai 12 sluoksnių sustiprinti bandiniai yra 91% stipresni už nearmuotus bandinius, 18 sluoksnių sustiprinti bandiniai 130% stipresni, o 24 sluoksniais armuoti bandiniai yra 143% stipresni už nearmuotus bandinius.

1.18 Stiklo plastiko tempimo tyrimas

Eksperimentinio tyrimo metu buvo tiriama stiklo pluošto armatūros įtaka betono konstrukcijoms. Eksperimentiškai gautus duomenis palyginsime su teoriniais skaičiavimais.

Specialioj formoje buvo pagaminta 6 stiklo pluošto (18 sluoksnių) ir epoksidinės dervos bandiniai, kurie tempimo mašina „LLOYD instruments“ buvo pertraukti (37 pav.). Iš gautų duomenų buvo nubraižomi grafikai (36 pav.)



36 pav. Stiklo pluošto ir epoksidinēs dervos bandiņu tempimo grafikai



37 pav. Pertraukts stiklo pluošto ir epoksidinēs dervos bandinys

15 lentelē Stiklo pluošto ir epoksidinēs dervos bandiņu duomenys

Bandinys	Apkrova, kN	Ītempiai, MPa	Pailgējimas, mm	Δ_E	Δ_L
1	8,48	74,44	3,95	0,004710242	9008,5
2	10,01	87,82	4,71	4,753231	8082,5
3	9,08	79,71	4,75	4,864936	8525,8
4	9,53	83,66	4,86	0,004849001	8273,5
5	9,28	81,4	4,85	2,638292	4787,9
6	8,43	73,96	4,79	4,79342657	7428,6
Vidurkis	9,14	80,17	4,65	2,843240802	7684,466667

Iš (15 lentelės) matome, kad bandiniai vidutiniškai atlaikydavo 9,14 kN jėga tempiant, vidutiniškai bandinys iki nutrūkimo pailgėdavo 4,65 mm. vidutiniai įtempiai 80,17 MPa.

4. REZULTATŲ ANALIZĖ

Iš nearmuotų betono bandinių eksperimentinių duomenų paskaičiuojamas betono tamprumo modulis E (16 lentelė).

16 lentelė betono tamprumo modulis

Bnadinio nr	E, GPa
1,2-1	5,7
1,10-1	6,2
1,12-1	8,0
1,1-2	5,2
1,9-2	5,6
1,14-2	8,2
1,5-3	3,0
1,11-3	4,7
1,15-3	2,1
1,3-4	6,4
1,4-4	9,9
1,8-4	6,1
1,13-5	3,1
1,6-5	5,5
1,7-5	8,6
Vidurkis	5,9

Iš stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandinių duomenų įskaičiuojamas tamprumo modulis.

Stiprumo ribas:

$$\sigma_B = \frac{F_{max} \cdot 10^8 N}{A}$$

Čia A yra stiklo pluošto bandinio skerspjūvio plotas, Fmax didžiausia apkrova kuria atlaikė stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandinys.

17 lentelė Stiklo pluošto bandinių stiprumo ribos

Bandiniai	1	2	3	4	5	6
σ_B Pa	62575000	56794375	59608750	58000625	36210625	52698750

vidutinis $\sigma_B = 54314687.5$ Pa

Tamprumo modulis:

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{\Delta_E}{l_B + \text{Enlongation1}}$$

Čia l_B pradinis atstumas tarp gnybtų, pradedant stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandinių tempimą (25 mm.), Δ_E pailgėjimas mm. Enlongation1 pailgėjimo pradžios taškas.

$$\frac{\Delta_L}{A} = \sigma$$

18 lentelė σ Stiklo pluošto

Bandiniai	1	2	3	4	5	6
σ	62,575	56,8	59,6	58,0	36,2	52,7

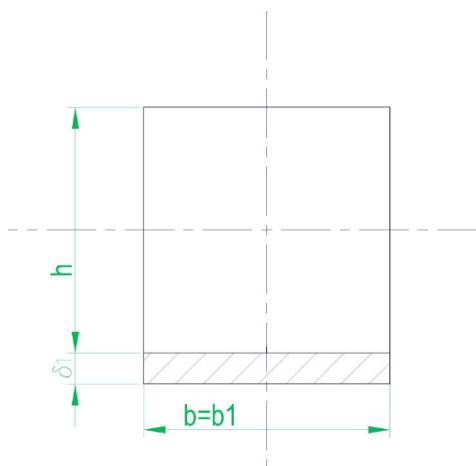
Vidurkis $\sigma_{SPL}=54,3$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

19 lentelė E stiklo pluošto

Bandiniai	1	2	3	4	5	6
E	0,30	0,27	0,27	0,27	0,28	0,24

Vidurkis $E_{SPL}=0.27$



Skaičiuojamos niautralinio sluoksnio kordinatės

Betono atsparumas lenkimui:

$$\sigma_{ut} = 3L_C \frac{F_I}{b \cdot h^2}$$

Čia L_C – atstumas tarp atramų; b ir h – sijos skerspjūvio aukštis ir plotis.

$$E = \frac{F_1 L_C^3}{48 s_1 I} \left(1 + \frac{h^2}{L_C^2} (2 + \nu) \right)$$

čia I – sijos skerspjūvio inercijos momentas, ν – betono Puasono koeficientas.

$$y_n = \frac{b_1 \delta_1 (\Delta + 0.5 \delta_1) (E_1 - E_2) + 0.5 b h^2 E_2}{b_1 \delta_1 E_1 + (b h - b_1 \delta_1) E_2}$$

čia E_1 – stiklo pluošto tamprumo modulis; E_2 – betono tamprumo modulis.

Normaliniai įtempiai sijoje:

$$\sigma_i = \frac{0.5 L_C F E_i y}{\left(\frac{b_1 \delta_1^3}{12} + b_1 \delta_1 (y_n - \Delta - 0.5 \delta_1)^2 \right) E_1 + \left(\frac{b \Delta^3 + (b - b_1) \delta_1^3 + b (\delta_2 - \Delta - \delta_1)^3}{12} + \dots \right.}$$

$$\left. \dots + b \Delta (y_n - 0.5 \Delta)^2 + (b - b_1) \delta_1 (y_n - \Delta - 0.5 \delta_1)^2 + b (\delta_2 - \delta_1 - \Delta) (y_n - \Delta - \delta_1)^2 \right) E_2}$$

$$b_1 = \frac{n}{\delta_1} A_f = \frac{n}{\delta_1} 29.4 \cdot 10^{-9}$$

Čia n – išilginis stiklo pluošto siūlų skaičius panaudotas armuoti betono sijos.

$$F_1 := 2 \cdot \frac{(I_1 \cdot E_1 + I_2 \cdot E_2)}{L_C \cdot E_2 \cdot y_n} \cdot \sigma_i$$

20 lentelė

Grupė	F1 kN Išmatuota	F2 kN Išmatuota	F1 kN Skaičiuota
1	3,15	5,24	6,3
2	2,7	6,32	7,2
3	3,15	6,67	7,8

Pateiktoje lentelėje matome gautus teorinius skaičiavimus plyšio atsivėrimui bandiniuose. Lyginat su tyrimo rezultatais matome, kad skaičiuoti rezultatai gerokai didesni. Iš to galima spręsti, kad lenkiant sijas praslysdavo sluoksniai ir nebuvo gautos maksimalios jėgos. Nes lenkiant konstrukcijas su didesniu sluoksnių armatūros labiau priešinasi inercijos momentas.

Tokiu atveju praslysta armavimo sluoksnis betono konstrukcijos atžvilgiu. Todėl toks armavimo būdas neinkaruojant stiklo pluošto yra neefektyvus.

Tyrimo metu buvo stebimas bandinių suirimas. Pastebėta, kad nepriklausomai nuo bandinių armavimo storio, visų grupių bandiniams pirmasis trūkimas pasireiškia vienodu metu. Todėl paskaičiavome sijai suardyti reikalingos darbo energijos.

21 lentelė Darbas išorinės jėgos

Band. Nr.	Darbas	Band. nr.	Darbas	Band. Nr.	Darbas	Band. Nr.	Darbas
1.2-1	0,114	2.3-1	4,201	3.5-1	7,236	4.6-1	5,93
1.10-1	0,103	2.8-1	2,9215	3.13-1	4,0615	4.7-1	3,983
1.12-1	0,099	2.9-1	3,1615	3.15-1	1,593	4.14-1	5,8165
1.1-2	0,098	2.1-2	7,9175	3.11-2	5,561	4.8-2	3,7485
1.9-2	0,099	2.5-2	7,771	3.10-2	6,5855	4.11-2	5,6995
1.14-2	0,2445	2.13-2	7,27	3.3-2	5,4515	4.4-2	5,953
1.5-3	0,1835	2.2-3	3,9465	3.4-3	5,184	4.3-3	2,0845
1.11-3	0,1295	2.6-3	3,0695	3.9-3	7,673	4.9-3	4,059
1.15-3	0,7565	2.14-3	2,445	3.14-3	7,095	4.10-3	5,827
1.3-4	0,159	2.7-4	2,3525	3.2-4	6,24	4.2-4	2,33
1.4-4	0,078	2.11-4	3,6655	3.7-4	2,8465	4.12-4	4,1885
1.8-4	0,1685	2.12-4	3,751	3.8-4	5,7915	4.15-4	2,6445
1.13-5	0,5735	2.4-5	2,518	3.1-5	5,354	4.1-5	2,175
1.6-5	0,1245	2.10-5	2,9295	3.6-5	8,256	4.5-5	1,43
1.7-5	0,0785	2.15-5	3,1205	3.12-5	1,762	4.13-5	4,5395
Min	0,08		2,35		1,59		1,43
Max	0,76		7,92		8,26		5,95
Mean	0,20		4,07		5,38		4,03
SD	0,20		1,93		2,03		1,60
CI_U	0,31		5,14		6,51		4,91
CI_L	0,09		3,00		4,25		3,14

Pateiktoje lentelėje matome, kad mažiausiai energijos suardyti buvo panaudota pirmiems bandiniams. Iš lentelės matome, kad daugiausiai energijos suardyti bandinius buvo sunaudota trečiai bandinių grupei (18 sluoksniu stiklo pluošto). Atliktas darbas skaičiuojamas J.

Iš pateiktos lentelės matome kad 2, 3 ir 4 grupių bandiniams reikalinga daugiau jėgos norint suardyti sijas. Todėl kad atsivėrus plyšiui reikia didesnės jėgos, norint pilnai suardyti konstrukciją. O pirmos grupės bandiniai suirdavo su pirmuoju įtrūkimu.

IŠVADOS

Atlikus eksperimentinius tyrimus, gautus nesustiprintų (nearmuotus) betono bandinių rezultatus palyginau su skirtingų sluoksnių skaičiaus (12,18 ir 24) stiklo pluošto armatūra armuotais betono bandiniais ir galiu padaryti tokias išvadas:

1. Nesustiprinti betono bandiniai vidutiniškai atlaikydavo maksimalią 2,74 kN jėgą, kurios metu bandinys vidutiniškai galėdavo išsilenkti (poslinkis) 0,2 mm. Gryno betono konstrukcijos yra lengvai pažeidžiamos (trapios), prie menkiausio įtrūkimo jos iš kart suyra.
2. Tarpusavyje lyginat nearmuotas betono konstrukcijas su armuotomis 12 sluoksnių stiklo pluošto armatūra. Toks konstrukcijos sustiprinimas leido bandiniui vidutiniškai atlaikyti net 5,85 kN jėgą ir išsilenkti iki 0,93 mm., tai net 113% didesnė atlaikoma jėga ir net 365% didesnis poslinkis.
3. Lyginant nearmuotus bandinius su armuotais 18 sluoksnių stiklo pluošto armatūra. Taip sustiprinti bandiniai atlaikydavo vidutiniškai 6,32 kN., jėga ir išsilenkdavo 0,9 mm. Jėga vidutiniškai didesnė 130%, o poslinkiai 350% didesni.
4. Lyginant nearmuotus su armuotais 24 sluoksniais stiklo pluošto armatūra matome, kad armuotų bandinių vidutinė maksimali jėga yra 6,67 kN, o vidutiniai poslinkiai 0,87 mm. Iš čia matome, kad 24 sluoksniais armuoti bandiniai yra 143% stipresni už nearmuotus, ir 335% labiau išsilenkia.
5. Iš gautų rezultatų galima teigti, kad stiklo pluošto armatūros priklijavimas su epoksidine derva prie betono konstrukcijų yra efektyvus būdas sustiprinti betonui. Tačiau stiprinant tokiu būdu yra reikalingas armavimo sluoksnio inkaravimas prie betono konstrukcijos. Stiklo pluošto armatūros įtaka betono konstrukcijoms yra gan ženkli
6. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad armuotų bandinių tarpe pasitaikė nekokybiškai pagaminti bandiniai, dažniausiai tai pasireiškėdavo nekokybiškai priklijuota stiklo pluošto armatūra prie betono konstrukcijos. Lyginant maksimalius duomenis: nesustiprinti bandiniai F1 3,4 kN tai net 0,66 kN didesnė jėga už vidutinę, sustiprinti 12 sluoksnių didžiausia jėga 8,4 kN tai net 3,16 kN dedesnė už vidutinę, 16 sluoksnių didžiausia F 9,2 kN didesnė už vidutinę 2,88 kN, 24 sluoksnių didžiausias F 9,9 kN už vidutinę jėgą didesnė 3,23 kN. Kokybiškai pagamintos konstrukcijos vidutiniškai atlaikytų 2,5 kN didesnę jėgą.
7. Pastebėta, kad kuo didesnis sluoksnių skaičius, tuo didesnė gautų duomenų variacija. Todėl kad eksperimentuojant su mažomis sijomis ne visuomet pavyksta užtikrinti gerą betono ir armatūros sukibimą. Todėl kad mažų sijų armuojami paviršiai yra maži.

ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. [Antanas Kudzys](#). Gelžbetonis. [Visuotinė lietuvių enciklopedija](#), T. VI (Fau-Goris). – Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2004. 518 psl
2. Bareišis J. Konstrukcinis stiprumas ir patikimumas. Paskaitų konspektas, II dalis, 2002, p.41
3. Bareišis J. Plastikų, kompozitų ir daugiasluoksnių konstrukcinių elementų stiprumas. Monografija. Kaunas, Technologija, 2006, p.248.
4. <http://www.protechnikas.lt/pavirsiaus-padengimo-sistemas>
5. Marčiukaitis 1998; Головчан 1987
6. (<http://www.durisol.com>; <http://www.betonocentras.lt/lt/sprendimai-ir-produktai>)
7. Bareišis J. Paskaitų konspektai
8. Pendhari ir kt.2008, Bakis ir kt.2002
9. Albinas Gailius Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai energetiškai efektyvių pastatų statybai
10. Marčiukaitis Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai. – Vilnius: Technika, 1998. – 134 p
11. El-Mihilmy, Tedesco 2000; Buyukozturk, Karaca 2002; Eshwar et al. 2004; Lu et al. 2005; Pham et al. 2006; De Lorenzis, Teng 2007; Ozcan et al. 2009.
12. Bonaccio ir Maalejaus (2001)
13. Pannirselvamas ir kiti autoriai (Pannirselvam et al. 2009)
14. (Lamana et al. 2001; Lamana 2002; Bank 2004) tyrimas
15. Bankas (Bank 2004) tyrimas
16. Tarptautinis betono komitetas FIB (2007)
17. Statybinės medžiagos mokomoji knyga Vincas Gurskis 112psl. Kaunas 2008m
18. Justinas Bartkevičius Lenkiamųjų gelžbetonių elementų sustiprintų mechaniškai tvirtinama armuoto polimero juosta. Vilnius 2014 19 - 21 psl.
19. Epoksidiniai klijai „Titan”
20. Mark H. F., Encyclopedia of Polymer science and technology. Third Edition, Wiley – interscience, vol. 9, p. 678–766.

21. Hara O., „Curing agents for epoxy resin“, Three bond technical news 1990, December 20, p. 1–10, <http://www.threebond.co.jp/en/technical/technicalnews/pdf/tech32.pdf> (žiūrėta 2010-09-09).
22. Dr. Daina Ragauskienė LDM Prano Gudyno restauravimo centras Vilnius 237 – 241 psl.
23. Gintaris Kaklauskas ir kiti Kompozitais armuotos betoninės konstrukcijos Vilnius „Technika“ 2012. 152 psl. 169 psl.
24. J. Valivonis, G. Marčiukaitis Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo anglies pluoštu technologiniai ir konstrukciniai ypatumai 2006m Vilniaus technikos universitetas.