



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

**Tautvydas Praniauskas**

**Gelžbetoninių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra  
tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Saulius Sušinskas

**PANEVĖŽYS, 2017**

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

**Gelžbetonių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra  
tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Statyba (kodas 621J80001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Saulius Sušinskas  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Danas Garuckas  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Tautvydas Praniauskas  
(data)

**PANEVĖŽYS, 2017**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

### PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Tautvydas Praniauskas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba (kodas621J80001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Gelžbetoninių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Tautvydo Praniausko**, baigiamasis projektas tema „Gelžbetoninių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra tyrimas“ 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)

**TVIRTINU:**

KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto

Technologijų katedros vedėjas

Arūnas Tautkus

20..... ..

## BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Tautvydui Praniauskui*

Grupė *PMS-5*

### 1. Darbo tema:

Lietuvių kalba:

*Gelžbetoninių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra tyrimas*

Anglų kalba:

*Study of the reinforced concrete slabs reinforcement with composite fixture.*

Patvirtinta 2016 m. spalio mėn. 17 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-26

### 2. Darbo tikslas:

*Įvertinti kompozitinių medžiagų pranašumus ir trūkumus lyginant su plienine strypine armatūra.*

### 3. Reikalavimai ir sąlygos:

*Darbas turi būti atliktas laikantis metodinių reikalavimų. Turi būti atskleistas temos aktualumas, rasti keliama darbo tikslai.*

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

*Polimerinės kompozitinės armatūros apžvalga:*

- *Pluoštinės armatūros rūšys;*
- *Dervų ir užpildų apžvalga;*
- *Kompozitinė armatūra statybos pramonėje;*
- *Kompozitinės armatūros mechaninės ir fizikinės savybės*

*Tiriamojame dalyje atliekami betoninės kiauřymėtosios perdangos plokštės skaičiavimai:*

- *Išilginės armatūros apskaičiavimai;*
- *Skersinės armatūros apskaičiavimai;*
- *Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimai.*

*Tirimo rezultatai pateikiami skyriuose:*

- *Analitinis betoninės kiauřymėtosios perdangos plokštės tyrimas;*
- *Išvados.*

### 5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

### 6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

Užduotį gavau:

*(studento vardas, pavardė, parašas)*

*(data)*

*(data)*

Vadovas:

*(pareigos, vardas, pavardė, parašas)*

*(data)*

# Turinys

Įvadas .....	9
1. APŽVALGA .....	10
1.1 Gelžbetoninė konstrukcija.....	10
1.2 Armatūra .....	10
1.2.1 Plieninė armatūra.....	10
1.3 Pluoštinės armatūros rūšys .....	13
1.3.1 Stiklo pluošto armatūra.....	13
1.3.5 Polimerinės matricos .....	14
1.3.6 Termoreaktyviosios dervos.....	14
1.3.8 Dervų užpildai.....	16
1.4 Kompozitinė armatūra statybos pramonėje .....	16
1.5 Kompozitinių strypų paviršiai.....	17
1.6 Mechaninės ir fizikinės savybės .....	17
2. Perdangos plokštės laikomosios galios apskaičiavimas .....	19
2.1 Tiriamasis objektas.....	19
2.2 Apkrovos ir poveikiai .....	20
2.2. Plokštės skaičiuotinė schema ir poveikių efektai (įrašos) .....	21
2.3. Plokštės geometriniai skerspjūvio matmenys.....	22
2.4 Plokštės skaičiuotiniai skerspjūvio matmenys .....	23
2.5. Betono ir armatūros savybių rodikliai .....	24
2.6 Išilginės armatūros apskaičiavimas .....	25
2.8 Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimo metodika.....	31
2.9 Analitinis betoninės kiaurymėtos perdangos plokštės tyrimas .....	37
2.9.1 Išilginės plieninės armatūros analitinis tyrimas .....	37
2.9.2 Išilginės stiklo pluošto (FRP) armatūros analitinis tyrimas.....	38
2.9.3 Išilginės stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros analitinis tyrimas.....	38
2.9.4 Skersinės plieninės armatūros analitinis tyrimas .....	39
2.9.5 Skersinės stiklo pluošto (FRP) armatūros analitinis tyrimas.....	40
2.9.6 Skersinės stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros analitinis tyrimas.....	41
2.9.7 Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant plieninius armatūros strypus , analitinis tyrimas .....	42
2.9.8 Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant stiklo pluošto (FRP) armatūros strypus , analitinis tyrimas .....	43
2.9.9 Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros strypus, analitinis tyrimas .....	44
2.9.10 Armatūros strypų ir betono tamprumo modulių santykis.....	46

2.9.11 Įlinkis.....	47
2.9.12 Atstumas tarp plyšių.....	47
2.9.13 Plyšiai.....	48
2.9.14 Plieninės ir kompozitinės (stiklo pluošto ir stiklo – bazalto pluošto) armatūros strypų rinkos kainų tyrimas.....	49
Išvados.....	53
Literatūra.....	54
Informaciniai šaltiniai.....	54
PRIEDAI.....	55
1 priedas. Išilginės stiklo pluošto FRP armatūros apskaičiavimas.....	56
2 priedas. Išilginės stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros apskaičiavimas.....	57
3 priedas. Skersinės stiklo pluošto FRP armatūros apskaičiavimas .....	58
4 priedas. Skersinės stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros apskaičiavimas.....	59
5 priedas. Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine armatūra .....	60
6 priedas. Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto armatūra .....	76
7 priedas. Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto armatūra.....	90

Praniauskas Tautvydas. Gelžbetoninių perdangos plokščių armavimo kompozitine armatūra tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Saulius Sušinskas: Kauno technologijos universitetas, Panevėžio Technologijų ir verslo fakultetas, Statybos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: statyba

Reikšminiai žodžiai: kompozitinė armatūra, įlinkis, pleišėjimas

Panevėžys, 2017. 104 p.

## SANTRAUKA

Statybos pramonėje daug dėmesio skiriama inovatyvių konstrukcinių sprendimų paieškai, norint užtikrinti didesnę statinių konstrukcijų saugą, patikimumą ir ilgaamžiškumą. Daugiausia betoniniai gaminiai yra armuojami plienine armatūra, tačiau betonines konstrukcijas galima armuoti ir kompozitine polimerine armatūra kuri turi ne tik didelį mechaninį atsparumą, bet ir atsparumą korozijai. Tiriamojoje darbo dalyje atlikti kiauromėtosios perdangos plokštės skaičiavimai su plieninės armatūros, stiklo pluošto FRP armatūros ir stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros strypais. Darbe nagrinėtas armuoto betono stipris, atsparumo momentas, pleišėjimas, įlinkis – priklausomai nuo:

- Armatūros strypų ir betono tamprumo modulių santykio;
- Plokštės įlinkio;
- Didžiausio atstumo tarp tempiamojo betono skerspjūvio plyšių;
- Didžiausio plyšio pločio tempiamajame betono skerspjūvyje;
- Armatūros strypų diametro 12 – 20 mm.

Darbe apžvelgiamos kompozitinės stiklo pluošto, kompozitinės stiklo – bazalto pluošto ir plieninės armatūros strypų kainos.

Praniauskas Tautvydas. Study of the reinforced concrete slabs reinforcement with composite fixture. Final project for the Master degree/ supervisor Doc. Dr. Saulius Sušinskas: Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Construction department.

Fields of studies: Construction.

The key words: composite fixture, deflection, cracking

Panevėžys, 2017. 104 pages.

## SUMMARY

Construction industry pays a lot of attention to the research of innovative construction solutions in order to ensure a greater building constructions safety, reliability and durability. Concrete products are most often reinforced with the help of steel fixtures, but these can be also reinforced with composite polymer reinforcement that besides an enduring mechanical toughness is corrosion resistant as well. Research part of the work contains calculations of the hollow core slabs with the steel fixtures, with the FRP reinforcement glass fibre and glass – basalt fibre reinforcement bars. Reinforced concrete strength, moment of resistance, deflection and cracking depending on:

- Reinforcement bars and concrete elastic modulus ratio;
- Slabs deflection:
  - The maximum distance between tensile concrete cross – section cracks;
  - The maximum crack width in the tensile concrete cross – section;
- Reinforcement bars diameter 12-20 mm.

Prices of composite glass fibre bars, composite glass – basalt bars and steel fixture bars are assessed in the thesis.



## Ivadas

Armatūra yra svarbi sudėtinė gelžbetonio dalis, ir jos savybės turi esminę įtaką gelžbetoninių konstrukcijų elgsenai. Pagrindinė armatūros paskirtis – perimti tempimo įtempį, veikiantį gelžbetoninių konstrukcijų skerspjūvyje. Armatūra naudojama ir gniuždomiesiems elementams ar jų dalims sustiprinti, taip pat gelžbetoninių elementų traukumo ir temperatūriniam įtempiui atlaikyti.

Eksploatacijos metu betono ir gelžbetonio konstrukcijas veikia įvairūs fizikiniai - mechaniniai ir fizikiniai - cheminiai veiksniai. Ypač aktyviai betoną ardo cheminė agresyvi aplinka, dėl kurios kinta betono struktūra ir savybės, mažėja betono stiprumas. Betono pažeidimai prasideda nuo betono karbonizacijos, kai karbonizuojasi visas apsauginis armatūros betono sluoksnis, mažėja jos terpės šarmingumas, ir armatūra gali pradėti intensyviai rūdyti. Plieno korozija didina strypo apimtį, ir tai pagreitina betono irimą.

Kad nekiltų ši problema, galima atsakyti įprastos plieninės armatūros ir naudoti naujas inovatyvias medžiagas ir technologija. Betonines konstrukcijas armuoti galima ne plienine, o polimerine kompozicine armatūra, kuri turi ne tik didelį mechaninį atsparumą, bet ir atsparumą korozijai. Vis plačiau naudoti kompozitines medžiagas statyboje skatina keli pagrindiniai aspektai: šių medžiagų atsparumas korozijai, puikios mechaninės savybės ir lengvas apdirbimas. Tobulinant gamybos technologiją, siekiama sumažinti kompozitinių gaminių kainą. Todėl šiuo metu polimerinės medžiagos jau tampa įprasta tradicinių statybinių medžiagų: plieno, medžio, betono – alternatyva.

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti kompozitinės armatūros fizikines ir mechanines savybes;
- Išnagrinėti kompozitinės armatūros panaudojimo galimybes;
- Apskaičiuoti ir palyginti betono konstrukcijos įlinkį;
- Apskaičiuoti ir palyginti betono konstrukcijos pleišėjimą;

Palyginti kompozitinių ir plieninių strypų kainą.

Tyrimo metodai:

- Analitinis betoninės perdangos plokštės, armuotos kompozitinės armatūros ir plieno armatūros strypais, tyrimas;
- Kompozitinės armatūros ir plieno armatūros kainų apžvalga.

# 1. APŽVALGA

## 1.1 Gelžbetoninė konstrukcija

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

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.

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.

Gelžbetoniniame elemente esanti armatūra skirstoma į pagrindinę ir pagalbines. 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 pagalbines – paskirstomoji armatūra. Jei tarpatramių ilgis mažai skiriasi, pagrindinė armatūra eina abiem linkmėmis.

## 1.2 Armatūra

### 1.2.1 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.

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 stipruma padidėja, įdėjus legiruojančiųjų medžiagų: mangano, silicio, chromo, titano, cirkonio ir kitų. Tačiau dauguma legiruojančiųjų priedų sumažina plieno plastiškumą. [1]

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) ( $\epsilon_{uk}$ ),
- Periodinio profilio armatūros rumbo išsikišimas ( $f_R$ ).

### **1.2.2 Kompozitinės armatūra**

Kompozitinės armatūros strypus sudaro stiklo, anglies, aramido, bazalto arba kitos medžiagos pluošto gijos, impregnuotos polimerine derva. Pagrindinė pluošto paskirtis – suteikti kompozitinei medžiagai reikiamą stiprumą, o polimerinės dervos – sujungti ir apsaugoti atskiras pluošto gijas ir užtikrinti kompozito vientisumą. [2]

Pluoštai – tai medžiagos, kurios sudarytos iš daugybės ypač mažo skersmens gijų. Pluoštinės medžiagos struktūra lemia tai, kad to paties skerspjūvio elemento stipris tampa kelis ar net keliasdešimt kartų didesnis, nei tos pačios medžiagos vientisojo skerspjūvio elemento. Tai paaiškinama tuo, kad esant mažam elemento skerspjūvio plotui sumažėja vidinių defektų, ir padidėja medžiagos stipris. Todėl pluoštinės struktūros kompozitinių medžiagų tempiamasis stipris ypač didelis.

Kompozitinės armatūros strypų gamybai naudojami pluoštai:

- Anglies pluoštas;
- Stiklo pluoštas;
- Aramido pluoštas;

- Bazalto pluoštas.

Stiklo, anglies, aramido ir bazalto pluoštų fizikinės ir mechaninės savybės pateiktos 1.1 lentelėje.

**1.1 lentelė.** Pluoštų fizikinės ir mechaninės savybės [2]

Pluošto tipas	Tankis	Tempiamasis stipris	Tamprumo modulis	Didžiausios tempimo deformacijos	Šiluminio plėtimosi koeficientas	Puasono koeficientas
	Kg/m <sup>3</sup>	MPa	GPa	%	10 <sup>-6</sup> /°C	
E – stiklas	2500	3450	72,4	2,4	5,0	0,22
S – stiklas	2500	4580	85,5	3,3	2,9	0,22
AR – stiklas	2270	1800-3500	70 – 46	2,0 – 3,0	–	–
Anglis (įprastas)	1700	3700	250	1,2	Nuo – 0,6 iki – 0,2	0,20
Anglis (didelio tamprumo modulis)	1950	2500 – 4000	350 – 800	0,5	Nuo – 1,2 iki – 0,1	0,20
Anglis (didelio stiprio)	1750	4800	240	1,1	Nuo – 0,6 iki – 0,2	0,20
Aramidas (Kevlar 29)	1440	2760	62	4,4	–2,0 išilginis 59 radialinis	0,35
Aramidas (Kevlar 49)	1440	3620	124	2,2	–2,0 išilginis 59 radialinis	0,35
Aramidas (Kevlar 149)	1440	3450	175	1,4	–2,0 išilginis 59 radialinis	0,35
Aramidas (Technoras H)	1390	3000	70	4,4	–6,0 išilginis 59 radialinis	0,35
Aramidas (SVM)	1430	3800–4200	130	3,5	–	–
Bazaltas (Albarrie)	2800	4840	89	3,1	8,0	–

## **1.3 Pluoštinės armatūros rūšys**

### ***1.3.1 Stiklo pluošto armatūra***

Stiklo pluoštas naudojamas dažniausiai, nes palyginti su kitais pluoštais yra pigiausias variantas. Kompozitinės armatūros strypams gaminti naudojami trijų tipų stiklo pluoštai:

- E – šio tipo stiklo pluoštas plačiausiai naudojamas ir yra pigiausias (angl. Electric glass);
- S – šio tipo stiklo pluoštas didesnio tamprumo modulio ir stiprio negu E – stiklo pluoštas (angl. Structural glass). E ir S tipo stiklo pluoštai yra neatsparūs šarmų poveikiui.
- AR – šio tipo stiklo pluoštas daug atsparesnis šarmams negu E ir S tipo stiklo pluoštai (angl. Alkali-Resistant glass).

Pagrindiniai trūkumai yra nedidelis stiklo pluošto tamprumo modulis, jautrumas trinčiams, mažas atsparumas nuovargiui, šarmams ir reikšmingas stiprio mažėjimas laikui einant.

### ***1.3.2 Anglies pluošto armatūra***

Anglies pluoštas pasižymi dideliu stipriu ir aukštu tamprumo moduliu (iki 800 Gpa) ir yra atsparus ilgalaikiai bei ciklinei apkrovoms. Skiriamos trys pagrindinės anglies pluošto rūšys:

- Įprastas;
- Didelio stiprio;
- Didelio tamprumo modulio.

Pagrindinis anglies pluošto trūkumas didelė jo kaina. Jis 10 iki 30 kartų brangesnis negu stiklo pluoštas. Didelę kainą lemia brangios gamyboje naudojamos žaliavos, bei ilgas ir sudėtingas gamybos procesas. Dėl šios priežasties anglies pluošto kompozitiniai armatūros strypai naudojami tik ypatingais atvejais, dažniausiai gaminant iš anksto įtemptus armuotojo betono elementus ir renovuojant senas konstrukcijas.

### ***1.3.3 Aramido pluošto armatūra***

Aramido pluoštas pasižymi ypač mažu tankiu, dideliu tempiamuoju stipriu, atsparumu aukštomis temperatūroms, smūginėms apkrovoms ir mažu stiprio mažėjimu laikui einant. Aramido pluošto tamprumo modulis daug mažesnis negu anglies, o kaina didesnė negu stiklo pluošto, todėl aramido pluoštas armatūros gamybai nėra plačiai naudojamas.

Šiuo metu aramido pluoštas palyginti retai naudojamas statyboje, nes sudėtinga gamybos technologija, didelė pluošto kaina, mažas atsparumas drėgmės poveikiui, tai aramido pluoštą daro mažiau patrauklų gaminant kompozitinius armatūros strypus.

#### ***1.3.4 Bazalto pluošto armatūra***

Bazalto pluoštas turi geresnes chemines ir panašias mechanines savybes, palyginti su stiklo pluoštu. Taip pat jis daug pigesnis už anglies pluoštą, bet brangesnis už stiklo pluoštą. Šio pluošto pranašumas atsparumas aukštomis temperatūroms, chemiškai agresyviai aplinkos poveikiui ir didelis tempiamasis stipris. Bazalto pluoštas palyginti naujas pluošto tipas.

#### ***1.3.5 Polimerinės matricos***

Kompozitinės armatūros matricos yra polimerinės medžiagos, kurių pagrindinė paskirtis yra sujungti ir apsaugoti pluošto gijas nuo mechaninio, cheminio ir aplinkos poveikių. Taip pat polimerinė matrica padeda pluošto gijoms atlaikyti išorinę apkrovą, ypač kai kompozitinis strypas veikiamas skersinių jėgų. Dažnai polimerinėms matricoms apibūdinti vartojama dervos sąvoka. Derva – tai mišinys, kurį sudaro polimerinės medžiagos, priedai, skirti rišimosi procesui pagreitinti, bei kietikliai, suteikiantys mišiniui specifinių mechaninių ar cheminių savybių. Todėl svarbus tinkamas jos pasirinkimas. Skiriamos dvi polimerinių dervų rūšys:

- Termoreaktyviosios dervos;
- Termoplastinės dervos.

Šios dvi dervų grupės išskirtos atsižvelgiant į jų savybių priklausomybę nuo temperatūros pokyčių.

#### ***1.3.6 Termoreaktyviosios dervos***

Šios dervos pasižymi mažu klampumu ir tinkamos naudoti tais atvejais, kai kompozito medžiagoje yra didelis pluošto kiekis (60–70% tūrio dalies). Dėl mažo klampumo pluošto gijos nesunkiai impregnuojamos derva, ir nesudaro nepageidaujamų tuštumų. [2] Jos kietėja kambario arba aukštesnėje temperatūroje, o rišimosi trukmė paprastai yra nuo kelių minučių iki kelių valandų, atsižvelgiant į naudojamą dervą ir kietiklį.

Statyboje dažniausiai naudojamos trijų rūšių termoreaktyviosios dervos:

- Epoksidinės dervos – šios dervos privalumai yra ypač geras tempiamasis stipris, nesudėtingas naudojimas, nedidelės traukimosi deformacijos ir geras sukibimas su daugeliu pluoštų tipų. Pagrindiniai trūkumai palyginti didelė kaina ir trumpas kietėjimo laikas.

- Poliesterio dervos – šios dervos privalumai mažas klampumas, atsparumas aplinkos poveikiui ir ilgaamžiškumas. Trūkumas – didelės susitraukimo deformacijos

- Vinilo esterio dervos – šios dervos privalumai nedidelis klampumas, greitas kietėjimas, ypač geras sukibimas su stiklo pluoštu. Dėl šių priežasčių vinilo esterio dervos dažniausiai naudojamos gaminant stiklo pluošto kompozitinę armatūrą. Trūkumai – didesnės nei epoksidinės dervos susitraukimo deformacijos ir jos blogiau sukimba su kitais pluoštais, palyginti su stiklo pluoštu.

Į termoreaktyviųjų dervų mišinį dedama priedų, kurie skirti sumažinti susitraukimo deformacijas, kontroliuoti klampumą ir rišimosi greitį, pašalinti orui ir kt. Tokiu būdu pagaminamas dervos mišinys, kuris pritaikomas naudoti konkrečiam pluoštui tam tikromis eksploatacinėmis sąlygomis. Šių dervų fizikinės ir mechaninės savybės pateiktos 1.2 lentelėje.

**1.2 lentelė.** Termoreaktyviųjų dervų savybės [2]

Savybė	Termoreaktyviosios dervos		
	Poliesterio	Epoksidinė	Vinilo esterio
Tankis, kg/m <sup>3</sup>	1200–1400	1200–1400	1150–1350
Tempiamasis stipris, MPa	34,5–104	55–130	73–81
Tamprumo modulis, GPa	2,1-3,45	2,75–4,10	3,0–3,5
Puasono koeficientas	0,35–0,39	0,38–0,40	0,36–0,39
Šiluminio plėtimosi koeficientas, 10 <sup>-6</sup> /°C	55–100	45–65	50–75
Vandens absorbcija, %	0,15–0,6	0,08–0,15	0,14–1,30

### 1.3.7 Termoplastinės dervos

Termoplastinių dervų privalumai nedidelės susitraukimo deformacijos, nedidelė vandens absorbcija (iki 0,5% masės). Kompozitinės armatūros gamybai dažniausiai naudojamos trijų rūšių termoplastinės dervos:

- Polietereo eterio ketonas (PEEK);
- Polifenileno sulfidas (PPS);
- Polisulfonas (PSU).

Termoplastinių dervų mišiniai taip pat kaip ir termoreaktyviosios dervos yra modifikuojamos įvairiais priedais. Šių dervų mechaninės savybės pateiktos 1.3 lentelėje.

### 1.3 lentelė. Termoplastinių dervų savybės [2]

Savybė	Termoplastinės dervos		
	PEEK	PPS	PSU
Tankis, kg/m <sup>3</sup>	1320	1360	1240
Tempiamasis stipris, MPa	100	82,7	70,3
Tamprumo modulis, GPa	3,24	3,30	2,48
Ribinės tempimo deformacijos	50	5	75
Puasono koeficientas	0,40	0,37	0,37
Šiluminio plėtimosi koeficientas, 10 <sup>-6</sup> /°C	47	49	56

#### 1.3.8 Dervų užpildai

Tiek termoreaktyviosiose, tiek termoplastinėse dervose naudojami užpildai. Užpildai skirti sumažinti polimero kiekį, susitraukimo deformacijas, modifikuoti fizikines savybes, užtikrinti apsaugą nuo ultravioletinių spindulių, temperatūros ir drėgmės poveikio. Jie klasifikuojami:

- Funkcinius – šie užpildai didina dervos atsparumą aukštai temperatūrai, daro dervą atsparesnę mechaniniams poveikiams.
- Nefuncinius – šie užpildai mažina polimero kiekį dervoje, dėl to mažėja dervos kaina. Užpildai gali sudaryti apie 40-65% dervos masės.

#### 1.4 Kompozitinė armatūra statybos pramonėje

Šiuolaikinėje statybos pramonėje kompozitinė armatūra naudojama keliose pagrindinėse srityse:

- Armuoti plokštėms laikančioms tiltų paklotą. Šios plokštės veikiamos agresyvios atmosferos, todėl tiltų pakloto plokštės pleišėja, o tai lemia plieninės armatūros koroziją. Todėl tokiems statiniams alternatyva yra kompozitinė armatūra, dažniausiai stiklo pluošto kompozitinė armatūra.
- Kompozitinės armatūros naudojimas pakrantės statiniams. Kadangi pakrantės elementus nuolat veikia sūrus vanduo, plieninės armatūros korozija suintensyvėja ir pagreitinėja.



- Kompozitinės armatūros panaudojimas specialios paskirties patalpose. Ten kur naudojama speciali įranga (medicininės patalpos, mokslinių tyrimų laboratorijos). Šiose patalpose reikalingas magnetinis aplinkos neutralumas.
- Kompozitinės armatūros panaudojimas elektrinėse ir aukštosios įtampos transformatorinėse.
- Kompozitinės armatūros naudojimas požeminiams statiniams, rezervuarams, talpykloms, nes šie statiniai dažnai veikiami agresyvios aplinkos.

### **1.5 Kompozitinių strypų paviršiai**

Kompozitiniai armatūros strypai labai įvairūs. Jie gaminami iš skirtingų pluoštų, dervos mišinių ir gamybos technologijos. Taip pat įvairūs ir strypų paviršiaus padengimo būdai, todėl galima gauti daug skirtingomis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis pasižyminčių kompozitinės armatūros rūšių.

Iš pradžių buvo gaminami lygiu paviršiumi kompozitiniai strypai, bet jie blogai sukimba su betonu. Kompozitiniai strypai gali būti padengti smėlio sluoksniu, tai pagerina strypo sukibimą. Tačiau didėjant apkrovoms ši danga neužtikrina reikiamo sukibimo. Todėl efektyviausiais būdais rumbelių formavimas armatūros paviršiuje. Taip pat pluoštai gali būti supinami suformuojant lynus, naudojamus kaip iš anksto įtempta armatūra.

### **1.6 Mechaninės ir fizikinės savybės**

Kompozitinė armatūra 4 – 6 kartus lengvesnė už plieninę, nes tankis daug mažesnis. Dėl šios priežasties kompozitinę armatūrą lengviau transportuojama ir naudojama statybos aikštelėje. Tuo pačiu mažėja ir konstrukcijos masė. Tačiau susiduriama ir su trūkumais, susijusiais su fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis. Kompozitiniai strypai iki suirimo deformuojasi tampriai, o suyra trapiai, todėl trapus kompozitinės armatūros irimas yra vienas didžiausių jos trūkumų. Nes tai lemia trapų ir staigų polimeriniais strypais armuotų betoninių elementų suirimą. Kompozitinės armatūros naudojimą gniuždomosiose zonose reikėtų vengti. Strypų skerspjūvyje pluošto gijų skersmuo sudaro tik tūkstantąsias milimetro dalis, dėl šios priežasties pluoštas negali priešintis išoriniam gniuždymo poveikiui. Aukšta temperatūra paveikia kompozitinės armatūros ir betono sukibimą, todėl nerekomenduojama naudoti toms armuotojo betono konstrukcijoms, kurios nuolatos veikiamos aukšta temperatūra. Kompozitinės armatūros fizikinės ir mechaninės savybės pateiktos 1.4 lentelėje.

**1.4 lentelė.** Dažniausiai pasitaikančios skirtingų tipų kompozitinės armatūros fizikinės ir mechaninės savybės.[2]

Savybės	Epoksidinė derva su pluoštu		
	Stiklo	Aramido	Anglies
Pluošto tūrio dalis $V_{fi}$	0,55	0,60	0,65
Tankis $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	2100	1380	1600
Išilginis tamprumo modulis $E_{f,L}$ , GPa	39	87	177
Skersinis tamprumo modulis $E_{f,T}$ , GPa	8,6	5,5	10,8
Šlyties modulis $G_{f,LT}$ , GPa	3,8	2,2	7,6
Puasono koeficientas $\nu_{f,LT}$	0,28	0,34	0,27
Išilginis tempiamasis stipris $f_{ft,T}$ , MPa	1080	1280	2860
Skersinis tempiamasis stipris $f_{ft,T}$ , MPa	39	30	49
Kerpamasis stipris $f_{fs}$ , MPa	89	49	83
Ribinė išilginė tempimo deformacija $\epsilon_{ftu,L}$ , %	2,8	1,5	1,6
Ribinė skersinė tempimo deformacija $\epsilon_{ftu,T}$ , %	0,5	0,5	0,5
Išilginis gniuždomasis stipris $f_{fc,L}$ , MPa	620	335	1875

### 1.7 Kompozitinės polimerinės armatūros ilgaamžiškumas ir senėjimas

Plieninei ir polimerinei armatūrai ilgaamžiškumą lemiantys aplinkos veiksniai turi skirtingą įtaką jų savybėms. Polimerų senėjimo metu sumažėja mechaninis stiprumas, elastingumas, polimerai tampa trapesni ir pakinta išvaizda. Polimerų ilgaamžiškumas labai priklauso nuo cheminių, fizikinių ir mechaninių savybių pokyčių.

Polimerinę armatūrą sudaro trys komponentai, nuo kurių priklauso jos ilgaamžiškumas:

- Matrica ( derva: epoksidinė, vinilo esterio, poliesterio arba kt.);
- Pluoštas (anglies, aramido, stiklo arba kt.);
- Sukibimo zona tarp pluošto ir matricos.

Nuo šių komponentų savybių priklauso polimerinio kompozito ilgaamžiškumas. Pluoštas turi būti gerai padengtas derva, nes ji yra atspari stipriems šarmams. Silpniausia grandis yra sukibimas tarp pluošto ir matricos. Dervos ir pluošto sukibimas privalo būti kokybiškas, kadangi dervai netolygiai pasiskirsčius pluošte, numatyta apsauga negali būti užtikrinama. Sukibimą galima pagerinti klėjais.

## 2. Perdangos plokštės laikomosios galios apskaičiavimas

### 2.1 Tiriamasis objektas

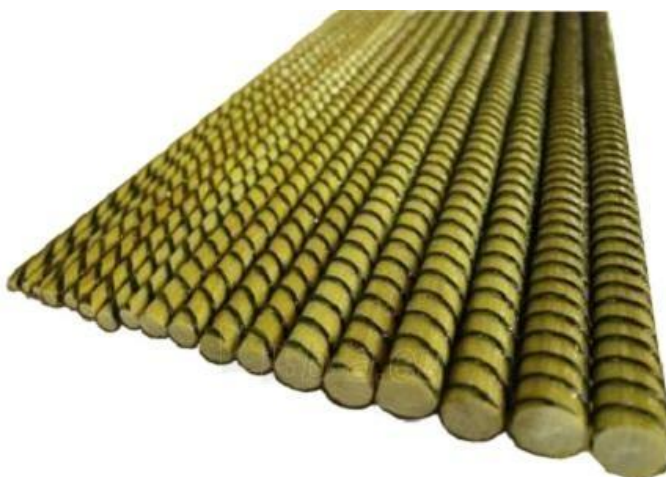
Tiriamasis objektas yra betoninė kiaurymėta perdangos plokštė su apskritomis kiaurymėmis armuota plieniniais, stiklo pluošto (FRP) ir stiklo – bazalto pluošto (SBA) strypais. Skaičiavimuose tempiamajame plokštės skerspjūvyje naudojami 8 vnt. išilginės armatūros strypų, įvairaus diametro Ø12-20 mm. Aplinkos sąlygų klasė XD3 [3]. Sniego apkrovos rajonas I pagal STR 2.05.04:2003 1 priedas, 1 lentelė [5]. Vėjo apkrovos rajonas I pagal STR 2.05.04:2003 3 priedas, 1 lentelė [5].

Tiriamajame darbe nagrinėjami trys skirtingos armatūros rūšys:

- Plieninė armatūra A800 klasės
- Stiklo pluošto armatūra (FRP), 2.2 pav.
- Stiklo – bazalto pluošto armatūra (SBA) 2.3 pav.

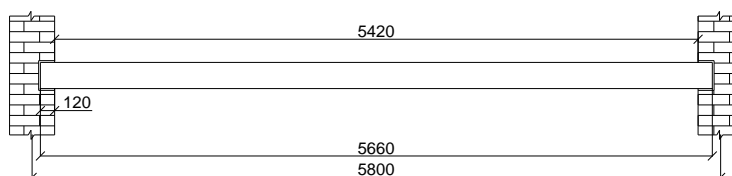


**2.1 pav.** Stiklo pluošto armatūros FRP strypas



**2.2** Stiklo – bazalto pluošto armatūros SBA strypai

Skaičiuojama perdangos plokštė su apskritomis kiaurymėmis atremiama iš abiejų galų į plytų mūrą. Atstumai tarp mūro sienų ašių  $l_n=5,8$  m.



**2.3 pav.** Perdangos, atremtos į mūro sieną fragmentas pastato skersiniame pjūvyje.

Plokštės ilgis 5660 mm, skerspjūvio aukštis 220 mm, o nominalusis plotis 1500mm.

Kiaurymėtoji perdangos plokštė iš normaliojo C40/50 klasės betono. Betono stipris apspaudimo metu:

$$f_{cp}=0,8 \cdot f_{ck}=0,8 \cdot 40=32 \text{ Mpa} \quad (2.1)$$

## 2.2 Apkrovos ir poveikiai

Apsikaičiojamos nuolatinės ir skaičiuotinės situacijos apkrovos, kai perdangų plokštę veikia nuolatinės ir kintamosios apkrovos.

Konstrukcijos elemento sluoksnių savojo svorio apkrovos apskaičiuojamos, sluoksnio medžiagos vienetinį svorį dauginant iš sluoksnio storio.

Plokštės apkrovos ir poveikiai apskaičiuoti 2.1 lentelėje. Pasirinktos tokios apkrovų poveikių patikimumo koeficientų reikšmės  $\gamma$  reikšmės, įvertinant 10 priedo 2 lent. [3] duomenis:  $\gamma_{G,sup}=1,35$ ;  $\gamma_{ginf}=1,0$  ir  $\gamma_{Q1}=1,30$ , kai poveikis nepalankus, bei  $\gamma_{Q1}=1,0$ , kai palankus.

**2.1 lentelė.** Apkrovos ir poveikiai

Pavadinimas	Charakteristinės apkrovos, $kN/m^2$	Poveikių patikimumo koeficientai, $\gamma$		Skaičiuotinės poveikių reikšmės, $kN/m^2$	
		Tinkamumo ribiniams būviams	Saugos ribiniams būviams	Tinkamumo ribiniams būviams	Saugos ribiniams būviams
Nuolatinė (G)					
Kiaurymėtoji	3,00	$\gamma_{G1}=1,0$	$\gamma_{G1}=1,35$	3,00	4,05

perdangos plokštė, 220mm					
Biraus užpildo sluoksnis 35mm	0,63	$\gamma_{G2}=1,0$	$\gamma_{G2}=1,35$	0,63	0,851
Garsą izoliuojanti PAROC SSB1 30mm	0,045	$\gamma_{G3}=1,0$	$\gamma_{G3}=1,35$	0,045	0,061
Atskiriamasis sluoksnis, plėvelė	0,0011	$\gamma_{G4}=1,0$	$\gamma_{G4}=1,35$	0,0011	0,0015
Armuotas betono/ skiedinio sluoksnis 50 mm	1,10	$\gamma_{G5}=1,0$	$\gamma_{G5}=1,35$	1,10	1,485
Visa nuolatinė apkrova				$g_k=4,78$	$g_{d1}=6,45$
Naudojimo apkrova (Q)					
Naudojimo apkrova ir pertvarų svorio apkrova, $q_k=7+0,8+0,29=8,09$	8,09	$\gamma_{Q1}=1,0$	$\gamma_{Q1}=1,30$	8,09	10,52
Visa apkrova				12,87	16,97

## 2.2. Plokštės skaičiuotinė schema ir poveikių efektai (įrašos)

Plokštės tarpatramio skaičiuotinis (efektyvusis) ilgis:

$$L_{\text{eff}} = l + 2 \cdot \frac{a}{3} \quad (2.2)$$

čia:  $l$  – plokštės ilgis, mm;

$a$  – plokštės atramos ant mūro sienos ilgis, mm.

$$L_{\text{eff}} = 5420 + 2 \cdot \frac{120}{3} = 5,5 \text{ m};$$

Skaičiuotinės poveikių reikšmės 1 m plokštės ilgio, kai jos nominalusis plotis  $b_n=1,5$  m:

Nuolatinių apkrovų, įskaitant plokštės savąjį svorį:

$$g_d = g_{d1} \cdot b_n = 6,45 \cdot 1,5 = 9,675 \text{ kN/m}; \quad (2.3)$$

Plokštės savojo svorio:

$$g_{ds} = g_{ks} \cdot b_n = 3,0 \cdot 1,35 \cdot 1,5 = 6,075 \text{ kN/m}; \quad (2.4)$$

Kintamųjų apkrovų:

$$q_d = q_{d1} \cdot b_n = 10,52 \cdot 1,5 = 15,78 \text{ kN/m;} \quad (2.5)$$

Suminis apkrovų poveikis

$$p_d = g_d + q_d = 9,675 + 15,78 = 25,46 \text{ kN/m.} \quad (2.6)$$

Poveikių efektai (įrašos). Skaičiuotiniai poveikių efektai nuolatiniai situacijai:

Lenkimo momentas plokštės tarpatramyje nuo suminio poveikio:

$$M_{ed} = \frac{p_d \cdot l_{eff}^2}{8} = \frac{25,46 \cdot 5,5^2}{8} = 96,27 \text{ kNm} \quad (2.7)$$

Didžiausia skersinė jėga:

$$V_{Ed} = \frac{p_d \cdot l_{eff}}{2} = \frac{25,46 \cdot 5,5}{2} = 70,02 \text{ kN.} \quad (2.8)$$

### 2.3. Plokštės geometriniai skerspjūvio matmenys

Įtemptojo gelžbetonio kiaurymėtosios perdangų plokštės skerspjūvio aukštis:

$$h = \frac{l_{eff}}{30} = \frac{5,50}{30} = 0,183 \text{ m} \quad (2.9)$$

imama  $h=0,22 \text{ m}$ .

Skerspjūvio naudingasis (darbo) aukštis:

$$d = h - a_1 = 0,22 - 0,045 = 0,175 \quad (2.10)$$

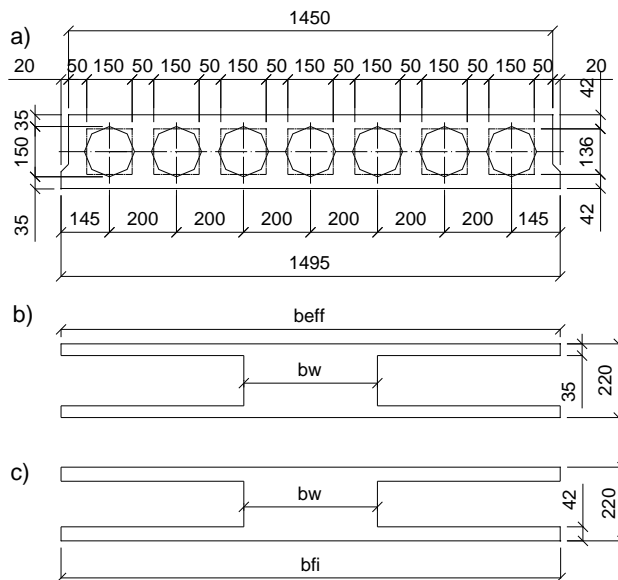
čia:  $a_1=0,045 \text{ m}$ , įvertinant 230.2 [4] nurodymus.

Kiti plokštės skerspjūvio matmenys, imant 7 kiaurymes, kurių skersmuo  $\varnothing=0,150 \text{ m}$ , bus tokie:

- Viršutinės ir apatinės lentynų storis –  $(0,22 - 0,150)/2 = 0,035$  m;
- Briaunų plotis –  $(1450 - 7 \cdot 150)/8 = 50$  mm = 0,05 m.

## 2.4 Plokštės skaičiuotiniai skerspjūvio matmenys

Skaičiuotinis kiaurymėtujų plokščių skerspjūvis yra dvitėjis. Skaičiuotinio skerspjūvio aukštis  $h$  ir viršutinės, bei apatinės lentynų pločiai yra tokie pat kaip tikrojo skerspjūvio. Tačiau skaičiuojant plokštės stiprį (saugos ribiniai būviai – STR) rekomenduojama viršutinės lentynos skaičiuotinį aukštį  $h_{eff}$  imti lygų minimaliam viršutinės plokštės storiui virš kiaurymės, o dvitėjinio skerspjūvio briaunos plotį  $b_w$  – lygų visų vertikaliųjų briaunų minimalių storių sumai. Be to, apatinės (tempiamosios) lentynos įtakos skerspjūvio stipriui nepaisoma.



**2.4 pav.** Kiaurymėtosios plokštės skerspjūviai: a – tikrasis; b – skaičiuotinis saugos ribiniams būviams; c – skaičiuotinis tinkamumo ribiniams būviams.

Atsižvelgiant į rekomendacijų reikalavimus [6], plokštės normaliojo pjūvio stipriui apskaičiuoti imamas tėjinis skerspjūvis (2.4 pav.), kurio:

$$h = 0,22 \text{ m};$$

$$h_{eff} = 0,035 \text{ m};$$

$$b_{eff} = 1,45 \text{ m};$$

$$b_w = b_{eff} - n_k \cdot \varnothing_h = 1,450 - 7 \cdot 0,150 = 0,40 \text{ m}.$$

Tikrinant plokštės atitikimą tinkamumo ribinių būvių sąlygoms, kiaurymės keičiamos stačiakampėmis taip, kad jų plotas ir inercijos momentas liktų nepasikeitę. Stačiakampės kiaurymės aukštis  $h_1 = \sqrt{\frac{12I}{A}}$ , o plotis  $b_1 = A/h_1$  (čia A ir I – ovalo ir kitokios skerspjūvio formos kiaurymių atitinkamai plotas ir inercijos momentas). Apskritos kiaurymės, kurių skersmuo  $\varnothing_h$ , pakeičiamos kvadratinėmis su kraštine  $h_1 = \varnothing_h$ .

Plokštės su apskritomis kiaurymėmis atitikimas tinkamumo ribinių būvių sąlygoms skaičiuojamas imant tokius ekvivalentiško skerspjūvio matmenis:

$$h = 0,22 \text{ m};$$

$$h_{\text{eff}} = h_{\text{fl}} = \frac{h - 0,9\varnothing_h}{2} = \frac{0,22 - 0,9 \cdot 0,150}{2} = 0,042 \text{ m};$$

$$b_{\text{eff}} = 1,450 \text{ m};$$

$$b_{\text{fl}} = 1,495 \text{ m};$$

$$b_w = b_{\text{eff}} - n_k \cdot 0,9\varnothing_h = 1,450 - 7 \cdot 0,9 \cdot 0,150 = 0,505 \text{ m}.$$

## 2.5. Betono ir armatūros savybių rodikliai

Normaliojo C40/50 stiprio gniuždant klasės betono mechaninių savybių rodikliai:

$$f_{\text{ck}} = 40 \text{ MPa};$$

$$f_{\text{ck},0,05} = 2,5 \text{ MPa};$$

$$E_{\text{c,eff}} = 35 \times 10^3 \text{ MPa};$$

Betono apspaudimo stipris:

$$f_{\text{cp}} = 0,8 \cdot f_{\text{ck}} = 0,8 \cdot 40 = 32 \text{ Mpa} \quad (2.11)$$

Skaičiuotiniai betono stipriai saugos ribiniams būviams:

- Gniuždant

$$f_{\text{cd}} = \alpha \cdot \alpha_c \cdot f_{\text{ck}} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 40}{1,5} = 24 \text{ MPa}; \quad (2.12)$$



- Tempiant:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha \cdot \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 2,5}{1,5} = 1,5 \text{ MPa}; \quad (2.13)$$

Skaičiuotiniai betono stipriai tinkamumo ribiniams būviams:

- Gniuždant

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot \alpha_c \cdot f_{fc}}{\gamma_c} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 40}{1} = 36 \text{ MPa}; \quad (2.14)$$

- Tempiant

$$f_{ctd} = \frac{\alpha \cdot \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 2,5}{1} = 2,25 \text{ MPa}; \quad (2.15)$$

**2.2 lentelė.** Armatūros savybių rodikliai.

Armatūros rūšis	Charakteristinis stipris (MPa)	Skaičiuotinis stipris (MPa)	Gniuždomasis stipris (Mpa)	Tamprumo modulis (Mpa)	Tankis (kg/m <sup>3</sup> )
Plieninė armatūra A800	785	714	400	2,05×10 <sup>3</sup>	7850
Stiklo pluošto armatūra (FRP)	1000	435	450	0,45×10 <sup>3</sup>	2000
Stiklo – bazalto pluošto armatūra (SBA)	1350	540	450	0,63×10 <sup>3</sup>	1900

## 2.6 Išilginės armatūros apskaičiavimas

Apskaičiuojant išilginę armatūrą, reikia nustatyti ar gniuždomos zonos neviršija lentynos aukščio,

t.y. ar tenkina sąlyga  $\xi \leq \frac{h_f}{d}$

Apskaičiuojamas armatūros stipri pagal takumo ribą pagal formulę 2.16

$$Y_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (2.16)$$

čia:  $f_{yd}$  – skaičiuotinis armatūros stipris pagal takumo ribą, MPa;

$f_y$  - stipris pagal takumo ribą, MPa;

$\gamma_M$  – medžiagos patikimumo koeficientas.

$$y_{yd} = \frac{785}{1,1} = 714 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas plokštės skerspjūvio naudingasis aukštis pagal formulę 2.17:

$$d = h - a_1 \quad (2.17)$$

čia:  $d$  - skerspjūvio naudingasis aukštis, m;

$a_1$  – apsauginis betono sluoksnis iki armatūros, m.

$$d = 0,22 - 0,045 = 0,175 \text{ m}.$$

Apskaičiuojamas armatūros ir betono trinties koeficientas pagal 2.18 formulę:

$$\mu_{ed} = \frac{M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} \quad (2.18)$$

Čia:  $\mu_{ed}$  – armatūros ir betono trinties koeficientas;

$M_{Ed}$  – skaičiuotinis lenkimo momentas nuo išorinių apkrovų poveikio, kNm;

$f_{cd}$  – skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris, MPa;

$b_{eff}$  – tėjinio skerspjūvio lentynos efektyvusis plotis, m;

$d$  - skerspjūvio naudingasis aukštis, m.

$$\mu_{ed} = \frac{0,09672}{24 \cdot 1,45 \cdot 1,75^2} = 0,091$$

Apskaičiuojamas gniuždomos zonos aukštis  $\xi$  pagal 2.19 formulę

$$\xi = \frac{1}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{ed}} \right) \quad (2.19)$$

Čia  $\xi$  – gniuždomos zonos aukštis, m;

$\lambda$  – liaunis, lygus 0,832;

$\mu_{ed}$  – armatūros ir betono trinties koeficientas

$$\xi = \frac{1}{0,832} \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,091} \right) = 0,115$$

Tikrinama sąlyga:  $\xi \leq h_{eff}/20$ , jei sąlyga tenkina, tai skaičiuojamas  $A_{s1}$  – kaip stačiakampio skerspjūvio pagal 2.20 formulę.

Tikrinama sąlyga:  $0,115 \leq 0,042/0,20 = 0,21$ , sąlyga tenkina.

$$A_{s1} = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d \cdot \lambda \cdot \xi}{f_{yd}} \quad (2.20)$$

čia:  $A_{s1}$  – tempiamosios arba mažiau gniuždomos neįtemptosios armatūros skerspjūvio plotas,  $cm^2$ ;

$f_{cd}$  – skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris, MPa;

$b_{eff}$  – tėjinio skerspjūvio lentynos efektyvusis plotis, m;

$d$  – skerspjūvio naudingasis aukštis, m.

$\lambda$  – liaunis;

$\xi$  – gniuždomosios zonos aukštis, m;

$f_{yd}$  – skaičiuotinis armatūros (ne įtemptosios) stipris, MPa;

$$A_{s1} = \frac{24 \cdot 1,45 \cdot 0,175 \cdot 0,832 \cdot 0,115}{714} = 0,00081609 \text{ m}^2 (8,16 \text{ cm}^2)$$

Patikrinama ar tenkinami minimalūs armavimo reikalavimai pagal 2.21 ir 2.22 formules:

$$A_{s1} \geq A_{s,\min} = \rho_{1,\min} (b \cdot d - (b_{eff} - b_w) h_f) \quad (2.21)$$

$$\rho_{1,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

(2.20)

čia:  $A_{s1}$  – tempiamosios arba mažiau gniuždomos neįtemptosios armatūros skerspjūvio plotas  $\text{cm}^2$ ;

$A_{s,\min}$  – tempiamosios arba mažiau gniuždomos neįtemptosios armatūros minimalus skerspjūvio plotas,  $\text{cm}^2$ ;

$\rho_{l,\min}$  – minimalus išilginio armavimo koeficientas;

$b$  – plokštės plotis, m;

$d$  – skerspjūvio naudingasis aukštis, m.

$b_{\text{eff}}$  – tėjinio skerspjūvio lentynos efektyvusis plotis, m;

$b_w$  – tėjinio skerspjūvio sienelės plotis, m;

$h_f$  – tėjinio skerspjūvio lentynos storis;

$f_{ctm}$  – 28 parų amžiaus vidutinis betono tempiamasis stipris, MPa;

$f_{yk}$  – armatūros charakteristinis takumo stipris, MPa.

$$\rho_{l,\min} = 0,26 \cdot \frac{2,25}{714} = 0,0008;$$

$$A_{s,\min} = 0,0008(1,5 \cdot 0,175 - (1,45 - 0,505)0,042) = 0,0002 \text{ m}^2 (2 \text{ cm}^2);$$

Minimalūs armavimo reikalavimai yra tenkinami,  $8,16 > 2$ . Iš asortimento lentelės imama 8Ø12 A800, kurių  $A_{s1} = 9,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (9,04 \text{ cm}^2)$

## 2.7 Skersinės armatūros apskaičiavimas

Apskaičiuojamas skaičiuotinis betono stipris pagal 2.23 formulę:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} \quad (2.23)$$

čia:  $f_{cd}$  – skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris, MPa;

$f_{ck}$  – charakteristinis betono gniuždomasis stipris, MPa;

$\gamma_M$  – medžiagos patikimumo koeficientas.

$$f_{cd} = \frac{40}{1,5} = 26,67 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas skaičiuotinis armatūros (ne įtemptosios) gniuždomasis stipris pagal 2.24 formulę:

$$f_{scd} = f_{yd} = f_{ywd} = \frac{f_y}{\gamma_m} \quad (2.24)$$

čia:  $f_{scd}$  – skaičiuotinis armatūros (ne įtemptosios) gniuždomasis stipris, MPa;

$f_y$  – stipris pagal takumo ribą, MPa;

$\gamma_M$  – medžiagos patikimumo koeficientas.

$$f_{scd} = \frac{780}{1,1} = 714 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas skerspjūvio naudingasis aukštis pagal 2.25 ir 2.26 formules:

$$d = h - a_1 \quad (2.25)$$

$$z = 0,9 \cdot d \quad (2.26)$$

čia:  $d$  - ekvivalentinis plokštės aukštis, m;

$h$  – plokštės aukštis, m;

$a_1$  – apsauginis betono sluoksnis iki armatūros, m;

$z$  – naudingasis skerspjūvio aukštis m.

$$d = 0,22 - 0,045 = 0,175 \text{ m};$$

$$z = 0,9 \cdot 0,175 = 0,16 \text{ m}.$$

Pradžioje patikrinama ar pakankamas skerspjūvio gniuždomo betono stiprumas pagal 2.27 ir 2.28 formules, t.y. ar:

$$V_{Rd,max} \geq V_{ed}, \text{ kai } \theta = 22^\circ, \text{ctg } \theta = 2,5 \text{ tg } \theta = 0,4; \quad (2.27)$$

$$V_{Rd,max} (\theta = 22^\circ) = \frac{b_w \cdot z \cdot v_1 f_{cd}}{\text{ctg } \theta + \tan \theta}; \quad (2.28)$$

čia:  $V_{Rd,max}$  – skaičiuotinė skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, kN;

$v_1$  – Puasono santykis, skersinės deformacijos koeficientas  $v_1 = 0,6$  kadangi  $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$ ;

$V_{ed}$  – skaičiuotinė skersinė jėga nuo apkrovų poveikio, kN;

$b_w$  – tėjinio skerspjūvio sienelės plotis, m;

$z$  – naudingasis skerspjūvio aukštis, m;

$f_{cd}$  – skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris, MPa;

Sąlyga tenkinama  $445,85 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ , vadinasi skerspjūvio gniuždomo betono stiprumas yra pakankamas. Skaičiuojama ar pakankamas įstrižojo pjūvio betono stiprumas skersinėms jėgoms atlaikyti pagal 2.29 formulę:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad (2.29)$$

čia:  $k$  – koeficientas;

$d$  – ekvivalentinis plokštės aukštis, m.

$A_{s1}$  – tempiamos armatūros skerspjūvio plotas ( $l_{bd} + d$ ) atstumu už nagrinėjamo skerspjūvio. Imu, kad  $l_{bd} = l_{b,max} = \max\{10\varnothing; 100\text{mm}\} = \max\{10 \cdot 12; 100\text{mm}\} = \{120; 100\} = 120\text{mm}$

Tikrinama pagal formulę:

$$l_{bd} + d > 0,5 \cdot d, \text{ tada } A_{s1} = 0 \quad (2.30)$$

čia:  $l_{bd}$  – skaičiuotinis armatūros inkaravimo ilgis, mm;

$d$  – ekvivalentinis plokštės aukštis, mm;

$l_{b,max}$  – maksimalus bazinis armatūros inkaravimo ilgis, mm.

Skaičiuojama minimali skersinė jėga pagal 2.31 formulę:

$$V_{Rd,min} = b_w \cdot d \cdot \left( 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \right) \quad (2.31)$$

čia:  $V_{Rd,min}$  – skaičiuotinė minimali skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, kN;

$d$  – ekvivalentinis plokštės aukštis, m;

$f_{ck}$  – charakteristinis betono gniuždomasis stipris, MPa.

$$V_{Rd,min} = 1,45 \cdot 0,175 \left( 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 40^{\frac{1}{2}} \right) = 89 \text{ kN}$$

Tikrinama pagal 2.32 formulę:

$$V_{Rd,min} > V_{ed,max} \quad (2.32)$$

čia:  $V_{Rd,min}$  – skaičiuotinė minimali skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, kN;

$V_{Rd,max}$  – skaičiuotinė skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, kN.

Sąlyga tenkinama  $89 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ , betono stiprumas skersinėms jėgoms įstrižiniame pjūvyje pakankamas ir skersinės armatūros nereikia.

## 2.8 Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimo metodika

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis pagal 2.33 formulę:

$$n_e = \frac{E_f}{E_{c,eff}} \quad (2.33)$$

čia:  $n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis

$E_f$  – armatūros tamprumo modulis, MPa

$E_{c,eff}$  - naudingasis betono tamprumo modulis (liestinis, kai  $\sigma_c = 0$ ), MPa.

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas apskaičiuojamas pagal 2.34 formulę:

$$A_{el} = A_c + (n_e - 1) \cdot (A_{f1} + A_{f2}) \quad (2.34)$$

čia:  $A_{el}$  - nesupleišėjusio skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;

$A_c$  – suminis betono dalies plotas,  $m^2$ ;

$n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$A_{f1}$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje plotas,  $m^2$ ;

$A_{f2}$  – armatūros gniuždomojoje (nuo jėgų poveikio) skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu apskaičiuojamas pagal 2.35 formulę:

$$S_{el} = A_c \cdot \frac{h}{2} + (n_e - 1) \cdot (A_{f1} \cdot d + A_{f2} \cdot a_{s2}) \quad (2.35)$$

čia:  $S_{el}$  – nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu,  $m^3$ ;

$A_c$  – suminis betono dalies plotas,  $m^2$ ;

$n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$A_{f1}$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje plotas,  $m^2$ ;

$A_{f2}$  – armatūros gniuždomojoje (nuo jėgų poveikio) skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;

$h$  – plokštės aukštis,  $m$ ;

$d$  – atstumas iki gniuždomosios armatūros svorio centro plokštės viršutinio krašto atžvilgiu,  $m$ ;

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis apskaičiuojamas pagal 2.36 formulę:

$$x_{c,el} = \frac{S_{el}}{A_{el}} \quad (2.36)$$

čia:  $x_{c,el}$  – nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutraliosios ašies padėtis  $m$ ;

$S_{el}$  – nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu,

$A_{el}$  – nesupleišėjusio skerspjūvio plotas,  $m^2$ .

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas apskaičiuojamas pagal 2.37 formulę:

$$I_{el} = \frac{bh^3}{12} + bh \left( \frac{h}{2} - x_{c,el} \right)^2 + A_{f1} (n_e - 1) (d - x_{c,el})^2 + A_{f2} (n_e - 1) (x_{c,el} - a_{s2})^2 \quad (2.37)$$

čia:  $I_{el}$  – nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas,  $m^4$ ;

$b$  – plokštės skerspjūvio plotis,  $m$ ;

$h$  – plokštės skerspjūvio aukštis,  $m$ ;

$n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$A_{f1}$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje plotas,  $m^2$ ;

$A_{f2}$  – armatūros gniuždomojoje (nuo jėgų poveikio) skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;

$x_{c,el}$  – nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutraliosios ašies padėtis  $m$ ;

$a_{s2}$  – atstumas iki gniuždomosios armatūros svorio centro plokštės viršutinio krašto atžvilgiu,  $m$ .

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis apskaičiuojamas pagal 2.38 formulę:



$$\kappa_1 = \frac{M_{\max}}{E_{c,eff} \cdot I_{el}}$$

čia:  $\kappa_1$  – išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis,  $\frac{1}{m}$ ;

$M_{\max}$  – didžiausio lenkimo momentas nuo išorinių apkrovų, kNm;

$E_{c,eff}$  – naudingasis betono tamprumo modulis (liestinis, kai  $\sigma_c = 0$ ), MPa;

$I_{el}$  – nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas,  $m^4$ .

Supleišėjusio skerspjūvio gniuždomosios zonos aukštis apskaičiuojamas pagal 2.39 formulę:

$$\begin{aligned} b \cdot x_{c,cr} \cdot \frac{x_{c,cr}}{2} + n_e \cdot A_{f2} \cdot (x_{c,cr} - a_{s2}) &= n_e \cdot A_{f1} \cdot (d - x_{c,cr}) \\ a \cdot x_{c,cr}^2 + b \cdot x_{c,cr} - c &= 0 \end{aligned} \tag{2.39}$$

čia:  $b$  – plokštės skerspjūvio plotas, m;

$x_{c,cr}$  – supleišėjusio skerspjūvio gniuždomosios zonos aukštis, m;

$n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$A_{f1}$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje plotas,  $m^2$ ;

$A_{f2}$  – armatūros gniuždomojoje (nuo jėgų poveikio) skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;

$a_{s2}$  – atstumas iki gniuždomosios armatūros svorio centro plokštės viršutinio krašto atžvilgiu, m.

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas apskaičiuojamas pagal 2.40 formulę:

$$I_{cr} = \frac{bx_{c,cr}^3}{12} + bx_{c,cr} \left( \frac{x_{c,cr}}{2} \right)^2 + n_e A_{f1} (d - x_{c,cr})^2 + A_{f2} (n_e - 1) (x_{c,cr} - a_{s2})^2 \tag{2.40}$$

čia:  $I_{cr}$  – supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas,  $m^4$ ;

$b$  – plokštės skerspjūvio plotas, m;

$x_{c,cr}$  – supleišėjusio skerspjūvio gniuždomosios zonos aukštis, m;

$n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$A_{f1}$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje plotas,  $m^2$ ;

$A_{f2}$  – armatūros gniuždomojoje (nuo jėgų poveikio) skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;

$a_{s2}$  – atstumas iki gniuždomosios armatūros svorio centro plokštės viršutinio krašto atžvilgiu, m;

$d$  – atstumas iki gniuždomosios armatūros svorio centro plokštės viršutinio krašto atžvilgiu, m.

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis apskaičiuojamas pagal 2.41 formulę;

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot M_{\max}}{E_{c,eff} \cdot I_{cr}} \quad (2.41)$$

čia:  $\kappa_{II}$  – išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis,  $\frac{1}{m}$ ;

$M_{\max}$  – didžiausio lenkimo momentas nuo išorinių apkrovų, kNm;

$E_{c,eff}$  – naudingasis betono tamprumo modulis (liestinis, kai  $\sigma_c = 0$ ), MPa;

$I_{cr}$  – supleišėjus skerspjūvio ploto inercijos momentas,  $m^4$ .

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas apskaičiuojamas pagal 2.42 formulę:

$$M_{cr} = f_{ct} \cdot \frac{I_{el}}{(h - x_{c,el})} \quad (2.42)$$

čia  $M_{cr}$  – elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas kNm;

$f_{ct}$  – betono tempiamasis stipris, MPa;

$I_{el}$  – nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas,  $m^4$ .

$h$  – plokštės aukštis, m;

$x_{c,el}$  – nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutraliosios ašies padėtis m.

Pasiskirstymo koeficientas apskaičiuojamas pagal 2.43 formulę:

$$\zeta = 1 - \beta \left( \frac{M_{cr}}{M_{\max}} \right)^2 \quad (2.43)$$

čia:  $\zeta$  – pasiskirstymo koeficientas;

$\beta$  – koeficientas lygus 1,0;

$M_{cr}$  – elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas kNm;

$M_{\max}$  – didžiausio lenkimo momentas nuo išorinių apkrovų, kNm;

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis apskaičiuojamas pagal 2.44 formulę:

$$\kappa_m = \zeta \cdot \kappa_{II} + (1 - \zeta) \kappa_1 \quad (2.44)$$

čia:  $\kappa_m$  – išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis,  $\frac{1}{m}$ ;

$\zeta$  – pasiskirstymo koeficientas;

$\kappa_{II}$  – išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis,  $\frac{1}{m}$ ;

$\kappa_I$  – išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis,  $\frac{1}{m}$ ;

$M_{cr}$  – elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas kNm;

Plokštės įlinkis apskaičiuojamas pagal 2.45 formulę:

$$\delta = k\kappa_m \cdot l^2 \quad (2.45)$$

čia:  $\delta$  – plokštės įlinkis, m;

$k$  – apkrovos tipą įvertinantis koeficientas, lygus  $\frac{5}{48}$ ;

$\kappa_m$  – išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis,  $\frac{1}{m}$ ;

$l$  – tarpatramio ilgis, m.

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis  $h_{ct,eff}$  yra mažiausia reikšmė iš 2.46; 2.47; 2.48 formulių:

$$2,5(h - d) \quad (2.46)$$

$$\frac{h - x_{c,el}}{3} \quad (2.47)$$

$$\frac{h}{2} \quad (2.48)$$

čia:  $h_{ct,eff}$  – tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis, m;

$h$  – plokštės aukštis, m;

$d$  – atstumas iki tempiamosios armatūros svorio centro plokštės viršutinio krašto atžvilgiu, m;

$x_{c,el}$  – nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutraliosios ašies padėtis m.

Efektyvusis tempiamojo betono plotas apskaičiuojamas pagal 2.49 formulę:

$$A_{ct,eff} = b \cdot h_{ct,eff} \quad (2.49)$$

čia:  $A_{ct,eff}$  – efektyvusis tempiamojo betono plotas,  $m^2$ ;

$b$  – plokštės plotis, m;

$h_{ct,eff}$  – tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis, m;

Arnavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal 2.50 formulę;

$$\rho_{eff} = \frac{A_{f1}}{A_{ct,eff}} \quad (2.50)$$

čia:  $\rho_{eff}$  = arnavimo koeficientas;

$A_{f1}$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje plotas, m<sup>2</sup>;

$A_{ct,eff}$  – efektyvusis tempiamojo betono plotas, m<sup>2</sup>;

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas apskaičiuojami pagal 2.51 formulę. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_f - k_t \frac{f_{ct}}{\rho_{eff}} (1 + n_e \cdot \rho_{eff})}{E_f} \geq 0,6 \frac{\sigma_f}{E_f}, \quad (2.51)$$

čia:  $\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm}$  – vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas;

$\sigma_f$  – normaliniai (statmenieji) įtempiai, lygus 422 MPa;

$k_t$  – koeficientas, įvertinantis betono šoninio apspaudimo nevienodumą, apskaičiuojant glemžimui, lygus 0,6;

$\rho_{eff}$  = arnavimo koeficientas;

$f_{ct}$  – betono tempiamasis stipris, MPa;

$n_e$  – armatūros ir betono tamprumo modulių santykis;

$E_f$  – armatūros tamprumo modulis, MPa.

Didžiausias atstumas tarp plyšių apskaičiuojamas pagal 2.52 formulę:

$$l_{cr,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{eff}} \quad (2.52)$$

čia:  $l_{cr,max}$  – didžiausias atstumas tarp plyšių, m;

$c$  – betono apsauginio sluoksnio storis, m;

$k_3$  – koeficientas, lygus 3,4;

$k_1$  – koeficientas, rumbuotųjų strypų, lygus 0,8;

$k_2$  – koeficientas, kurio įvertinama deformacijų pasiskirstymo skerspjūvyje forma, lenkiamųjų elementų lygus 0,5;

$k_4$  – koeficientas, lygus 0,425

$\emptyset$  – armatūros tempiamojoje arba mažiau gniuždomoje skerspjūvio zonoje diametras, m;

$\rho_{\text{eff}}$  = armavimo koeficientas.

Didžiausias plyšio plotis apskaičiuojamas pagal 2.53 formulę:

$$w_{\text{max}} = l_{\text{cr,max}} \cdot (\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}}) \quad (2.53)$$

čia:  $w_{\text{max}}$  – didžiausias plyšio plotis, mm;

$l_{\text{cr,max}}$  – didžiausias atstumas tarp plyšių, m;

$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}}$  – vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas;

## 2.9 Analitinis betoninės kiaurymėtos perdangos plokštės tyrimas

### 2.9.1 Išilginės plieninės armatūros analitinis tyrimas

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Betono C40/50 tempiamasis stipris 2,5 MPa;

Vidutinis betono tempiamasis stipris  $f_{\text{ctm}} = 2,25$  MPa;

Armatūros charakteristinis takumo stipris  $f_{\text{yk}} = 785$  MPa;

Apsauginis betono sluoksnis  $a_1 = 0,02$  m.

### 2.3 lentelė. Išilginės plieninės armatūros skaičiavimų parametų vertės

Formulės Nr.	2.16	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22
Parametų vertės	714	0,175	0,091	0,115	8,16	2,0	0,0008

Tikrinama sąlyga: iš 2.19 formulės gauta vertė  $0,115 \leq 0,042/0,20 = 0,21$ , sąlyga tenkinama, tai skaičiuojamas  $A_{s1}$  – kaip stačiakampio skerspjūvio.

Tikrinama ar tenkinami minimalūs armavimo reikalavimai, lyginamos 2.20 ir 2.21 formulių vertės,  $8,16 > 2,0 \text{ cm}^2$ .

Minimalus armavimo reikalavimai tenkinami. Iš asortimento lentelės parenku 8Ø12 A800 klasės strypus, kurių  $A_{s1} = 9,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (9,04 \text{ cm}^2)$

### 2.9.2 Išilginės stiklo pluošto (FRP) armatūros analitinis tyrimas

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Betono C40/50 tempiamasis stipris 2,5 MPa;

Vidutinis betono tempiamasis stipris  $f_{ctm} = 2,25 \text{ MPa}$ ;

Armatūros charakteristinis takumo stipris  $f_{yk} = 1000 \text{ MPa}$ ;

Apsauginis betono sluoksnis  $a_1 = 0,02 \text{ m}$ .

**2.4 lentelė.** Išilginė stiklo pluošto (FRP) armatūros skaičiavimų parametru vertės.

Formulės Nr.	2.16	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22
Parametru vertės	435	0,175	0,091	0,115	13,4	2,9	0,0013

Tikrinama sąlyga: iš 2.19 formulės gauta vertė  $0,115 \leq 0,042/0,20 = 0,21$ , sąlyga tenkinama, tai skaičiuojamas  $A_{s1}$  – kaip stačiakampio skerspjūvio.

Tikrinama ar tenkinami minimalūs armavimo reikalavimai, lyginamos 2.20 ir 2.21 formulių vertės,  $13,4 > 2,9 \text{ cm}^2$ .

Minimalus armavimo reikalavimai tenkinami. Iš asortimento lentelės parenku 8Ø16 stiklo pluošto (FRP) strypus, kurių  $A_{s1} = 14,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (14,07 \text{ cm}^2)$ .

### 2.9.3 Išilginės stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros analitinis tyrimas

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Betono C40/50 tempiamasis stipris 2,5 MPa;

Vidutinis betono tempiamasis stipris  $f_{ctm} = 2,25$  MPa;

Armatūros charakteristinis takumo stipris  $f_{yk} = 1350$  MPa;

Apsauginis betono sluoksnis  $a_1 = 0,02$  m.

**2.5 lentelė.** Išilginė stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros skaičiavimų parametų vertės.

Formulės Nr.	2.16	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22
Parametų vertės	540	0,175	0,091	0,115	10,08	2,45	0,0011

Tikrinama sąlyga: iš 2.19 formulės gauta vertė  $0,115 \leq 0,042/0,20 = 0,21$ , sąlyga tenkinama, tai skaičiuojamas  $A_{s1}$  – kaip stačiakampio skerspjuvio.

Tikrinama ar tenkinami minimalūs armavimo reikalavimai, lyginamos 2.20 ir 2.21 formulių vertės,  $10,8 > 2,45$  cm<sup>2</sup>.

Minimalus armavimo reikalavimai tenkinami. Iš asortimento lentelės parenku 8Ø14 stiklo - bazalto pluošto (SBA) strypus, kurių  $A_{s1} = 12,3 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup> (12,3 cm<sup>2</sup>).

#### **2.9.4 Skersinės plieninės armatūros analitinis tyrimas**

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Skaičiuotinė skersinė jėga nuo apkrovų poveikio  $V_{ed} = 70,02$  kN

Betono C40/50 tempiamasis stipris  $f_{ctm} = 2,5$  MPa;

Armatūros charakteristinis takumo stipris  $f_{yk} = 785$  MPa;

Betono apsauginis sluoksnis  $a_1 = 0,045$

Vidutinis betono tempiamasis stipris  $f_{ck} = 40$  MPa;

**2.6 lentelė.** Skersinės plieninės armatūros skaičiavimų parametų vertės

Formulės Nr.	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.30	2.31	2.32
Parametų vertės	26,67	714	0,175	0,16	Teisinga	445,85	2,0	$A_{s1} = 0$	89	Teisinga

Tikrinama ar 2.28 formulėje skaičiuotinė skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, yra didesnė ar lygi už  $V_{ed}$  – skaičiuotinę skersinę jėgą nuo apkrovų poveikio  $445,85 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ . Sąlyga tenkinama, vadinasi skerspjūvio gniuždomo betono stiprumas yra pakankamas.

Tikrinama ar 2.31 formulėje skaičiuotinė minimali skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, yra didesnė ar lygi už  $V_{ed, \max}$  – skaičiuotinę skersinę jėgą, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį  $89 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ . Sąlyga tenkinama. Betono stiprumas skersinėms jėgoms įstrižiniame pjūvyje pakankamas ir skersinės armatūros nereikia.

### 2.9.5 Skersinės stiklo pluošto (FRP) armatūros analitinis tyrimas

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Skaičiuotinė skersinė jėga nuo apkrovų poveikio  $V_{ed} = 70,02 \text{ kN}$

Betono C40/50 tempiamasis stipris  $f_{ctm} = 2,5 \text{ MPa}$ ;

Armatūros charakteristinis takumo stipris  $f_{yk} = 1000 \text{ MPa}$ ;

Betono apsauginis sluoksnis  $a_1 = 0,045$

Vidutinis betono tempiamasis stipris  $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ ;

**2.6 lentelė.** Skersinės stiklo pluošto (FRP) armatūros skaičiavimų parametų vertės

Formulės Nr.	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.30	2.31	2.32
Parametų vertės	26,67	435	0,175	0,16	Teisinga	445,85	2,0	$A_{s2} = 0$	89	Teisinga



Tikrinama ar 2.28 formulėje skaičiuotinė skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, yra didesnė ar lygi už  $V_{ed}$  – skaičiuotinę skersinę jėgą nuo apkrovų poveikio  $445,85 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ . Sąlyga tenkinama, vadinasi skerspjuvio gniuždomo betono stiprumas yra pakankamas.

Tikrinama ar 2.31 formulėje skaičiuotinė minimali skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, yra didesnė ar lygi už  $V_{ed, \max}$  – skaičiuotinę skersinę jėgą, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį  $89 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ . Sąlyga tenkinama. Betono stiprumas skersinėms jėgoms įstrižiniame pjūvyje pakankamas ir skersinės armatūros nereikia.

### 2.9.6 Skersinės stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros analitinis tyrimas

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Skaičiuotinė skersinė jėga nuo apkrovų poveikio  $V_{ed} = 70,02 \text{ kN}$

Betono C40/50 tempiamasis stipris  $f_{ctm} = 2,5 \text{ MPa}$ ;

Armatūros charakteristinis takumo stipris  $f_{yk} = 1350 \text{ MPa}$ ;

Betono apsauginis sluoksnis  $a_1 = 0,045$

Vidutinis betono tempiamasis stipris  $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ ;

### 2.6 lentelė. Skersinės stiklo – bazalto pluošto (SBA) skaičiavimų parametrų vertės

Formulės Nr.	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.30	2.31	2.32
Parametrų vertės	26,67	540	0,175	0,16	Teisinga	445,85	2,0	$A_{s2} = 0$	89	Teisinga

Tikrinama ar 2.28 formulėje skaičiuotinė skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, yra didesnė ar lygi už  $V_{ed}$  – skaičiuotinę skersinę jėgą nuo apkrovų poveikio  $445,85 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ . Sąlyga tenkinama, vadinasi skerspjuvio gniuždomo betono stiprumas yra pakankamas.

Tikrinama ar 2.31 formulėje skaičiuotinė minimali skersinė jėga, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį, yra didesnė ar lygi už  $V_{ed, \max}$  – skaičiuotinę skersinę jėgą, kurią atlaiko gniuždomieji spyriai, apskaičiuojant įstrižąjį pjūvį  $89 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ . Sąlyga

tenkinama. Betono stiprumas skersinėms jėgoms įstrižiniame pjūvyje pakankamas ir skersinės armatūros nereikia.

### 2.9.7 Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant plieninius armatūros strypus, analitinis tyrimas

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis 5,86

Suminis betono dalies plotas 0.1978 m<sup>2</sup>

**2.7 lentelė.** Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant naudojant plieninius armatūros strypus, skaičiavimo duomenys.

Formulės Nr. Strypo	2,34	2,35	2,36	2,37	2,38	2,39	2,40
Ø							
12	0,2019	0,02264	0,1121	0,0013575	0,0020617	0,0349	0,00016551
14	0,20378	0,02295	0,1126	0,0017001	0,0020070	0,0399	0,0002163
16	0,20559	0,02332	0,1134	0,0013843	0,0019869	0,0447	0,00027077
18	0,20769	0,02374	0,1143	0,0014008	0,0019635	0,049	0,00033047
20	0,21001	0,02420	0,1152	0,0014188	0,0019386	0,0538	0,00039211

Formulės Nr. Strypo Ø	2,41	2,42	2,43	2,44	2,45	2,47	2,49
12	0,0099712	28307,878	0,9135	0,0092873	0,0309	0,03597	0,053595
14	0,0076299	28701,327	0,9111	0,00713	0,02379	0,0358	0,053342
16	0,0060949	29218,551	0,9079	0,005717	0,01908	0,03553	0,052939
18	0,0049939	29819,631	0,9041	0,004703	0,01569	0,03523	0,052492
20	0,0042089	30461,307	0,8999	0,003982	0,01329	0,03493	0,052045

Formulės Nr.	2,50	2,51	2,51	2,52	2,53
Strypo Ø					
12	0,016867150	0,0016295	Tenkina	0,1621	0,264
14	0,023058753	0,001734356	Tenkina	0,1621	0,281
16	0,030608439	0,0018047976	Tenkina	0,1619	0,292
18	0,038786346	0,00185016066	Tenkina	0,1619	0,2995
20	0,048284188	0,00188355956	Tenkina	0,6185	0,305

Pagal atliktą tyrimą, 12-18 diametro plieniniai strypai gali būti naudojami kaip tempiamieji armatūros strypai gelžbetoninėje kiaurymėje perdangos plokštėje, konstrukciją veikiant duotoms apkrovoms, kadangi tenkina 2.51 formulėje nurodytą nelygybę.

**2.9.8 Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant stiklo pluošto (FRP) armatūros strypus, analitinis tyrimas**

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis 1,29

Suminis betono dalies plotas 0.1978 m<sup>2</sup>

**2.7 lentelė.** Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant naudojant stiklo pluošto (FRP) armatūros strypus, skaičiavimo duomenys.

Formulės Nr.	2,34	2,35	2,36	2,37	2,38	2,39	2,40
Strypo Ø							
12	0,19806	0,02181	0,1101	0,00132425	0,0020770	0,0215	0,00004293
14	0,19816	0,021829	0,1102	0,00132502	0,0020759	0,0247	0,00005624
16	0,19826	0,021851	0,1102	0,00132589	0,0020792	0,0278	0,00007195

18	0,19839	0,021876	0,1103	0,00132691	0,0020729	0,0309	0,00008976
20	0,19853	0,021904	0,1103	0,00132802	0,0020712	0,0339	0,00010879

Formulės Nr.	2,41	2,42	2,43	2,44	2,45	2,47	2,49
Strypo Ø							
12	0,039207528	27111,579	0,9207	0,036263	0,12101	0,03663	0,054579
14	0,029342662	27152,049	0,9205	0,027175	0,09068	0,0366	0,054534
16	0,022937102	27169,877	0,9203	0,021275	0,071	0,0366	0,054534
18	0,018386992	27215,565	0,9201	0,017083	0,05701	0,03657	0,054489
20	0,015170391	27238,332	0,9199	0,01421	0,04712	0,03657	0,054489

Formulės Nr.	2,50	2,51	2,51	2,52	2,53
Strypo Ø					
12	0,016563238	0,007527838	Tenkina	0,1623	1,222
14	0,0225547	0,008008978	Tenkina	0,1623	1,3
16	0,029376169	0,0083117841	Tenkina	0,1623	1,35
18	0,0373651341	0,008536190	Tenkina	0,1623	1,39
20	0,0461191463	0,008688589	Tenkina	0,1623	1,41

Pagal atliktą tyrimą, 12-18 diametro stiklo pluošto strypai gali būti naudojami kaip tempiamieji armatūros strypai gelžbetoninėje kiaurymėje perdangos plokštėje, konstrukciją veikiant duotoms apkrovoms, kadangi tenkina 2.51 formulėje nurodytą nelygybę.

### ***2.9.9 Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros strypus, analitinis tyrimas***

Duomenys:

Plokštės ilgis 5660 mm;

Plokštės plotis 1490 mm;

Plokštės aukštis 220 mm;

Didžiausia apkrova 96,27 kNm;

Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis 1,8

Suminis betono dalies plotas 0.1978 m<sup>2</sup>

**2.7 lentelė.** Pleišėjimo ir įlinkių, naudojant naudojant stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros strypus, skaičiavimo duomenys.

Formulės Nr.	2,34	2,35	2,36	2,37	2,38	2,39	2,40
Strypo Ø							
12	0,19852	0,0219026	0,1103	0,0013279	0,002071245	0,0235	0,0000571366
14	0,19878	0,0219548	0,1104	0,0013308	0,002067974	0,0259	0,0000757372
16	0,19908	0,0220143	0,1106	0,0013325	0,002064234	0,0297	0,0000966421
18	0,19943	0,0220838	0,1107	0,0013353	0,002059921	0,0327	0,0001199415
20	0,19981	0,0221608	0,1109	0,0013384	0,002055196	0,0347	0,0001443495

Formulės Nr.	2,41	2,42	2,43	2,44	2,45	2,47	2,49
Strypo Ø							
12	0,028884162	27237,511	0,92	0,026739	0,08923	0,03657	0,0544893
14	0,021790386	27305,474	0,92	0,02013	0,06745	0,03653	0,0544297
16	0,017076852	27404,959	0,919	0,015861	0,05293	0,03647	0,054303
18	0,013759565	27487,466	0,9185	0,012806	0,04273	0,03643	0,0542807
20	0,11432966	27601,169	0,9178	0,010662	0,03558	0,03637	0,0541913

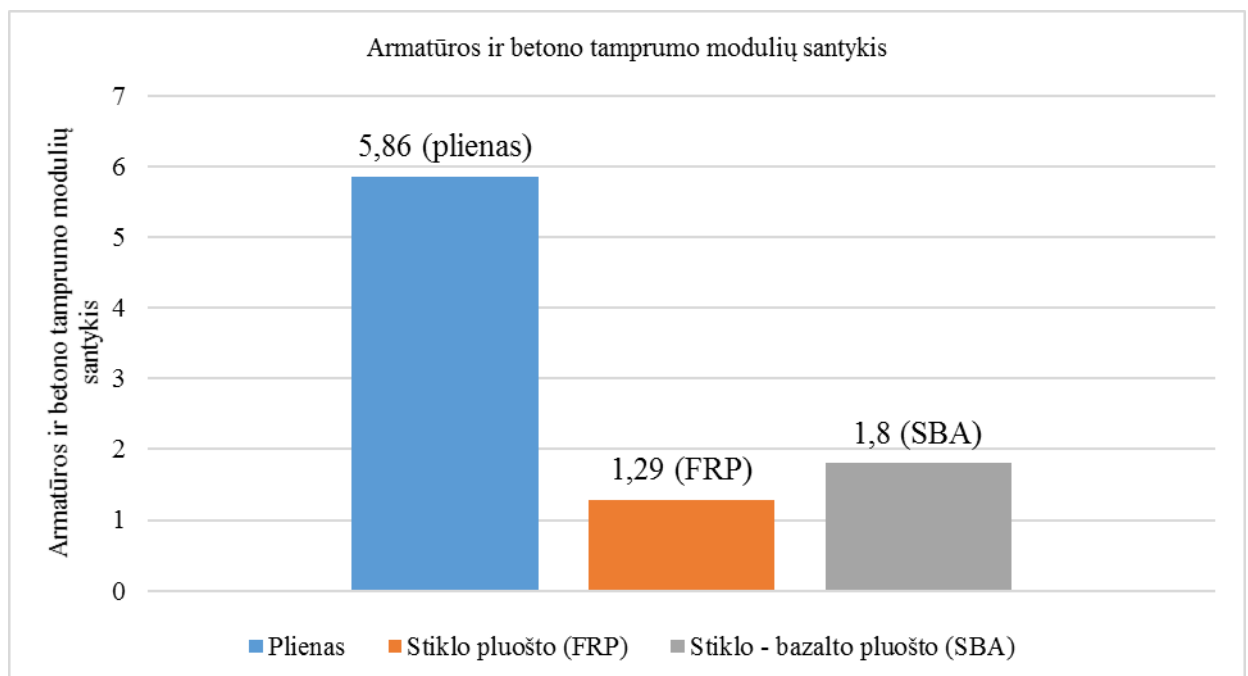
Formulės Nr.	2,50	2,51	2,51	2,52	2,53
Strypo Ø					
12	0,0165904132	0,005368218	Tenkina	0,1623	0,871
14	0,0225979566	0,005696597	Tenkina	0,1623	0,925

16	0,0294808825	0,005932978	Tenkina	0,1622	0,962
18	0,0375087278	0,006088546	Tenkina	0,1622	0,988
20	0,0463727573	0,006197747	Tenkina	0,1622	1,005

Pagal atliktą tyrimą, 12-18 diametro stiklo – bazalto pluošto strypai gali būti naudojami kaip tempiamieji armatūros strypai gelžbetoninėje kiaurymėtoje perdangos plokštėje, konstrukciją veikiant duotoms apkrovoms, kadangi tenkina 2.51 formulėje nurodytą nelygybę.

### 2.9.10 Armatūros strypų ir betono tamprumo modulių santykis

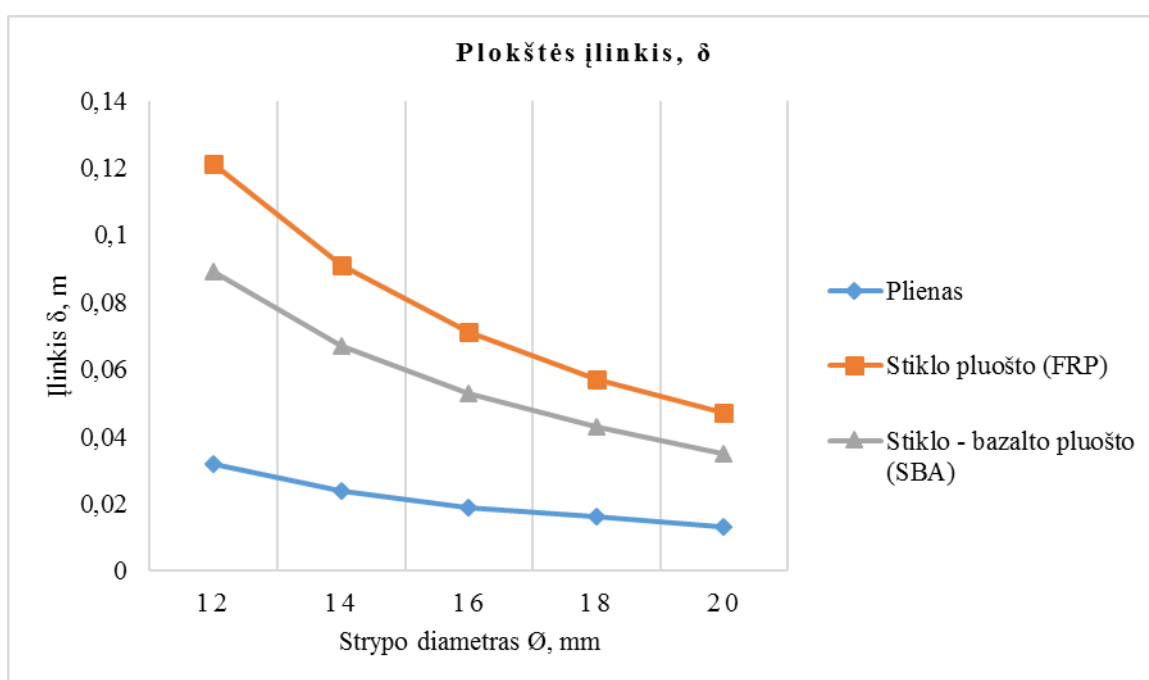
Sukibimu vadinamas armatūros ir betono tarpusavio sąveikos reiškinys, kurio metu atsirandantys armatūros įtempiai perduodami betonui, ir atvirkščiai. Sukibimo kokybė nulemia tokias svarbias konstrukcijos savybes, kaip armatūros inkaravimo ir užleistinių sandūrų ilgis, plyšio plotis, atstumas tarp plyšių ir bendros konstrukcijos deformacijos. [2] Iš darbe atliktų skaičiavimų matyti, kad šis dydis yra didesnis naudojant plieninės armatūros strypus, nei naudojant kompozitinius stiklo pluošto (FRP) ar stiklo – bazalto pluošto strypus (SBA). Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis pateiktas 2.5 pav.



2.5 pav. Armatūros ir betono tamprumo modulių santykis

### 2.9.11 Įlinkis

Iš darbe atklyktų skaičiavimų matyti, kad šis dydis yra didesnis naudojant kompozitinius stiklo pluošto ir stiklo – bazalto pluošto strypus, nei naudojant plieninius armatūros strypus. Plokščių įlinkiai pateikti 2.6 pav. Iš 2.6 pav. matyti, kad plokštės armuotos stiklo pluošto (FRP) strypais įlinkis yra didžiausias. Naudojant stiklo – bazalto pluošto (SBA) strypus, įlinkis mažesnis, o pats mažiausias įlinkis naudojant plieninius armatūros strypus. Iš 2.6 pav. pateikto gelžbetoninės kiauromėtos perdangos plokštės įlinkio grafiko priklausomybės nuo armuojančiųjų strypų diametro, matyti, kad Ø12 mm plieninius armatūros strypus atitinka Ø20 mm kompozitiniai stiklo - bazalto pluošto (SBA) armatūros strypai. Iš 2.6 pav. grafiko matyti, kad didėjant armatūros strypų diametru plokštės įlinkis mažėja.

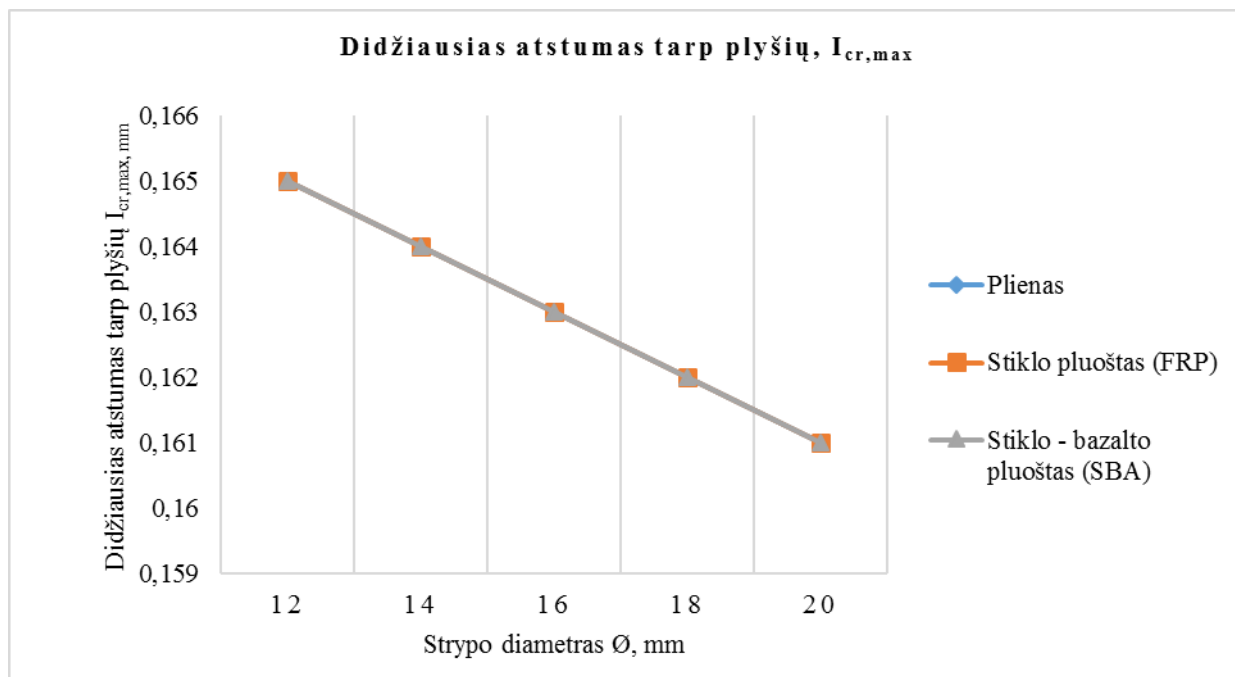


2.6 pav. Įlinkio priklausomybė nuo armuojančiųjų strypų diametro grafikas

### 2.9.12 Atstumas tarp plyšių

Gelžbetoniniame elemente atstumas tarp plyšių  $l_{cr}$  yra neapibrėžtas, tačiau turi patekti į tam tikrą specifinį intervalą:  $l_{tr} \leq l_{cr} \leq 2l_{tr}$ . Kai bloko ilgis yra mažesnis, nei  $2l_{tr}$ , blokas į dvi dalis neskykla, kai bloko ilgis, nors ir nedaug viršija  $2l_{tr}$ , atsiveriant plyšiui blokas skykla į dvi dalis. Pasiėkus stabilų plyšių stadiją, didinant apkrovą auga tik armatūros deformacija, nes betonai jau būna suskilę į tokio dydžio blokus, kurių ilgis mažesnis už du įtempių perdavimo ilgius [2]. Iš 2.7

paveikslo matyti, kad didžiausias atstumas tarp betono tempiamojo skerspjūvio plyšių yra 0,165 m, jei būtų naudojami  $\varnothing 12$  mm armatūros strypai ir mažiausias atstumas tarp betono tempiamojo skerspjūvio plyšių yra 0,162 m, jei būtų naudojami  $\varnothing 20$  mm armatūros strypai. Tiek naudojant kompozitinę armatūrą, tiek naudojant plieninius armatūros strypus didžiausias atstumas tarp plyšių yra vienodas, nes jis priklauso nuo tempiamojo betono ploto ir armavimo koeficiento, kurį įtakoja tempiamosios armatūros skerspjūvio plotas. Iš 2.7 pav. grafiko matyti, kad didėjant armatūros strypų skerspjūviui atstumas tarp plyšių mažėja.



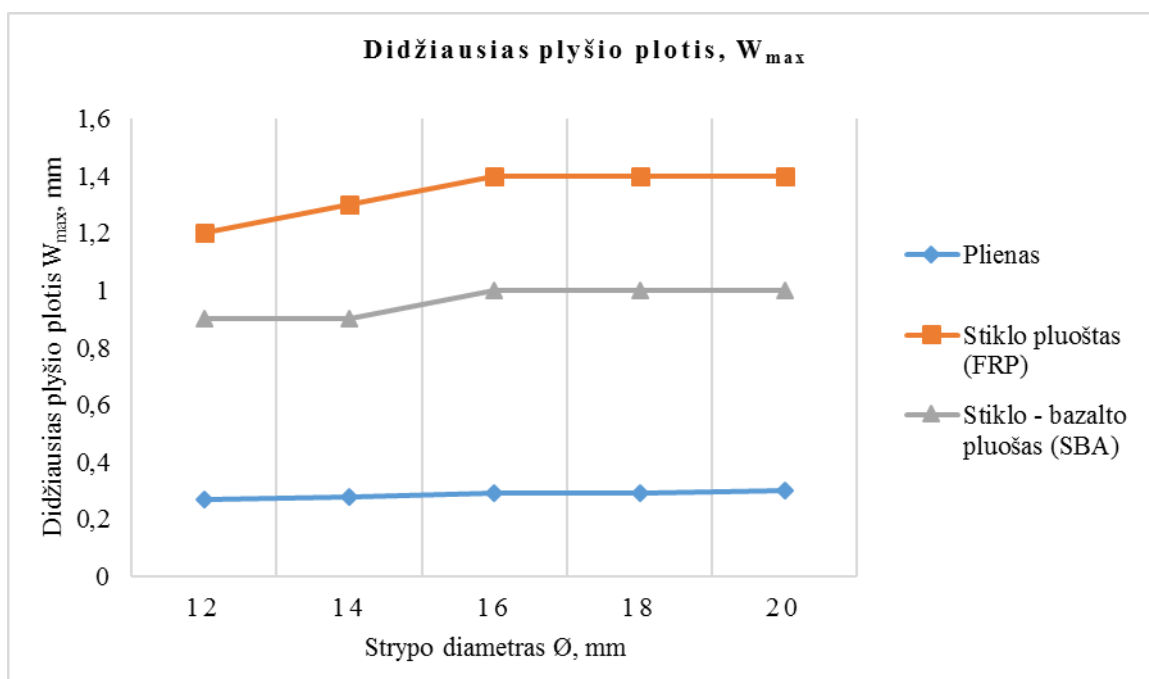
2.7 pav. Didžiausio atstumo tarp plyšių priklausomybės nuo armuojančių strypų diametro grafikas

### 2.9.13 Plyšiai

Nagrinėjant armatūros sukibimą su betonu, egzistuoja tam tikras įtempių perdavimo ilgis  $l_{tr}$  reikalingas betono tempiamajam stipriui pasiekti. Taigi, plyšys gelžbetoniniame elemente negali atsiverti mažesniu, nei  $l_{tr}$  atstumo nuo apkrauto armatūros galo. Kai pasiekimas betono tempiamasis stipris, gelžbetoniniame elemente gali atsiverti plyšys, dalydamas šį elementą į atskirus blokus. Kiekvieno bloko ilgis būtų ne mažesnis kaip  $l_{tr}$ . Kartu galima įvertinti armatūros ir betono deformacijų pasiskirstymą elemente. Betono deformacija plyšyje yra artima nuliui, o armatūroje pasiekia maksimalią reikšmę. Išanalizavus skaičiavimus matyti, kad (stiklo pluošto FRP ir stiklo bazalto pluošto SBA) strypais armuotos plokštės plyšio plotis  $W_{max} \sim 3 - 4$  kartus didesnis, nei plieniniais strypais armuotos plokštės. Iš 2,8 pav. grafiko plyšio plotis gelžbetoninėje kiaurymėtoje



perdangos plokštėje nepriklauso nuo armuojančių strypų diametro. Taip yra todėl, kad nuo apkrovos plokštės tempiamojoje betono dalyje pasiekus deformacijos maksimumą betonas suskyla ir atsiveria plyšys, tuomet toje vietoje betone deformacija artima nuliui, o armatūroje pasiekia maksimumą, taigi apkrova tenka armatūrai ir betone atsivėręs plyšys daugiau nedidėja. Nuo armuojančių strypų diametro priklauso atstumas tarp atsivėrusių plyšių 2,7 pav., tai plyšių ir blokų, į kuriuos gelžbetoninė kiaurymėta perdangos plokštė suskyla, skaičius.



2.8 pav. Didžiausio plyšio pločio priklausomybės nuo armuojančiųjų strypų diametro grafikas

### 2.9.14 Plieninės ir kompozitinės (stiklo pluošto ir stiklo – bazalto pluošto) armatūros strypų rinkos kainų tyrimas

2.9 lentelėje pateiktos plieninės armatūros strypų kainos vyraujančios Lietuvos rinkoje. Išanalizavus 2.9 lentelės duomenis, gauname vidutinę rinkos kainą – 658,24 €/t.

2.9 lentelė. Plieninės armatūros kaina

Pardavėjas	Kaina
<a href="https://www.b-a.eu/c730/Armatura">https://www.b-a.eu/c730/Armatura</a>	$\varnothing 8$ – 0,30 €/m (745 €/t) $\varnothing 10$ – 0,39 €/m (632,09 €/t) $\varnothing 12$ – 0,56 €/m (610 €/t) $\varnothing 14$ – 0,78 €/m (650 €/t)

	Ø16 – 0,94 €/m (571,60 €/t) Ø18 – 1,64 €/m (821,07 €/t) Ø20 – 1,68 €/m (680,61 €/t)
<a href="http://kovasuab.lt/statybines-medziagos/metalai/armatura/">http://kovasuab.lt/statybines-medziagos/metalai/armatura/</a>	Ø12 – 0,63€/m (709 €/t) Ø14 – 0,98 €/m (811,26 €/t) Ø16 – 1,27 €/m (804,82 €/t) Ø20 – 2,10 €/m (851,58 €/t)
<a href="http://www.lankava.lt/armatura-375">http://www.lankava.lt/armatura-375</a>	Ø8 – 0,33 €/m (835,44 €/t) Ø10 – 0,47 €/m (724,75 €/t) Ø12 – 0,67€/m (754,50 €/t) Ø14 – 0,89 €/m (736,75 €/t) Ø16 – 1,17 €/m (741,44 €/t) Ø20 – 1,48 €/m (600,16 €/t)
<a href="http://www.metalairko.lt/metalai/aiii-armatura--15/lt/">http://www.metalairko.lt/metalai/aiii-armatura--15/lt/</a>	Ø8 – 0,26 €/m (650 €/t) Ø10 – 0,34 €/m (550 €/t) Ø12 – 0,48€/m (535 €/t) Ø14 – 0,65 €/m (535 €/t) Ø16 – 0,85 €/m (535 €/t) Ø18 – 1,14 €/m (570 €/t) Ø20 – 1,32 €/m (535 €/t)
<a href="http://www.vedrana.lt/armatura/">http://www.vedrana.lt/armatura/</a>	Ø8 – 0,27€/m (683,54 €/t) Ø10 – 0,33 €/m (534,85 €/t) Ø12 – 0,49 €/m (551,80 €/t)

2.10 lentelėje pateiktos stiklo pluošto armatūros strypų kainos vyraujančios Lietuvos rinkoje. Išanalizavus 2.10 lentelės duomenis, gauname vidutinę rinkos kainą – 2730,21 €/t.

**2.10 lentelė.** Stiklo pluoštu armuotų polimerų armatūros kaina

Pardavėjas	Kaina
<a href="http://ugira.lt/armatura/">http://ugira.lt/armatura/</a>	Ø8 – 0,38 €/m (2923,08€/t) Ø10 – 0,54 €/m (2700€/t) Ø12 – 0,78 €/m (2600 €/t) Ø14 – 0,98 €/m (2450 €/t)

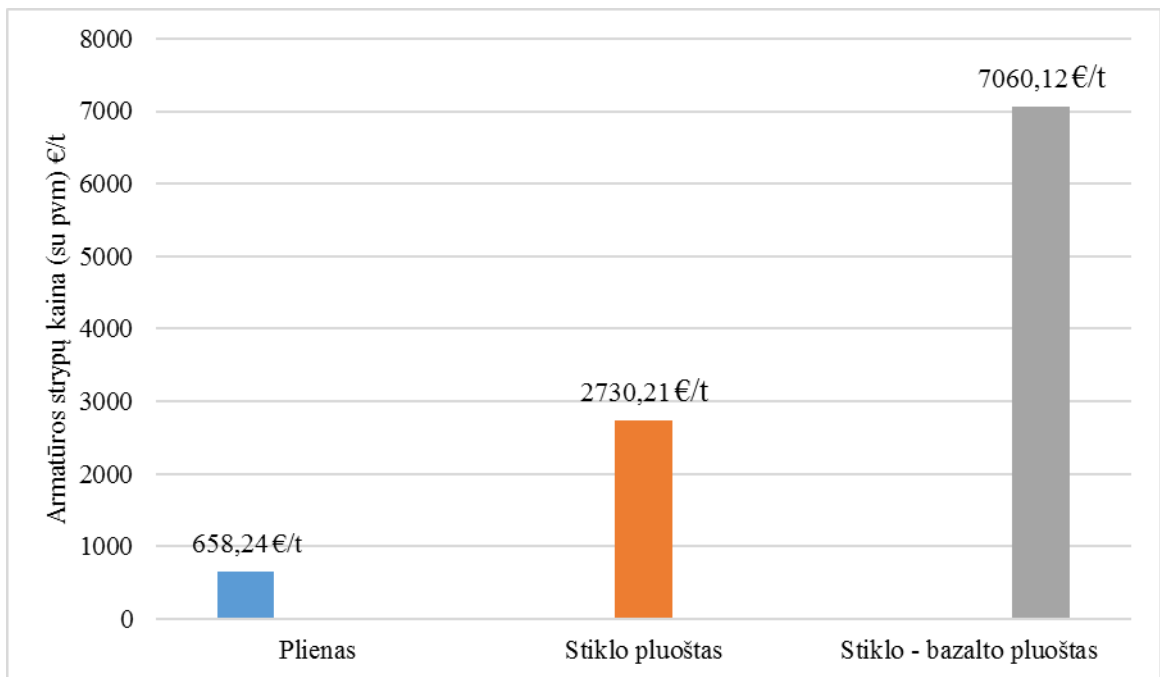
<a href="http://www.fibro.lt/armatura">http://www.fibro.lt/armatura</a>	Ø8 – 0,40 €/m (3076,92 €/t) Ø10 – 0,58 €/m (2900 €/t) Ø12 – 0,80 €/m (2666,67 €/t) Ø14 – 1,01 €/m (2525 €/t)
---	---

2.11 lentelėje pateiktos stiklo - bazalto pluošto armatūros strypų kainos vyraujančios Lietuvos rinkoje. Išanalizavus 2.11 lentelės duomenis, gauname vidutinę rinkos kainą – 7062,12 €/t.

**2.11 lentelė.** Stiklo – bazalto pluoštu armuotų polimerų armatūros kaina

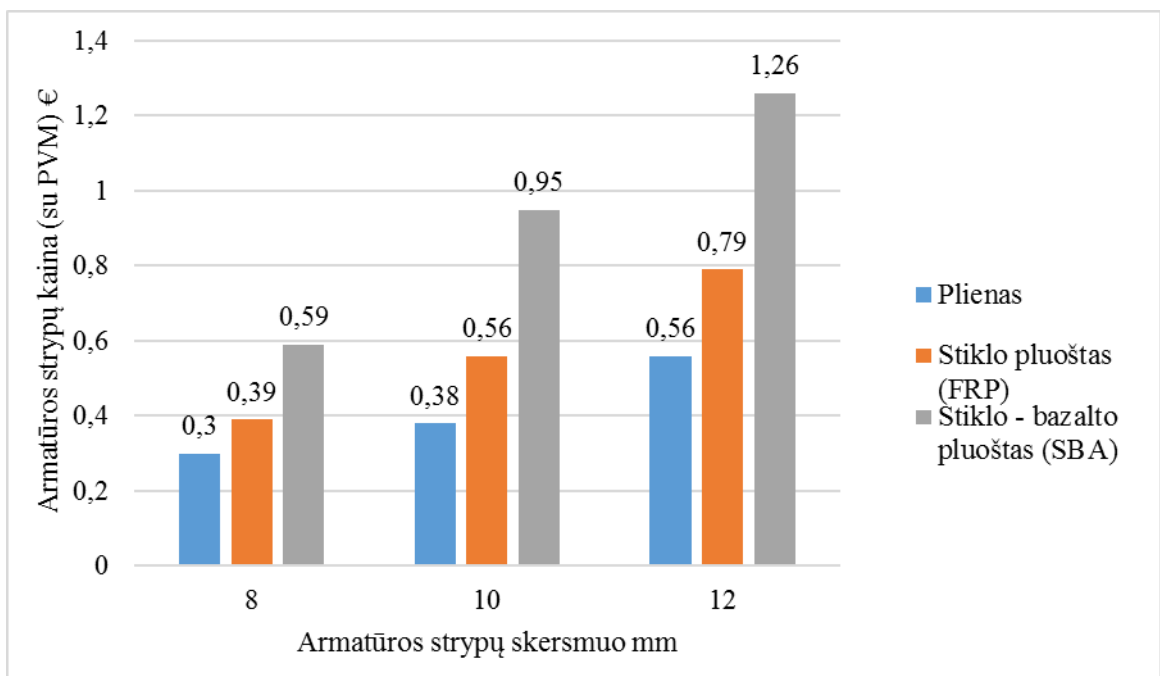
Pardavėjas	Kaina
<a href="https://www.b-a.eu/paieska.php?search_word=+armat%C5%ABra">https://www.b-a.eu/paieska.php?search_word=+armat%C5%ABra</a>	Ø8 – 0,74 €/m (9250 €/t) Ø10 – 1,20 €/m (9230 €/t)
<a href="http://www.durisolionamai.lt/stiklo-bazalto-pluoscaronto-armat363ra.html">http://www.durisolionamai.lt/stiklo-bazalto-pluoscaronto-armat363ra.html</a>	Ø8 – 0,512 €/m (6400 €/t) Ø10 – 0,824 €/m (6333,46 €/t) Ø12 – 1,255 €/m (6275 €/t)
<a href="http://www.greenmaterials.lt/sba-kainos.html">http://www.greenmaterials.lt/sba-kainos.html</a>	Ø8 – 0,512 €/m (6400 €/t) Ø10 – 0,824 €/m (6333,46 €/t) Ø12 – 1,255 €/m (6275 €/t)

Iš 2.9 grafiko matyti, kad didžiausia kaina yra stiklo – bazalto pluošto strypų. Stiklo pluošto armatūra ~ 2,5 karto pigesnė, o plieninė beveik 11 kartu pigesnė.



**2.9 pav.** Armatūros strypų kainos šiandieninėje rinkoje

Iš 2.10 grafiko matyti, kad 1 metro kaina didžiausia stiklo – bazalto pluošto armatūros. Stiklo pluošto armatūra ~1,5 karto pigesnė, o plieninė armatūra ~2 kartus pigesnė.



**2.10 pav.** Armatūros strypų vidutinė kaina už 1 metrą

## Išvados

1. Atlikus gelžbetoninės kiaurymėtosios perdangos plokštės skaičiavimus su plieniniais, kompozitiniais stiklo pluošto FRP ir kompozitiniais stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros strypais nustatyta, kad didžiausias įlinkis naudojant kompozitinius stiklo pluošto FRP armatūros strypus, o mažiausias plieninius armatūros strypus. Taip yra todėl, kad plieninės armatūros ir betono tamprumo modulių santykis yra didesnis 4,5 karto už kompozitinius stiklo pluošto FRP ir 3,2 karto didesnis už kompozitinius stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros strypus.

2. Tyrimas parodė, kad didžiausias atstumas tarp betono tempiamojo skerspjuvio plyšių yra vienodas naudojant, tiek plieninių, tiek stiklo pluošto FRP, tiek stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros strypus. Skiriasi tik plyšių pločiai. Skaičiavimai parodė, kad plyšio plotis  $w_{\max} \sim 4$  kartus didesnis naudojant kompozitinę stiklo pluošto FRP, nei naudojant plieninius armatūros strypus, o naudojant kompozitinius stiklo – bazalto SBA plyšio plotis  $w_{\max} \sim 3$  kartus didesnis, nei naudojant plieninius armatūros strypus.

3. Kompozitiniai stiklo pluošto armatūros strypai yra atsparesni korozijai 5 kartus už plieninius armatūros strypus (100 > 20 metų) Kompozitiniai stiklo pluošto FRP ( $2000 \text{ kg/m}^3$ ) ir kompozitiniais stiklo – bazalto SBA ( $1900 \text{ kg/m}^3$ ) strypai yra 4 kartus lengvesni, nei plieniniai armatūros strypai ( $7850 \text{ kg/m}^3$ ), todėl lengviau transportuoti, naudoti statybos aikštelėje ir mažėja konstrukcijos masė. Kompozitiniai stiklo pluošto (FRP) ir stiklo – bazalto pluošto (SBA) armatūros strypai nelaidūs elektros srovei, praleidžia radijo bangas.

4. Šiandieninėje rinkoje kompozitinės stiklo pluošto armatūros vidutinė kaina yra 2730,21 €/t, kompozitinės stiklo – bazalto pluošto armatūros 7060,12 €/t, o plieninės 658,24 €/t. Tačiau vystant technologijas, stengiamasi sumažinti stiklo pluošto kainą.

## Literatūra

1. Gelžbetonio konstrukcijos : vadovėlis / Antanas Janickas ; Kauno technologijos universitetas – Kaunas : Technologija, 2000.- 296 p. (ISBN 9986-13-901-5)
2. Kompozitais armuotos betoninės konstrukcijos : vadovėlis / Gintaras Kaklauskas, Darius Bačinskas, Viktor Gribniak ir kt. ; Vilniaus Gedimino technikos universitetas – Vilnius : Technika, 2012.- 300p. (ISBN 978-609-457-349-1).
3. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.
4. STR 2.05.05:2005. praktinio taikymo vadovas
5. STR 2.05.04:2003 Poveikiai ir apkrovos.
6. Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos : Vadovėlis aukštosioms mokykloms.- Vilnius: „Mokslas“,1992. 390p.
7. LST EN 1992-1-1:2005. Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės [Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings]. Vilnius, 2007. 232 p.
8. Lawrence C. Bank, Composites for construction: structural design with FRP materials, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey, 2006.- 545 p.

## Informaciniai šaltiniai

- 9.<https://www.b-a.eu/c730/Armatura> [žiūrėta 2016-12-05]
- 10.<http://kovasuab.lt/statybinės-medžiagos/metalai/armatura/> [žiūrėta 2016-12-05]
- 11.<http://www.lankava.lt/armatura-375> [žiūrėta 2016-12-05]
- 12.<http://www.metalairko.lt/metalai/aiii-armatura--15/lt/> [žiūrėta 2016-12-05]
- 13.<http://www.vedrana.lt/armatura/> [žiūrėta 2016-12-05]
- 14.<http://ugira.lt/armatura/> [žiūrėta 2016-12-05]
- 15.<http://www.fibro.lt/armatura> [žiūrėta 2016-12-05]
- 16.[https://www.b-a.eu/paieska.php?search\\_word=+armat%C5%ABra](https://www.b-a.eu/paieska.php?search_word=+armat%C5%ABra) [žiūrėta 2016-12-05]
- 17.<http://www.durisolionamai.lt/stiklo-bazalto-pluoscaronto-armat363ra.html> [žiūrėta 2016-12-05]
- 18.<http://www.greenmaterials.lt/sba-kainos.html> [žiūrėta 2016-12-05]

## **PRIEDAI**

## 1 priedas. Išilginės stiklo pluošto FRP armatūros apskaičiavimas

Apskaičiuojant išilginę armatūrą, reikia nustatyti ar gniuždomos zonos neviršija lentynos aukščio,

t.y. ar tenkina sąlyga  $\xi \leq \frac{h_f}{d}$

Apskaičiuojamas armatūros stipris pagal takumo ribą:

$$y_{yd} = \frac{478}{1,1} = 435 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas plokštės skerspjūvio naudingasis aukštis:

$$d = 0,22 - 0,045 = 0,175 \text{ m.}$$

Apskaičiuojamas armatūros ir betono trinties koeficientas:

$$\mu_{ed} = \frac{0,09672}{24 \cdot 1,45 \cdot 1,75^2} = 0,091$$

Apskaičiuojamas gniuždomos zonos aukštis  $\xi$ :

$$\xi = \frac{1}{0,832} \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,091} \right) = 0,115$$

Tikrinama sąlyga:  $\xi \leq h_{eff}/20$ , jei sąlyga tenkina, tai skaičiuojamas  $A_{s1}$  – kaip stačiakampio skerspjūvio.

Tikrinama sąlyga:  $0,115 \leq 0,042/0,20 = 0,21$ , sąlyga tenkina.

$$A_{s1} = \frac{24 \cdot 1,45 \cdot 0,175 \cdot 0,832 \cdot 0,115}{435} = 0,00133952 \text{ m}^2 (13,4 \text{ cm}^2)$$

Patikrinama ar tenkinami minimalūs armavimo reikalavimai pagal:



$$\rho_{l,\min} = 0,26 \cdot \frac{2,25}{435} = 0,0013;$$

$$A_{s,\min} = 0,0013(1,5 \cdot 0,175 - (1,45 - 0,505)0,042) = 0,00029 \text{ m}^2 (2,9 \text{ cm}^2);$$

Minimalūs armavimo reikalavimai yra tenkinami,  $13,4 > 2,9$ . Iš asortimento lentelės imama 8Ø16 stiklo pluošto FRP, kurių  $A_{s1} = 16,02 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (16,02 \text{ cm}^2)$

## 2 priedas. Išilginės stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros apskaičiavimas

Apskaičiuojant išilginę armatūrą, reikia nustatyti ar gniuždomos zonos neviršija lentynos aukščio,

$$\text{t.y. ar tenkina sąlyga } \xi \leq \frac{h_f}{d}$$

Apskaičiuojamas armatūros stipris pagal takumo ribą:

$$y_{yd} = \frac{594}{1,1} = 540 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas plokštės skerspjūvio naudingasis aukštis:

$$d = 0,22 - 0,045 = 0,175 \text{ m}.$$

Apskaičiuojamas armatūros ir betono trinties koeficientas:

$$\mu_{ed} = \frac{0,09672}{24 \cdot 1,45 \cdot 1,75^2} = 0,091$$

Apskaičiuojamas gniuždomos zonos aukštis  $\xi$ :

$$\xi = \frac{1}{0,832} (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,091}) = 0,115$$

Tikrinama sąlyga:  $\xi \leq h_{\text{eff}}/20$ , jei sąlyga tenkina, tai skaičiuojamas  $A_{s1}$  – kaip stačiakampio skerspjūvio.

Tikrinama sąlyga:  $0,115 \leq 0,042/0,20 = 0,21$ , sąlyga tenkina.

$$A_{s1} = \frac{24 \cdot 1,45 \cdot 0,175 \cdot 0,832 \cdot 0,115}{540} = 0,001079 \text{ m}^2 (10,80 \text{ cm}^2)$$

Patikrinama ar tenkinami minimalūs armavimo reikalavimai pagal:

$$\rho_{1,\min} = 0,26 \cdot \frac{2,25}{540} = 0,0011;$$

$$A_{s,\min} = 0,0011(1,5 \cdot 0,175 - (1,45 - 0,505)0,042) = 0,000245 \text{ m}^2 (2,45 \text{ cm}^2);$$

Minimalūs armavimo reikalavimai yra tenkinami,  $10,80 > 2,45$ . Iš asortimento lentelės imama 8Ø14 stiklo pluošto FRP, kurių  $A_{s1} = 12,30 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (12,30 \text{ cm}^2)$

### 3 priedas. Skersinės stiklo pluošto FRP armatūros apskaičiavimas

Apskaičiuojamas skaičiuotinis betono stipris:

$$f_{cd} = \frac{40}{1,5} = 26,67 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas skaičiuotinis armatūros (ne įtemptosios) gniuždomasis stipris:

$$f_{scd} = \frac{478}{1,1} = 435 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas skerspjūvio naudingasis aukštis:

$$d = 0,22 - 0,045 = 0,175 \text{ m};$$

$$z = 0,9 \cdot 0,175 = 0,16 \text{ m}.$$

Pradžioje patikrinama ar pakankamas skerspjūvio gniuždomo betono stiprumas:

$$V_{Rd,\max}(\theta = 22^\circ) = \frac{0,505 \cdot 0,16 \cdot 0,6 \cdot 26,67 \cdot 10^6}{2,5 + 0,4} = 445,85 \text{ kN};$$

Sąlyga tenkinama  $445,85 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ , vadinasi skerspjuvio gniuždomo betono stiprumas yra pakankamas.

Skaičiuojama minimali skersinė jėga pagal 2.31 formulę:

$$V_{\text{Rd,min}} = 1,45 \cdot 0,175 \left( 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 40^{\frac{1}{2}} \right) = 89 \text{ kN};$$

Sąlyga tenkinama  $89 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ , betono stiprumas skersinėms jėgoms įstrižiniame pjūvyje pakankamas ir skersinės armatūros nereikia.

#### **4 priedas. Skersinės stiklo – bazalto pluošto SBA armatūros apskaičiavimas**

Apskaičiuojamas skaičiuotinis betono stipris:

$$f_{\text{cd}} = \frac{40}{1,5} = 26,67 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas skaičiuotinis armatūros (ne įtemptosios) gniuždomasis stipris:

$$f_{\text{scd}} = \frac{594}{1,1} = 540 \text{ MPa};$$

Apskaičiuojamas skerspjuvio naudingasis aukštis:

$$d = 0,22 - 0,045 = 0,175 \text{ m};$$

$$z = 0,9 \cdot 0,175 = 0,16 \text{ m}.$$

Pradžioje patikrinama ar pakankamas skerspjuvio gniuždomo betono stiprumas:

$$V_{\text{Rd,max}} (\theta = 22^\circ) = \frac{0,505 \cdot 0,16 \cdot 0,6 \cdot 26,67 \cdot 10^6}{2,5 + 0,4} = 445,85 \text{ kN};$$

Sąlyga tenkinama  $445,85 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ , vadinasi skerspjuvio gniuždomo betono stiprumas yra pakankamas.

Skaičiuojama minimali skersinė jėga pagal 2.31 formulę:

$$V_{Rd,min} = 1,45 \cdot 0,175 \left( 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 40^{\frac{1}{2}} \right) = 89 \text{ kN};$$

Sąlyga tenkinama  $89 \text{ kN} > 70,02 \text{ kN}$ , betono stiprumas skersinėms jėgoms įstrižiniame pjūvyje pakankamas ir skersinės armatūros nereikia.

## 5 priedas. Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine armatūra

### Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine 12 diametro armatūra

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (5,86 - 1) \cdot 0,000904 + 0 = 0,20219 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (5,86 - 1) \cdot (0,000904 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02264 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02264}{0,20219} = 0,1121 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{el} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1121 \right)^2 + 0,000904 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,20 - 0,1121)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,1121 - 0,045)^2 = 0,00135752 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00135752} = 0,00206174 \frac{1}{m};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0349^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0349 \cdot \left(\frac{0,0349}{2}\right)^2 + 5,86 \cdot 0,000904(0,20 - 0,0349)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,0349 - 0,045)^2 = 0,0001655103 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0001655103} = 0,009971240 \frac{1}{m};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,00135752}{(0,22 - 0,1121)} = 28307,878 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{28307,878}{96270} \right) = 0,9135365;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,91353 \cdot 0,00997124 + (1 - 0,91353) \cdot 0,00206174 = 0,00928731 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,00928731 \cdot 5,66^2 = 0,03099 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1121}{3} = 0,03597 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03597 = 0,0535953 \text{ m}^2;$$

Arnavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,000904}{0,0535953} = 0,0168671507;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{fin} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0168671507} \cdot (1 + 5,86 \cdot 0,0168671507)}{205 \cdot 10^3} = 0,0016295;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,0009004}{0,0168671507} = 0,1621 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{max} = 0,1621 \cdot 0,0016295 = 0,264 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine 14 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (5,86 - 1) \cdot (0,00123 + 0) = 0,203778 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (5,86 - 1) \cdot (0,00123 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02295 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02295}{0,203778} = 0,1126 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1126 \right)^2 + 0,00123 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,20 - 0,1126)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,1126 - 0,045)^2 = 0,00137001 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00137001} = 0,0020077017 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0399^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0399 \cdot \left( \frac{0,0399}{2} \right)^2 + 5,86 \cdot 0,00123 (0,20 - 0,0399)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,0399 - 0,045)^2 = 0,0002162993 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0002162993} = 0,007629904 \frac{1}{m};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,00137001}{(0,22 - 0,1126)} = 28701,327 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{28701,327}{96270} \right)^2 = 0,91111163;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,91111163 \cdot 0,007629904 + (1 - 0,91111163) \cdot 0,0020077017 = 0,00713 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,00713 \cdot 5,66^2 = 0,0237931 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1126}{3} = 0,0358 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,0358 = 0,053342 \text{ m}^2;$$

Arnavimo koeficientas:



$$\rho_{\text{eff}} = \frac{0,00123}{0,053342} = 0,023058753;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,023058753} \cdot (1 + 5,86 \cdot 0,023058753)}{205 \cdot 10^3} = 0,001734356;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{\text{cr,max}} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,00123}{0,023058753} = 0,1621 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\text{max}} = 0,1621 \cdot 0,001734356 = 0,281 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine 16 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{\text{el}} = 0,1978 + (5,86 - 1) \cdot 0,001602 + 0 = 0,20559 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (5,86 - 1) \cdot (0,001602 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02332 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02332}{0,20559} = 0,1134 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1134 \right)^2 + 0,001602 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,20 - 0,1134)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,1134 - 0,045)^2 = 0,00138431 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00138431} = 0,001986962045 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0447^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0447 \cdot \left( \frac{0,0447}{2} \right)^2 + 5,86 \cdot 0,001602 (0,20 - 0,0447)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,0447 - 0,045)^2 = 0,0002707735 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0002707735} = 0,006094920 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,00138431}{(0,22 - 0,1134)} = 29218,551 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{29218,551}{96270} \right) = 0,9078839;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,90788 \cdot 0,006094620 + (1 - 0,90788) \cdot 0,001986962045 = 0,0057165 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,0057165 \cdot 5,66^2 = 0,01908 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1134}{3} = 0,03553 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03553 = 0,0529397 \text{ m}^2;$$

Arnavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,001602}{0,0529397} = 0,030608439;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,030608439} \cdot (1 + 5,86 \cdot 0,030608439)}{205 \cdot 10^3} = 0,0018047976;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{\text{cr,max}} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,001602}{0,030608439} = 0,1619 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\text{max}} = 0,1619 \cdot 0,001805 = 0,292 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine 18 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{\text{el}} = 0,1978 + (5,86 - 1) \cdot 0,002036 + 0 = 0,20769 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{\text{el}} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (5,86 - 1) \cdot (0,002036 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02374 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{\text{c,el}} = \frac{0,02374}{0,20769} = 0,1143 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{ell}} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1143 \right)^2 + 0,002036 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,20 - 0,1143)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,1143 - 0,045)^2 = 0,00140086 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00140086} = 0,001963488 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{cr}} = \frac{1,49 \cdot 0,0493^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0493 \cdot \left( \frac{0,0493}{2} \right)^2 + 5,86 \cdot 0,002036 (0,20 - 0,0493)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,0493 - 0,045)^2 = 0,0003304701 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{\text{II}} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0003304701} = 0,004993925 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{\text{cr}} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,00140086}{(0,22 - 0,1143)} = 29819,631 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{29819,631}{96270} \right)^2 = 0,90405;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,90405 \cdot 0,004993925 + (1 - 0,90405) \cdot 0,001963488 = 0,0047032 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,0047032 \cdot 5,66^2 = 0,01569 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1143}{3} = 0,03523 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03523 = 0,0524927 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,002036}{0,0524927} = 0,0387863455;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0387863455} \cdot (1 + 5,86 \cdot 0,0387863455)}{205 \cdot 10^3} = 0,00185016066;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$l_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002036}{0,0387863455} = 0,1619 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\max} = 0,1619 \cdot 0,001850 = 0,2995 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine 20 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (5,86 - 1) \cdot 0,002513 + 0 = 0,21001 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (5,86 - 1) \cdot (0,002513 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02420 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02420}{0,21001} = 0,1152 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1152 \right)^2 + 0,002513 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,20 - 0,1152)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,1152 - 0,045)^2 = 0,00141882 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00141882} = 0,001938633 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0538^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0538 \cdot \left(\frac{0,0538}{2}\right)^2 + 5,86 \cdot 0,002513(0,20 - 0,0538)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,0538 - 0,045)^2 = 0,0003921052 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0003921052} = 0,004208929 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,00141882}{(0,22 - 0,1152)} = 30461,307 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{30461,307}{96270} \right)^2 = 0,899881;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,8999 \cdot 0,004208929 + (1 - 0,8999) \cdot 0,001938633 = 0,003982 \frac{1}{\text{m}};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,003982 \cdot 5,66^2 = 0,01329 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:



$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1152}{3} = 0,03493 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03493 = 0,0520457 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,002513}{0,0520457} = 0,0482844884;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0482844884} \cdot (1 + 5,86 \cdot 0,0482844884)}{205 \cdot 10^3} = 0,00188355956;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002513}{0,0482844884} = 0,16185 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{max} = 0,16185 \cdot 0,0018836 = 0,305 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su plienine 18 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{205 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 5,86;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (5,86 - 1) \cdot 0,002036 + 0 = 0,20769 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (5,86 - 1) \cdot (0,002036 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02374 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02374}{0,20769} = 0,1143 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1143 \right)^2 + 0,002036 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,20 - 0,1143)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,1143 - 0,045)^2 = 0,00140086 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00140086} = 0,001963488 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0493^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0493 \cdot \left( \frac{0,0493}{2} \right)^2 + 5,86 \cdot 0,002036 (0,20 - 0,0493)^2 + 0 \cdot (5,86 - 1) \cdot (0,0493 - 0,045)^2 = 0,0003304701 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0003304701} = 0,004993925 \frac{1}{m};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,00140086}{(0,22 - 0,1143)} = 29819,631 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{29819,631}{96270} \right)^2 = 0,90405;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,90405 \cdot 0,004993925 + (1 - 0,90405) \cdot 0,001963488 = 0,0047032 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,0047032 \cdot 5,66^2 = 0,01569 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1143}{3} = 0,03523 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03523 = 0,0524927 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{\text{eff}} = \frac{0,002036}{0,05524927} = 0,0387863455;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0387863455} \cdot (1 + 5,86 \cdot 0,0387863455)}{205 \cdot 10^3} = 0,00185016066;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{\text{cr,max}} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002036}{0,0387863455} = 0,1619 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\text{max}} = 0,1619 \cdot 0,001850 = 0,2995 \text{ mm};$$

## **6 priedas. Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto armatūra**

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto FRP 12 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{45 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,29;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{\text{el}} = 0,1978 + (1,29 - 1) \cdot 0,000904 + 0 = 0,19806 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,29 - 1) \cdot (0,000904 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02181 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02181}{0,19806} = 0,1101 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1101 \right)^2 + 0,000904 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,20 - 0,1101)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,1101 - 0,045)^2 = 0,00132425 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132425} = 0,002077079 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0215^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0215 \cdot \left( \frac{0,0215}{2} \right)^2 + 1,29 \cdot 0,000904 (0,20 - 0,0215)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,0215 - 0,045)^2 = 0,0000420925 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0000420925} = 0,039207528 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00132425}{(0,22 - 0,1101)} = 27111,579 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficienta:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27111,579}{96270} \right)^2 = 0,92069;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,9207 \cdot 0,039207528 + (1 - 0,9207) \cdot 0,002077079 = 0,036263 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,036263 \cdot 5,66^2 = 0,12101 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1101}{3} = 0,03663 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03663 = 0,0545787 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,000904}{0,0545787} = 0,016563238;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,016563238} \cdot (1 + 1,29 \cdot 0,016563238)}{45 \cdot 10^3} = 0,007527838;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{\text{cr,max}} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,000904}{0,016563238} = 0,16228 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\text{max}} = 0,1623 \cdot 0,007528 = 1,222 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto FRP 14 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{45 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,29;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{\text{el}} = 0,1978 + (1,29 - 1) \cdot 0,001230 + 0 = 0,19816 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{\text{el}} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,29 - 1) \cdot (0,001230 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02182934 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{\text{c,el}} = \frac{0,02182934}{0,19816} = 0,1102 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{ell}} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1102 \right)^2 + 0,001230 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,20 - 0,1102)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,1102 - 0,045)^2 = 0,00132502 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{\text{I}} = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132502} = 0,002075872 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{cr}} = \frac{1,49 \cdot 0,0247^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0247 \cdot \left( \frac{0,0247}{2} \right)^2 + 1,29 \cdot 0,001230 (0,20 - 0,0247)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,0247 - 0,045)^2 = 0,0000562438 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{\text{II}} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0000562438} = 0,029342662 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{\text{cr}} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00132502}{(0,22 - 0,1102)} = 27152,049 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27152,049}{96270} \right)^2 = 0,9205;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:



$$\kappa_m = 0,9205 \cdot 0,029342662 + (1 - 0,9205) \cdot 0,002075872 = 0,027175 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,027175 \cdot 5,66^2 = 0,09068 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1102}{3} = 0,0366 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,0366 = 0,054534 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,001230}{0,054534} = 0,0225547;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0225547} \cdot (1 + 1,29 \cdot 0,0225547)}{45 \cdot 10^3} = 0,008008978;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$l_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,001230}{0,0225547} = 0,1622708 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\max} = 0,1623 \cdot 0,008009 = 1,3 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto FRP 16 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{45 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,29;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (1,29 - 1) \cdot 0,001602 + 0 = 0,19826 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,29 - 1) \cdot (0,001602 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,021850916 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,\text{el}} = \frac{0,021850916}{0,19826} = 0,1102 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{ell}} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1102 \right)^2 + 0,001602 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,20 - 0,1102)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,1102 - 0,045)^2 = 0,00132589 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132289} = 0,002079214 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0278^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0278 \cdot \left(\frac{0,0278}{2}\right)^2 + 1,29 \cdot 0,001602(0,20 - 0,0278)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,0278 - 0,045)^2 = 0,0000719508 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0000719508} = 0,022937102 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00132589}{(0,22 - 0,1102)} = 27169,877 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27169,877}{96270} \right)^2 = 0,9203;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,9203 \cdot 0,022937102 + (1 - 0,9203) \cdot 0,002079214 = 0,021275 \frac{1}{\text{m}};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,021275 \cdot 5,66^2 = 0,0709956 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1102}{3} = 0,0366 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,0366 = 0,054534 \text{ m}^2;$$

Arnavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,001602}{0,054534} = 0,029376169;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,029376169} \cdot (1 + 1,29 \cdot 0,029376169)}{45 \cdot 10^3} = 0,008317841;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$l_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,001602}{0,029376169} = 0,16227 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$w_{max} = 0,1623 \cdot 0,0083178 = 1,35 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto FRP 18 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{45 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,29;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (1,29 - 1) \cdot 0,002036 + 0 = 0,19839 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,29 - 1) \cdot (0,002036 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,021876088 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,021876088}{0,19839} = 0,1103 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1103 \right)^2 + 0,002036 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,20 - 0,1103)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,1103 - 0,045)^2 = 0,00132691 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132691} = 0,0020729 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0309^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0309 \cdot \left( \frac{0,0309}{2} \right)^2 + 1,29 \cdot 0,002036 (0,20 - 0,0309)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,0309 - 0,045)^2 = 0,000089756 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,000089756} = 0,018386992 \frac{1}{m};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00132691}{(0,22 - 0,1103)} = 27215,565 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27215,565}{96270} \right)^2 = 0,9201;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,9201 \cdot 0,018386992 + (1 - 0,9201) \cdot 0,0020729 = 0,017083 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,017083 \cdot 5,66^2 = 0,05701 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1103}{3} = 0,03657 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03657 = 0,0544893 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{\text{eff}} = \frac{0,002036}{0,0544893} = 0,0373651341;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0373651341} \cdot (1 + 1,29 \cdot 0,0373651341)}{45 \cdot 10^3} = 0,00853619;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{\text{cr,max}} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002036}{0,0373651341} = 0,16226318 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\text{max}} = 0,1623 \cdot 0,00853619 = 1,39 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo pluošto FRP 20 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{45 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,29;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{e1} = 0,1978 + (1,29 - 1) \cdot 0,002513 + 0 = 0,19853 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,29 - 1) \cdot (0,002513 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,021903754 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,021903754}{0,19853} = 0,1103 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1103 \right)^2 + 0,002513 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,20 - 0,1103)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,1103 - 0,045)^2 = 0,00132802 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132802} = 0,002071182 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0339^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0339 \cdot \left( \frac{0,0339}{2} \right)^2 + 1,29 \cdot 0,002513 (0,20 - 0,0339)^2 + 0 \cdot (1,29 - 1) \cdot (0,0339 - 0,045)^2 = 0,00001087871 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0001087871} = 0,015170391 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00132802}{(0,22 - 0,1103)} = 27238,332 \text{ kNm};$$



Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27238,388}{96270} \right)^2 = 0,9199;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,9199 \cdot 0,015170391 + (1 - 0,9199) \cdot 0,002071182 = 0,014121 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,014121 \cdot 5,66^2 = 0,04712 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1103}{3} = 0,03657 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03657 = 0,0544893 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,002513}{0,0544893} = 0,0461191463;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0461191463} \cdot (1 + 1,29 \cdot 0,0461191463)}{45 \cdot 10^3} = 0,008688589;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002513}{0,0461191463} = 0,16226318 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{max} = 0,1623 \cdot 0,008688589 = 1,41 \text{ mm};$$

### **7 priedas. Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto armatūra**

#### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto SBA 12 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{63 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,8;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (1,8 - 1) \cdot 0,000904 + 0 = 0,19852 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,8 - 1) \cdot (0,000904 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,0219064 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,0219064}{0,19852} = 0,1103 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1103 \right)^2 + 0,000904 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,20 - 0,1103)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,1103 - 0,045)^2 = 0,00132798 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132798} = 0,002071245 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0235^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0235 \cdot \left( \frac{0,0235}{2} \right)^2 + 1,8 \cdot 0,000904 (0,20 - 0,0235)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,0235 - 0,045)^2 = 0,0000571366 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0000571366} = 0,028884162 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00132798}{(0,22 - 0,1103)} = 27237,511 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27237,511}{96270} \right)^2 = 0,92;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,92 \cdot 0,028884162 + (1 - 0,92) \cdot 0,002071245 = 0,026739 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,026739 \cdot 5,66^2 = 0,08923 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1103}{3} = 0,03657 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03657 = 0,0544893 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,000904}{0,0544893} = 0,0165904132;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0165904132} \cdot (1 + 1,8 \cdot 0,0165904132)}{63 \cdot 10^3} = 0,005368218;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,000904}{0,0165904132} = 0,16226318 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{max} = 0,1623 \cdot 0,005368 = 0,871 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto SBA 14 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{63 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,8;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (1,8 - 1) \cdot 0,001230 + 0 = 0,19878 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,8 - 1) \cdot (0,001230 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,0219548 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,0219548}{0,19878} = 0,1104 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{ell}} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1104 \right)^2 + 0,001230 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,20 - 0,1104)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,1104 - 0,045)^2 = 0,00133008 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_I = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00132798} = 0,002067974 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{cr}} = \frac{1,49 \cdot 0,0259^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0259 \cdot \left( \frac{0,0259}{2} \right)^2 + 1,8 \cdot 0,001230 (0,20 - 0,0259)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,0259 - 0,045)^2 = 0,0000757372 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0000757372} = 0,021790386 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{\text{cr}} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00133008}{(0,22 - 0,1104)} = 27305,474 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27305,474}{96270} \right)^2 = 0,92;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,92 \cdot 0,021790386 + (1 - 0,92) \cdot 0,002067974 = 0,020213 \frac{1}{\text{m}};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,020213 \cdot 5,66^2 = 0,06745 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{\text{ct,eff}} = \frac{0,22 - 0,1104}{3} = 0,03653 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{\text{ct,eff}} = 1,49 \cdot 0,03653 = 0,0544297 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{\text{eff}} = \frac{0,001230}{0,0544297} = 0,0225979566;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{\text{fm}} - \varepsilon_{\text{cm}} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0225979566} \cdot (1 + 1,8 \cdot 0,0225979566)}{63 \cdot 10^3} = 0,005696597;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{\text{cr,max}} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,001230}{0,0225979566} = 0,16225305 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\max} = 0,1623 \cdot 0,005697 = 0,925 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto SBA 16 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,\text{eff}}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{63 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,8;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{\text{el}} = 0,1978 + (1,8 - 1) \cdot 0,001602 + 0 = 0,19908 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{\text{el}} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,8 - 1) \cdot (0,001602 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02201432 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{\text{c,el}} = \frac{0,02201432}{0,19908} = 0,1106 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{\text{ell}} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1106 \right)^2 + 0,001602 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,20 - 0,1106)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,1106 - 0,045)^2 = 0,00133249 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00133249} = 0,002064234 \frac{1}{\text{m}};$$



Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0297^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0297 \cdot \left(\frac{0,0297}{2}\right)^2 + 1,8 \cdot 0,001602(0,20 - 0,0297)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,0297 - 0,045)^2 = 0,0000966421 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0000966421} = 0,017076852 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00133249}{(0,22 - 0,1106)} = 27404,959 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left(\frac{27404,959}{96270}\right)^2 = 0,919;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,919 \cdot 0,017076852 + (1 - 0,919) \cdot 0,002064234 = 0,015861 \frac{1}{\text{m}};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,015861 \cdot 5,66^2 = 0,05293 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1106}{3} = 0,03647 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03647 = 0,054303 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,001602}{0,054303} = 0,0294808825;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0294808825} \cdot (1 + 1,8 \cdot 0,0294808825)}{63 \cdot 10^3} = 0,005932978;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,001602}{0,0294808825} = 0,16223785 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{max} = 0,1622 \cdot 0,0059333 = 0,962 \text{ mm};$$

**Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto SBA 18 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{63 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,8;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (1,8 - 1) \cdot 0,002036 + 0 = 0,19943 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,8 - 1) \cdot (0,002036 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02208376 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02208376}{0,19943} = 0,1107 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1107 \right)^2 + 0,002036 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,20 - 0,1107)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,1107 - 0,045)^2 = 0,00133528 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_I = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00133528} = 0,002059921 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0327^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0327 \cdot \left( \frac{0,0327}{2} \right)^2 + 1,8 \cdot 0,002036 (0,20 - 0,0327)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,0327 - 0,045)^2 = 0,0001199415 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0001199415} = 0,0137595649 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00133528}{(0,22 - 0,1107)} = 27487,466 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27487,466}{96270} \right)^2 = 0,9185;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,9185 \cdot 0,0137595649 + (1 - 0,9185) \cdot 0,002059921 = 0,012806 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,012806 \cdot 5,66^2 = 0,04273 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvus plotis aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1107}{3} = 0,03643 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03643 = 0,0542807 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,002036}{0,0542807} = 0,0375087278;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas. Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3$  kPa.

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0375087278} \cdot (1 + 1,8 \cdot 0,0) 375087278}{63 \cdot 10^3} = 0,006088546;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr,max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002036}{0,0375087278} = 0,16222772 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{max} = 0,1622 \cdot 0,006089 = 0,988 \text{ mm};$$

### **Pleišėjimo ir įlinkių skaičiavimas su stiklo – bazalto pluošto SBA 20 diametro armatūra**

Apskaičiuojamas armatūros  $E_f$  ir betono  $E_{c,eff}$  tamprumo modulių santykis:

$$n_e = \frac{63 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3} = 1,8;$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio plotas:

$$A_{el} = 0,1978 + (1,8 - 1) \cdot 0,002513 + 0 = 0,19981 \text{ m}^2$$

Nesupleišėjusio elemento statinis skerspjūvio ploto momentas viršutinio krašto atžvilgiu:

$$S_{el} = 0,1978 \cdot \frac{0,22}{2} + (1,8 - 1) \cdot (0,002513 \cdot 0,20 + 0 \cdot 0,045) = 0,02216008 \text{ m}^3;$$

Nesupleišėjusio ekvivalentinio skerspjūvio neutralios ašies padėtis:

$$x_{c,el} = \frac{0,02216008}{0,19981} = 0,1109 \text{ m};$$

Nesupleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{ell} = \frac{1,490 \cdot 0,22^3}{12} + 1,49 \cdot 0,22 \cdot \left( \frac{0,22}{2} - 0,1109 \right)^2 + 0,002513 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,20 - 0,1109)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,1109 - 0,045)^2 = 0,00133835 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas nesupleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_1 = \frac{96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,00133835} = 0,002055196 \frac{1}{\text{m}};$$

Supleišėjusio skerspjūvio ploto inercijos momentas:

$$I_{cr} = \frac{1,49 \cdot 0,0347^3}{12} + 1,49 \cdot 0,0347 \cdot \left( \frac{0,0347}{2} \right)^2 + 1,8 \cdot 0,002513 (0,20 - 0,0347)^2 + 0 \cdot (1,8 - 1) \cdot (0,0347 - 0,045)^2 = 0,0001443495 \text{ m}^4;$$

Išorinės apkrovos sukeltas supleišėjusio skerspjūvio kreivis:

$$\kappa_{II} = \frac{0,6 \cdot 96,27 \cdot 10^3}{35 \cdot 10^3 \cdot 0,0001443495} = 0,011432966 \frac{1}{\text{m}};$$

Elemento pleišėjimo lenkiamasis momentas:

$$M_{cr} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{0,00133835}{(0,22 - 0,1109)} = 27601,169 \text{ kNm};$$

Pasiskirstymo koeficientas:

$$\zeta = 1 - 1 \left( \frac{27601,169}{96270} \right)^2 = 0,9178;$$

Išorinės apkrovos sukeltas vidutinis kreivis:

$$\kappa_m = 0,9178 \cdot 0,011432966 + (1 - 0,9178) \cdot 0,002055196 = 0,010662 \frac{1}{m};$$

Plokštės įlinkis:

$$\delta = \frac{5}{48} \cdot 0,010662 \cdot 5,66^2 = 0,03558 \text{ m};$$

Tempiamojo betono efektyvaus ploto aukštis:

$$h_{ct,eff} = \frac{0,22 - 0,1109}{3} = 0,03637 \text{ m};$$

Efektyvusis tempiamojo betono plotas:

$$A_{ct,eff} = 1,49 \cdot 0,03637 = 0,0541913 \text{ m}^2;$$

Armavimo koeficientas:

$$\rho_{eff} = \frac{0,002513}{0,0541913} = 0,0463727573;$$

Vidutinių tempiamosios kompozitinės armatūros ir gniuždomojo betono deformacijų skirtumas.

Įtempiai tempiamojoje kompozitinėje armatūroje darant prielaidą, kad skerspjūvis supleišėjęs  $\sigma = 422 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

$$\varepsilon_{fm} - \varepsilon_{cm} = \frac{422 \cdot 10^3 - 0,6 \cdot \frac{2,25 \cdot 10^6}{0,0463727573} \cdot (1 + 1,29 \cdot 0,0463727573)}{63 \cdot 10^3} = 0,006197747;$$

Didžiausias atstumas tarp plyšių:

$$I_{cr, \max} = 3,4 \cdot 0,045 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,002513}{0,0463727573} = 0,16221252 \text{ m};$$

Didžiausias plyšio plotis:

$$W_{\max} = 0,1622 \cdot 0,006198 = 1,005 \text{ mm};$$