

Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Gelžbetoninių sijų stiprinimo, naudojant anglies pluošto
ir plienines juostas, palyginimas**

Baigiamasis magistro projektas

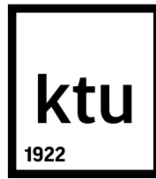
Mindaugas Končauskas

Projekto autorius

Lekt. Dr. Nerijus Meslinas

Vadovas

KAUNAS, 2020



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Gelžbetoninių sijų stiprinimo, naudojant anglies pluošto
ir plienines juostas, palyginimas**

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)

Mindaugas Končauskas

Projekto autorius

Lekt. Dr. Nerijus Meslinas

Vadovas

Lekt. Dr. Saulius Zadlauskas

Recenzentas

KAUNAS, 2020



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Mindaugas Končas

Gelžbetoninių sijų stiprinimo, naudojant anglies pluošto ir plienines juostas, palyginimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Mindaugo Končausko, baigiamasis projektas tema „Gelžbetoninių sijų stiprinimo, naudojant anglies pluošto ir plienines juostas, palyginimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

Mindaugas Končas. Gelžbetoninių sijų stiprinimo, naudojant anglies pluošto ir plienines juostas, palyginimas. Magistro baigiamasis projektas vadovas lekt. dr. Nerijus Meslinas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerija, statybos inžinerija (E05)

Reikšminiai žodžiai: Gelžbetoninių sijų stiprinimas.

Kaunas, 2020. 66 p.

Santrauka

Eksplloatuojant pastatus daug metų, jie nusidėvi, atsiranda pažeidimų, įtrūkimų ir deformacijų, kurios labai mažina laikančiųjų konstrukcijų stiprumą ir pastovumą. Neretai keičiama pastatų paskirtis, dėl to labai padidėja veikiančios apkrovos laikančiosioms konstrukcijoms. Dėl paminėtų priežasčių esamus pastatus tenka rekonstruoti arba perstatyti. Rekonstruojant pastatus, dalis laikančiųjų konstrukcijų gali būti pakeistos naujomis. Labai dažnai pastate yra laikančiųjų konstrukcijų, kurias norint pakeisti reikėtų gana nemažai išardyti esamo pastato. Įvertinus tai, dėl ekonominių sumetimų rekonstruojamame pastate esamas laikančiasis konstrukcijas tenka stiprinti.

Pastaruju metu vis plačiau ir dažniau naudojamos įvairios kompozitinės medžiagos ir jų dirbiniai, kurie prikljuojami prie stiprinamų konstrukcijų atitinkamo, dažniausiai tempiamojo sluoksnio. Eksperimento metu buvo lenkiamos devynios MU-14 tipo sąramos. Trys sijos buvo sustiprintos anglies pluošto lamelėmis, tiek pat sijų - plieninėmis juostomis ir likusios trys sijos buvo etalonai lenkiamajam stipriui ir įlinkiui palyginti.

Šiame darbe buvo tikrinamas ir skaičiuojamas sijų stiprumas ir įlinkis, eksperimentiniu būdu, teoriniu skaičiavimu ir kompiuterine programa. Lyginami gauti rezultatai: kiek padidėjo sustiprintų sijų stiprumas ir sumažėjo įlinkis su viena ir kita medžiaga. Pateikiamos sustiprintų sijų medžiagų kainos ir skaičiuojamas stiprinimo ekonomiškėnis variantas.

Mindaugas Končauskas. Strength Comparison of Reinforced Concrete Beams, Using Carbon Fiber and Steel Bands. Master's Final Degree Project supervisor lekt. dr. Nerijus Meslinas; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering, Civil Engineering (E05)

Keywords: Reinforcement of reinforced concrete beams.

Kaunas, 2020. 66 p.

Summary

Over many year of use, buildings wear out, causing damage, cracks and deformation, which greatly reduce the strength and stability of the supporting structures. Quite often, the purpose of buildings is changed, resulting in a significant increase in the working load on the load-bearing structures. For the reasons mentioned, buildings need to be reconstructed or rebuilt. During the reconstruction of buildings, part of the supporting structures may be replaced by new ones. Very often, the building has load-bearing structures, which would require quite a lot of demolition of the existing building, if you were about to replace them. Taking this into consideration, for economic reasons, the existing load-bearing structures in the building under reconstruction, need to be strengthened.

Recently, various composite materials and articles have been used more and more frequently and applied to the appropriate, usually tensile layer of reinforcing structures. During the experiment, nine MU-14 lintels were flexed. The three beams were reinforced with carbon fiber lamellae, other three beams with steel bands, and the remaining three beams were benchmarks for comparing flexural strength and deflection.

In this work the strength and deflection of the beams were tested and calculated by experimental method, theoretical calculation and computer program. The results obtained were compared and provided insight on how much the strength of the reinforced beams increased and the deflection with one and the other material decreased. Prices for reinforced beam materials are provided and a more cost effective option for reinforcement is calculated.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Diagramų sąrašas	9
Įvadas.....	10
Literatūros analizė.....	12
1. Eksperimentas.....	16
1.1.1 Sijos	16
1.1.2 Gruntas	17
1.1.3 Epoksidiniai klėjai.....	17
1.1.4 Anglies pluošto lamelės.....	18
1.1.5 Plieninė juosta	18
1.1.6 Įranga ir prietaisai	19
1.2 Bandinių pasiruošimas.....	20
1.2.1 Sijos, stiprinamos anglies pluošto lamelėmis	20
1.2.2 Sijos, stiprinamos plieninėmis juodojo metalo juostomis	20
1.3. Bandymo eiga	21
1.3.1. Nestiprintų sijų lenkimas	21
1.3.2 Sustiprintų, plienine juosta, sijų lenkimas	23
1.3.3 Sustiprintų, anglies pluošto lamelėmis, sijų lenkimas	25
1.3.4 Nestiprintos ir sustiprintų, plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis, sijų lenkimas...	27
1.4 Eksperimentinio tyrimo rezultatų apibendrinimas	30
2. Teorinis sijų įlinkio skaičiavimas	32
2.1 Nestiprintų sijų teorinis įlinkio skaičiavimas be normalinių plyšių	32
2.2 Nestiprintų sijų teorinis įlinkio skaičiavimas esant normaliniams plyšiams.....	33
2.3 Sustiprintų sijų plieno juostomis teorinis įlinkio skaičiavimas	38
2.4 Sustiprintų sijų anglies pluošto juostomis teorinis įlinkio skaičiavimas	42
2.5 Teorinio įlinkio skaičiavimų rezultatų apibendrinimas	47
3. Sijų įlinkio skaičiavimas „SOFISTIK“ programa.....	48
3.1 Sustiprintos sijos plienine juosta įlinkio skaičiavimas	48
3.2 Sustiprintos sijos anglies pluošto lamelėmis įlinkio skaičiavimas.....	53
4. Ekoniminis palyginimas	55
Išvados	56
Literatūros sąrašas	57
Priedai.....	59

Lentelių sąrašas

Lentelė 1-1. Laikančių MU-14 tipo sąramų techninės charakteristikos.....	16
Lentelė 1-2. Anglies pluošto lamelės techninės charakteristikos.....	18
Lentelė 1-3. Plieninės, juodojo metalo juostos techninės charakteristikos.....	18
Lentelė 1-4. Nestiprintų MU-14 tipo sąramų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant.....	21
Lentelė 1-5. Nestiprintos sijos S - 1 įlinkiai.....	21
Lentelė 1-6. Nestiprintos sijos S - 2 įlinkiai.....	22
Lentelė 1-7. Sustiprintų, plienine juosta, sijų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant.....	23
Lentelė 1-8. Stiprintos sijos S.P.J. - 1 įlinkiai.....	23
Lentelė 1-9. Stiprintos sijos S.P.J. - 2 įlinkiai.....	24
Lentelė 1-10. Sustiprintų, anglies pluošto lamelėmis, sijų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant.....	25
Lentelė 1-11. Stiprintos sijos S.A.P. - 1 įlinkiai.....	25
Lentelė 1-12. Stiprintos sijos S.A.P. - 2 įlinkiai.....	26
Lentelė 1-13. Nestiprintos ir sustiprintų, plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis, sijų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant.....	27
Lentelė 1-14. Nestiprintos sijos S – 3* įlinkiai.....	28
Lentelė 1-15. Stiprintos sijos S.P.J. – 3* įlinkiai.....	28
Lentelė 1-16. Stiprintos sijos S.A.P. – 3* įlinkiai.....	29
Lentelė 2-1. Nestiprintos sijos S – 1 įlinkių palyginimai.....	35
Lentelė 2-2. Nestiprintos sijos S – 2 įlinkių palyginimai.....	36
Lentelė 2-3. Nestiprintos sijos S – 3* įlinkių palyginimai.....	37
Lentelė 2-4. Sustiprintos sijos S.P.J – 1 įlinkių palyginimai.....	40
Lentelė 2-5. Sijos S.P.L. – 2 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos.....	41
Lentelė 2-6. Sijos S.P.L. – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos.....	42
Lentelė 2-7. Sustiprintos sijos S.A.P – 1 įlinkių palyginimai.....	44
Lentelė 2-8. Sustiprintos sijos S.A.P – 2 įlinkių palyginimai.....	45
Lentelė 2-9. Sustiprintos sijos S.A.P – 3* įlinkių palyginimai.....	46
Lentelė 4-1. Sijų medžiagų kiekių ir jų kainų palyginamoji lentelė.....	55

Paveikslų sąrašas

Pav. 1. Naujų sluoksnių pribetonavimas	Pav. 2. Plieninių elementų naudojimas	10
Pav. 3. Kompozitinių medžiagų privalumai lyginant su plieniu		11
Pav. 4. Kompozitų komponentų lyginamieji stipriai σ/ρ (a) ir tamprumo moduliai E/ρ (b):.....		14
Pav. 5. Tempiamo anglies pluošto (1) ir betono (2) deformavimosi charakteristika		14
Pav. 6. Klijų pasiskirstymas betono paviršiuje: a – tankaus betono paviršius nelygus;.....		15
Pav. 7. Laikančios MU-14 tipo sąramos.....		16
Pav. 8. Naudotas gruntas ir jo paruošimas.....		17
Pav. 9. Naudoti klijai ir jų paruošimas		17
Pav. 10. Naudota anglies pluošto lamelė ir jos paruošimas		18
Pav. 11. Naudota plieninė, juodojo metalo juosta		19
Pav. 12. Naudotas gniuždymo presas	Pav. 13. Naudoti įlinkomačiai 6ΠΑΟ	19
Pav. 14. pav. G/b sijų apdengimas epoksidiniu gruntu ir klijais		20
Pav. 15. a) Ką tik sustiprintos sijos; b) sustiprintos sijos po 7 parų		20
Pav. 16. Nestiprintos sijos apkrovimo schema ir vaizdas.....		21
Pav. 17. Sustiprintos, plienine juosta, sijos apkrovimo schema		23
Pav. 18. Sustiprintos, anglies pluošto lamelėmis, sijos apkrovimo schema		25
Pav. 19. Nestiprintos ir sustiprintų, plieno juosta ir anglies pluošto lamelėmis, sijos apkrovimo schema		27
Pav. 20. Nestiprintų sijų skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos ...		32
Pav. 21. Sijos S – 1 skerspjūvis		32
Pav. 22. Laisvai atremtos sijos schema koeficientui k apskaičiuoti		33
Pav. 23. Sijos S – 1 skerspjūvis		34
Pav. 24. Nestiprintos sijos S – 3* skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos		37
Pav. 25. Sustiprintų sijų skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos....		38
Pav. 26. Sijos S.P.J. – 1 skerspjūvis		39
Pav. 27. Sustiprintų sijų skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos....		43
Pav. 28. Sijos S.P.J. – 1 skerspjūvis		43
Pav. 29. Sijos S.P.J. betono skaičiuojamieji parametrai		48
Pav. 30. Sijos S.P.J. armatūros skaičiuojamieji parametrai.....		49
Pav. 31. Sijos S.P.J. priklijuotos plieninės plokštelės skaičiuojamieji parametrai.....		50
Pav. 32. Sijos S.P.J. skaičiuojamoji schema.....		50
Pav. 33. Sijos S.P.J. lenkimo momentų diagrama (kNm)		51
Pav. 34. Sijos S.P.J. skersinių jėgų diagrama (kN)		51
Pav. 355. Sijos S.P.J. įlinkiai (mm)		52
Pav. 366. Sijos S.P.J. įtempių pasiskirstymo diagrama		52
Pav. 37. Sijos S.A.P. priklijuotos anglies pluošto lapmelės skaičiuojamieji parametrai		53
Pav. 38. Sijos S.A.P. įlinkiai (mm).....		54
Pav. 39. Sijos S.A.P. įtempių pasiskirstymo diagrama		54

Diagramų sąrašas

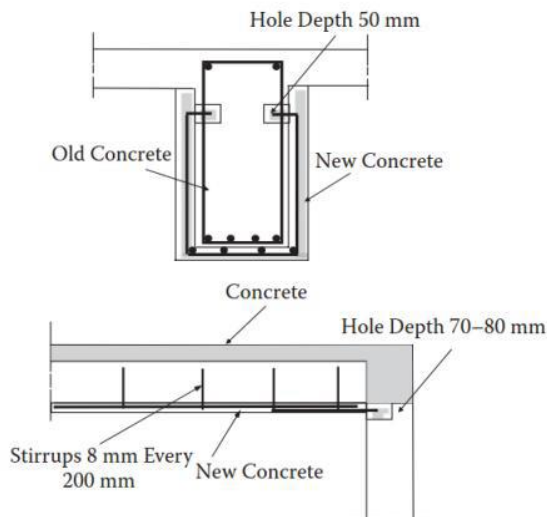
Diagrama 1. Nestiprintos sijos S - 1 įlinkis, kai apkrova 45kN	22
Diagrama 2. Nestiprintos sijos S - 2 įlinkis, kai apkrova 45kN	22
Diagrama 3. Stiprintos sijos S.P.J. – 1 įlinkis, kai apkrova 45kN.....	23
Diagrama 4. Stiprintos sijos S.P.J. – 2 įlinkis, kai apkrova 45kN.....	24
Diagrama 5. Stiprintos sijos S.A.P. – 1 įlinkis, kai apkrova 45kN.....	26
Diagrama 6. Stiprintos sijos S.A.P. – 2 įlinkis, kai apkrova 45kN.....	27
Diagrama 7. Nestiprintos sijos S – 3* įlinkis, kai apkrova 45kN.....	28
Diagrama 8. Stiprintos sijos S.P.J. – 3* įlinkis, kai apkrova 45kN.....	29
Diagrama 9. Stiprintos sijos S.A.P. – 3* įlinkis, kai apkrova 45kN	30
Diagrama 10. Sijų maksimali laikomoji galia iki suirimo.....	30
Diagrama 11. Redukuotas sijų įlinkis ties viduriu, kai apkrova 45kN	31
Diagrama 12. Redukuoti sijų įlinkiai, kai apkrova 45kN	31
Diagrama 13. Sijos S – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	35
Diagrama 14. Sijos S – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	36
Diagrama 15. Sijos S – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	38
Diagrama 16. Sijos S.P.L. – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	40
Diagrama 17. Sijos S.P.L. – 2 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	41
Diagrama 18. Sijos S.P.L. – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	42
Diagrama 19. Sijos S.A.P. – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	45
Diagrama 20. Sijos S.A.P. – 2 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	45
Diagrama 21. Sijos S.A.P. – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos	46
Diagrama 22. Sijų įlinkis ties viduriu, kai apkrova 45kN	47
Diagramos 23. Galutinės kainų palyginimo diagramos nestiprintos ir stiprintų sijų	55

Įvadas

Darbo aktualumas. Eksploatuojant pastatus daug metų, jie nusidėvi, atsiranda pažeidimų, įtrūkimų ir deformacijų, kurios labai mažina laikančiųjų konstrukcijų stiprumą ir pastovumą. Neretai keičiama pastatų paskirtis, dėl to labai padidėja veikiančios apkrovos laikančiosioms konstrukcijoms [1].

Dėl paminėtų priežasčių esamus pastatus tenka rekonstruoti arba perstatyti. Rekonstruojant pastatus, dalis laikančiųjų konstrukcijų gali būti pakeistos naujomis. Labai dažnai pastate yra laikančiųjų konstrukcijų, kurias norint pakeisti reikėtų gana nemažai išardyti esamo pastato. Įvertinus tai, dėl ekonominių sumetimų rekonstruojamame pastate esamas laikančiasis konstrukcijas tenka stiprinti [1].

Laikančiosios konstrukcijos stiprinamos įvairiais būdais ir medžiagomis. Iki šių dienų gelžbetoninės laikančiosios konstrukcijos buvo stiprinamos dviem pagrindiniais būdais:



Pav. 1. Naujų sluoksnių pribetonavimas



Pav. 2. Plieninių elementų naudojimas

Darbo aktualumas. Tačiau šie iki šiol plačiai taikomi stiprinimo būdai turi daug trūkumų ir yra gana sudėtingi. Taikant apibetonavimo būdą, padidėja konstrukcijų skerspjūvis ir matmenys, jų sunkis, įrengimo technologija daugeliu atveju yra sunkiai įgyvendinama. Gelžbetoninėms laikančiosioms konstrukcijoms stiprinti naudojant plieninius profilius, lakštus, kampuočius, strypus ir pan., kyla klausimų, kaip juos įtraukti į bendrą darbą, veikiant apkrovai, ir prižiūrėti, norint išvengti korozijos pasekmių. Iškyla apdailos darbų imlumas ir sudėtingumas. Todėl pastaruoju metu vis plačiau ir dažniau naudojamos įvairios kompozitinės medžiagos ir jų dirbiniai, kurie prikljuojami prie stiprinamų konstrukcijų atitinkamo, dažniausiai tempiamojo sluoksnio [1].

Darbo tikslas ir uždaviniai:

Darbo tikslas – nustatyti gelžbetoninės sijos stiprumo padidėjimą, ją stiprinant anglies pluošto ir plieninėmis juostomis, tempiamoje zonoje.

Siekiant užsibrėžto tikslo, reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Nustatyti, eksperimentiškai ir analitiniu metodu, lenkiamąjį sijos stiprumą.
2. Nustatyti, eksperimentiškai ir analitiniu metodu, sustiprintos sijos lenkiamąjį stiprumą, klijuojant anglies pluošto juostas.
3. Nustatyti, eksperimentiškai ir analitiniu metodu, sustiprintos sijos lenkiamąjį stiprumą, klijuojant plienines juostas.
4. Palyginti gautus eksperimentinius ir teorinius rezultatus stiprumo ir ekonomiškumo atžvilgiu.
5. Pateikti išvadas.

Mokslinis naujumas ir praktinė vertė

Kompozitinės medžiagos turi fizinių ir mechaninių savybių, gerokai besiskiriančių nuo klasikinių statybinių medžiagų betono ir plieno savybių. Todėl jas įtraukti į bendrą darbą ir panaudoti jų savybes yra svarbu, tobulinant ne tik technologinius stiprinimo metodus, bet ir užtikrinant sustiprintų konstrukcijų patikimumą ir ekonominę naudingumą [1]. Tačiau kompozitinės medžiagos yra pakankamai brangios, todėl bus bandoma palyginti stiprumo skirtumus, gelžbetoninę siją stiprinant anglies pluošto juostomis ir plieninėmis juostomis. Norint sustiprinti gelžbetoninę siją 1,5 karto mažinti jos įlinkį, bus ieškoma ekonomiškiausio varianto.

Lengvumas

Nesudėtingas įrengimas ir panaudojimas

Didelis stipris

5 kartus stipresnės už plieną

Kompozitinės medžiagos

Atsparumas korozijai

Patvarios konstrukcijos

Labai universalios

Tinka bet kokiam projektui

Pav. 3. Kompozitinių medžiagų privalumai lyginant su plienu

Literatūros analizė

Gelžbetoninė konstrukcija

Gelžbetonio konstrukcijos yra stiprios, standžios, patvarios, ilgaamžės, atsparios ugniai, gana pigus jų naudojimas. Gerai priešinasi smūginėms ir vibracinėms apkrovoms. Gelžbetonio konstrukcijos sutapdina atitvarines ir laikančiąsias konstrukcijų savybes [2].

Didžiausias paprastojo gelžbetonio trūkumas yra didelė masė, savasis įtempis dėl betono susitraukimo bei aplinkos temperatūros ir drėgmės poveikių, pleišėjimas, palyginti sudėtingi statybos ir montavimo darbai [2].

Prieš betonuojant gelžbetoninę konstrukciją, į jai iš anksto paruoštus klojinius sudedama armatūra. Kad kiekvienas armatūros strypas būtų projektinės padėties, strypai sujungiami į standžius strypynus, kuriuos galima įtvirtinti klojiniuose. Strypai suvirinami arba surišami. Plokščių armatūra jungiama į tinklus [2].

Gelžbetoniniame elemente esanti armatūra skirstoma į pagrindinę ir pagalbinę. Pagrindinė armatūra yra ta, kurios kiekis gelžbetoniniam elementui yra skaičiuojamas. Ji gali būti išilginė ir skersinė, be to, paprastoji arba įtemptoji. Pagalbinė armatūra parenkama remiantis konstrukciniais sumetimais. Ji irgi būna išilginė ir skersinė. Perdangos plokštėse pagrindinė armatūra yra ta, kuri eina trumpesniojo tarpatramio linkme, o ilgesniojo tarpatramio linkme eina pagalbinė – paskirstomoji armatūra. Jei tarpatramių ilgis mažai skiriasi, pagrindinė armatūra eina abiem linkmėmis [2].

Armatūra

Plieninė armatūra

Gelžbetonio konstrukcijos dažniausiai armuojamos liauna, rečiau standžia armatūra. Plieno liauna armatūra yra apvalaus skerspjūvio strypai, vielos ir lynai. Daugumos plieno strypų ir vielų paviršius yra nelygus ir rumbuotas, kad betonas geriau sukibtų su armatūra. Standi armatūra yra įvairūs valcuoti profiliai ar profiliuoti plieno lakštai [2].

Armatūra skirstoma atsižvelgiant į:

- Klasę, nurodant specifines tankumo įtempimų f_{yk} normines reikšmes,
- Plastiškumo klasę,
- Skersmens dydį,
- Paviršiaus charakteristiką (lygi ir rumbuota),
- Suvirinamumą.

Armatūros plieno mechaninės savybės priklauso nuo cheminės jo sudėties ir gamybos technologijos. Jame būna 0,1 – 0,8 % anglies. Kuo jos daugiau, tuo plienas stipresnis. Kai anglies daugiau kaip 0,25 %, gerokai sumažėja plieno plastiškumas, ir jį sunkiau suvirinti. Plieno stiprumas padidėja, įdėjus legiruojančiųjų medžiagų: mangano, silicio, chromo, titano, cirkonio ir kitų. Tačiau dauguma legiruojančiųjų priedų sumažina plieno plastiškumą [2].

Pagal gamybos technologiją plieninė lanksčioji armatūra būna dviejų rūšių: karštai valcuotieji – 6 – 40 mm skersmens, 8 – 12 m ilgio strypai ir šaltai temptoji – 3 – 8 mm skersmens viela. Iki 10 mm skersmens karštai valcuotoji strypinė armatūra kartais gali būti susukta iki 500 kg ritiniuose.

Pagrindiniai armatūros mechaniniai rodikliai yra;

- Tempiamasis stipris (f_t),
- Takumo riba (f_y),
- Tempiamojo ir takumo įtempių santykis (f_t / f_y),
- Pailgėjimas esant didžiausiai apkrovai (tąsumas) (ϵ_{uk}),
- Periodinio profilio armatūros rumbo išsikišimas (f_R).

Kompozitinės medžiagos

Anglies pluoštas

XXI a. ekonomika ir apskritai pažanga bus grindžiama viena iš pagrindinių prioritetinių kryptių – kompozitinių medžiagų ir informacinių technologijų kūrimu ir naudojimu. Tai siejasi su energijos ir laiko taupymu, vis naujais proto laimėjimais ir jų taikymo tempais [1].

Statybos poreikiams kompozitinės medžiagos pradėtos naudoti apie XX a. vidurį, kilus būtinybei plačiau naudoti lengvesnes ir stipresnes medžiagas, leidžiančias statyti didelio aukštingumo ir angų statinius [1].

Iš esamų ir kuriamų kompozitinių medžiagų įvairovės daug jų galima pasirinkti pagal norimus įvykdyti konstrukcijai keliamus reikalavimus. Gelžbetoninėms konstrukcijoms gaminti ir stiprinti turi būti panaudotos medžiagos ir gaminiai, kurie būtų nesunkiai sujungiami su betonu, būtų stiprūs, lengvi, turėtų kuo didesnę tamprumo modulį [1].

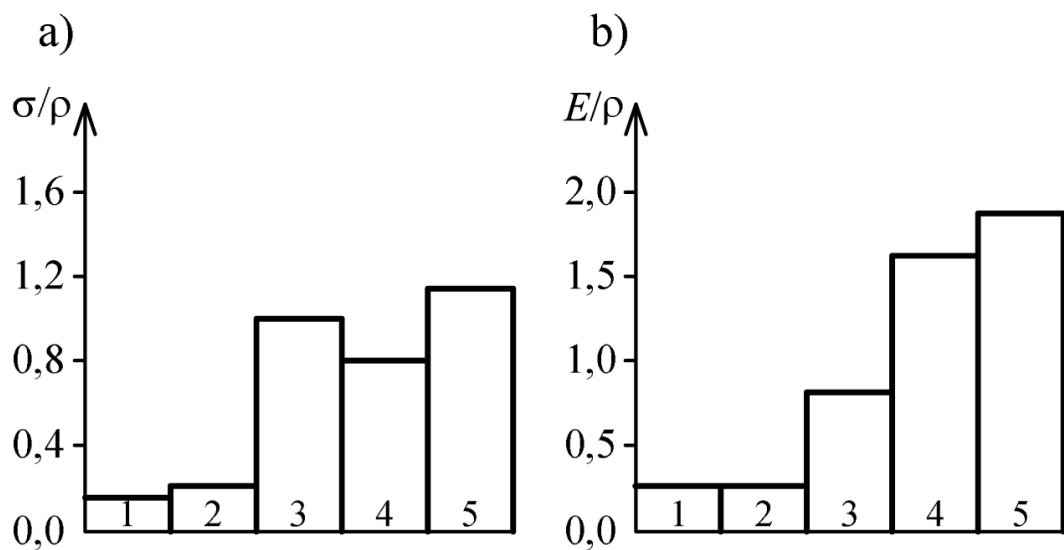
Dideliu šuoliu, kuriant efektyvias kompozitines medžiagas ir konstrukcijas praėjusio amžiaus viduryje, buvo boro ir jo junginių sujungimas su kitais mineraliniais pluoštais ir gauti nauji boro kompozito plastikai, kurie 10-15 kartų stipresni nei statybinis plienas ir 3-4 kartus lengvesni. Vėliau buvo sukurti ir pradėti naudoti didelio tamprumo modulio ir stiprumo anglies pluoštai, suteikę galimybę gauti dar geresnių savybių kompozitus [1].

Kiekvienoms statybinėms konstrukcijoms gaminti skirtos medžiagos pagrindiniai rodikliai yra:

- Stiprumas (f);
- Tamprumo ir deformacijų moduliai (E);
- Santykis su sunkiu (ρ).

Kaip rodo 4 pav. pateikti duomenys pagal nurodytus rodiklius, efektyviausia kompozitinė medžiaga yra anglies pluoštas. Pagal stiprumą jis 8 kartus, o pagal deformacines savybes – 7 kartus efektyvesnis už kitas kompozitines medžiagas [1].

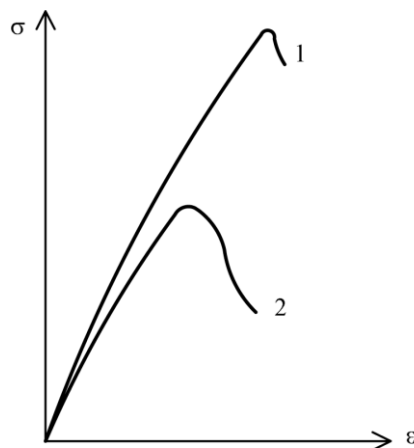
4 pav. Nurodyti pluoštai gelžbetoninėms konstrukcijoms stiprinti naudojami, kai iš jų gaminamos specialios plokštės, audiniai, lynai. Šių kompozitų pagrindinės fizinės ir mechaninės savybės priklauso nuo pluošto ir jį jungiančios medžiagos – polimerų (matricos) savybių. Tokiu būdu naudojamo stiprinti gaminio konstrukcinės savybės priklauso nuo abiejų komponentų savybių [1].



Pav. 4. Kompozitų komponentų lyginamieji stipriai σ/ρ (a) ir tamprumo moduliai E/ρ (b):
1 – plieno; 2 – aliuminio; 3 – stiklo pluošto; 4 – boro pluošto; 5 – anglies pluošto

Daugeliu atvejų stiprinimui naudojami anglies pluoštai su gaminiu sujungiami polimerine derva, kurios kiekis (pagal turį) sudaro ne daugiau kaip 5% bendro tūrio. Vadinasi, stiprinimui naudojamų dervų stiprumas ir kitos savybės imamos tokio pat, kaip ir pluošto [1].

Anglies pluošto tamprumo modulis yra 6-10 kartų didesnis už betono tamprumo modulį, atsižvelgiant į betono stiprumą.



Pav. 5. Tempiamo anglies pluošto (1) ir betono (2) deformavimosi charakteristika

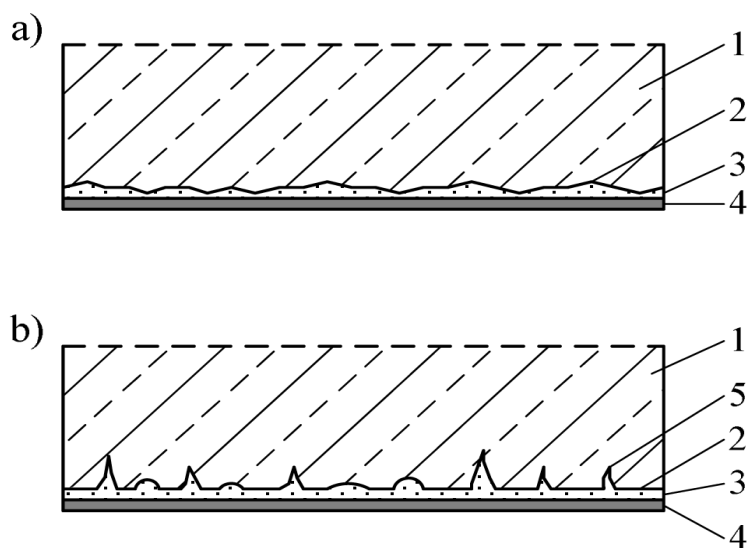
Klijai

Kitas svarbus komponentas – klijai, nuo kurių priklauso bendro anglies pluošto ir betono darbo pobūdis. Pagrindinis jiems keliamas reikalavimas – kuo geresnis sukibimas su betonu ir anglies pluoštu, didesnis tamprumo modulis ir tempiamasis bei gniuždomasis stipris, nuo kurių priklauso kerpamasis stipris. Nuo sluoksnių jungties stiprumo ir standumo priklauso bendras sustiprintos konstrukcijos standumas. Klijų tempiamasis stipris yra 10 - 11 kartų didesnis už betono tempiamąjį stiprį, o tamprumo modulis 6 – 8 kartus mažesnis. Tai rodo, kad veikiant šlyties įtempimams, anglies pluoštas gali pasislinkti betono atžvilgiu horizontaliaja kryptimi nesuirdamas [1].

Anglies pluošto jungtyje su betono sluoksniu svarbiausias dalykas yra adhezija. Adhezijos reiškiniui ir jos įtakai dviejų sluoksnių sujungimo procesui įvertinti yra įvairių koncepcijų. Tačiau atlikti eksperimentiniai tyrimai ir teorinė analizė rodo, kad šios koncepcijos priskiriamos tik atskiro vieno tipo medžiagoms ir priklauso nuo besiliečiančių sluoksnių paviršiaus fizinės ir mechaninės būsenos [1]. Sukietėjusiems betoniniams gaminiams ir anglies pluoštui suklijuoti ir adhezijai įvertinti tinkamiausias yra šios koncepcijos:

1. Mechaninė, kuri pirmenybę teikia paviršiaus mikroreljefui;
2. Absorbcinė, pagal kurią absorbuojamas adhezijos (klijai);
3. Mikreologinė, pabrėžiant klijų įsiskverbimą į betono poras, kapiliarus ir kitus defektus.

Apskritai visos šios prielaidos glaudžiai susijusios. Jų tvarka ir pagrįstumas priklauso nuo visų trijų komponentų savybių bei klijavimo technologinių procesų. Be minėtų anglies pluošto ir klijų savybių, didžiausią įtaką jungties zonos savybėms turi klijų tankis ir rišlumas, nes nuo jų priklauso absorbcija ir įgertis į betoną. Kaip rodo 6 pav. schemas, betono (substrato) paviršiaus nelygumai padidina klijų ir betono sąlyčio paviršių ir daugeliu atveju jie tampa sprausteliais. Dėl absorbcijos ir molekulių sąveikos gali išryškėti fizinis ir cheminis ryšys, tačiau tarp betono ir klijų jis yra labai mažas [1].



Pav. 6. Klijų pasiskirstymas betono paviršiuje: a – tankaus betono paviršius nelygus; b – betono paviršiuje atviros poros ir kapiliarai. 1 – betonas, 2 – betono paviršius, 3 – klijai, 4 – klijais užpildytos poros ir kapiliarai

Plieninės juostos klijavimas

Gelžbetoninių sijų stiprinimas, klijuojant plienines juostas, yra labai paprastas, nesudėtingas ir nebrangus. Plieninių juostų klijavimas atliekamas norint padidinti lenkimo ir šlyties sijų stiprumą. Šis stiprinimo būdas pradėtas tirti tik XXa. 7 dešimtmetyje ir mažai nagrinėtas iki šiol.

Gelžbetoninių sijų stiprinimo, plieninėmis juostomis, principas yra labai panašus kaip ir stiprinimas anglies pluošto juostomis. Taip pat turi būti išspręstas pagrindinis klausimas dėl klijų ir plieninės juostos sukibimo su betonu.

1. Eksperimentas

1.1 Naudotos medžiagos ir įranga

1.1.1 Sijos

Bandymas buvo atliktas su UAB „Kauno gelžbetonis“ gamybos laikančiomis sąramomis-sijomis MU tipo. Pasirinktos devynios MU-14 tipo sąramos, kurių deklaruojama laikomoji galia yra 28,83kN/m.

Lentelė 1-1. Laikančių MU-14 tipo sąramų techninės charakteristikos

Sijos pavadinimas (mm)	Sijos ilgis (mm)	Sijos aukštis (mm)	Sijos plotis (mm)
S - 1	1397	190	123
S - 2	1403	187	118
S – 3*	1400	187	122
S.A.P. - 1	1395	186	117
S.A.P. - 2	1402	186	122
S.A.P. – 3*	1402	188	122
S.P.J. - 1	1395	187	120
S.P.J. - 2	1398	189	115
S.P.J. – 3*	1396	188	123



Pav. 7. Laikančios MU-14 tipo sąramos

1.1.2 Gruntas

Naudotas dviejų komponentų epoksidinis gruntas, skirtas betoninių, gelžbetoninių ir mūrinių paviršių paruošimui.

Grunto techninės charakteristikos: tai yra betirpiklis epoksidinės dervos pagrindu pagamintas produktas, sudarytas iš dviejų iš anksto dozuojamų komponentų (kurie turi būti sumaišyti prieš naudojimą). Sumaišius gruntą, jis tampa mažo klampumo skysčiu, lengvai tepamu ant horizontalių ir vertikalinių paviršių, ir labai tinkamu pagrindo sutvirtinimui bei gruntavimui.



Pav. 8. Naudotas gruntas ir jo paruošimas

1.1.3 Epoksidiniai klijai

Naudoti klijai yra dviejų komponentų epoksidinių dervų ir atrinktų sijotų užpildų mišinys. Sumaišius A komponentą su atitinkamais kietikliais (B komponentu), gaunamas lengvai naudojamas tiksotropinis skiedinys, kurį galima tepti ant vertikalinių paviršių ir ant konstrukcinių elementų apatinio paviršiaus. Pasirinkti klijai tinkami naudoti prie $+5^{\circ}\text{C}$ – $+23^{\circ}\text{C}$ temperatūros. Klijai kietėdami nesitraukia, o visiškai sukietėję pasižymi ypač dideliu sukibimu ir mechaniniu stipriu.



Pav. 9. Naudoti klijai ir jų paruošimas

1.1.4 Anglies pluošto lamelės

Naudota lamelė yra stūmimo (pultrūzijos) būdu pagamintos anglies pluošto juostos, pasižyminčios dideliu atsparumu bei lankstumu, skirtos stiprinti gelžbetonines ir metalines konstrukcijas. Gamybos metu, Carboplate paviršius yra apsaugomas plastikiniais lakštais. Šis sprendimas leidžia apsaugoti Carboplate nuo purvo pjovimo metu. Prieš klijuojant apsauginis lakštas turi būti nuimtas nuo tos Carboplate pusės kuri bus klijuojama epoksidiniais kljais.

Lentelė 1-2. Anglies pluošto lamelės techninės charakteristikos

Savybės	Carboplate E 170
Tankis (g/cm ³)	1,61
Pluošto kiekis (%)	68
Storis (mm)	1.4
Plotis (mm)	50
Ilgis (mm)	1200
Efektyvusis skerspjūvio plotas (mm ²)	70
Svoris (g/m)	113
Tempiamasis stipris (MPa):	≥ 3,100
Tamprumo modulis (GPa):	170
Ribinis pailgėjimas (%):	2
Kerpamasis (šlyties) stipris (MPa):	77
Plėtimosi koeficientas (m/m/°C):	0,6 x 10 ⁻⁶



Pav. 10. Naudota anglies pluošto lamelė ir jos paruošimas

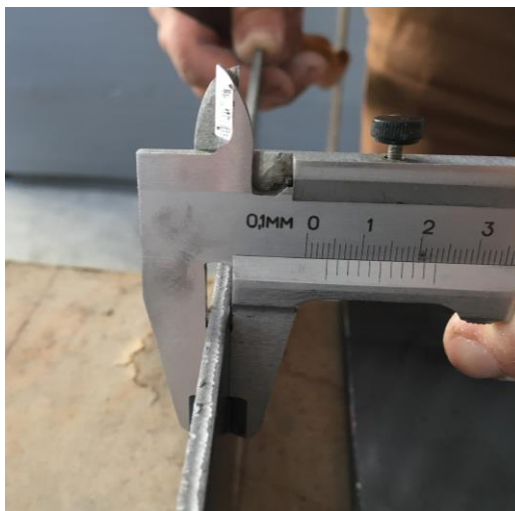
1.1.5 Plieninė juosta

Eksperimente naudota plieninė juodojo metalo juosta. Juosta paruošta pagal ISO-St2 standartą: pilnas paviršiaus kruopštus valymas rankiniu ir elektromechaniniu būdu, nematomos riebalų, dažų liekanos.

Lentelė 1-3. Plieninės, juodojo metalo juostos techninės charakteristikos

Savybės	Plieninė juosta
Tankis (g/cm ³)	7,85

Storis (mm)	4
Plotis (mm)	100
Ilgis (mm)	1200
Efektyvusis skerspjūvio plotas (mm ²)	400
Svoris (g/m)	3140
Tempiamasis stipris (MPa):	275
Tamprumo modulis (GPa):	210



Pav. 11. Naudota plieninė, juodojo metalo juosta

1.1.6 Įranga ir prietaisai

Matavimams buvo naudojamas slankmatis ir matavimo 5m ilgio plieninė ruletė.

Sijos buvo gniuždomos KTU universiteto sukonstruotu presu, kurio maksimali gniuždomoji galia 200kN, o tikslumas kas 0,1kN.



Pav. 12. Naudotas gniuždymo presas



Pav. 13. Naudoti įlinkomačiai 6IIAO

Gniuždomų sijų ilinkiai matuoti 3vnt. rodykliniais įlinkomačiais 6IIAO, kurių matavimo tikslumas 0,01mm.

1.2 Bandinių pasiruošimas

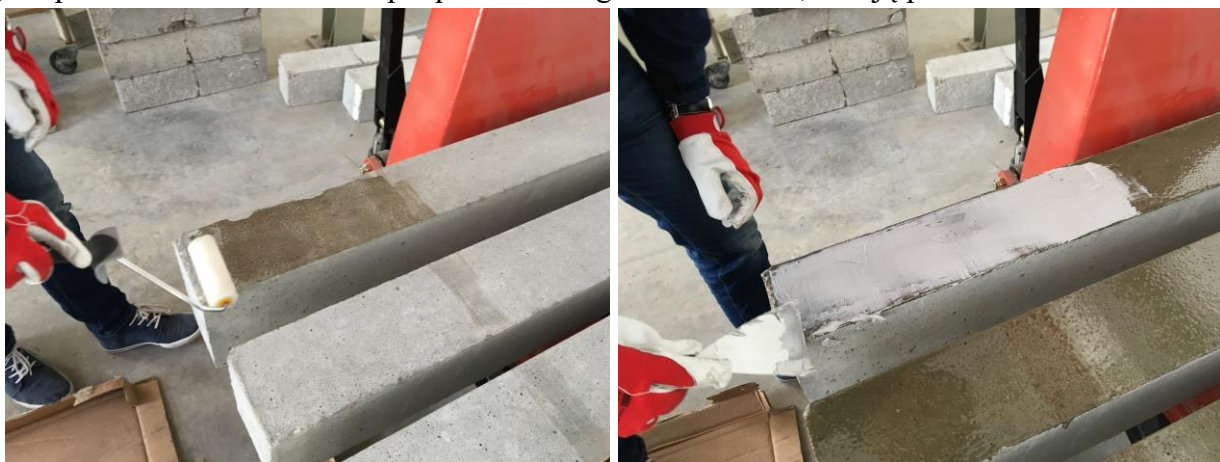
1.2.1 Sijos, stiprinamos anglies pluošto lamelėmis

Eksperimento metu buvo lenkiamos devynios MU-14 tipo sijos. Trys sijos buvo sustiprintos anglies pluošto lamelėmis, tiek pats sijų - plieninėmis juostomis ir likusios trys sijos buvo etalonai lenkiamajam stipriui ir įlinkiui palyginti.

S.A.P – 1/3 sijos sustiprintos anglies pluošto lamelėmis.

Paruošimas ir lamelių klijavimas: g/b sijos nuvalomos nuo nešvarumų ir nelygumų. Sijos tempiamasis paviršius gruntuojamas epoksidiniu gruntu. Nuo anglies pluošto lamelių nuimamas apsauginis sluoksnis ir su metaline mentele tolygiai, 1–1,5mm storio sluoksniu, tepami epoksidiniai klijai. Klijai tepami ir ant g/b stiprinamos zonos.

Ant sijos apatinės tempiamos zonos klijuojamos dvi 50mm pločio, 1,4mm storio ir 1200mm ilgio anglies pluošto lamelės. Lamelės prispaudžiamos guminiu voleliu, o klijų perteklius nuvalomas.



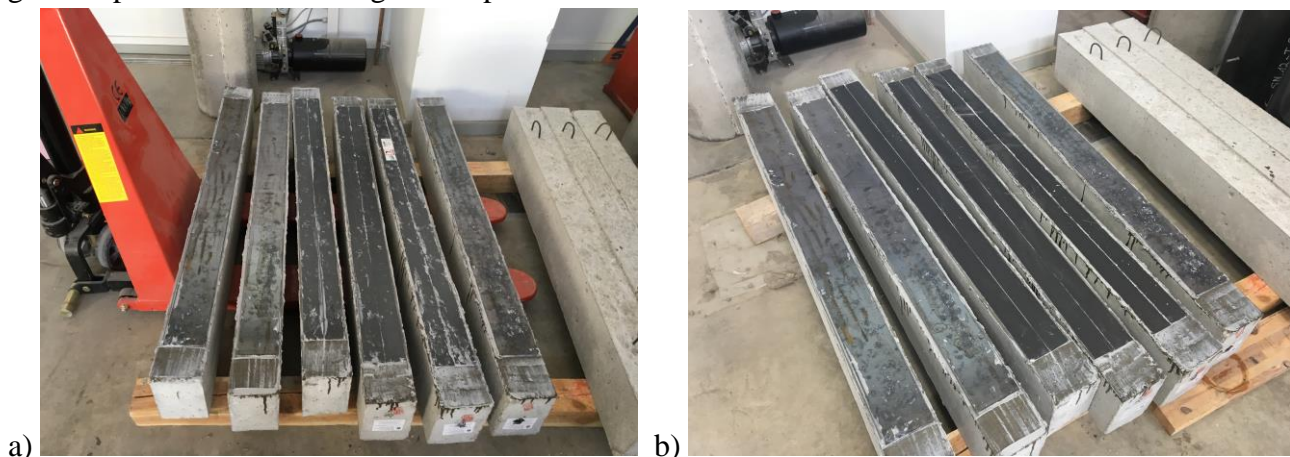
Pav. 14. pav. G/b sijų apdengimas epoksidiniu gruntu ir klijais

1.2.2 Sijos, stiprinamos plieninėmis juodojo metalo juostomis

S.P.J – 1/3 sijos, sustiprintos plieninėmis, juodojo metalo juostomis.

Paruošimas ir plieninių juostų klijavimas analogiškas kaip ir anglies pluošto lamelių. Ant sijos apatinės tempiamos zonos klijuojama viena 100 mm pločio, 4 mm storio ir 1200 mm ilgio plieninė juosta. Plieninė juosta prispaudžiama guminiu voleliu, o klijų perteklius nuvalomas.

Stiprinamos juostos klijuojamos ant g/b sijos apatinės juostos vidurio jas centruojant iš kraštų ir galuose paliekant 100 mm ilgio atkarpas - atramoms.

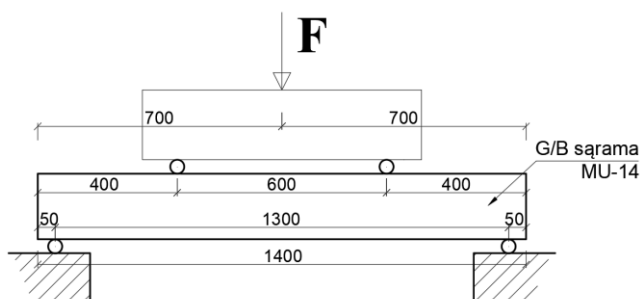


Pav. 15. a) Ką tik sustiprintos sijos; b) sustiprintos sijos po 7 parų

1.3. Bandymo eiga

1.3.1. Nestiprintų sijų lenkimas

Pirmiausia buvo išbandytos, iki suirimo, dvi g/b nestiprintos MU-14 tipo sąramos, kaip etalonas-stiprintoms sijoms, palyginti laikomąją galią. Sąramos įtvirtintos šarnyriškai, atramos taškas nutolęs 50mm nuo sijos galo. Nustatyta didžiausia sąramos lenkiamoji galia, įlinkio kitimas, įstrižųjų ir normalinių plyšių atsivėrimo momentas. Sijos bandytos veikiant dviem sutelktosiomis jėgomis, apkrova didinta kas 5kN.



Pav. 16. Nestiprintos sijos apkrovimo schema ir vaizdas

Gauti rezultatai:

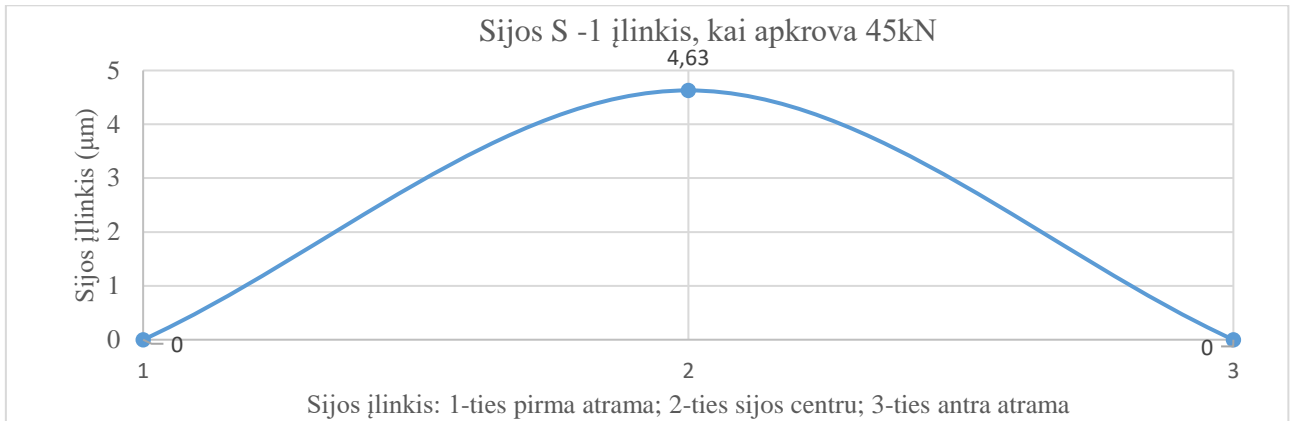
Lentelė 1-4. Nestiprintų MU-14 tipo sąramų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant

Sijos pavadinimas	Normalinių plyšių atsivėrimas (kN)	Įstrižųjų plyšių atsivėrimas (kN)	Sijos lenkimo laikomoji galia (kN)
S - 1	20-25	35	66,1
S - 2	15-20	25-30	65

Lentelė 1-5. Nestiprintos sijos S - 1 įlinkiai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 2 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S - 1	5	0,19	0,29	0,17	0,11
	10	0,36	0,56	0,31	0,23
	15	0,53	1,45	0,42	0,98
	20	0,68	2,11	0,49	1,53
	25	0,82	3,00	0,59	2,30
	30	0,90	3,62	0,64	2,85
	35	1,04	4,37	0,70	3,50
	40	1,12	4,99	0,76	4,05
	45	1,19	5,63	0,81	4,63

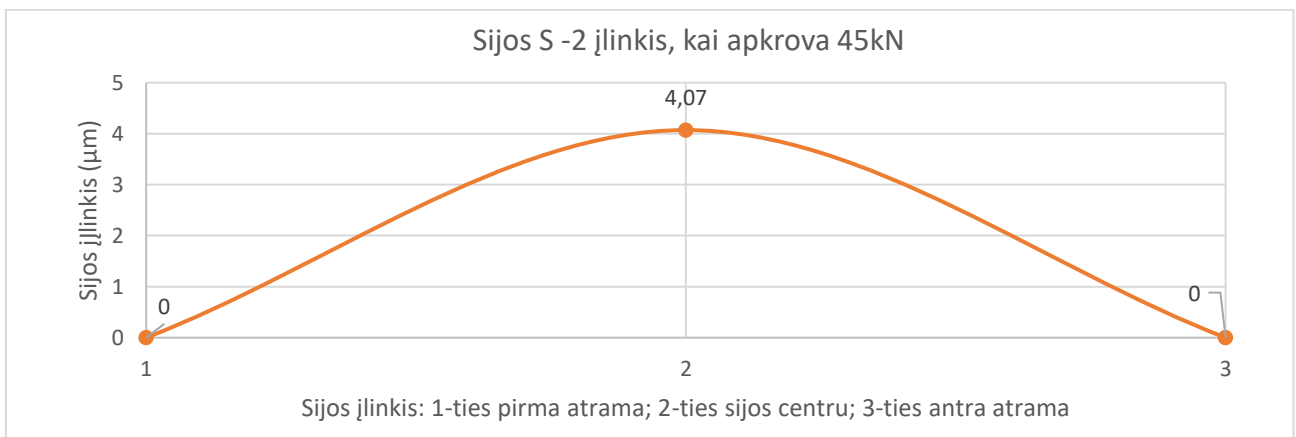
Diagrama 1. Nestiprintos sijos S - 1 įlinkis, kai apkrova 45kN



Lentelė 1-6. Nestiprintos sijos S - 2 įlinkiai

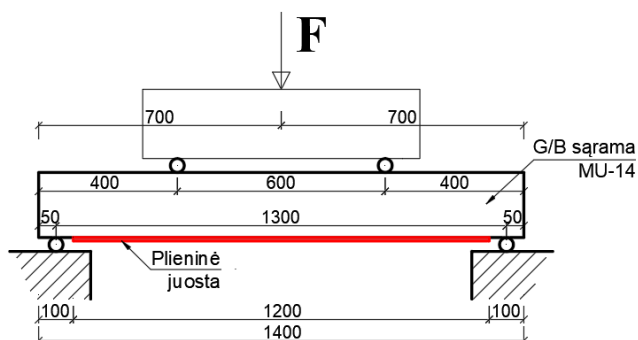
Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 2 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S - 2	5	0,21	0,23	0,05	0,10
	10	0,27	0,45	0,24	0,20
	15	0,34	0,65	0,28	0,34
	20	0,38	1,25	0,31	0,91
	25	0,47	1,88	0,34	1,48
	30	0,58	2,66	0,38	2,18
	35	0,67	3,29	0,42	2,75
	40	0,77	3,88	0,45	3,27
	45	0,89	4,75	0,47	4,07
	50	0,97	5,39	0,51	4,65
55	1,06	6,19	0,55	5,39	

Diagrama 2. Nestiprintos sijos S - 2 įlinkis, kai apkrova 45kN



1.3.2 Sustiprintų, plienine juosta, sijų lenkimas

Sąramos įtvirtintos šarnyriškai, atramos taškas nutolęs 50mm nuo sijos galo. Nustatyta didžiausia sąramos lenkiamoji galia, įlinkio kitimas, įstrižųjų ir normalinių plyšių atsivėrimo momentas. Sijos bandytos veikiant dviem sutelktosiomis jėgomis, apkrova didinta kas 5kN. Bandant sijas, įvyko staigus suirimas per įstrižąjį pjūvį.



Pav. 17. Sustiprintos, plienine juosta, sijos apkrovimo schema

Gauti rezultatai:

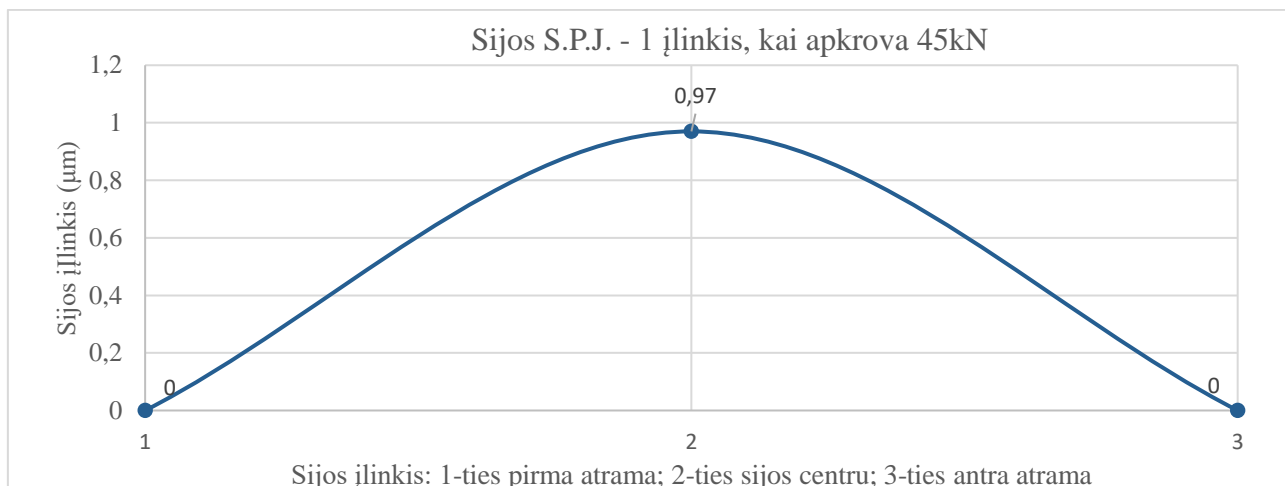
Lentelė 1-7. Sustiprintų, plienine juosta, sijų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant

Sijos pavadinimas	Normalinių plyšių atsivėrimas (kN)	Įstrižųjų plyšių atsivėrimas (kN)	Sijos lenkimo laikomoji galia (kN)
S.P.J. - 1	-	-	64
S.P.J. - 2	-	-	77,2

Lentelė 1-8. Stiprintos sijos S.P.J. - 1 įlinkiai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 2 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.P.J. - 1	5	27	30	18	8
	10	38	51	29	18
	15	44	64	39	23
	20	54	83	46	33
	25	61	94	50	39
	30	71	116	55	53
	35	82	144	62	72
	40	95	165	71	82
	45	104	186	74	97
	50	112	200	77	106
	55	116	229	83	130

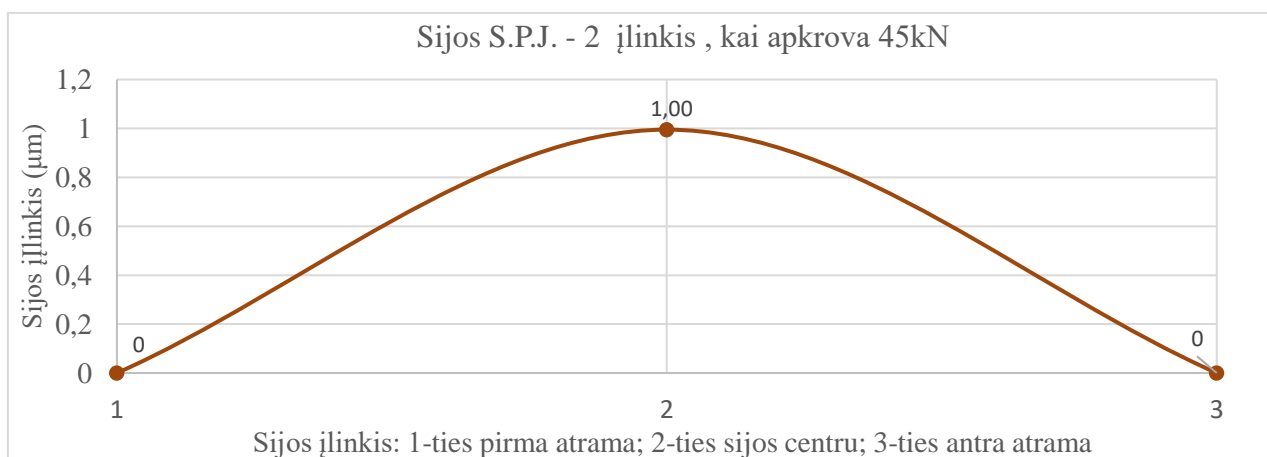
Diagrama 3. Stiprintos sijos S.P.J. – 1 įlinkis, kai apkrova 45kN



Lentelė 1-9. Stiprintos sijos S.P.J. - 2 įlinkiai

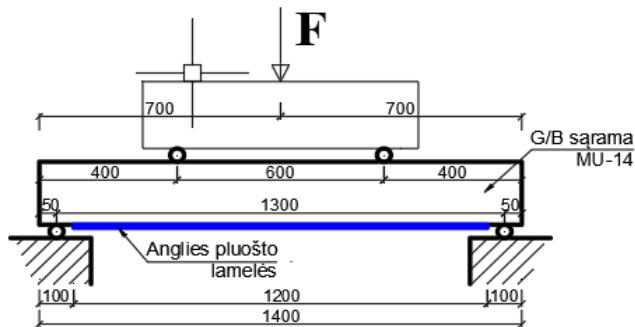
Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 2 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.P.J. - 2	5	26	23	4	8
	10	49	51	19	17
	15	61	80	42	29
	20	85	105	53	36
	25	95	125	59	48
	30	105	147	67	61
	35	113	167	73	74
	40	119	181	75	84
	45	127	202	78	100
	50	133	219	83	111
	55	140	237	86	124
	60	146	263	90	145

Diagrama 4. Stiprintos sijos S.P.J. – 2 įlinkis, kai apkrova 45kN



1.3.3 Sustiprintų, anglies pluošto lamelėmis, sijų lenkimas

Sąramos įtvirtintos šarnyriškai, atramos taškas nutolęs 50mm nuo sijos galo. Nustatyta didžiausia sąramos lenkiamoji galia, įlinkio kitimas, įstrižųjų ir normalinių plyšių atsivėrimo momentas. Sijos bandytos veikiant dviem sutelktosiomis jėgomis, apkrova didinta kas 5kN. Bandant sijas, įvyko staigus suirimas per įstrižąjį pjūvį.



Pav. 18. Sustiprintos, anglies pluošto lamelėmis, sijos apkrovimo schema

Gauti rezultatai:

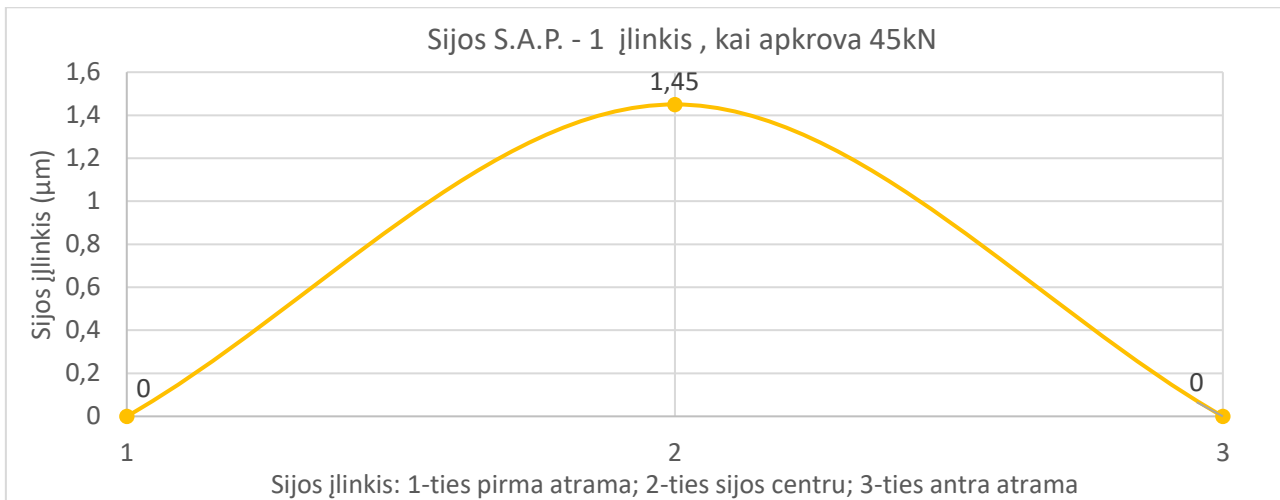
Lentelė 1-10. Sustiprintų, anglies pluošto lamelėmis, sijų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant

Sijos pavadinimas	Normalinių plyšių atsivėrimas (kN)	Įstrižųjų plyšių atsivėrimas (kN)	Sijos lenkimo laikomoji galia (kN)
S.A.P. - 1	-	60	69,5
S.A.P. - 2	-	-	74,3

Lentelė 1-11. Stiprintos sijos S.A.P. - 1 įlinkiai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 2 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.A.P. - 1	5	0,15	0,02	0,18	0,6
	10	0,38	0,23	0,38	0,5
	15	0,49	0,43	0,48	0,15
	20	0,56	0,61	0,57	0,25
	25	0,65	0,86	0,70	0,39
	30	0,70	1,14	0,74	0,62
	35	0,78	1,50	0,82	0,90
	40	0,87	1,90	0,88	1,23
	45	0,93	2,18	0,93	1,45
	50	0,99	2,50	1,00	1,71
	55	1,07	2,88	1,05	2,02
	60	1,15	3,19	1,10	2,27

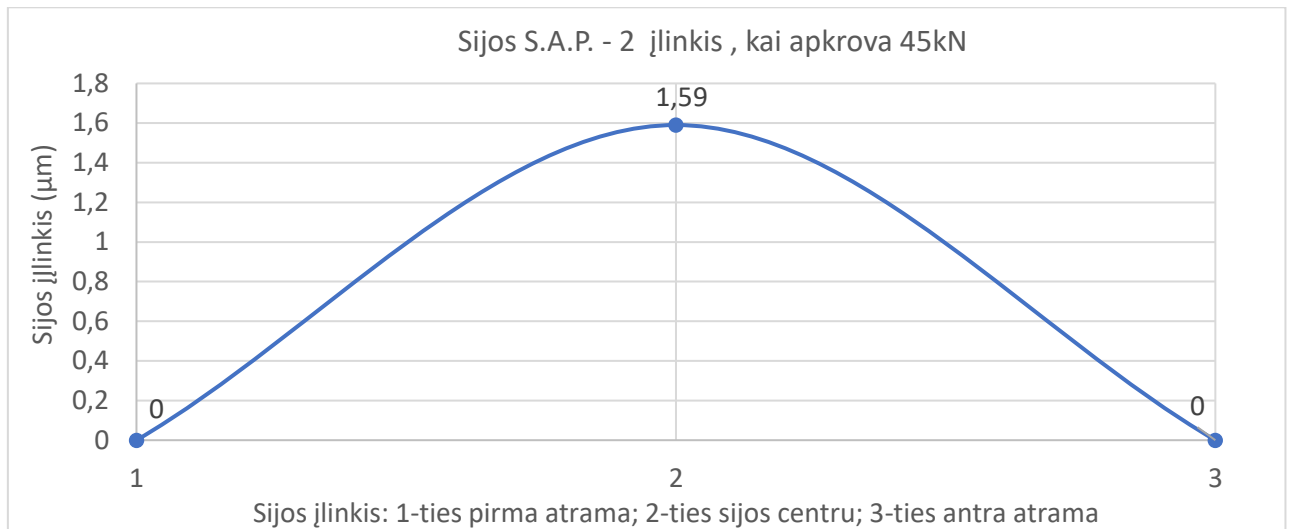
Diagrama 5. Stiprintos sijos S.A.P. – 1 įlinkis, kai apkrova 45kN



Lentelė 1-12. Stiprintos sijos S.A.P. - 2 įlinkiai

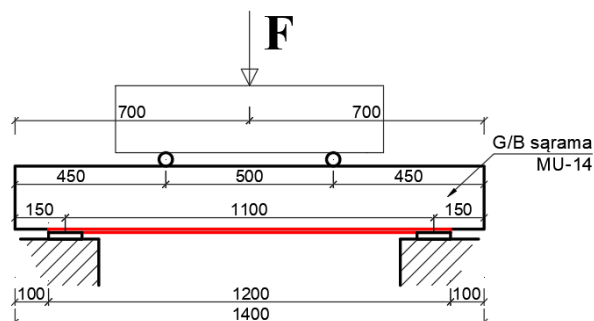
Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 2 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.A.P. - 2	5	2	14	3	12
	10	3	26	6	22
	15	7	43	8	36
	20	13	62	11	50
	25	15	78	13	64
	30	17	101	14	86
	35	22	150	20	129
	40	23	170	21	148
	45	24	182	22	159
	50	29	210	25	183
	55	33	236	28	206
	60	37	265	29	232

Diagrama 6. Stiprintos sijos S.A.P. – 2 įlinkis, kai apkrova 45kN



1.3.4 Nestiprintos ir sustiprintų, plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis, sijų lenkimas

Sąramos atremtos ant plieninių plokštelių, atramos centro taškas nutolęs 150mm nuo sijos galo. Sustiprintos sijos buvo atremtos ant priklijuotų elementų, o nestiprinta 150mm atstumo nuo sijos galo. Nustatyta didžiausias sąramos lenkiamoji galia, įlinkio kitimas, įstrižųjų ir normalinių plyšių atsivėrimo momentas. Sijos bandytos veikiant dviem sutelktosiomis jėgomis, apkrova didinta kas 5kN.



Pav. 19. Nestiprintos ir sustiprintų, plieno juosta ir anglies pluošto lamelėmis, sijos apkrovimo schema

Gauti rezultatai:

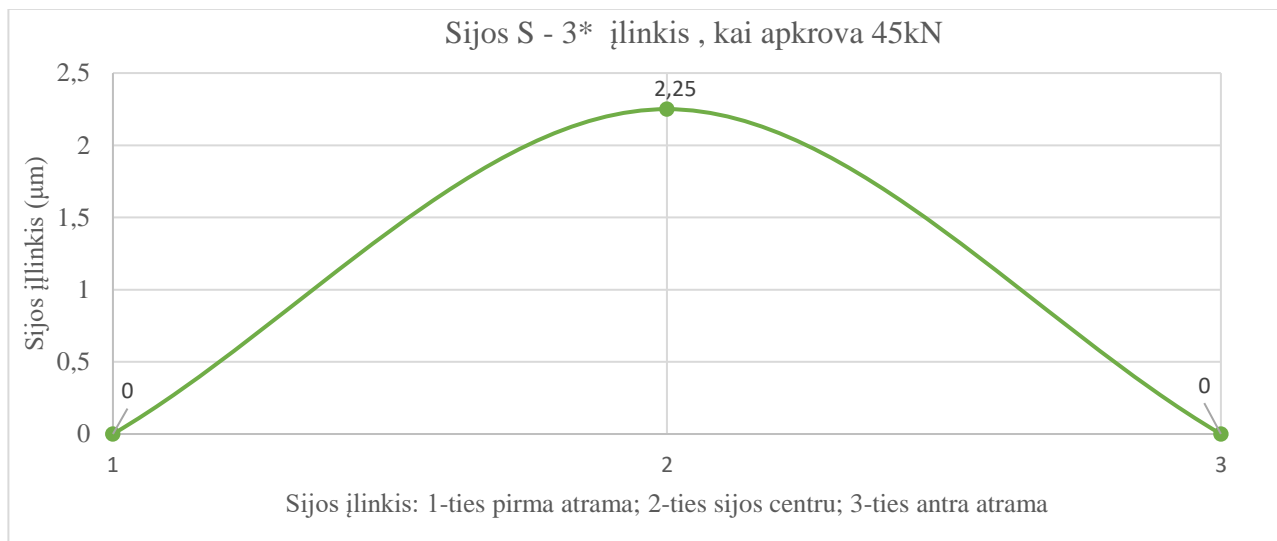
Lentelė 1-13. Nestiprintos ir sustiprintų, plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis, sijų laikomosios galios charakteristikos jas lenkiant

Sijos pavadinimas	Normalinių plyšių atsivėrimas (kN)	Įstrižųjų plyšių atsivėrimas (kN)	Sijos lenkimo laikomoji galia (kN)
S.P- 3*	15-20	45-50	81 (N)
S.P.J. – 3*	-	85	106 (Įst)
S.A.P. – 3*	-	85	142 (Įst)

Lentelė 1-14. Nestiprintos sijos S – 3* įlinkiai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S – 3*	5	0,27	0,22	0,01	0,08
	10	0,61	0,42	0,03	0,10
	15	0,75	0,59	0,07	0,18
	20	0,82	0,88	0,13	0,41
	25	0,82	1,32	0,14	0,84
	30	0,82	1,57	0,14	1,09
	35	0,82	2,02	0,14	1,54
	40	0,82	2,33	0,15	1,85
	45	0,82	2,74	0,16	2,25
	50	0,82	3,09	0,20	2,58

Diagrama 7. Nestiprintos sijos S – 3* įlinkis, kai apkrova 45kN

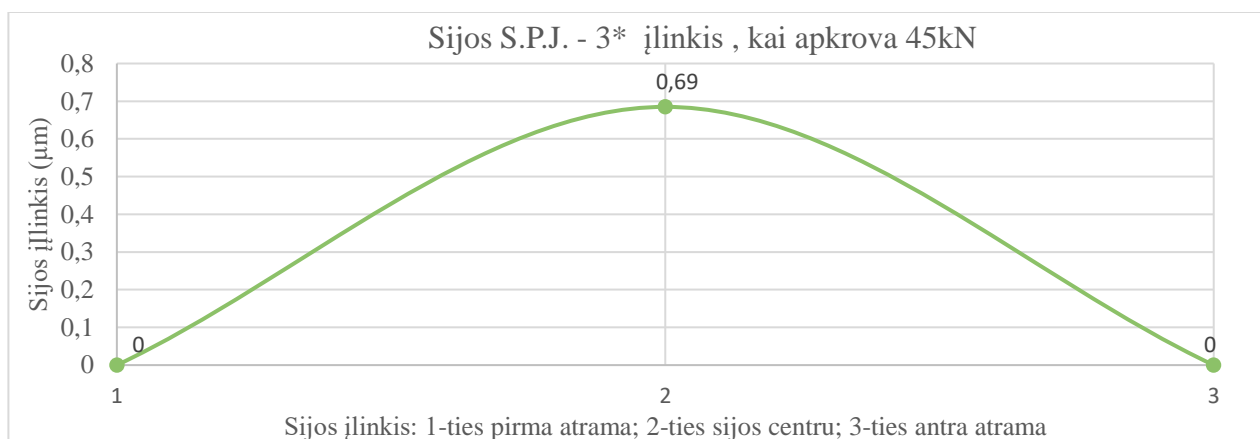


Lentelė 1-15. Stiprintos sijos S.P.J. – 3* įlinkiai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.P.J. – 3*	5	0,20	0,18	0	0,08
	10	0,33	0,31	0,01	0,14
	15	0,39	0,40	0,02	0,20
	20	0,48	0,54	0,03	0,29
	25	0,50	0,60	0,03	0,34
	30	0,55	0,74	0,05	0,44
	35	0,60	0,83	0,06	0,50

40	0,64	0,98	0,07	0,63
45	0,66	1,08	0,13	0,69
50	0,69	1,13	0,14	0,72
55	0,71	1,27	0,17	0,83
60	0,74	1,39	0,22	0,91
65	0,75	1,54	0,26	1,04
70	0,77	1,60	0,28	1,08

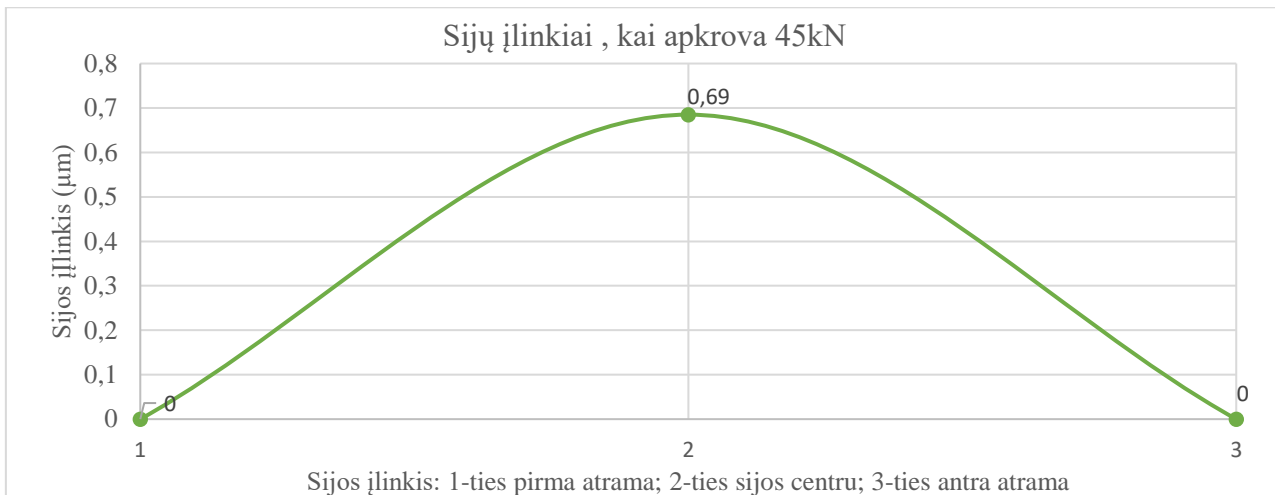
Diagrama 8. Stiprintos sijos S.P.J. – 3* įlinkis, kai apkrova 45kN



Lentelė 1-16. Stiprintos sijos S.A.P. – 3* įlinkiai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Įlinkis ties atrama nr. 1 (mm)	Redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.A.P. – 3*	5	0,28	0,26	0,03	0,11
	10	0,56	0,47	0,08	0,15
	15	0,77	0,64	0,13	0,19
	20	1,05	0,83	0,18	0,22
	25	1,20	0,96	0,21	0,26
	30	1,34	1,13	0,24	0,34
	35	1,57	1,37	0,25	0,46
	40	1,72	1,54	0,26	0,55
	45	1,81	1,74	0,30	0,69
	50	1,92	1,91	0,31	0,80
	55	1,98	2,15	0,32	1,00
	60	2,02	2,36	0,33	1,19
	65	2,05	2,46	0,34	1,27
	70	2,07	2,72	0,35	1,51

Diagrama 9. Stiprintos sijos S.A.P. – 3* įlinkis, kai apkrova 45kN



1.4 Eksperimentinio tyrimo rezultatų apibendrinimas

Atlikus bandymus su nestiprintomis ir stiprintomis sijomis gauta, kad nestiprintų sijų lenkiamasis stiprumas yra apie 1,6 karto didesnis negu pateikiama sijų gamintojo deklaracijoje. Sijų, sustiprintų plieninėmis juostomis ir anglies pluošto lamelėmis suirimas įvyko pasiekus įstrižojo pjūvio stiprumo ribą, bet normalinių plyšių nepastebėta ir sijos suiro staiga. Atrėmimo tipas taip pat turėjo didelės įtakos sijų stiprumui jas lenkiant. Sijas atramose atremiant ant plieninių plokštelių, pastebėta mažesni įlinkiai ir padidėjo kelis kartus laikomoji sijų galia negu deklaruojama.

Bandytų sijų stiprumas ir įlinkiai veikiant 45kN apkrovai pateikiami suminėse diagramose.

Diagrama 10. Sijų maksimali laikomoji galia iki suirimo

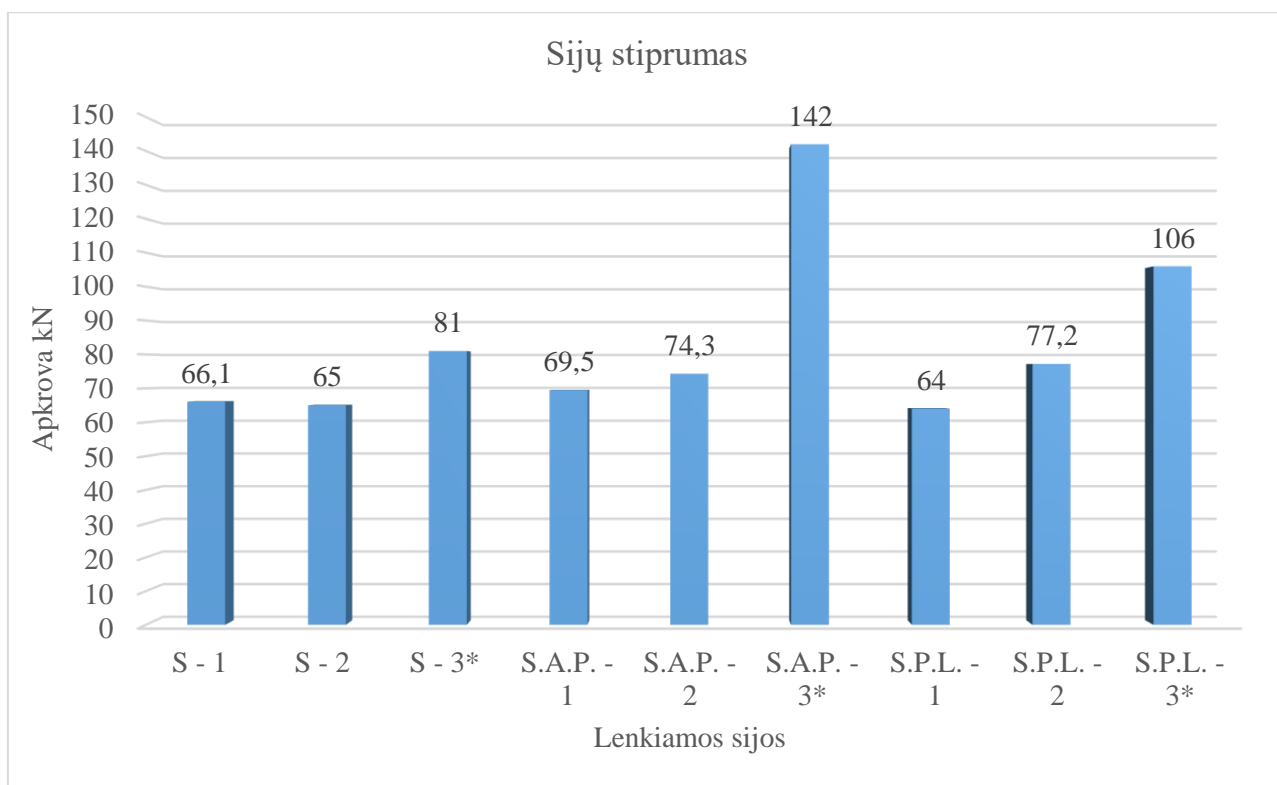


Diagrama 11. Redukuotas sijų įlinkis ties viduriu, kai apkrova 45kN

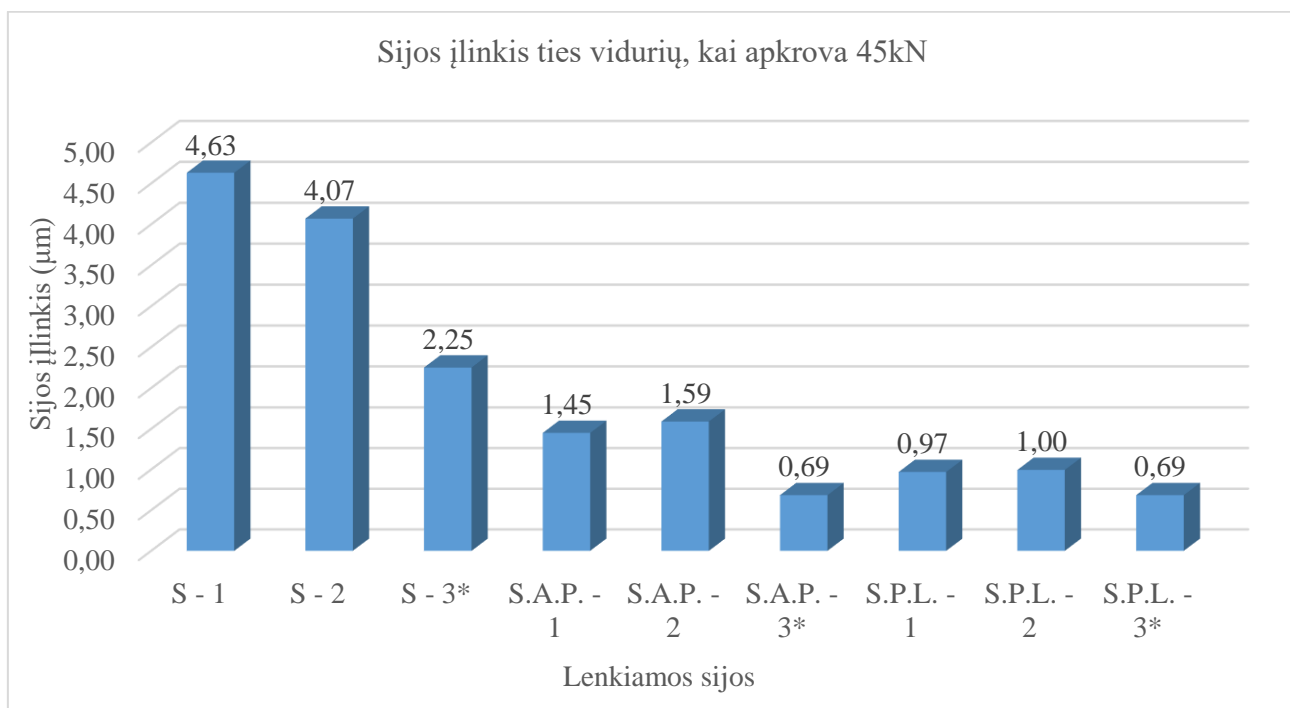
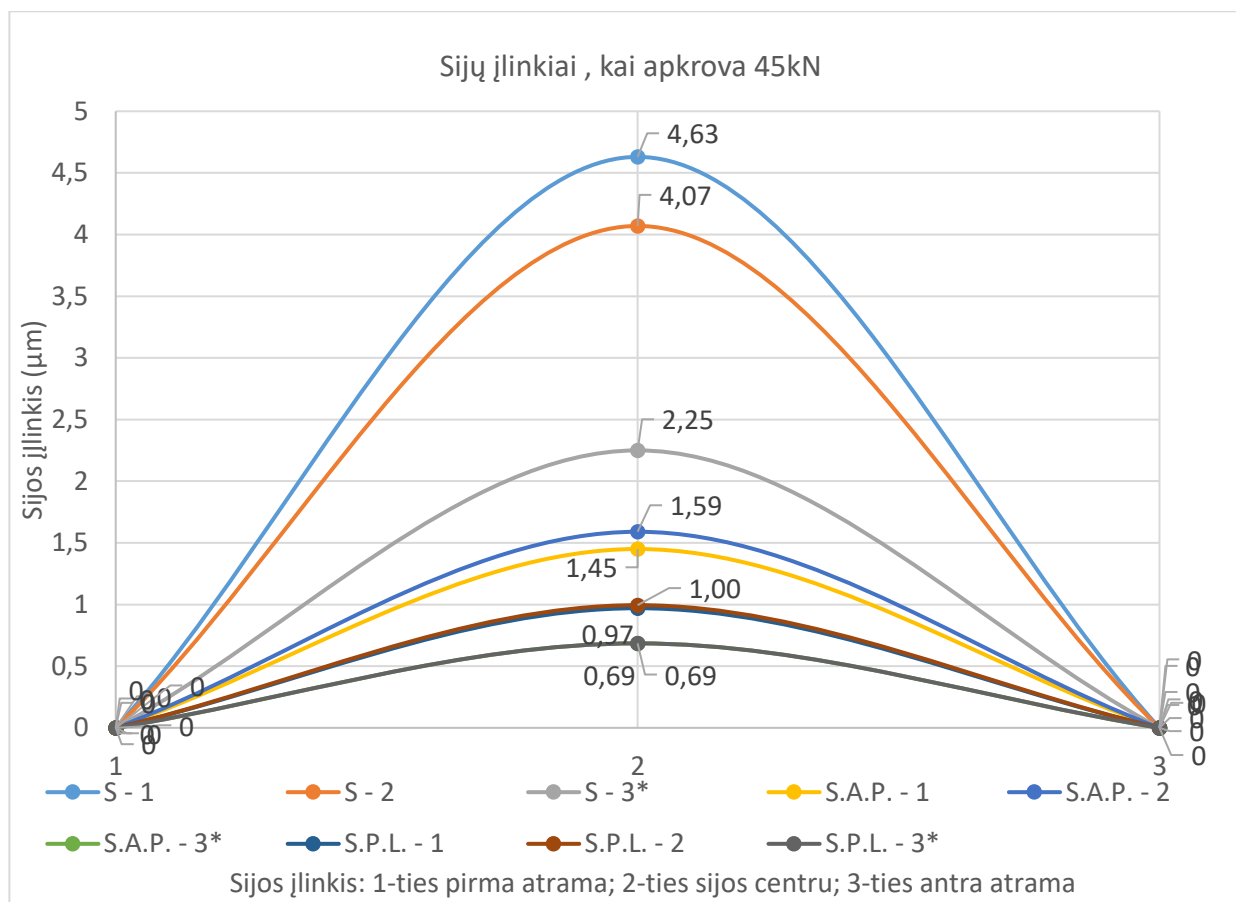


Diagrama 12. Redukuoti sijų įlinkiai, kai apkrova 45kN

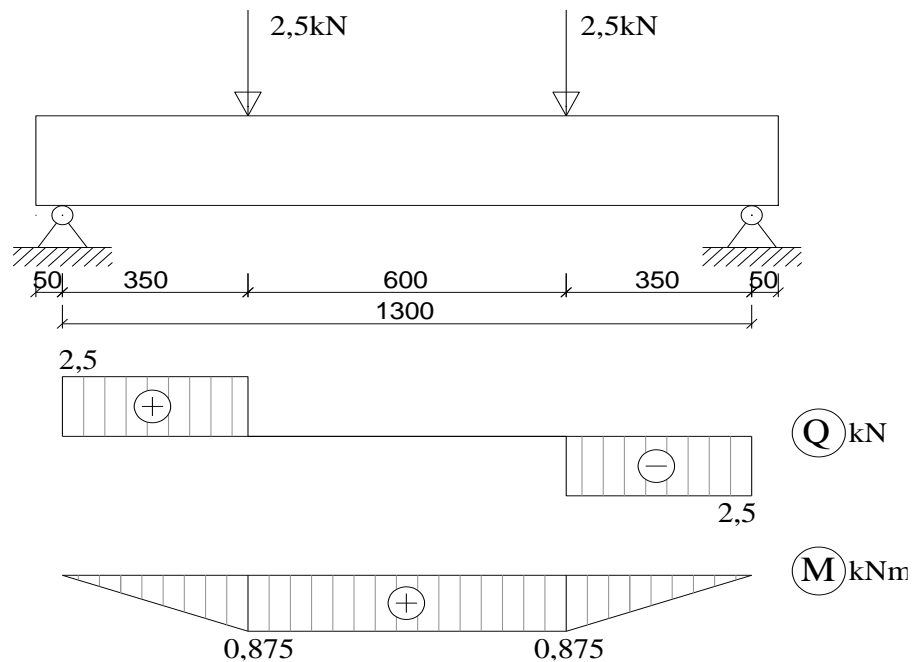


2 Teorinis sijų įlinkio skaičiavimas

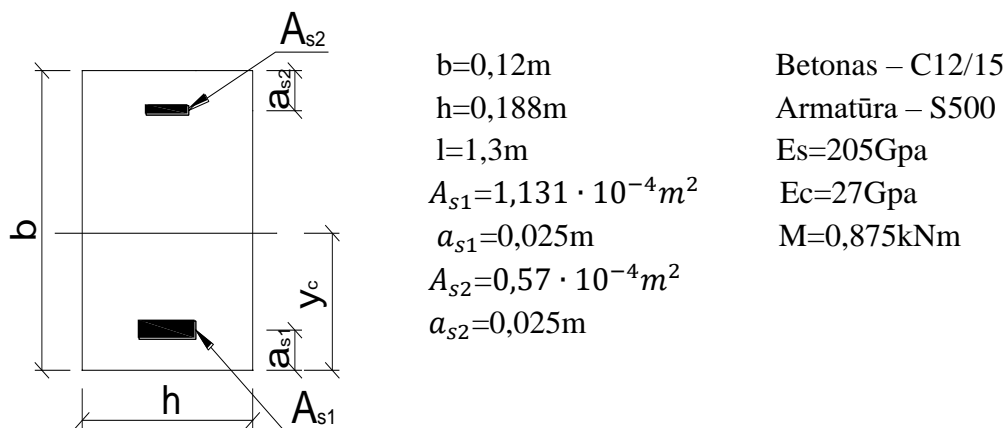
2.1 Nestiprintų sijų teorinis įlinkio skaičiavimas be normalinių plyšių

Atlikus eksperimentinį sijų lenkimo bandymą, gavome tam tikrus sijų įlinkius prie pasirinktos apkrovimo jėgos. Šioje dalyje skaičiuojamas teorinis sijų įlinkis prie pasirinktos apkrovimo jėgos.

Toliau pateikiama šarnyriškai įtvirtintos dviatramės sijos skaičiuojamoji schema ir momentų lenkimo diagrama. Skaičiavimai atlikti remiantis STR 2.05.05:2005 „Betoninių ir gelžbetonių konstrukcijų projektavimas“ normomis.



Pav. 20. Nestiprintų sijų skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos



Pav. 21. Sijos S – I skerspjūvis

Skaičiuojamas sijos vidurio teorinis įlinkis, kai apkrova 5kN.

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$$\alpha_e = E_s/E_c = 205/27 = 7,593 \quad (2.1.1)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio efektyvusis plotas;

$$A_{eff} = b \cdot h + \alpha_e \cdot A_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2};$$

$$A_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} = 0,0236\text{m}^2; \quad (2.1.2)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio statinis momentas sijos apatinio sluoksnio atžvilgiu;

$$S_{eff} = b \cdot h \cdot \frac{h}{2} + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - a_{s2}); \quad (2.1.3)$$

$$S_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 \cdot \frac{0,188}{2} + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,025) = 0,00217m^3;$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio svorio centro atstumas nuo apatinio sluoksnio;

$$y_c = \frac{S_{eff}}{A_{eff}}; \quad (2.1.4)$$

$$y_c = \frac{0,00217}{0,0236} = 0,0919m;$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio inercijos momentas sijos apačios ašies atžvilgiu;

$$I_{eff} = \frac{b \cdot h^3}{2} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - y\right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (y - a_{s1})^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - y - a_{s2})^2; \quad (2.1.5)$$

$$I_{eff} = \frac{0,12 \cdot 0,188^3}{2} + 0,12 \cdot 0,188 \cdot \left(\frac{0,188}{2} - 0,0919\right)^2 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} (0,0919 - 0,025)^2 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,0919 - 0,025)^2 = 7,114 \cdot 10^{-5}m^4;$$

Skaičiuojamas sijos įlinkis ties viduriu kai veikia 5kN apkrova;

$$f = k \cdot \left(\frac{M}{E_c \cdot I_{eff}}\right) \cdot l^2; \quad (2.1.6)$$

k – koeficientas, kuriuo atsižvelgiama į sijos apkrovos schemą;

laisvai atremtai dviatramei sijai, veikiamai dviem koncentruotomis apkrovomis (19 pav.), koeficientas lygus:

$$k = \frac{l}{8} - \frac{a^2}{6}; \quad (2.1.7)$$



$$k = \frac{1,3}{8} - \frac{\left(\frac{0,35}{1,3}\right)^2}{6} = 0,113;$$

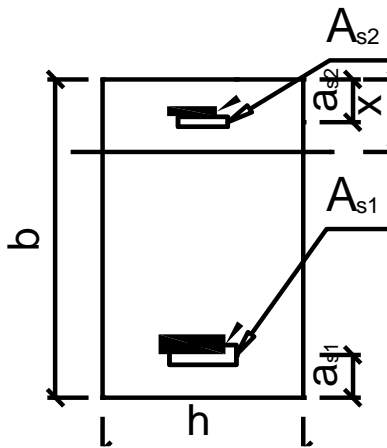
Pav. 22. Laisvai atremtos sijos schema koeficientui k apskaičiuoti

$$f = 0,113 \cdot \left(\frac{0,875}{27 \cdot 10^6 \cdot 7,114 \cdot 10^{-5}}\right) \cdot 1,3^2 = 8,96 \cdot 10^{-5}m = 0,0896mm; \quad (2.1.6)$$

Analogiškai skaičiuojami teoriniai sijų S – 1 ir S – 2 vidurio įlinkiai, didinant lenkimo apkrovą, iki kol atsiveria normaliniai plyšiai.

2.2 Nestiprintų sijų teorinis įlinkio skaičiavimas esant normaliniams plyšiams

Skaičiavimai atliekami beveik analogiškai kaip ir nesupleišėjusios sijos tik šiuo atveju skaičiuojant sijos įlinkis esant normaliniams plyšiams imamas x_{eff} -nesupleišėjes sijos aukštis ir naudojamas I_{cr} -supleišėjusios sijos inercijos momentas.



$$\begin{aligned}
 B &= 0,12\text{m} \\
 h &= 0,188\text{m} \\
 l &= 1,3\text{m} \\
 A_{s1} &= 1,131 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 \\
 a_{s1} &= 0,025\text{m} \\
 A_{s2} &= 0,57 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 \\
 a_{s2} &= 0,025\text{m} \\
 A_{s3} &= 4,0 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 \\
 a_{s3} &= 0,002\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Betonas – C12/15} \\
 &\text{Armatūra – S500} \\
 &E_s = 205\text{Gpa} \\
 &E_c = 27\text{Gpa} \\
 &E_{st} = 210\text{Gpa} \\
 &M_{EK} = 2.625\text{kNm} \\
 &d = 0,163\text{m}
 \end{aligned}$$

Pav. 23. Sijos S – l skerspjūvis

Skaičiuojamas sijos vidurio teorinis įlinkis, kai apkrova 15kN.

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$$\alpha_e = E_s / E_c = 205 / 27 = 7,593 \quad (2.2.1)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio efektyvusis plotas;

$$A_{eff} = b \cdot h + \alpha_e \cdot A_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2};$$

$$A_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} = 0,0236\text{m}^2; \quad (2.2.2)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio statinis momentas sijos apatinio sluoksnio atžvilgiu;

$$S_{eff} = b \cdot h \cdot \frac{h}{2} + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - a_{s2}); \quad (2.2.3)$$

$$S_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 \cdot \frac{0,188}{2} + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,025) = 0,00217\text{m}^3;$$

Skaičiuojamas skerspjūvio atsparumo momentas;

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}; \quad (2.2.4)$$

$$W = \frac{0,12 \cdot 0,188^2}{6} = 7,069 \cdot 10^{-4}\text{m}^3;$$

Skaičiuojamas betono normaliniai įtempiai;

$$\sigma_c = \frac{M_{EK}}{W}; \quad (2.2.5)$$

$$\sigma_c = \frac{2,625 \cdot 10^3}{7,069 \cdot 10^{-4}} = 3,714\text{Mpa};$$

Skaičiuojamas betono deformacijos;

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}; \quad (2.2.6)$$

$$\varepsilon_c = \frac{3,714 \cdot 10^6}{27 \cdot 10^9} = 1,375 \cdot 10^{-4}\text{m};$$

Sudaroma kvadratinė lygtis santykiniam gniuždomo betono aukščiui x_f apskaičiuoti;

$$\left[\frac{\varepsilon_c \cdot (x_f - a_{s2})}{x_f} \cdot E_s \cdot A_{s2} \cdot \left(\frac{x_f}{3} - a_{s2} \right) + \frac{\varepsilon_c \cdot (d - x_f)}{x_f} \cdot E_s \cdot A_{s1} \cdot \left(d - \frac{x_f}{3} \right) = M_{EK} \right] \rightarrow$$

$$\varepsilon_c \cdot \left[\frac{x_f - a_{s2}}{x_f} \cdot E_s \cdot A_{s2} \cdot \left(\frac{x_f}{3} - a_{s2} \right) + \frac{d - x_f}{x_f} \cdot E_s \cdot A_{s1} \cdot \left(d - \frac{x_f}{3} \right) = M_{EK} \right]; \quad (2.2.7)$$

Iš lygties išsiskaičiuojame x_f ;

$$x_f = 0,02572\text{m};$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio inercijos momentas;

$$I_{cr} = \frac{b \cdot x_f^3}{2} + b \cdot x_f \cdot \left(\frac{x_f}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (d - x_f)^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (x_f - a_{s2})^2 ; \quad (2.2.8)$$

$$I_{cr} = \frac{0,12 \cdot 0,02572^3}{2} + 0,12 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{0,02572}{2}\right)^2 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} (0,163 - 0,02572)^2 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,02572 - 0,025)^2 = 1,685 \cdot 10^{-5} m^4 ;$$

Skaičiuojamas sijos įlinkis ties viduriu kai veikia 5kN apkrova;

$$f = k \cdot \left(\frac{M}{E_c \cdot I_{cr}}\right) \cdot l^2; \quad (2.2.9)$$

$$f = 0,113 \cdot \left(\frac{2,625}{27 \cdot 10^6 \cdot 1,685 \cdot 10^{-5}}\right) \cdot 1,3^2 = 1,101 \cdot 10^{-4} m = 1,101 mm;$$

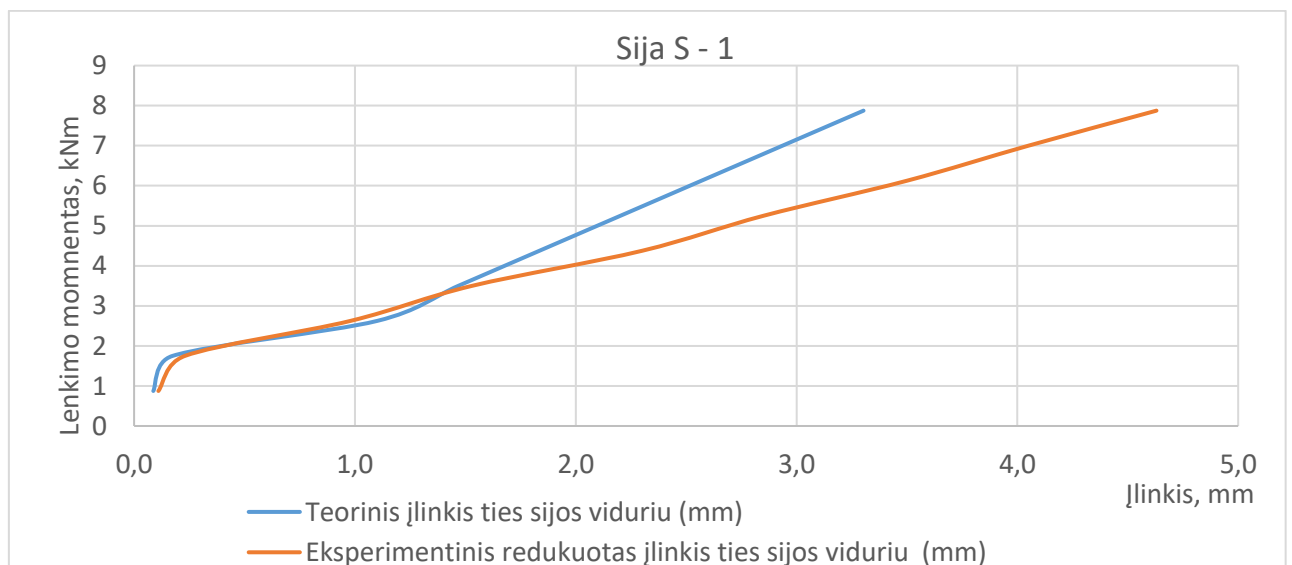
Toliau pateikiamos sijų S – 1 ir S – 2 eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos.

Lentelė 0-1. Nestiprintos sijos S – 1 įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S – 1	5	0,875	0,11	0,087
	10	1,75	0,23	0,174
	15	2,625	0,98	1,101
	20	3,5	1,53	1,468
	25	4,375	2,30	1,835
	30	5,25	2,85	2,202
	35	6,125	3,50	2,569
	40	7	4,05	2,936
	45	7,875	4,63	3,303

Pastaba: Geltoname fone pažymėta ties kuriais lenkimo momentais atsiveria normaliniai plyšiai ir įlinkio skaičiavime vertinamas I_{cr} skerspjūvio inercijos momentas.

Diagrama 13. Sijos S – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos

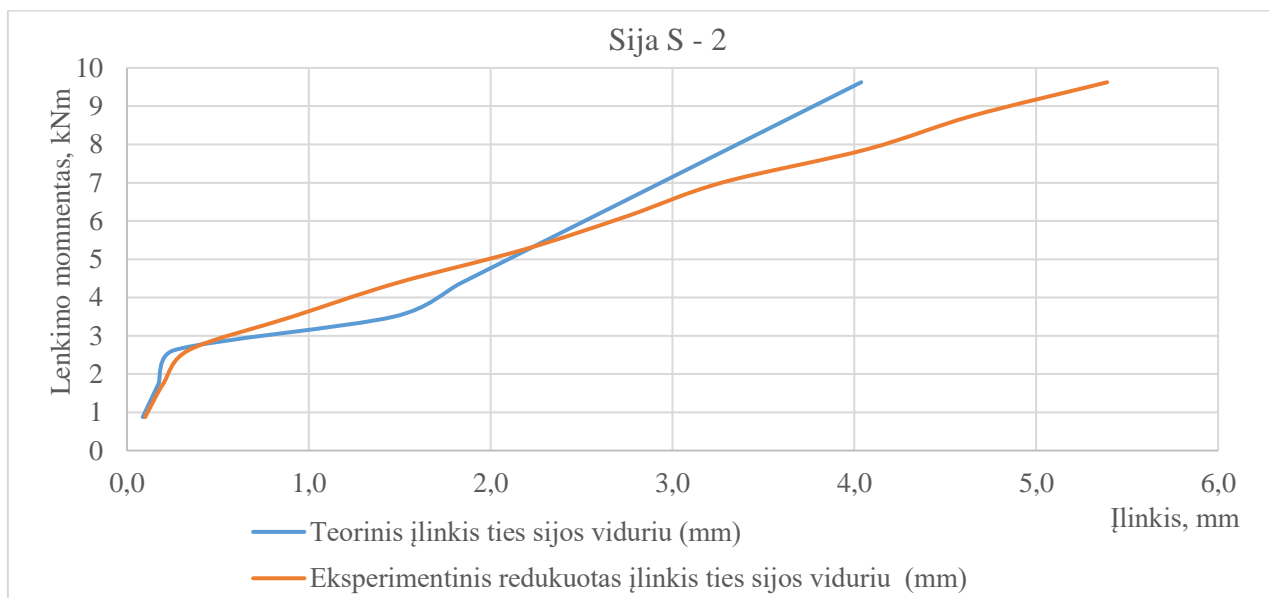


Sijos S – 2 eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos.

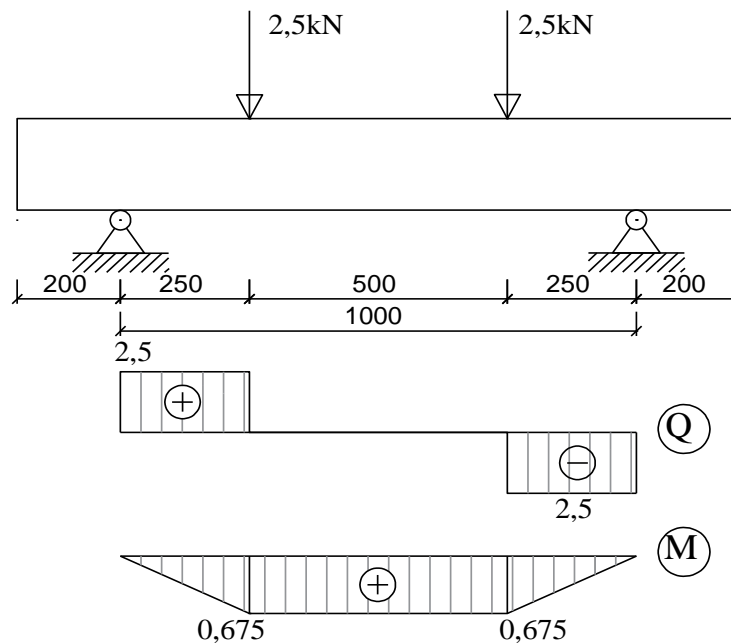
Lentelė 0-2. Nestiprintos sijos S – 2 įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S – 2	5	0,875	0,10	0,087
	10	1,75	0,20	0,174
	15	2,625	0,34	0,261
	20	3,5	0,91	1,468
	25	4,375	1,48	1,835
	30	5,25	2,18	2,202
	35	6,125	2,75	2,569
	40	7	3,27	2,936
	45	7,875	4,07	3,303
	50	8,75	4,65	3,670
	55	9,625	5,39	4,037

Diagrama 14. Sijos S – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



Skaičiuojant sijos S – 3* teorinį įlinkį, pasikeitė skaičiuojamasis sijos ilgis ir apkrovimo schema. Nestiprintos sijos S – 3* skaičiuojamoji schema pateikta žemiau.



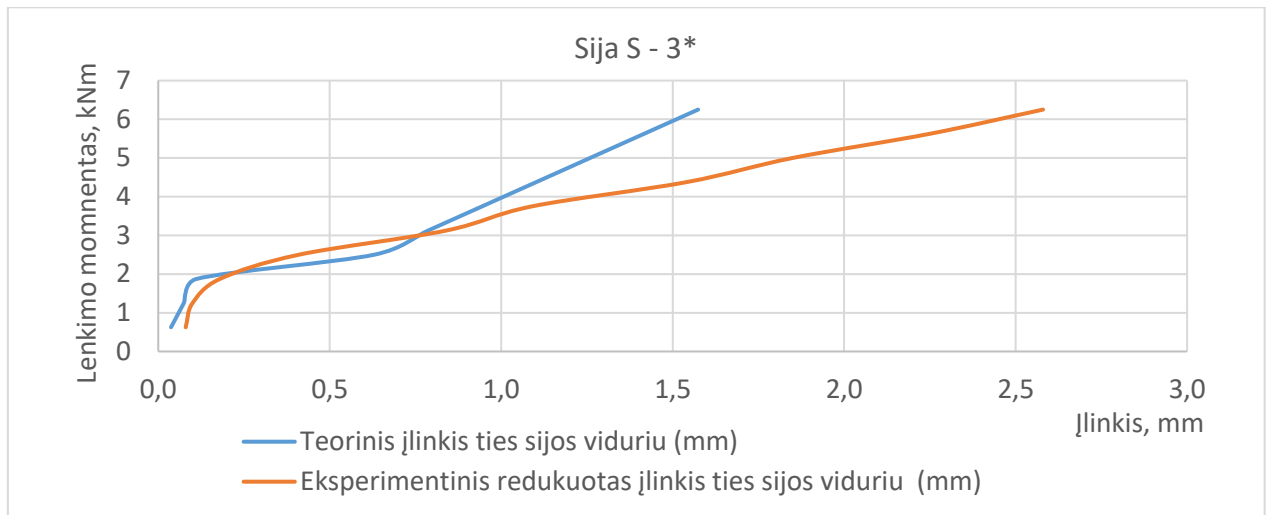
Pav. 24. Nestiprintos sijos S – 3* skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos

Sijos S – 3* eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos.

Lentelė 0-3. Nestiprintos sijos S – 3* įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S – 3*	5	0,625	0,08	0,037
	10	1,25	0,10	0,075
	15	1,875	0,18	0,112
	20	2,5	0,41	0,630
	25	3,125	0,84	0,787
	30	3,75	1,09	0,944
	35	4,375	1,54	1,102
	40	5	1,85	1,259
	45	5,625	2,25	1,417
	50	6,25	2,58	1,574

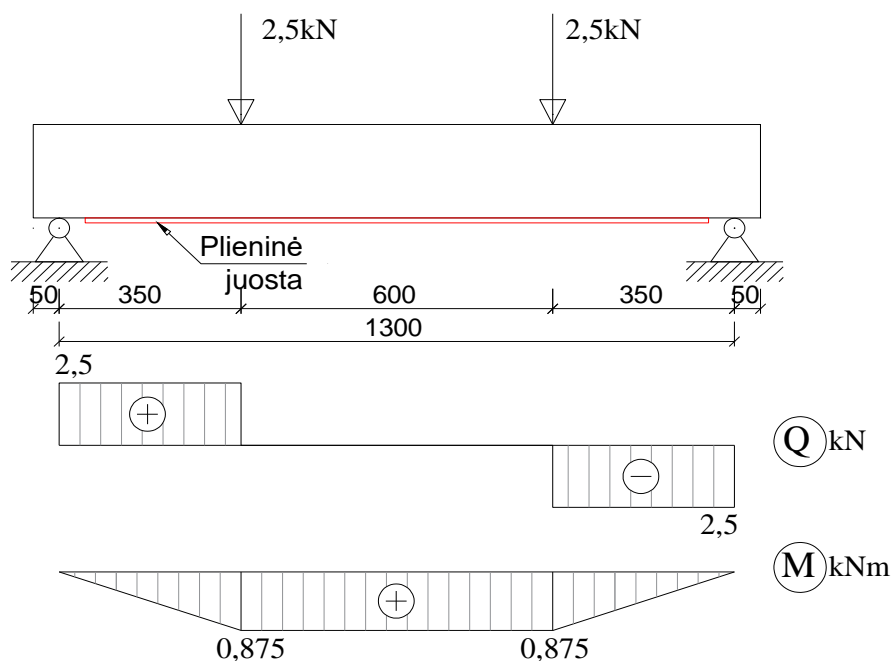
Diagrama 15. Sijos S – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



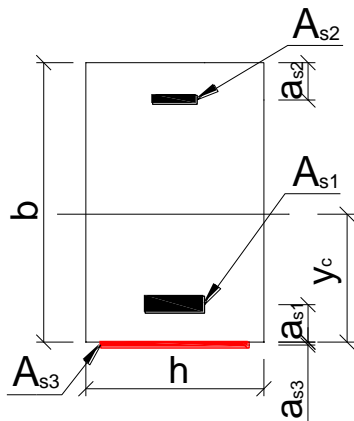
2.3 Sustiprintų sijų plieno juostomis teorinis įlinkio skaičiavimas

Sustiprintų sijų plieno juostomis teorinis įlinkis skaičiuojamas nesant normalinių plyšių atsiradimo momentui. Sijos suiro staiga, per įstrižąjį pjūvį, be normalinių plyšių atsivėrimo. Sijos skerspjūvio inercijos momentas I_{cr} nevertinamas. Gelžbetoninės sijos sukibimas su plienine juosta gali būti apskaičiuojamas naudojant sudėtinių strypų teoriją. Skaičiuojant sijos įlinkį daroma prielaida, kad plieninė juosta ir klijai sudaro vieną sluoksnį, o stiprinama sija – kitą sluoksnį. Šiame skaičiavime ir remiantis eksperimentu daroma prielaida, kad sąlytis tarp plieno juostos ir sijos yra absoliučiai standus. Skaičiuojant šias stiprinamas sijas, daromos prielaidos, kad gniuždomoje zonoje įtempiai yra pastovūs ir lygūs $\sigma_c = f_c$; o tempiamojoje zonoje esantys plieninės strypinės armatūros įtempiai $\sigma_s = f_y$; plieno juostos įtempiai $\sigma_e = f_s$.

Sustiprintų sijų plieninę juosta skaičiuojamoji schema ir skerspjūvio pjūvis pateikiami žemiau.



Pav. 25. Sustiprintų sijų skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos



$b=0,12\text{m}$	Betonas – C12/15
$h=0,188\text{m}$	Armatūra – S500
$l=1,3\text{m}$	$E_s=205\text{Gpa}$
$A_{s1}=1,131 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$	$E_c=27\text{Gpa}$
$a_{s1}=0,025\text{m}$	$E_{st}=210\text{Gpa}$
$A_{s2}=0,57 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$	$M=0,875\text{kNm}$
$a_{s2}=0,025\text{m}$	
$A_{s3}=4,0 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$	
$a_{s3}=0,002\text{m}$	

Pav. 26. Sijos S.P.J. – 1 skerspjūvis

Skaičiuojamas sijos vidurio teorinis įlinkis, kai apkrova 5kN.

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$$\alpha_e = E_s/E_c = 205/27 = 7,593 \quad (2.3.1)$$

Plieno plokštelės ir betono tamprumo modulių santykis;

$$\alpha_s = E_{st}/E_c = 210/27 = 7,778 \quad (2.3.1)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio efektyvusis plotas;

$$A_{eff} = b \cdot h + \alpha_e \cdot A_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} + \alpha_s \cdot A_{s3};$$

$$A_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} + 7,778 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} = 0,0267\text{m}^2; \quad (2.3.2)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio statinis momentas sijos apatinio sluoksnio atžvilgiu;

$$S_{eff} = b \cdot h \cdot \frac{h}{2} + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - a_{s2}) - \alpha_s \cdot A_{s3} \cdot a_{s3}; \quad (2.3.3)$$

$$S_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 \cdot \frac{0,188}{2} + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,025) - 7,778 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot 0,002 = 0,00216\text{m}^3;$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio svorio centro atstumas nuo apatinio sluoksnio;

$$y_c = \frac{S_{eff}}{A_{eff}}; \quad (2.3.4)$$

$$y_c = \frac{0,00267}{0,0236} = 0,081\text{m};$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio inercijos momentas sijos apačios ašies atžvilgiu;

$$I_{eff} = \frac{b \cdot h^3}{2} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - y\right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (y - a_{s1})^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - y - a_{s2})^2 + \alpha_s \cdot A_{s3} \cdot (y - a_{s3})^2; \quad (2.3.5)$$

$$I_{eff} = \frac{0,12 \cdot 0,188^3}{2} + 0,12 \cdot 0,188 \cdot \left(\frac{0,188}{2} - 0,081\right)^2 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} (0,081 - 0,025)^2 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,081 - 0,025)^2 + 7,778 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,081 + 0,0020) = 9,548 \cdot 10^{-5}\text{m}^4;$$

Skaičiuojamas sijos įlinkis ties viduriu kai veikia 5kN apkrova;

$$f = k \cdot \left(\frac{M}{E_c \cdot I_{eff}}\right) \cdot l^2; \quad (2.3.6)$$

$$f = 0,113 \cdot \left(\frac{0,875}{27 \cdot 10^6 \cdot 9,548 \cdot 10^{-5}}\right) \cdot 1,3^2 = 6,5 \cdot 10^{-5}\text{m} = 0,065\text{mm};$$

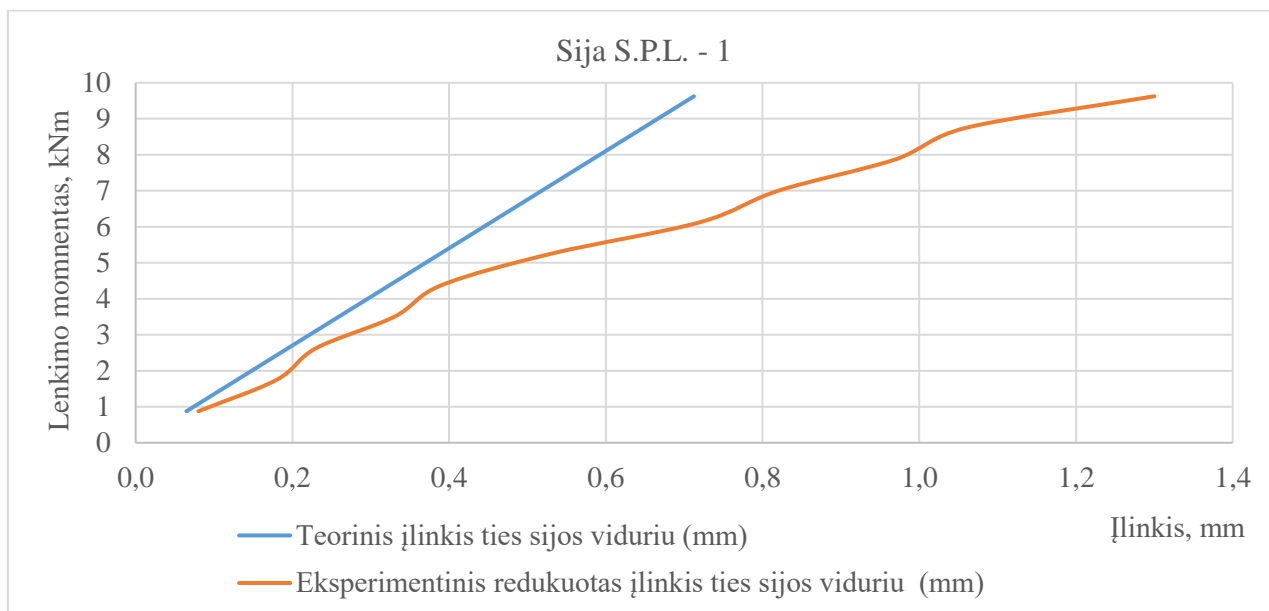
Analogiškai skaičiuojami teoriniai sijų S.P.J. – 1, S.P.J. – 2 vidurio įlinkiai, didinant lenkimo apkrovą.

Toliau pateikiamos sijų S.P.J. – 1 ir S.P.J. – 2 eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos.

Lentelė 0-4. Sustiprintos sijos S.P.J – 1 įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.P.L. – 1	5	0,875	0,08	0,065
	10	1,75	0,18	0,130
	15	2,625	0,23	0,194
	20	3,5	0,33	0,259
	25	4,375	0,39	0,324
	30	5,25	0,53	0,389
	35	6,125	0,72	0,453
	40	7	0,82	0,518
	45	7,875	0,97	0,583
	50	8,75	1,06	0,648
	55	9,625	1,30	0,713

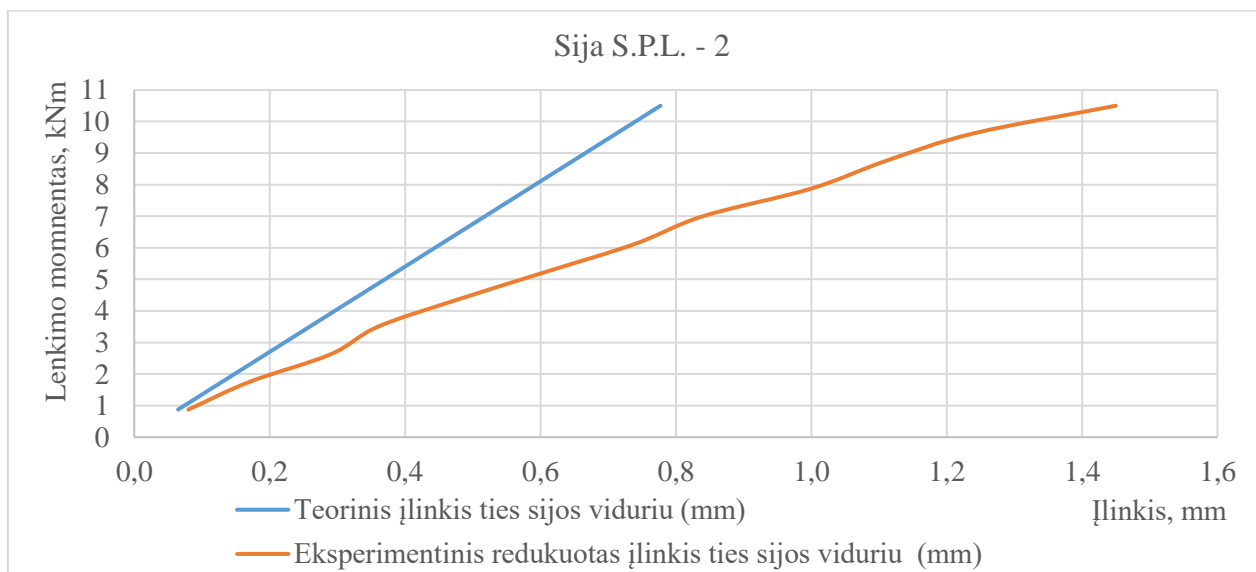
Diagrama 16. Sijos S.P.L. – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



Lentelė 0-5. Sijos S.P.L. – 2 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.P.L. – 2	5	0,875	0,08	0,065
	10	1,75	0,17	0,130
	15	2,625	0,29	0,194
	20	3,5	0,36	0,259
	25	4,375	0,48	0,324
	30	5,25	0,61	0,389
	35	6,125	0,74	0,453
	40	7	0,84	0,518
	45	7,875	1,00	0,583
	50	8,75	1,11	0,648
	55	9,625	1,24	0,713
	60	10,5	1,45	0,777

Diagrama 17. Sijos S.P.L. – 2 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



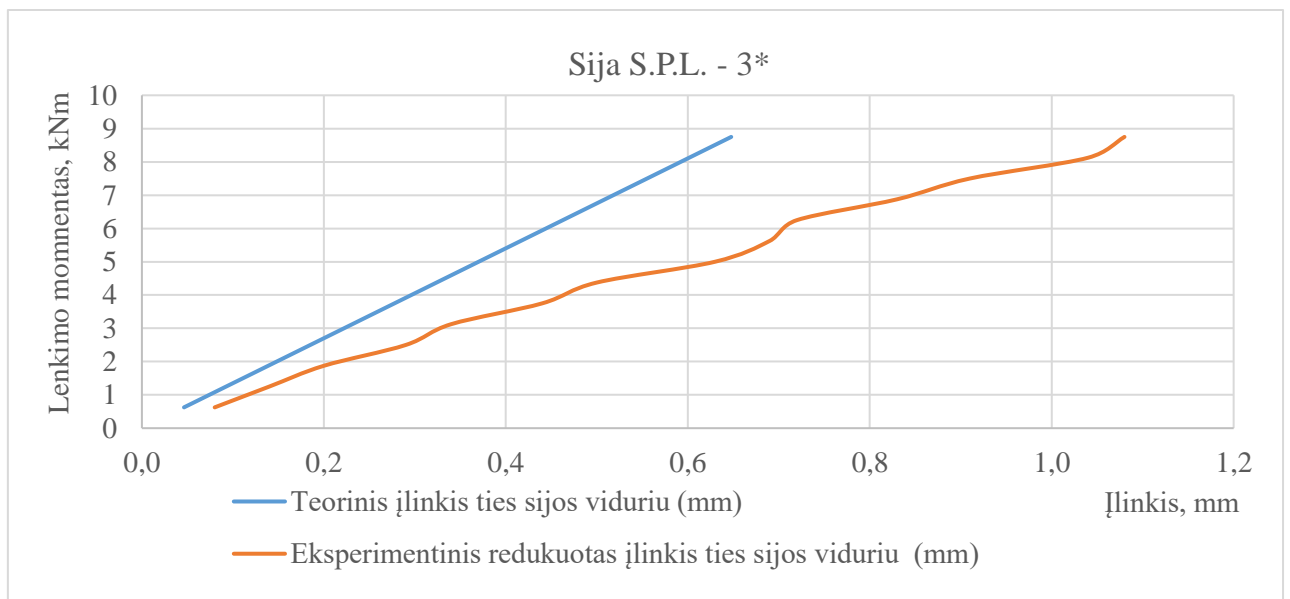
Skaičiuojant sijos S.P.J. – 3* teorinį įlinkį, pasikeitė skaičiuojamasis sijos ilgis ir apkrovimo schema. Skaičiuojant sijos S.P.J. – 3* skaičiuojamoji schema analogiška kaip ir sijos S – 3*. Sija atremiama šarnyriškai ant priklijuotų stiprinamųjų metalinių plokštelių.

Sijos S.P.J. – 3* eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos pateiktos žemiau.

Lentelė 0-6. Sijos S.P.L. – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos

	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.P.L. – 3*	5	0,625	0,08	0,046
	10	1,25	0,14	0,093
	15	1,875	0,20	0,139
	20	2,5	0,29	0,185
	25	3,125	0,34	0,231
	30	3,75	0,44	0,278
	35	4,375	0,50	0,324
	40	5	0,63	0,370
	45	5,625	0,69	0,416
	50	6,25	0,72	0,463
	55	6,875	0,83	0,509
	60	7,5	0,91	0,555
	65	8,125	1,04	0,601
	70	8,75	1,08	0,648

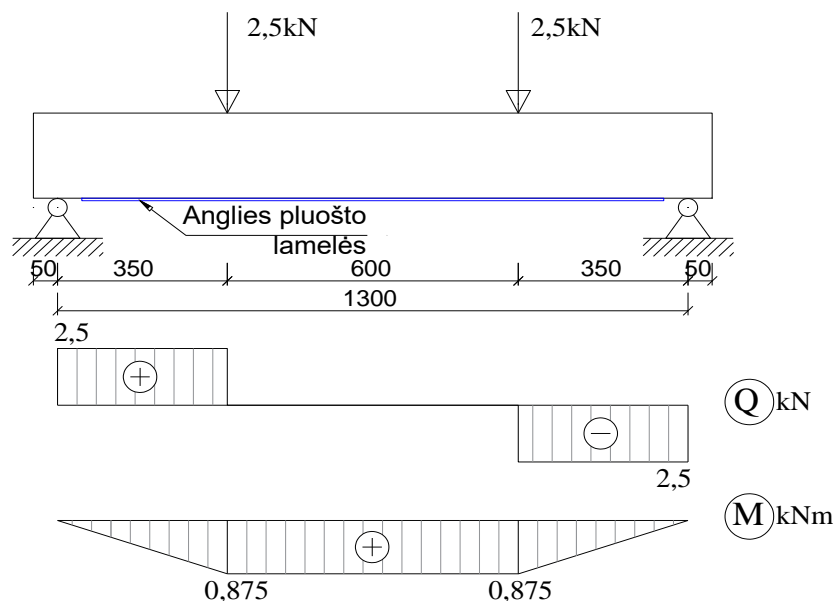
Diagrama 18. Sijos S.P.L. – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



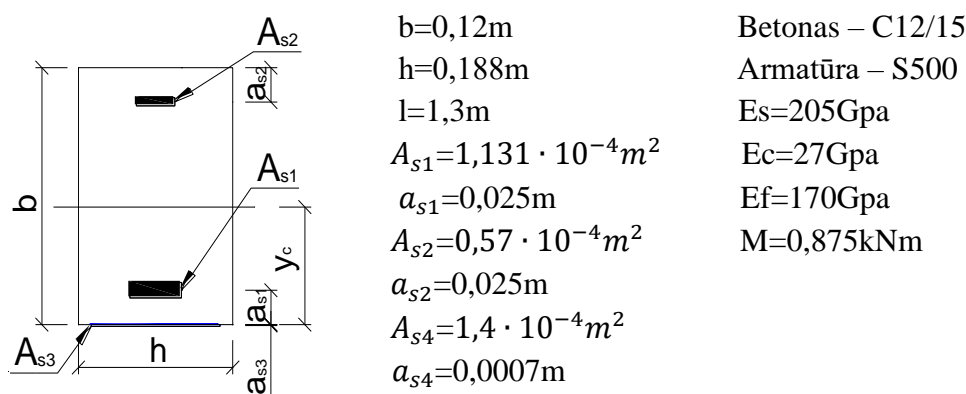
2.4 Sustiprintų sijų anglies pluošto juostomis teorinis įlinkio skaičiavimas

Sustiprintų sijų anglies pluošto juostomis teorinis įlinkis skaičiuojamas nesant normalinių plyšių atsiradimo momentui. Sijos suiro staiga, per įstrižąjį pjūvį, be normalinių plyšių atsivėrimo. Sijos skerspjūvio inercijos momentas I_{cr} nevertinamas. Skaičiuojant šias stiprinamas sijas, daromos prielaidos, kad gniuždomoje zonoje įtempiai yra pastovūs ir lygūs $\sigma_c = f_c$; o tempiamojoje zonoje esantys plieninės strypinės armatūros įtempiai $\sigma_s = f_y$; anglies pluošto juostos įtempiai $\sigma_e = f_e$.

Sustiprintų sijų anglies pluošto juosta skaičiuojamoji schema ir skerspjūvio pjūvis pateikiami žemiau.



Pav. 27. Sustiprintų sijų skaičiuojamoji schema, skersinių jėgų ir lenkimo momento diagramos



Pav. 28. Sijos S.P.J. – I skerspjūvis

Skaičiuojamas sijos vidurio teorinis įlinkis, kai apkrova 5kN.

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$$\alpha_e = E_s/E_c = 205/27 = 7,593 \quad (2.4.1)$$

Plieno plokštelės ir betono tamprumo modulių santykis;

$$\alpha_f = E_f/E_c = 170/27 = 6,296 \quad (2.4.1)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio efektyvusis plotas;

$$A_{eff} = b \cdot h + \alpha_e \cdot A_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} + \alpha_f \cdot A_{s4};$$

$$A_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} + 6,296 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} = 0,0245\text{m}^2; \quad (2.4.2)$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio statinis momentas sijos apatinio sluoksnio atžvilgiu;

$$S_{eff} = b \cdot h \cdot \frac{h}{2} + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - a_{s2}) - \alpha_f \cdot A_{s4} \cdot a_{s4}; \quad (2.4.3)$$

$$S_{eff} = 0,12 \cdot 0,188 \cdot \frac{0,188}{2} + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,025) - 6,296 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0007 = 0,00216\text{m}^3;$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio svorio centro atstumas nuo apatinio sluoksnio;

$$y_c = \frac{S_{eff}}{A_{eff}}; \quad (2.4.4)$$

$$y_c = \frac{0,00216}{0,0245} = 0,089m;$$

Skaičiuojamas sijos skerspjūvio inercijos momentas sijos apačios ašies atžvilgiu;

$$I_{eff} = \frac{b \cdot h^3}{2} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - y\right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (y - a_{s1})^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (h - y - a_{s2})^2 + \alpha_f \cdot A_{s4} \cdot (y + a_{s4})^2; \quad (2.4.5)$$

$$I_{eff} = \frac{0,12 \cdot 0,188^3}{2} + 0,12 \cdot 0,188 \cdot \left(\frac{0,188}{2} - 0,089\right)^2 + 7,593 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} (0,089 - 0,025)^2 + 7,593 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4} \cdot (0,188 - 0,089 - 0,025)^2 + 6,296 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot (0,089 + 0,0007)^2 = 7,77 \cdot 10^{-5} m^4;$$

Skaičiuojamas sijos įlinkis ties viduriu kai veikia 5kN apkrova;

$$f = k \cdot \left(\frac{M}{E_c \cdot I_{eff}}\right) \cdot l^2; \quad (2.4.6)$$

$$f = 0,113 \cdot \left(\frac{0,875}{27 \cdot 10^6 \cdot 7,77 \cdot 10^{-5}}\right) \cdot 1,3^2 = 8,0 \cdot 10^{-5} m = 0,8mm;$$

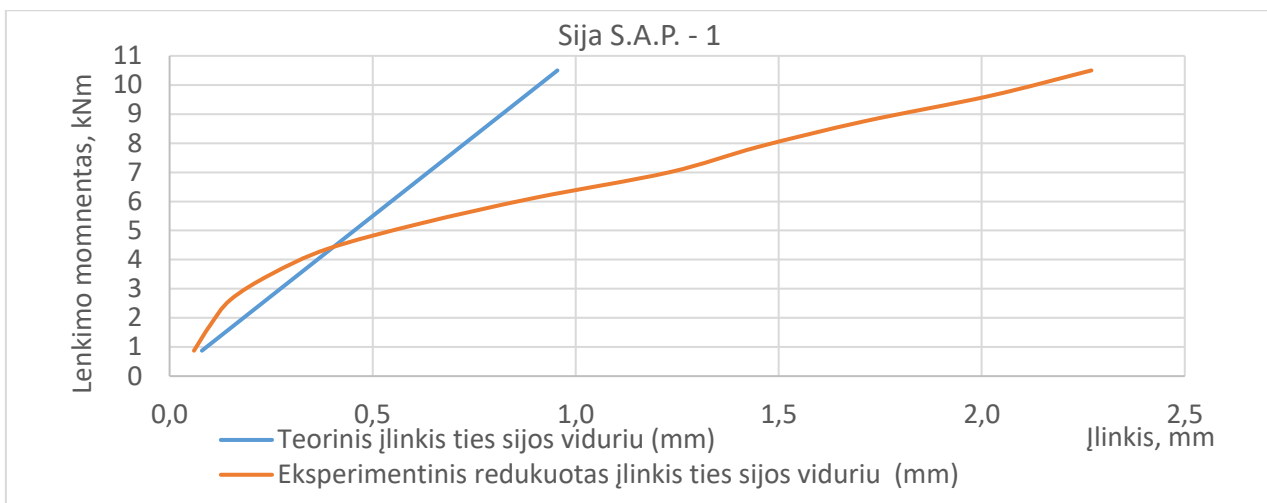
Analogiškai skaičiuojami teoriniai sijų S.A.P. – 1, S.A.P. – 2 vidurio įlinkiai, didinant lenkimo apkrovą.

Toliau pateikiamos sijų S.P.J. – 1 ir S.P.J. – 2 eksperimentinių ir teorinių ilinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos.

Lentelė 0-7. Sustiprintos sijos S.A.P – 1 įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.A.P. – 1	5	0,875	0,06	0,080
	10	1,75	0,10	0,159
	15	2,625	0,15	0,239
	20	3,5	0,25	0,318
	25	4,375	0,39	0,398
	30	5,25	0,62	0,478
	35	6,125	0,90	0,557
	40	7	1,23	0,637
	45	7,875	1,45	0,716
	50	8,75	1,71	0,796
	55	9,625	2,02	0,876
	60	10,5	2,27	0,955

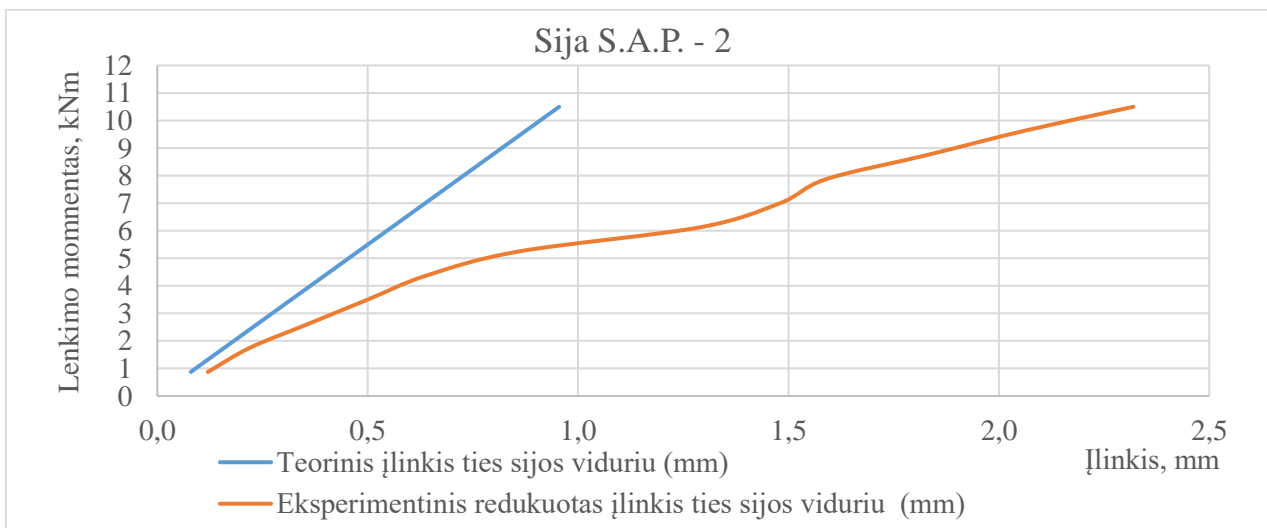
Diagrama 19. Sijos S.A.P. – 1 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



Lentelė 0-8. Sustiprintos sijos S.A.P – 2 įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.A.P. – 2	5	0,875	0,12	0,080
	10	1,75	0,22	0,159
	15	2,625	0,36	0,239
	20	3,5	0,50	0,318
	25	4,375	0,64	0,398
	30	5,25	0,86	0,478
	35	6,125	1,29	0,557
	40	7	1,48	0,637
	45	7,875	1,59	0,716
	50	8,75	1,83	0,796
	55	9,625	2,06	0,876
	60	10,5	2,32	0,955

Diagrama 20. Sijos S.A.P. – 2 eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



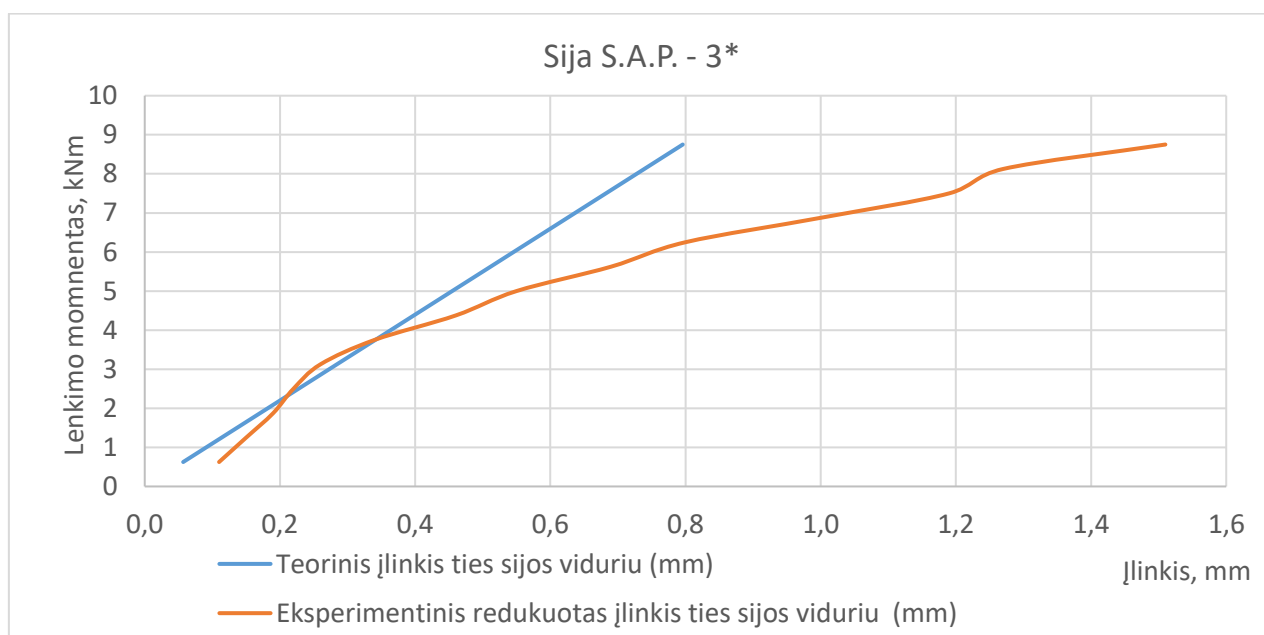
Skaičiuojant sijos S.A.P. – 3* teorinį įlinkį, pasikeitė skaičiuojamasis sijos ilgis ir apkrovimo schema. Skaičiuojant sijos S.A.P. – 3* skaičiuojamoji schema analogiška kaip ir sijos S – 3*. Sija atremiama šarnyriškai ant priklijuotų stiprinamųjų metalinių plokštelių.

Sijos S.A.P. – 3* eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės nuo skirtingų veikiančių lenkimo momentų ir jų palyginamosios diagramos pateiktos žemiau.

Lentelė 0-9. Sustiprintos sijos S.A.P – 3* įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova (kN)	Lenkimo momentas (kNm)	Eksperimentinis redukuotas įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S.A.P. – 3*	5	0,625	0,11	0,057
	10	1,25	0,15	0,114
	15	1,875	0,19	0,171
	20	2,5	0,22	0,227
	25	3,125	0,26	0,284
	30	3,75	0,34	0,341
	35	4,375	0,46	0,398
	40	5	0,55	0,455
	45	5,625	0,69	0,512
	50	6,25	0,80	0,569
	55	6,875	1,00	0,625
	60	7,5	1,19	0,682
	65	8,125	1,27	0,739
	70	8,75	1,51	0,796

Diagrama 21. Sijos S.A.P. – 3* eksperimentiškai ir teoriškai paskaičiuotos momentų ir įlinkių diagramos



2.5 Teorinio įlinkio skaičiavimų rezultatų apibendrinimas

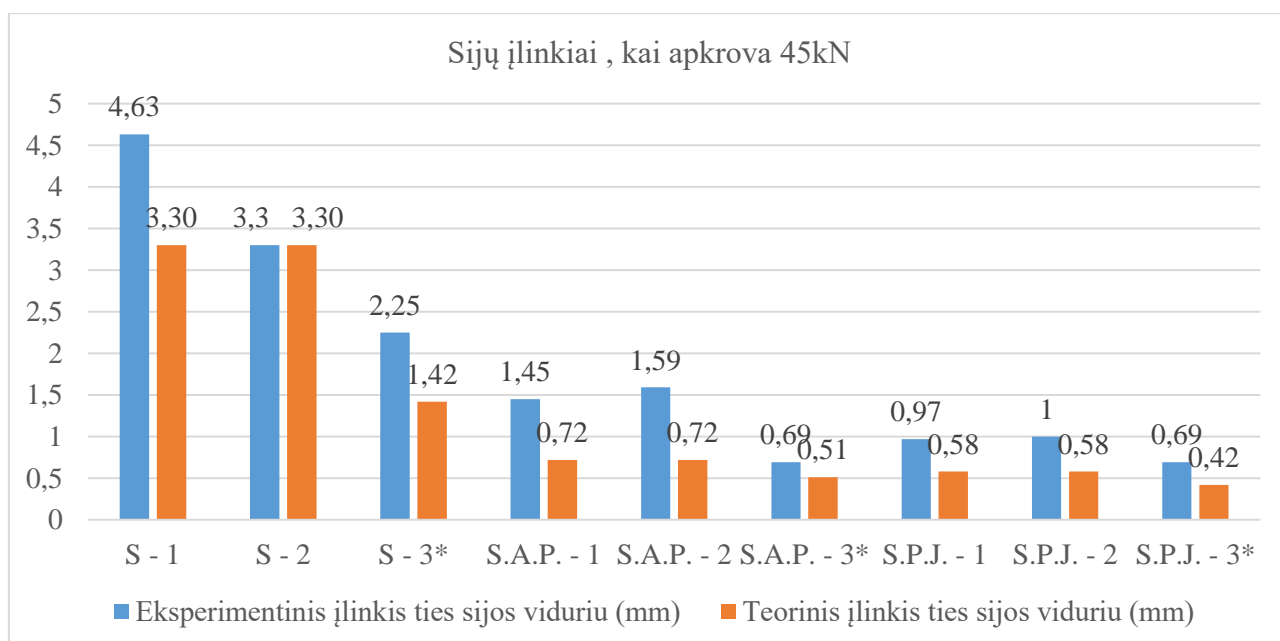
Nestiprintų sijų eksperimentinis įlinkio kitimas, nuo veikiančio lenkimo momento, labai mažai skiriasi nuo apskaičiuoto teorinio. Bandymo metu, lenkiant nestiprintas sijas, vos tik atsivėrus pirmiesiems normaliniams plyšiams pastebėtas ženklus įlinkių padidėjimas. Atsivėrus pirmiesiems normaliniams plyšiams, perskaičiuotas sijos gniuždomos zonos aukštis ir inercijos momentas. Skaičiavimo algoritmas ir naudojama metodika tinkama rezultatų palyginimui.

Sustiprintų sijų plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis įlinkis, nuo veikiančio lenkimo momento, eksperimento pradžioje yra labai panašus kaip ir skaičiuojant analitiniu būdu. Didinant apkrovimo jėga, ties 15kN, pastebėti didesni įlinkių šuoliai, negu skaičiuojant teoriškai. Įvyksta praslydimas klijų sluoksnyje. Skaičiuojant sijų įlinkį analitiniu būdu turi būti įvertintos šlyties deformacijos ir pritaikyti pataisos koeficientai. Sustiprintos sijos papildomais elementais, dėl šlyties deformacijų, negali būti skaičiuojamas kaip visiškai standus vientisas elementas.

Lentelė 0-10. Sijų įlinkių palyginimai

Pavadinimas	Apkrova 45 (kN)	Eksperimentinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)	Teorinis įlinkis ties sijos viduriu (mm)
S – 1	45	4,63	3,30
S – 2	45	3,3	3,30
S – 3*	45	2,25	1,42
S.A.P. – 1	45	1,45	0,72
S.A.P. – 2	45	1,59	0,72
S.A.P. – 3*	45	0,69	0,51
S.P.J. – 1	45	0,97	0,58
S.P.J. – 2	45	1	0,58
S.P.J. – 3*	45	0,69	0,42

Diagrama 22. Sijų įlinkis ties viduriu, kai apkrova 45kN



3. Sijų įlinkio skaičiavimas „SOFISTIK“ programa

Sustiprintų sijų plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis įlinkis, veikiant 45kN apkrovai, skaičiuojamas baigtinių elementų programa „Sofistik“. Programa skaičiuoja remiantis „Eurokodas 4. Kompozitinių plieninių-betoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės“ LST EN 1994-1-1:2005 standartais. Apskaičiuotas teorinis ir kompiuterine programa sijų įlinkis yra labai artimas vienas kitam. Nežymūs nesutapimai galimi dėl skirtingų naudojamų projektavimo normų, juose pateikiamos skaičiavimo metodikos ir koeficientų.

3.1 Sustiprintos sijos plienine juosta įlinkio skaičiavimas

Mat 2 C 12/15 (EN 1992)

Young's modulus	E	27085	[N/mm ²]	Safetyfactor		1.50	[-]
Poisson's ratio	μ	0.20	[-]	Strength	fc	12.00	[MPa]
Shear modulus	G	11285	[N/mm ²]	Nominal strength	fck	12.00	[MPa]
Compression modulus	K	15047	[N/mm ²]	Tensile strength	fctm	1.57	[MPa]
Nominal Weight	γ	25.0	[kN/m ³]	Tensile strength	fctk,05	1.10	[MPa]
Mean density	ρ	2400.0	[kg/m ³]	Tensile strength	fctk,95	2.04	[MPa]
Elongation coefficient	α	1.00E-05	[1/K]	Bond strength	fbd	1.65	[MPa]
				Service strength	fc	20.00	[MPa]
				Fatigue strength	fcd,fat	6.47	[MPa]
				Tensile strength	fctd	0.73	[MPa]
				Tensile failure energy	Gf	0.13	[N/mm]

Stress-Strain for serviceability	ε[o/oo]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	28439
	-0.443	-10.04	17569
	-0.886	-16.03	9884
	-1.329	-19.10	4251
	-1.772	-20.00	0
	-3.500	-10.61	-9509
			Safetyfactor
			1.50

Stress-Strain for ultimate load	ε[o/oo]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	12000
	-2.000	-12.00	0
	-3.500	-12.00	0
			Safetyfactor
			1.50

Stress-Strain of calc. mean values	ε[o/oo]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	23700
	-0.443	-5.52	6250
	-0.886	-7.24	2253
	-1.329	-7.85	735
	-1.772	-8.00	0
	-3.500	-6.97	-934
			Safetyfactor
			(1.50)

Pav. 29. Sijos S.P.J. betono skaičiuojamieji parametrai

Mat 3 B 500 B (EN 1992)

Young's modulus	E	200000	[N/mm ²]	Safetyfactor		1.15	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	fy	500.00	[MPa]
Shear modulus	G	76923	[N/mm ²]	Compressive yield	fyc	500.00	[MPa]
Compression modulus	K	166667	[N/mm ²]	Tensile strength	ft	540.00	[MPa]
Nominal Weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	fc	540.00	[MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		50.00	[o/oo]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		1.00	[-]
max. thickness	t-max	32.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k1	0.80	[-]
				Hardening modulus	Eh	0.00	[MPa]
				Proportional limit	fp	500.00	[MPa]
				Dynamic allowance	σ-dyn	152.17	[MPa]

Stress-Strain for serviceability	ε[o/oo]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	540.00	0
	50.000	540.00	0
	2.500	500.00	842
	0.000	0.00	200000
	-2.500	-500.00	842
	-50.000	-540.00	0
	-1000.000	-540.00	0
	Safetyfactor		1.15

Stress-Strain for ultimate load	ε[o/oo]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	469.57	0
	50.000	469.57	0
	2.174	434.78	727
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	727
	-50.000	-469.57	0
	-1000.000	-469.57	0
	Safetyfactor		(1.15)

Stress-Strain of calc. mean values	ε[o/oo]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	469.57	0
	50.000	469.57	0
	2.174	434.78	727
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	727
	-50.000	-469.57	0
	-1000.000	-469.57	0

Pav. 30. Sijos S.P.J. armatūros skaičiuojamieji parametrai

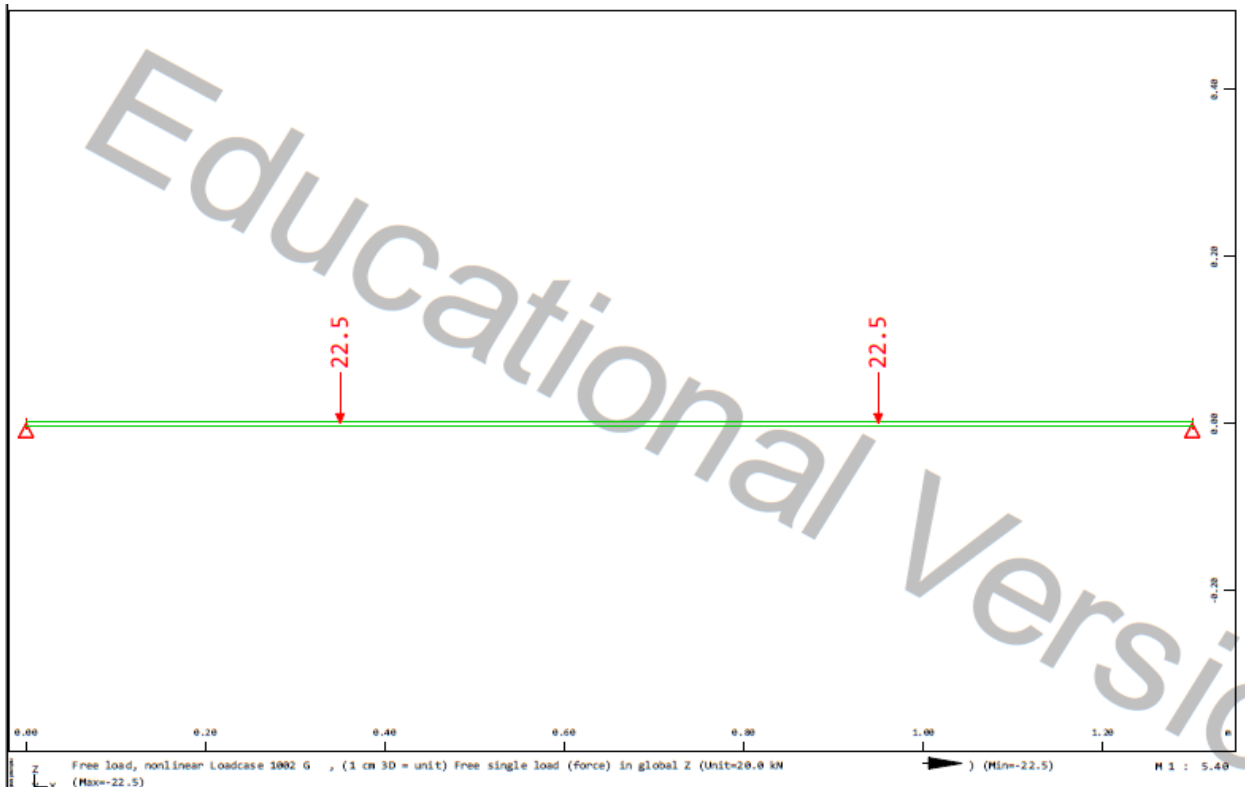
Mat 5 S 275 (EN 1993)

Young's modulus	E	210000	[N/mm ²]	Safetyfactor		1.00	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	fy	275.00	[MPa]
Shear modulus	G	80769	[N/mm ²]	Compressive yield	fyc	275.00	[MPa]
Compression modulus	K	175000	[N/mm ²]	Tensile strength	ft	430.00	[MPa]
Nominal Weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	fc	430.00	[MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		100.00	[o/oo]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		0.00	[-]
max. thickness	t-max	40.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k1	0.00	[-]
				Hardening modulus	Eh	0.00	[MPa]
				Proportional limit	fp	275.00	[MPa]
				Dynamic allowance	σ -dyn	0.00	[MPa]

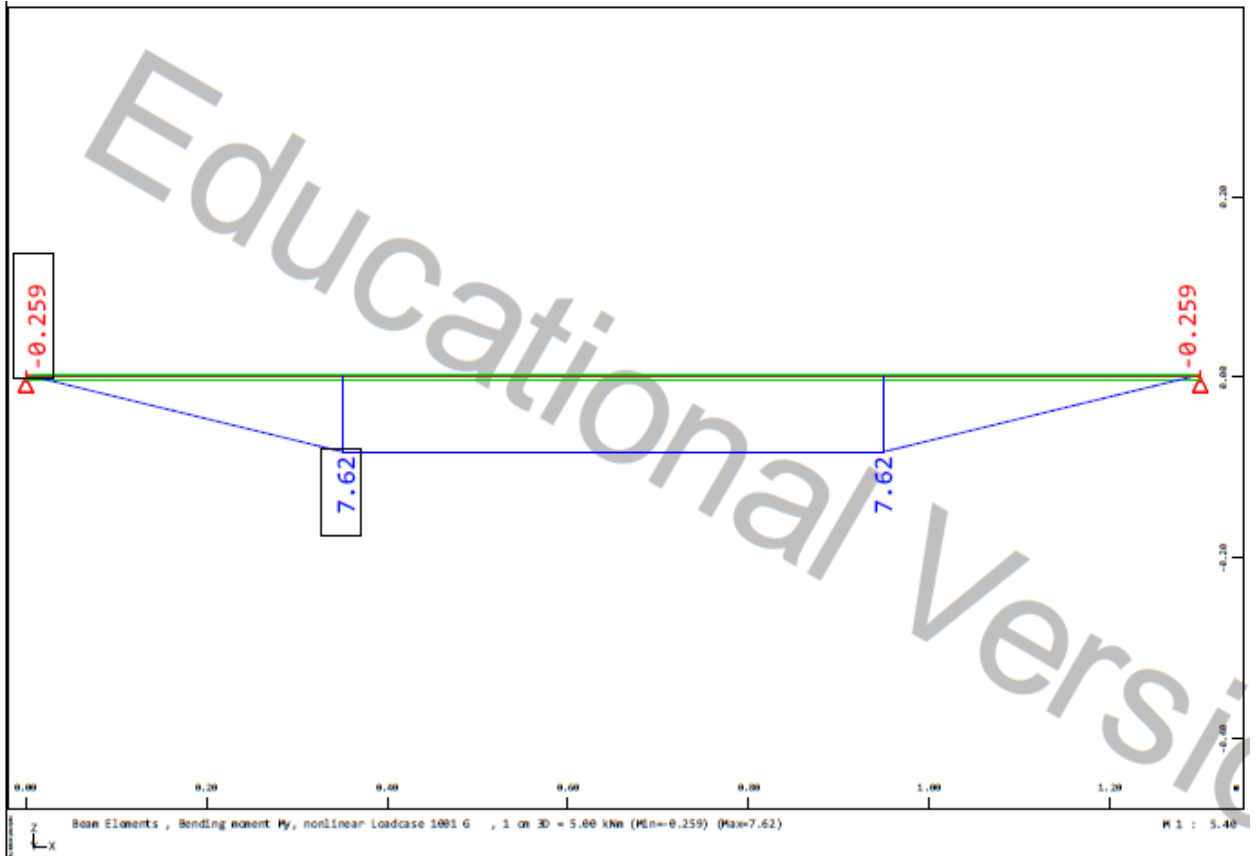
Stress-Strain for serviceability	ϵ [o/oo]	σ -m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	430.00	0
	100.000	430.00	0
	1.310	275.00	1571
	0.000	0.00	210000
	-1.310	-275.00	1571
	-100.000	-430.00	0
	-1000.000	-430.00	0
Safetyfactor			1.00

Stress-Strain for ultimate load	ϵ [o/oo]	σ -u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	430.00	0
	100.000	430.00	0
	1.310	275.00	1571
	0.000	0.00	210000
	-1.310	-275.00	1571
	-100.000	-430.00	0
	-1000.000	-430.00	0
Safetyfactor			1.00

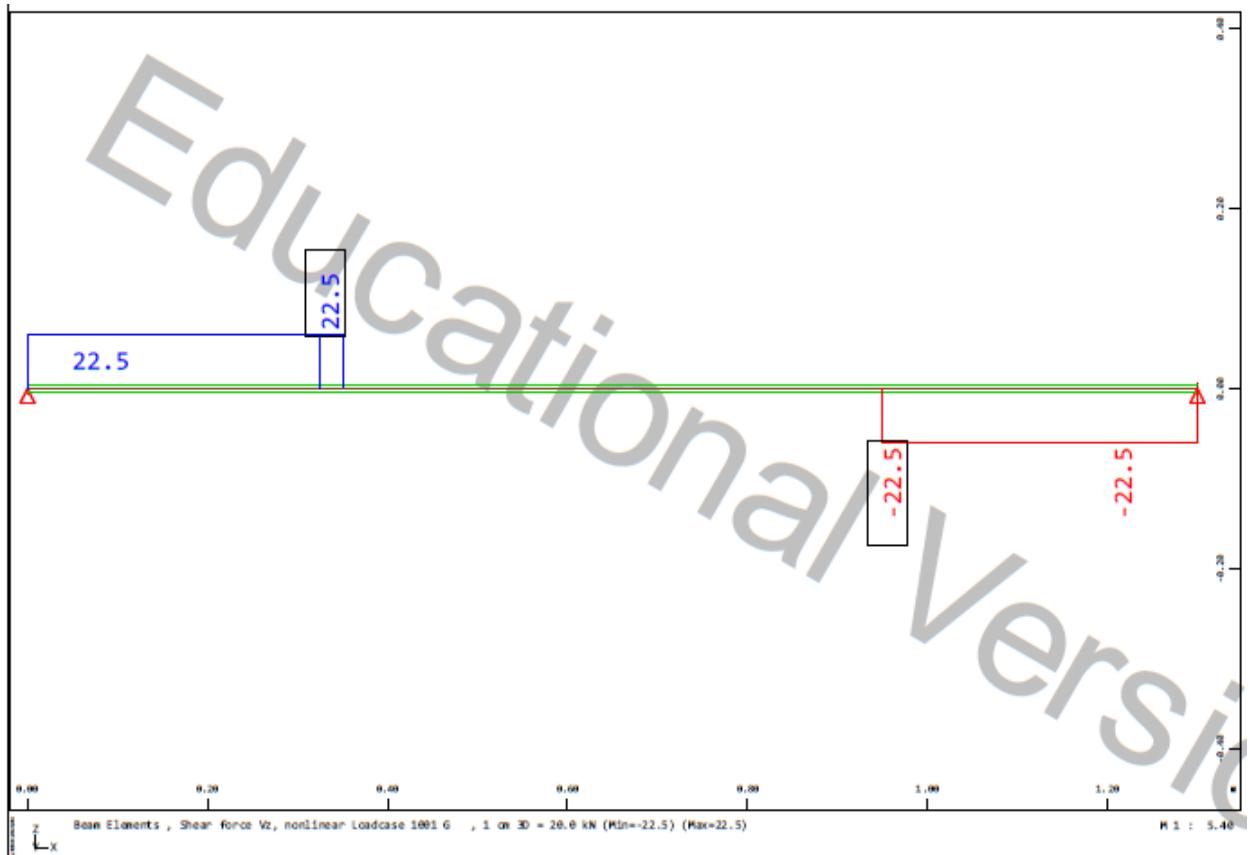
Pav. 31. Sijos S.P.J. priklijuotos plieninės plokštelės skaičiuojamieji parametrai



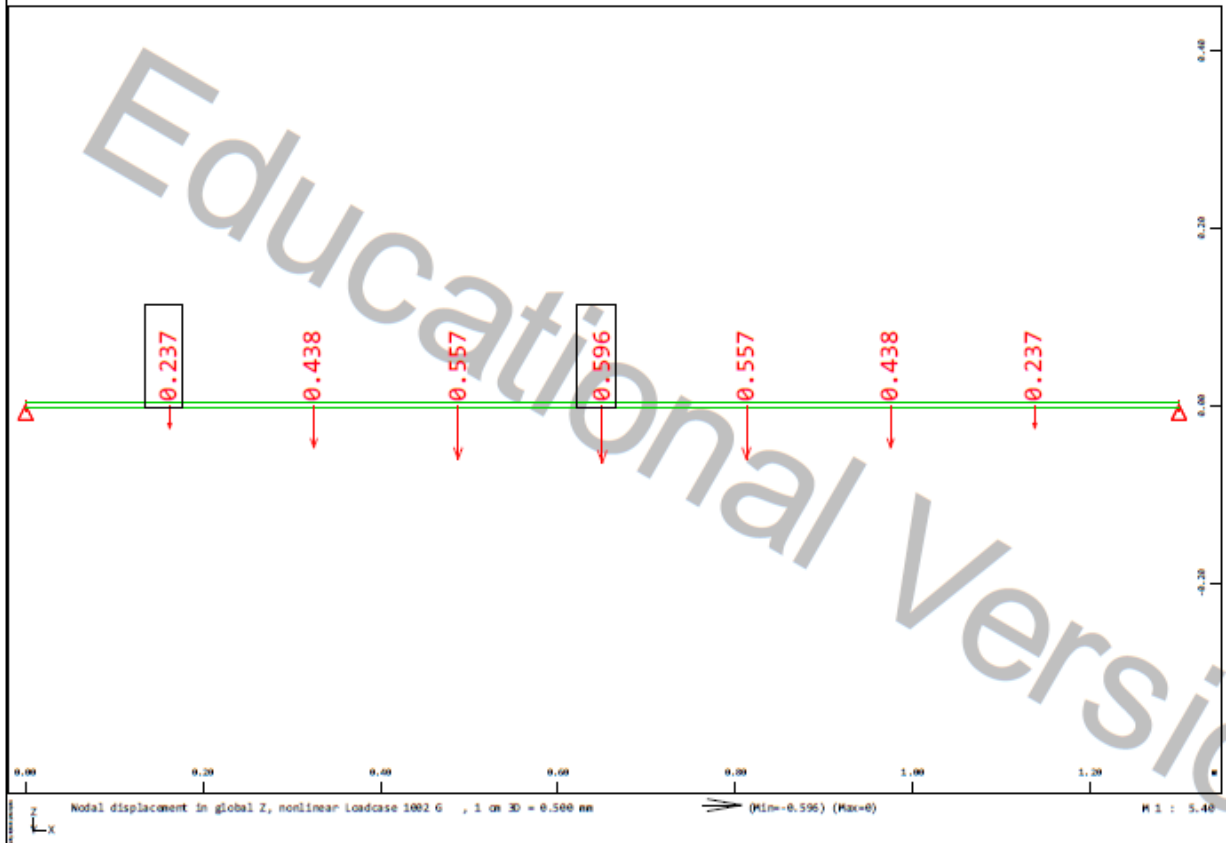
Pav. 32. Sijos S.P.J. skaičiuojamoji schema



Pav. 33. Sijos S.P.J. lenkimo momentų diagrama (kNm)



Pav. 34. Sijos S.P.J. skersinių jėgų diagrama (kN)



Pav. 355. Sijos S.P.J. įlinkiai (mm)



Pav. 366. Sijos S.P.J. įtempių pasiskirstymo diagrama

3.2 Sustiprintos sijos anglies pluošto lamelėmis įlinkio skaičiavimas

Sijos skaičiuojamoji schema, lenkimo momentų ir skersinių jėgų diagramos yra analogiškos kaip ir sijos sustiprintos plienine juosta.

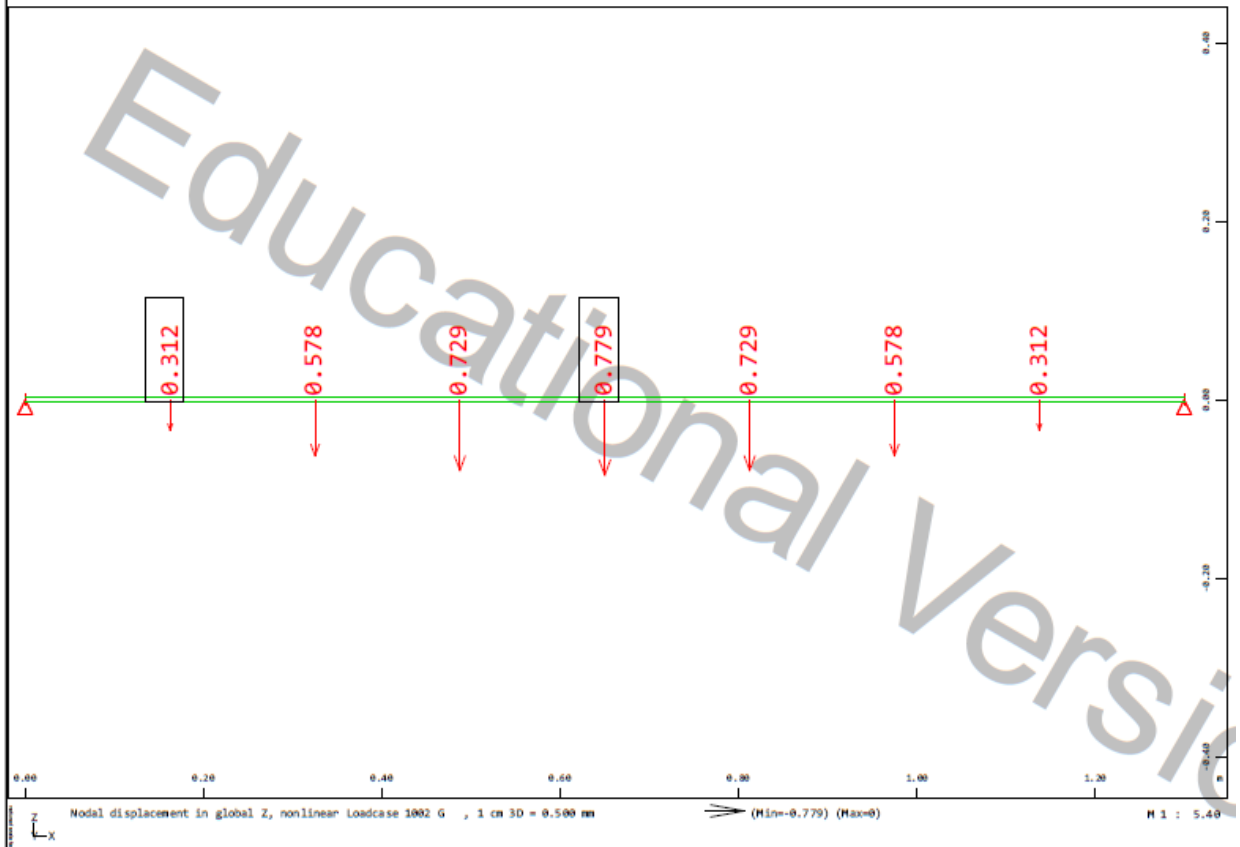
Mat 4 anglies pluoštas

Young's modulus	E	170000	[N/mm ²]	Safetyfactor		1.00	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	fy	3100.00	[MPa]
Shear modulus	G	77	[N/mm ²]	Compressive yield	fyc	3100.00	[MPa]
Compression modulus	K	141667	[N/mm ²]	Tensile strength	ft	3100.00	[MPa]
Nominal Weight	γ	16.1	[kN/m ³]	Compressive strength	fc	3100.00	[MPa]
Mean density	ρ	1610.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		100.00	[o/oo]
Elongation coefficient	α	6.00E-07	[1/K]	relative bond coeff.		0.00	[-]
max. thickness	t-max	16.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k1	0.00	[-]
				Hardening modulus	Eh	0.00	[MPa]
				Proportional limit	fp	3100.00	[MPa]
				Dynamic allowance	σ-dyn	0.00	[MPa]

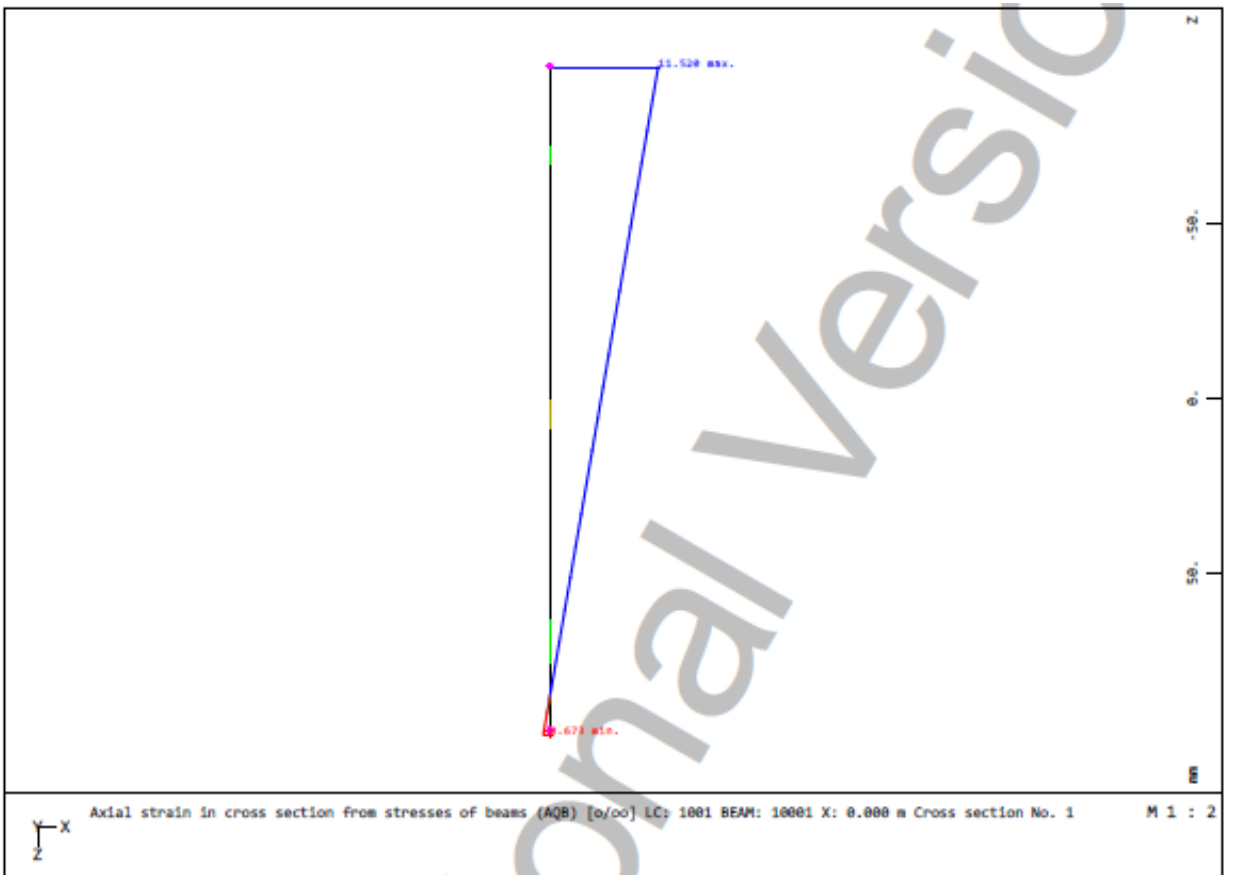
Stress-Strain for serviceability	ε[o/oo]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	3100.00	0
	100.000	3100.00	0
	18.235	3100.00	0
	0.000	0.00	170000
	-18.235	-3100.00	0
	-100.000	-3100.00	0
	-1000.000	-3100.00	0
	Safetyfactor		1.00

Stress-Strain for ultimate load	ε[o/oo]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	3100.00	0
	100.000	3100.00	0
	18.235	3100.00	0
	0.000	0.00	170000
	-18.235	-3100.00	0
	-100.000	-3100.00	0
	-1000.000	-3100.00	0
	Safetyfactor		1.00

Pav. 37. Sijos S.A.P. priklijotos anglies pluošto lapmelės skaičiuojamieji parametrai



Pav. 38. Sijos S.A.P. įlinkiai (mm)



Pav. 39. Sijos S.A.P. įtempių pasiskirstymo diagrama

4. Ekoniminis palyginimas

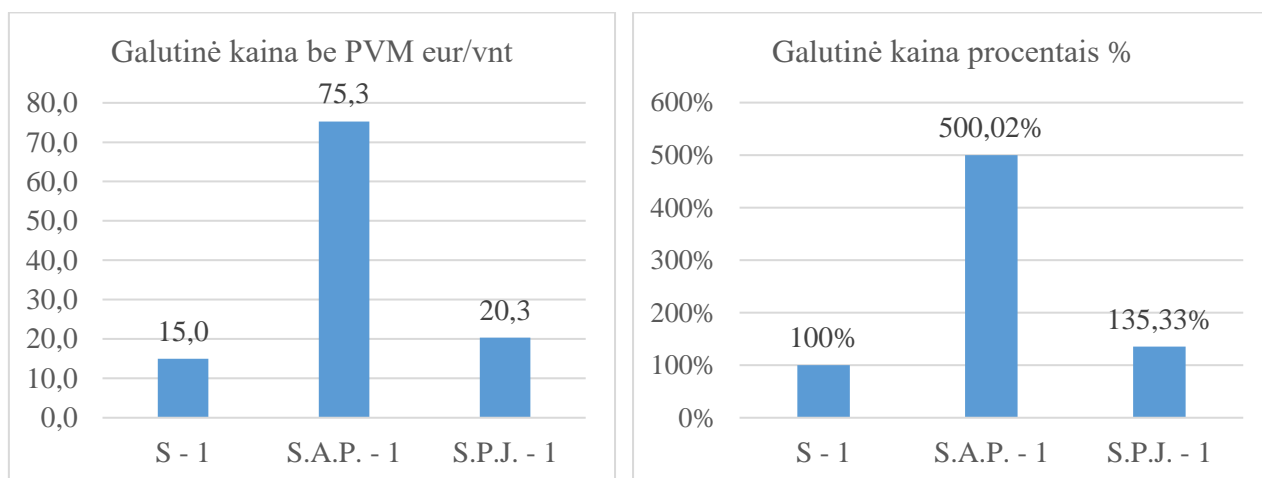
Skaičiavimai atliekami remiantis 2019 12 kainomis, neįvertinus atliekamo darbo įkainių ir PVM.

Lentelė 4-1. Sijų medžiagų kiekių ir jų kainų palyginamoji lentelė

Medžiagų kiekiai				
Pavadinimas	Sija	Gruntas	Klijai	Prikljuojamas elementas
	kg/vnt	kg	kg	m
S - 1	80	-	-	-
S.A.P. - 1	80	0,1	0,15	1,2
S.P.J. - 1	80	0,1	0,15	1,2

Medžiagų kainos				
Sija	Gruntas	Klijai	Prikljuojamas elementas	Viso:
eur/vnt	eur/kg	eur/kg	eur/m	eur/vnt
15	-	-	-	15
15	12,5	9,50	48	75,275
15	12,5	9,50	2,2	20,315

Diagramos 23. Galutinės kainų palyginimo diagramos nestiprintos ir stiprintų sijų



Iš diagramų galime matyti, kad sijos sustiprinimas plienine juosta, bendrą konstrukcijos kainą padidina 1,35 karto, negu paprastos nestiprintos sijos. Sijos sustiprintos anglies pluošto lamele bendra kaina išauga net 5 kartus. Pigesnis stiprinimo variantas yra plienine juosta, kadangi anglies pluoštas, kaip kompozitinė medžiaga yra dar labai brangi naudoti statybinėse konstrukcijose kaip stiprinamasis elementas.

Išvados

Nestiprintos MU-14 tipo sąramos lenkimo laikomoji galia apie 1,6 karto didesnė negu deklaruojama.

Sijų, sustiprintų plienine juosta, laikomoji galia buvo apie 1,6 karto didesnė nei deklaruojama.

Bandymo metu nepastebėta normalinių plyšių atsivėrimo. Sijos suiro pasiekusios įstrižojo pjūvio laikomosios galios ribą.

Sijų, sustiprintų anglies pluošto lamelėmis, laikomoji galia buvo apie 1,7 karto didesnė nei deklaruojama. Bandymo metu nepastebėta normalinių plyšių atsivėrimo. Sijos suiro pasiekusios įstrižojo pjūvio laikomosios galios ribą.

Pakeitus atrėmimo tipą ir atrėmimo taškus pastūmus per 15 cm nuo sijos krašto, nestiprintos MU -14 tipo sąramos laikomoji galia padidėjo 2 kartus, sija suiro pasiekusi normalinio pjūvio stiprumo ribą. Sijų, sustiprintų plienine juosta ir anglies pluošto lamelėmis, laikomoji galia padidėjo atitinkamai 2,6 ir 3,5 karto (kai sijos buvo atremtos ant priklijuoto elemento). Bandymo metu nepastebėta normalinių plyšių atsivėrimo. Sijos suiro staiga, klijams netekus sukibimo su sija. Elementų suirimas įvyko pasiekus įstrižojo pjūvio stiprumo ribą.

Sijų, sustiprintų abiem būdais, įlinkis apkrovos metu yra daugiau negu du kartus mažesnis lyginant su nestiprinta sija. Skaičiuotas teorinis nestiprintų sijų įlinkis yra 1,3 karto mažesnis negu eksperimentinis išmatuotas įlinkis. Sustiprintų sijų skaičiuotas teorinis įlinkis yra apie 1,5 didesnis, negu eksperimentinis išmatuotas įlinkis. Sustiprintos sijos iki tam tikros apkrovimo jėgos dirba kaip vientisas elementas su priklijuotais stiprinamaisiais pluoštais, sijos suteikiamas papildomas standumas.

Suskaičiuotas sustiprintų sijų įlinkis, kompiuterine programa, labai mažai skyrėsi nuo teorinio skaičiavimo modelio. Minimalūs skirtumai galimi dėl taikomų skirtingų skaičiavimo normų ir metodikos.

Pasirinktas stiprinimo būdas, kai nestiprinamas įstrižasis pjūvis, gali būti naudojamas norint ženkliai sumažinti konstrukcijų įlinkius, išvengiant normalinių plyšių atsivėrimo.

Įvertinus sijų stiprinimą skirtingomis medžiagomis, ekonomiškumo ir sijos įlinkio atžvilgiu, matome kad racionaliausias sprendimas sijas stiprinti plieninėmis juostomis. Sijų stiprinimas plienine juosta, konstrukcijos kainą padidina apie 1,35 karto, tuo tarpu stiprinant anglies pluošto lamele – 5 kartus. Anglies pluoštas, kaip kompozitinė medžiaga, kol kas yra labai brangi, todėl jos panaudojimas statybų sektoriuje yra dar labai ribotas. Anglies pluošto audiniai dažniau naudojami kai stiprinamos sudėtingo skerspjūvio konstrukcijos, trumpi darbų atlikimo terminai ar norima kuo mažiau apkrauti stiprinamą konstrukciją.

Literatūros sąrašas

1. VALIVONIS, J. ir MARČIUKAITIS, G. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo anglies pluoštu technologiniai ir konstrukciniai ypatumai. *Techological and Economic Development of Economy*, 01 January 2006, Vol.12(2), p.77-83. [žiūrėta 2018-12-16]. Prieiga per: doi:10.1080/13928619.2006.9637726.
2. PRANIAUSKAS, Tautvydas. *Gelžbetoninių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra tyrimas: magistro darbas* [interaktyvus]. KTU, 2017 [žiūrėta 2019-11-05]. Prieiga per: <https://core.ac.uk/download/pdf/80047806.pdf>
3. TALJSTEN, B. *FRP strengthening of concrete structures: new inventions and applications*. Lulea University of Technology, Sweden, 2004 [žiūrėta 2018-12-04]. Prieiga per: doi: [org/10.1002/pse.174](https://doi.org/10.1002/pse.174).
4. HARMON TG ir kt. Bond of surface-mounted fibre-reinforced polymer reinforcement for concrete structures. *ACI Structural Journal* 2002: 100(5): 557–564.
5. ELGABBAS F. ir kt. Different CFRP strengthening techniques for prestressed hollow core concrete slabs: Experimental study and analytical investigation. *Composite Structures*. 2010, Vol. 92, pp. 401-411. [žiūrėta 2018-12-05]. Prieiga per: doi:10.1016/j.compstruct.2009.08.015.
6. EL-ENEIN ir kt. Flexural strengthening of reinforced concrete slab–column connection using CFRP sheets. *Construction and Building Materials*. 30 April 2014, Vol.57, pp.126-137. [žiūrėta 2018-12-05]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.077.
7. MINI, K.M ir kt. Experimental study on strengthening of R.C beam using glass fibre reinforced composite. *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 50, No.3 (201) 275-286. [žiūrėta 2018-12-07]. Prieiga per: doi:<http://dx.doi.org/10.12989/seam.2014.50.3.275>.
8. TRAN-NGUYEN ir kt. Proceedings of the 4th Congress International de Geotechnique-Ouvrages-Structures: CIGOS 2017, 26-27 October, Ho Chi Minh City, Vietnam. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per: doi:10.1007/978-981-10-6713-6.
9. RAHMAN ir kt. Innovative hybrid bonding method for strengthening reinforced concrete beam in flexure. *Construction and Building Materials*, 15 March 2015, Vol.79, pp.370-378. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per: doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.12.081.
10. W. INGE ir kt. Strengthening method of concrete structure. *Earth and Environmental Science* 126 (2018) 012051. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/323820926> Strengthening method of concrete structure
11. JUMAAT, M. Z. ir MD. A. ALAM. Strengthening of R.C. Beams Using Externally Bonded Plates and Anchorages. Prof. Dept. Of Civil Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur.

2008. [žiūrėta 2018-12-16]. Prieiga per:
<https://www.researchgate.net/publication/234078036> Strengthening of RC beams using external ly bonded plates and anchorages.

12. FARIA, DUARTE, M.V. ir kt. Strengthening of flat slabs with post-tensioning using anchorages by bonding. *Engineering Structures*, 2011, Vol.33(6), pp.2025-2043. [žiūrėta 2018-12-16]. Prieiga per: doi:10.1016/j.engstruct.2011.02.039.

13. DAUGEVIČIUS, M. Ilgalaikės apkrovos itaka anglies pluoštu sustiprintų lenkiamųjų gelžbetoninių elementų elgsenai. Vilnius „Technika“ 2010. [žiūrėta 2018-12-16]. Prieiga per: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:1983013/1983013.pdf>.

14. VASUDEVAN, G. ir KOTHANDARAMAN, S. Finite Element Analysis og Bearing Capacity of RC Beams Retrofitted External Bars. *Stength of Materials*, 2014, Vol.46(6), pp. 831-842. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per: doi:10.1007/s11223-014-9617-8.

15. KACHLAKEV, D. ir kt. Finite Element Modeling of Convrete Structure Strengthened with FRP Laminate-Final Report. Oregon Department of Transportation Research Group. 2001. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per: <https://trid.trb.org/view/681504>.

16. RITCHIE, P. A ir kt. External Reinforcement of Concrete Beams using Fiber-Reinforced plastics. ATLSS Engineering Research Center Lehigh University. 1990. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per: <https://trid.trb.org/view/681504>.

17. KIKUKAWA, K. ir kt. Flexural reinforcement of concrete floor slabsby carbon fiber textiles. *Composites Interfaces*, 01 January 1997, Vol.5(5), p.469-478. [žiūrėta 2018-12-16]. Prieiga per: doi:10.1163/156855498X00270.

18. JOKUBAITIS, V. ir ŠAUČIUVĖNAS, G. *Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas: mokomoji knyga.* Vilnius „Technika“ 2012.

19. STR 2.05.05:2005 *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.* Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005.

Priedai

Eksperimento fotofiksacija



Pav. 1. Nestiprintos sijos apkrovimas



Pav.2. Nestiprintos sijos suirimas



Pav.3. Nestiprintos sijos suirimas įstrižajame pjūvyje



Pav. 4. Sustiprintos, plienine juosta, sijos apkrovimas



Pav.5. Sustiprintos, plienine juosta, sijos suirimas įstrižajame pjūvyje



Pav. 6. Sustiprintos, anglies pluošto lamele, sijos apkrovimas



Pav.7. Sustiprintos, anglies pluošto lamele, sijos suirimas įstrižajame pjūvyje



Pav. 8. Sustiprintos, anglies pluošto lamele, sijos apkrovimas, kai priklijuotas elementas užspaudžiamas atramose



Pav.9. Sustiprintos, anglies pluošto lamele, sijos suirimas įstrižajame pjūvyje, , kai priklijuotas elementas užspaudžiamas atramose



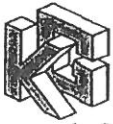
Pav.10. Sustiprintos, anglies pluošto lamele, sijos suirimas įstrižajame pjūvyje, , kai priklijuotas elementas užspaudžiamas atramose



Pav. 11. Sustiprintos, plienine juosta, sijos apkrovimas, kai priklijuotas elementas užspaudžiamas atramose



Pav.12. Sustiprintos, plienine juosta, sijos suirimas įstrižajame pjūvyje, , kai priklijuotas elementas užspaudžiamas atramose



EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ DEKLARACIJA

Nr. 008-2019

1. Unikalus produkto tipo identifikacinis kodas: *gelžbetoninės laikantios sąramos MU, gelžbetoninės nelaikantios sąramos M bei laikantios ir nelaikantios PB tipo sąramos pagal IST 2074832–18: 2004 bei LST EN 13369.*

2. Gamintojo numatyta statybos produkto naudojimo paskirtis ar paskirtys pagal taikomą techninę specifikaciją: *naudojamos ne didesnėm negu 4,5m angoms sienose ir pertvarose perdengti.*

3. Gamintojo pavadinimas ir kontaktinis adresas: *UAB „Kauno gelžbetonis“, Pramonės pr. 8, 51223 Kaunas. www.kaunogelzbetonis.lt, info@kaunogelzbetonis.lt, (8-37) 353063.*

4. Įgaliotasis atstovas _____

5. Statybos produkto eksploatacinių savybių pastovumo vertinimo ir tikrinimo sistema: *sistema 4 (bendrovės vidinės gamybos kontrolės sistema).*

6a. Standartas: *IST 2074832–18: 2004 bei LST EN 13369*

6b. Paskirtoji įstaiga:

7. Deklaruojamos eksploatacinės savybės:

Esminės charakteristikos	Eksploatacinės savybės	Techninė specifikacija
<i>Betono stipris gniuždant:</i>		
<i>- MU-18; MU-20; MU-30; MU-31; MU-32</i>	<i>C16/20</i>	<i>IST 2074832–18: 2004; LST EN 12390-3; LST EN 206; LST 1974;</i>
<i>- MU-14; MU-16; MU-22; MU-24; MU-24-1; MU-26; MU-26U; MU-28; MU-28-1; MU-28-2</i>	<i>C12/15</i>	
<i>- M ir PB</i>	<i>C12/15</i>	
<i>Armatūrinis plienas</i> <i>- ribinis stipris tempiant</i> <i>- takumo riba tempiant</i>	<i>$f_{tk} = 624 \text{ N/mm}^2$ $f_{yk} = 555 \text{ N/mm}^2$</i>	<i>LST EN 10080; LST ISO 156301; LST ISO 15630-3;</i>

8. Atitinkami techniniai dokumentai ir (arba) specifiniai techniniai dokumentai: *IST 2074832–18: 2004; LST EN 13369, darbo brėžinių serija LIŽ-1(MU, M, PB), darbo brėžinių serijos 1.038.1-1; S1.038.1-1.4 (M, PB).*

Nurodyto produkto eksploatacinės savybės atitinka visas deklaruotas eksploatacinių savybių vertes. Ši eksploatacinių savybių deklaracija pateikiama vadovaujantis Reglamentu (ES) Nr.305/2011, atsakomybė už jos turinį tenka joje nurodytam gamintojui.

Gamybos data: nuo 2019-03-01

Įgalioto asmens pareigos _____

(parašas, vardas, pavardė)

Medžiagų ir gaminių kokybės
kontrolės tarnybos viršininkė
Ierėsė Matusevičienė
tel. 8-614-21558

Eksploatacinių savybių deklaracija be lydraščio (sąskaitos - faktūros, važtaraščio ar kito produkta lydinčio dokumento) negalioja.

Eksploatacinių savybių deklaracijos gavėjas *aušraugai konieceris ka*

Dokumento Nr. *40000896*

Produkcijos kiekis *mu-14 = 94*

Asmens, įgalioto pardavimo informinimui parašas.....

Data *2019.04.03*

Gamybos ir rinkodaros tarnybos
viršininko pavaduotoja
Virginija Grabnickienė
Tel. 451714

**IŠANKSTINĖ SAŠKAITA**

Serija PARD UZS Nr. SU100345

Data: 2019-12-02

Lapas 1 iš 1

Pardavėjas:**AB "Lytagra"**

Ateities pl. 50, LT-52106 KAUNAS, Lietuva

Tel. Nr.: 837405409

El. paštas: lytagra@lytagra.lt

Įmonės kodas: 133370289

PVM mokėtojo kodas: LT333702811

Banko pavadinimas: AB SEB BANKAS

CBVILT2X

Sąskaitos Nr.: LT487044060003091303

Pirkėjas - mokėtojas: (P036607)

Mindaugas Končauskas

Įmonės kodas:

Sutarties Nr.:

Mokėjimo būdas: Atsiskaitymas grynais

Nr.	Kodas/ Brūkšninis kodas	Pavadinimas	Kiekis	Mat. vnt.	Vieneto kaina be PVM, EUR	Suma be PVM su nuolaida, EUR
1	070303108 2000703031088	LAPAS 4X1500X6000 mm S275	1	t	582,64463	582,64
			1		Iš viso suma, EUR	582,64
					21% PVM, EUR	122,36
					Iš viso suma su PVM, EUR	705,00

Suma su PVM žodžiais, EUR: Septyni šimtai penki EUR 00 ct.

Neto svoris: 1 000kg

Bruto svoris: 1 000kg

Sąskaitą išrašė:

Pard. vadybininkas Alvaras Svincovas

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Sąskaitą gavo:

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)