



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

Tadas Zaveckas

**BETONINĖS KOLONOS, ARMUOTOS KOMPOZITINE
ARMATŪRA, ELGSENĄ AGRESYVIOJE APLINKOJE**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. Saulius Sušinskas

PANEVŽYS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVŽIO TECHNOLOGIJ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros ved jias
(parašias) Doc. dr. Ar nas Tautkus
(data)

BETONIN S KOLONOS, ARMUOTOS KOMPOZITINE
ARMAT RA, ELGSENA AGRESYVIOJE APLINKOJE

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas621J80001)

Vadovas

(parašias) Doc. Saulius Sušinskas
(data)

Recenzentas Doc. Andrius Stasiškis

(parašias)
(data)

Projekt atliko

(parašias) Tadas Zaveckas
(data)

PANEV ŽYS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Tadas Zaveckas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba (kodas 621J80001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Betoninės kolonos, armuotos kompozitine armatūra, elgsena agresyvioje aplinkoje“

AKADEMINIO SŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Panevžys

Patvirtinu, kad mano Tado Zavecko baigiamasis projektas tema „Betoninės kolonos, armuotos kompozitine armatūra, elgsena agresyvioje aplinkoje“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei vienas dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitos šaltiniai tiesioginiai ir netiesioginiai citatos nurodytos literatūros nuorodose. Statymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjusi.

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

(vardas ir pavardė rašyti ranka)

(parašas)

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Tadui Zaveckui* Grup *PMS-4*

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: *Betoninės kolonos, armuotos kompozitine armatūra, elgsena agresyvioje aplinkoje*

Anglų kalba: *Concrete composite-reinforced column performance in aggressive environments*

Patvirtinta 2015 m. spalio mėn. 21 d. dekanų potvarkiu Nr. *ST17-F-13-41*

2. Darbo tikslas:

Išnagrinėti kompozitinės armatūros panaudojimo galimybes ekscentriškai gniuždomuose elementuose.

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 *BBP* pab. d.

Medžiagos apžvalgos dalyje apžvelgiama medžiaga, pateikiama šiuolaikinė literatūra, apie polimerinės kompozitinės armatūros. Apžvalginis dalis susideda iš skyrių:

- *Kompozitinės armatūros rūšys;*
- *Kompozitinės polimerinės armatūros fizikinės ir mechaninės savybės;*
- *Aplinkos taktai armuotoms betoninėms konstrukcijoms;*
- *Kompozitinės polimerinės armatūros skaičiuotinė reikšmė;*
- *Kompozitinės armatūros gniuždymas.*

Tiriamoji dalis atliekamas ekscentriškai gniuždomos, armuotos kolonos laikomosios galios apskaičiavimas bei kintamųjų tyrimas. Tyrimoji dalis susideda iš skyrių:

- *Išilginis armatūros apskaičiavimas;*
- *Kolonos su pasirinkta armatūra didžiausio atlaikomo momento apskaičiavimas;*
- *Kompozitinės polimerinės stiklo pluošto ir plieninės armatūros kintamųjų tyrimas.*

Tirimo rezultatai pateikiami skyriuose:

- *Betoninės kolonos armuotos kompozitine polimerine stiklo pluošto ir plienine armatūra analitinių tyrimų rezultatų analizė;*
- *Išvados.*

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

Užduotį gavau:

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas:

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

(data)

TURINYS

SANTRAUKA.....	6
SUMMARY	7
VADAS.....	8
1. MEDŽIAGOS APŽVALGA	9
1.1 Kompozitin s armat ros r šys	9
1.1.1 Stiklo pluošto armat ra	9
1.1.2 Anglies pluošto armat ra	10
1.1.3 Aramido pluošto armat ra.....	10
1.1.4 Bazalto pluošto armat ra.....	10
1.1.5 Polimerin s dervos.....	10
1.1.6 Kompozitin s polimerin s armat ros paviršiaus apdirbimas.....	12
1.2 Kompozitin s polimerin s armat ros fizikin s ir mechanin s savyb s.....	13
1.3 Aplinkos taka armuotoms betonin ms konstrukcijoms.....	14
1.1.3 Kompozitin s polimerin s armat ros sen jimas.....	15
1.4 Kompozitin s polimerin s armat ros skai iutin s reikšm s.....	17
1.5 Kompozitin s armat ros gniuždymas.....	19
2. EKSCENTRIŠKAI GNIUŽDOMOS, ARMUOTOS BETONIN S KOLONOS LAIKOMOSIOS GALIOS APSKAI IAVIMAS.....	20
2.1 Tiriamasis objektas.....	20
2.2 Ašin j ga N_{Ed} ir momentas M_{Ed} veikiantis kolon	22
2.2.1 Momento veikian io kolon apskai iavimas	22
2.2.2 Ašin s apkrovos veikian ios kolon apskai iavimas.....	24
2.3 Išilgin s armat ros apskai iavimas.....	27
2.4 Kolonos su pasirinkta armat ra didžiausio atlaikomo momento apskai iavimas	34
2.5 Kompozitin s polimerin s stiklo pluošto ir plienin s armat ros kain tyrimas.....	38
2.6 Betonin s kolonos armuotos kompozitive polimerine stiklo pluošto ir plienine armat ra analitini tyrim rezultat analiz	39
2.6.1 Polimerin s kompozitin s armat ros pagrindin s mechanin s savyb s	39
2.6.2 Polimerin s kompozitin s ir plieno armat ros tempiamojo stiprio skai iutin s reikšm s.....	40
2.6.3 Polimerin s kompozitin s armat ros sen jimas	41
2.6.4 Armat ros stryp ir betono tamprumo moduli santykis	41
2.6.5 Ekscentriškai gniuždomo elemento, armuoto plienin s armat ros ir kompozitin s polimerin s armat ros strypais, laikomoji galia	42
2.6.6 Kompozitin s polimerin s ir plieno armat ros kain analiz	43
IŠVADOS	44
LITERAT RA	45
INFORMACINIAI ŠALTINIAI	45

Zaveckas, T. Betoninės kolonos, armuotos kompozitine armatūra, elgsena agresyvioje aplinkoje. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Saulius Sušinskas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Statybos katedra. Panevėžys, 2016. 45 p.

SANTRAUKA

Armuto betono konstrukcijos pasaulyje yra bene labiausiai paplitusios, tačiau dažnai susiduriama su problemomis kurios išskyla dėl plieninės armatūros korozijos, šis reiškinys ypač pasireiškia kai betoninės konstrukcijos eksploatuojamos agresyvioje aplinkoje. Pastaraisiais dešimtmečiais pasaulio mokslininkai ir inžinieriai nuolat ieško inovatyvių ir ekonomiškų šios problemos sprendimų būdų. Vienas šios problemos sprendimų yra kompozitinės polimerinės armatūros panaudojimas betoninėse konstrukcijose.

Šio darbo tikslas yra nustatyti kompozitinės armatūros panaudojimo galimybes ekscentriškai gniuždomuose elementuose. Darbe apžvelgiamos kompozitinės polimerinės armatūros rėšys, jos mechaninės bei fizikinės savybės, nagrinėjama senėjimo ir aplinkos sąlygų taka kompozitinės polimerinės armatūros savybėms. Tiriamojoje darbo dalyje atliekami ekscentriškai gniuždomo elemento, armuoto plieninės ir kompozitinės polimerinės stiklo pluošto armatūros strypais, lyginamieji laikomosios galios skaičiavimai kai elementas veikia ašiniškai ir lenkimo momentas. Apžvelgiamos kompozitinės polimerinės ir plieninės armatūros strypų kainos.

Reikšminiai žodžiai: kompozitinė polimerinė armatūra, ekscentriškai gniuždomas armuotas betoninis elementas.

Zaveckas, T. Concrete composite-reinforced column performance in aggressive environments. Master's work in technologies / supervisor doc. dr. Saulius Sušinskas; Kaunas University of Technology, Panevezys's Faculty of Technologies and business, Department of Engineerings.

Panevezys, 2016. 45 pg.

SUMMARY

Reinforced concrete structures are probably the most common ones in the world, however, problems frequently arise due to the corrosion of steel reinforcement, this phenomenon occurs especially when concrete structures are placed in an aggressive environment. In recent decades, the world's scientists and engineers are constantly looking for innovative and cost-effective solutions to this problem. One of the solutions to this problem is the use of polymer composite reinforcement in concrete structures.

The aim of this paper is to determine the usability of the composite reinforcement in the elements subject to eccentric compression. The paper presents the types of the polymer composite reinforcement, their mechanical and physical features, describes the impact of obsolescence and environmental conditions on the features of polymer composite reinforcement. The research work includes bearing capacity comparable calculations of an element subject to eccentric compression, reinforced by steel and fiberglass polymer composite reinforcement bars, when the element is loaded by axial force and bending moment. An overview of prices of polymer composite and steel reinforcement bars is presented.

Key words: polymer composite reinforcement, reinforced concrete element subject to eccentric compression.

VADAS

Pastaraisiais dešimtmečiais pastatai aukštesni, tiltai ilgesni, tuneliai statomi vis giliau po žeme, šalyse kur labai riboti sausumos plotai statybos persikelia į jūras bei vandenynus. Sparčiau vystantis pasaulio ekonomikai ir tuo pačiu pramonei atsiranda poreikis statyti pastatus kurie gali būti veikiami vairių neprastų poveikių, vienas iš tokių poveikių - agresyvi aplinka.

Tokiems statiniams tinkamiausia statybinė medžiaga yra armuotasis betonas. Armuotasis betonas labai universali statybinė medžiaga, ji leidžia vykdyti išskirtinai architektūros bei sudėtingiausi konstrukciniai sprendimai reikalaujančius projektus. Tačiau cheminės ir mechaninės betono savybės laikui bėgant smarkiai kinta ir gali pasiekti kritines ribas betonu veikiant agresyviosios aplinkos poveikiams. Betono pažeidimo procesai prasideda nuo betono karbonizacijos, kai chlorido ir sieros rūgšties jonai prasiskverbia iki armatūros ir sukelia plieno koroziją. Plieno korozija didina strypo apimtį, o tai pagreitina betono irimą.

Šiai problemai išspręsti pasaulio mokslininkai ir inžinieriai taiko vairius būdus, vienas jų yra kompozitinių medžiagų panaudojimas armuoto betono konstrukcijose.

Šiuo darbu siekiu išnagrinėti kompozitinių armatūros privalumus ir trūkumus lyginant su prastine plieno armatūra. Kadangi Lietuvos rinkoje populiariausia yra stiklo pluošto kompozitinių armatūra, tai ši armatūra pasirinkau kaip tiriamąjį objektą.

Darbo uždaviniai:

apžvelgti kompozitinių armatūros fizikines bei mechanines savybes;

išnagrinėti kompozitinių armatūros panaudojimo galimybes ekscentriškai gniuždomuose elementuose;

atlikti lyginamuosius laikomosios galios skaičiavimus, ekscentriškai gniuždomo elemento armuoto kompozitinių polimerinių ir plieninių armatūros strypais, priklausantis nuo lenkimo momento;

išanalizuoti kompozitinių armatūros panaudojimo ekonominį naudingumą.

Tyrimo metodai:

analitinis betoninių kolonų, armuotų vairo skersmens stiklo pluošto kompozitinių armatūros ir plieno armatūros strypais, tyrimas;

plieno armatūros ir stiklo pluošto armatūros strypų, kainų vyraujančių Lietuvos rinkoje apžvalga.

1. MEDŽIAGOS APŽVALGA

1.1 Kompozitinis armatūros rėšys

Kompozitinis armatūra sudaro pluošto gijos impregnuotos polimerine derva. Pluošto gijos paskirtis suteikti armatūros strypui reikiamą stiprumą, o polimerinė derva užtikrina kompozito vientisumą.

Kompozitinis armatūros gamybai dažniausiai naudojama:

- stiklo pluoštas;
- anglies pluoštas;
- aramido pluoštas;
- bazalto pluoštas.

Pagal technologines savybes išskiriamos dvi pagrindinės polimerinės dervų grupės:

- termoreaktyvios;
- termoplastinės.

Pagal kompozitinis polimerinis armatūros paviršiaus apdirbimą, jos paviršius gali būti suskirstyti keturias grupes:

- spiralinis paviršius;
- rumbuotas paviršius;
- smėliu dengtas paviršius;
- mišrus (t.y. spiralinis ar rumbuotas smėliu padengtas paviršius).

1.1.1 Stiklo pluošto armatūra

Kompozitinis armatūros gamyboje dažniausiai naudojami trijų tipų stiklo pluoštai:

- E tipas. Plačiausiai naudojamas stiklo pluoštas. Jo pavadinimas siejamas su didele elektrine varža (angl. Electric glass). Tempiamasis stipris 3450MPa, tamprumo modulis 72,4 GPa;
- S tipas. Jis pasižymi didesniu stiprumu ir tamprumo moduliui nei E tipo stiklo pluoštas. S pavadinimas siejamas su šio stiklo pluošto panaudojimu statyboje. (angl. Structural glass). Tempiamasis stipris 4580MPa, tamprumo modulis 85,50 GPa;
- AR tipas. Šis stiklo pluošto tipas pasižymi gerokai didesniu atsparumu šarmams nei E ir S tipo stiklo pluoštai. Jo pavadinimas reiškia atsparumą šarmams (angl. Alkali – Resistant glass). Tempiamasis stipris 1800-3500MPa, tamprumo modulis 70-76 GPa.

1.1.2 Anglies pluošto armatūra

Anglies pluošto armatūra pasižymi geresnėmis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis, yra atspari ilgalaikiai ir ciklinei apkrovoms. Pagal mechanines savybes anglies pluošto armatūra skirstoma tris pagrindines rūšis:

- prasta (angl. standart). Tempiamasis stipris 3700MPa, tamprumo modulis 250 GPa;
- didelio stiprio (angl. high strength, HS). Tempiamasis stipris 4800MPa, tamprumo modulis 240 GPa;
- didelio tamprumo modulio (angl. high modulus, HM). Tempiamasis stipris 2500-4000MPa, tamprumo modulis 350-800 GPa.

1.1.3 Aramido pluošto armatūra

Aramido armatūra iš kitų išsiskiria mažu tankiu, dideliu tempiamuoju stipriu, atsparumu aukštomis temperatūroms, smūginėms apkrovoms ir mažu stiprio mažėjimu laike. Tempiamo aramido pluošto suirimas yra trapus, tačiau gniuždant pasireiškia didelis plastinis deformacijos. Dėl šios priežasties aramido pluoštas yra ypač atsparus smūginėms apkrovoms. Atsižvelgiant gamintojus aramido pluošto tempiamasis stipris yra 2760-4200 MPa, tamprumo modulis 62-175 GPa. Aramido pluošto tamprumo modulis yra gerokai mažesnis negu anglies pluošto, o kaina didesnė negu stiklo pluošto armatūros, todėl aramidai kaip medžiaga armatūros skirtos statyboje gamybai naudojama labai retai.

1.1.4 Bazalto pluošto armatūra

Bazalto pluošto armatūra pasižymi atsparumu aukštomis temperatūroms, chemiškai agresyviai aplinkai ir dideliu tempiamuoju stipriu. Bazalto pluoštas yra gana nauja pluošto rūšis. Bazalto pluošto tempiamasis stipris 4840 MPa, tamprumo modulis 89 GPa.

1.1.5 Polimerinės dervos

Pluošto gijoms sujungti vientisą elementą, bei apsaugoti nuo vairių poveikių tokių kaip mechaninių, cheminių ar aplinkos, naudojamos polimerinės dervos. Pagal priklausomybę nuo temperatūros pokyčių polimerinės dervos skirstomos termoreaktyvines ir termoplastines.

Kompozitinei armat rai gaminti dažniausiai naudojama termoreaktyvin derva. Ji pasižymi mažu klampumu, todėl tinkama naudoti kai kompozit sudaro didelis pluošto kiekis. Termoreaktyvi j derv fizikin s ir mechanin s savyb s pateiktos 1.1 lentel je. [1]

Galima išskirti tris pagrindines termoreaktyvini derv r šis naudojamas kompozitin s armat ros gamyboje:

- epoksidin derva. Ši derva pasižymi geru sukibimu su vairiais pluoštais, nedidel mis traukimosi deformacijomis;
- poliesterio derva. Poliesterio derva yra atspari aplinkos poveikiams ir ilgaamžiška, ta iau turi dideles susitraukimo deformacijas;
- vinilo esterio derva. Vinilo esterio derva yra plastiška, gerai sukimba su stiklo pluoštu, todėl ji dažniau naudojama kompozitin s armat ros su stiklo pluoštu gamyboje.

1.1 lentel . Termoreaktyvi j derv fizikin s ir mechanin s savyb s [1]

Savyb	Termoreaktyviosios dervos		
	poliesterio	epoksidin	vinilo esterio
Tankis, kg/m ³	1200-1400	1200-1400	1150-1350
Tempiamasis stipris, MPa	34,5-104	55-130	73-81
Tamprumo modulis, GPa	2,1-3,45	2,75-4,1	3,0-3,5
Puasono koeficientas	0,35-0,39	0,38-0,40	0,36-0,39
Šiluminio pl timosi koeficientas, 10 ⁻⁶ /°C	55-100	45-65	50-75
Vandens absorbcija, %	0,15-0,6	0,08-0,15	0,14-1,30

Termoplastin s dervos pasižymi nedidel mis susitraukimo deformacijomis. Ta iau jos turi didel klampum , d l šios priežasties gaminant kompozitin armat r b na sunku tinkamai impregnuoti pluošt . Dažniausiai naudojamos termoplastin s dervos:

- polieterio eterio ketonas (PEEK);
- polifenileno sulfidas (PPS);
- polisulfonas (PSU).

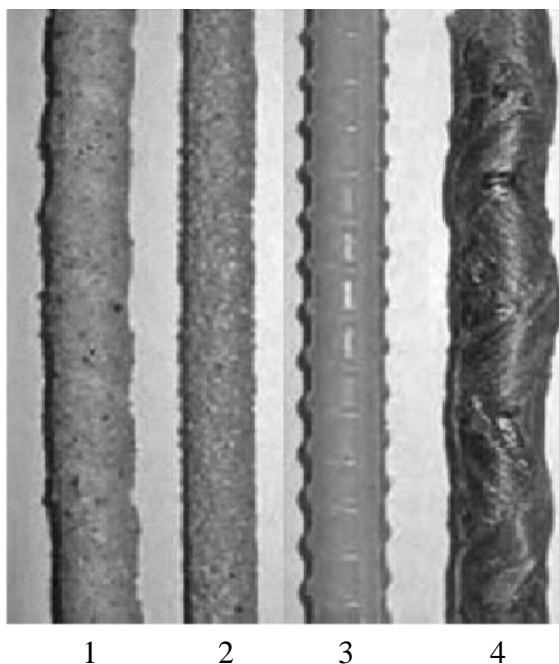
Termoplastini derv fizikin s ir mechanin s savyb s pateiktos 1.2 lentel je. [1]

1.2 lentelė . Termoplastinių dervų fizikinių ir mechaninių savybių [1]

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

1.1.6 Kompozitinių polimerinių armatūrų paviršiaus apdirbimas

Ilg laiką buvo laikomasi nuomonės, jog stiklo pluošto armatūra dėl nedidelio tamprumo modulio ir mažo atsparumo betono šarminiai aplinkai nėra tinkama betoniniams elementams armuoti. Todėl šie gaminiai buvo naudojami mūrinių konstrukcijose kaip ryšio sistema. Atlikus eksperimentinius tyrimus paaiškėjo, kad tokia armatūra gali būti gana efektyvi, tinkamai apdorojant jos paviršių. Nepakankamas kompozitinių armatūrų ir betono sukibimo užtikrinimas ilgą laiką buvo rimta problema, varžanti platesnį šios armatūros naudojimo mastą. Sukibimo problema buvo iš dalies išspręsta sukūrus specialius armatūrų paviršiaus apdirbimo būdus. [1]



1.1 pav. Kompozitinių armatūrų paviršiaus apdirbimo tipai: 1 – mišrus (smaliu ir spirale), 2 – smaliu, 3 – rumbuotas, 4 – spiralinis.

Lietuvos rinkoje dažniausiai pasitaikantis kompozitinis polimerinis armatūros paviršiaus apdirbimo būdas rumbuotas 3 (1.1 pav.)

1.2 Kompozitinis polimerinis armatūros fizikinis ir mechaninis savybės

Pažvelgus kompozitinis polimerinis armatūros fizikines ir mechanines savybes, susiduriama su šios armatūros trūkumais. Statyboje naudojam polimerini strypų tamprumo modulis gali būti iki 3–5 kart mažesnis. Mažesnis tamprumo modulio reikšmės lemia didesnius armuotojo betono element linkius ir plyšio plotus, lyginant su prastaisiais gelžbetoniniais elementais. Nors kompozitinis armatūros trumpalaikis tempiamasis stipris didelis, šios savybės visuomet galima išnaudoti dėl nuovargio ir statinio nuovargio reiškiniai, vykstanti pačioje kompozitini medžiagoje. Daugelis kompozitinis armatūros tip yra atsparūs korozijai, tačiau kai kurie iš jų gali būti greitai pažeidžiami specifinės agresyviosios aplinkos. Pavyzdžiui, neapsaugotas stiklo pluoštas nėra atsparus betone susidaranti šarminei aplinkai.[1]

Dažniausiai pasitaikanti skirtingo tipo kompozitinis armatūros fizikinis ir mechaninis savybės pateikiamos 1.3 lentelėje. [1]

1.3 lentelė . Dažniausiai pasitaikanti skirtingo tipo kompozitinis armatūros fizikinis ir mechaninis savybės [1]

Savybė	Epoksidinė derva su pluoštu		
	stiklo	aramido	anglies
Pluošto tūrio dalis V_{ft}	0,55	0,60	0,65
Tankis, kg/m ³	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 $f_{ft,L}$, MPa	1080	1280	2860
Skersinis tempiamasis stipris $f_{ft,T}$, MPa	39	30	49
Kerpamasis stipris f_{fs} , MPa	89	49	83
Ribini išilginio tempimo deformacija $f_{tu,L}$, %	2,8	1,5	1,6
Ribini skersinio tempimo deformacija $f_{tu,T}$, %	0,5	0,5	0,5
Išilginis gniuždomasis stipris $f_{fc,L}$, MPa	620	335	1875
Skersinis gniuždomasis stipris $f_{fc,T}$, MPa	128	158	246

Vis dėlto pagrindinis kompozitinis polimerinis armatūros pranašumas palyginti su plieno armatūra yra gerokai didesnis tempiamasis stipris. Tačiau pagal duomenis pateiktus lentelėje, matome, kad kompozitinis polimerinis armatūra yra anizotropinė medžiaga, tai yra jos savybės išilgine ir skersine kryptimi labai skiriasi. Dėl šios polimerinės armatūros savybės naudoti ją armuoti betonini elementų gniuždomose zonose nerekomenduotina. Atliekant armuotą betoninių konstrukcijų apskaičiavimus, armatūros gniuždomasis stipris neturėtų būti vertinamas.

1.3 Aplinkos taka armuotoms betoninėms konstrukcijoms

Gelžbetonines konstrukcijas eksploatuojant neagresyviojoje aplinkoje, tam tikro riboto pločio plyšiai yra leistini. Vairi šali projektavimo normose apibrėžiama leidžiamoji ribinė plyšio pločio reikšmė yra nuo 0,2 iki 0,4 mm. Tokio pločio plyšiai neturi reikšmingos takos normaliai konstrukcijos eksploatacijai. Priešinga situacija gaunama konstrukcijas eksploatuojant agresyviojoje išorinėje aplinkoje (pvz., tiltai, atraminės sienos, talpyklos ir kt.), kai konstrukcijų paviršius nuolat veikiamas drėgmės ir cheminių medžiagų kartu su išorinėmis apkrovomis. Netinkamai vertinus agresyviuosius aplinkos poveikius ir kintam kartotini apkrovų pobūdį (tiltuose, estakadose) jau po kelerių metų eksploatacijos betone esanti plieninė armatūra gali būti stipriai paveikta korozijos, ir konstrukcijos gali visiškai prarasti eksploatacines savybes.[1]



1.2 pav. Agresyvi aplinkos sąlygų paveikta armuota betoninė konstrukcija.

Projektavimo normos apibrėžia armuotą betoninių konstrukcijų projektavimo nurodymus atsižvelgiant aplinkos agresyvumo sąlygas.

Atsižvelgiant aplinkos S lyg klases normos pateikia minimalius betono apsauginius sluoksnius armat rai.

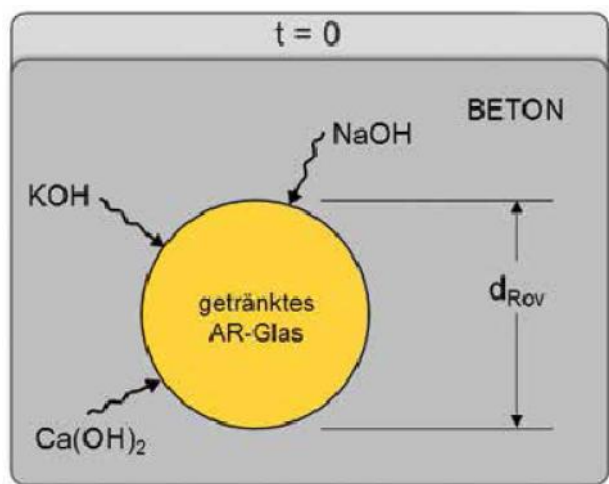
1.3.1 Kompozitin s polimerin s armat ros sen jimas

D l medžiag vairov s naudojam kompozitin s polimerin s armat ros gamyboje, gamybos skirting technologij ir pan. yra keletas veiksniai kurie daro tak armat ros ilgaamžiškumui:

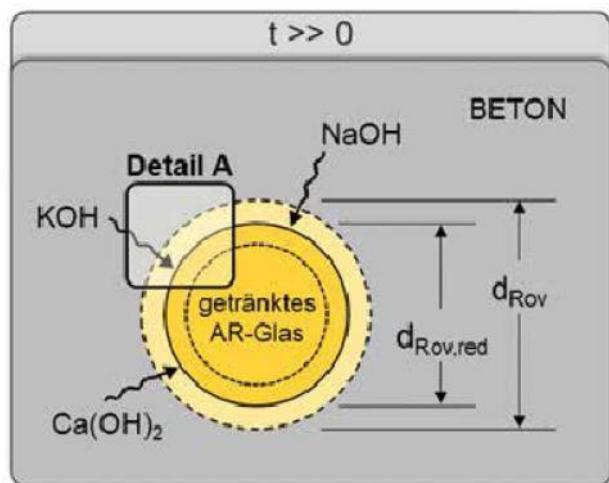
- mechaniniai savybi degradavimas eksploatacijos metu;
- agresyvosios aplinkos (cheminiai medžiagai) poveikis;
- ultravioletiniai spinduliai poveikis (ypa aktualus polimeriniams kompozitams, kurie naudojami konstrukcijos išorėje).

1.4 lentelė . Kompozitin s polimerin s armat ros sen jimas [1]

Poveikis	Polimerinio strypo liekamasis stipris,%			S lygos
	anglies	aramido	stiklo	
Statinis nuovargis	91	46	30	20 °C, 100 met
Ciklinis nuovargis	85	70	23	100 Mpa amplitud , 2 milijonai cikl
Atsparumas šarmams	100	98	29	NaOH, 120 dienos, 40 °C
Atsparumas UV	77	69	90	3 metus
Atsparumas užšalimo ir atšilimo ciklams	100	100	100	Nuo -20 °C iki +15 °C, 300 cikl
Atsparumas aukštai temperat rai	80	75	80	Nuo -10 °C iki +60 °C
Atsparumas gaisrui	75	65	75	350 °C

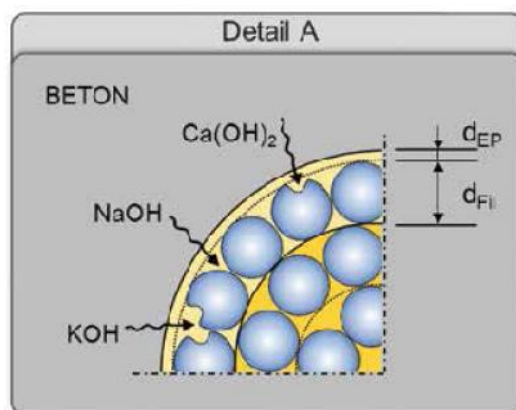


1.3 pav. Cheminis poveikis kompozitinei polimerinei armat rai [11]



1.4 pav. Armat ros strukt ros pokytis d l cheminio poveikio laike.

Detail A pateikta 1.5 pav. [11]



1.5 pav. Detal A [11]

1.4 Kompozitin s polimerin s armat ros skai iuotin s reikšm s

Charakteristin kompozitin s armat ros tempiamojo stiprio f_{fk} reikšm nustatoma tikimybiškai apdorojus eksperimentini tyrim rezultatus. Skai iuotin tempiamojo stiprio reikšm f_{fd} apskai iuojama pagal formul [1]:

$$f_{fd} = \gamma \frac{f_{fk}}{\alpha_m}; \quad (1.1)$$

Kompozitin s armat ros medžiagos dalinis patikimumo koeficientas α_m priklauso nuo armat rai taikomo pluošto (stiklo, anglies ar aramido), dervos, gamybos technologijos ir kokyb s kontrol s gamybos metu. Japonijos projektavimo rekomendacijose (JSCE 1997) šis koeficientas, priklausomai nuo pluošto tipo, kinta nuo 1,1 iki 1,3. Italijos projektavimo rekomendacijose (CNR-DT 203/2006 2007) si loma pastovi α_m reikšm visiems pluošt tipams $\alpha_m = 1,5$. JAV projektavimo rekomendacijose (ACI 440.1R-06 2006) si loma taikyti $\alpha_m = 1,67$ reikšm . [1]

Vadov lio [1] autoriai, kai n ra patikim kompozitin s armat ros gamintoj duomen , si lo taikyti konservatyviausi $\alpha_m = 1,67$ reikšm visoms kompozitin s armat ros r šims.

Koeficientas γ yra specifinis ir taikomas tik kompozitinei armat rai, nes jos stipriui didel tak turi eksploatacavimo aplinka: dr gm , temperat ra, ultravioletin spinduliuot . Laikui b gant šioje armat roje pasireiškia nuovargio ir statinio nuovargio reiškieniai. Kaip min ta, koeficientu vertinamos eksploatacin s aplinkos ir ilgalaik s mechanin s kompozitin s armat ros savyb s.

Koeficientas γ apskai iuojamas pagal formul [1]:

$$\gamma = \gamma_a \cdot \gamma_l; \quad (1.2)$$

ia: γ_a – eksploatacin aplink vertinantis koeficientas, kurio reikšm s pateikiamos 1.8 lentel je [1], γ_l – ilgalaikes mechanines kompozitin s armat ros savybes vertinantis koeficientas, kurio reikšm s pateikiamos 1.5 lentel je [1].

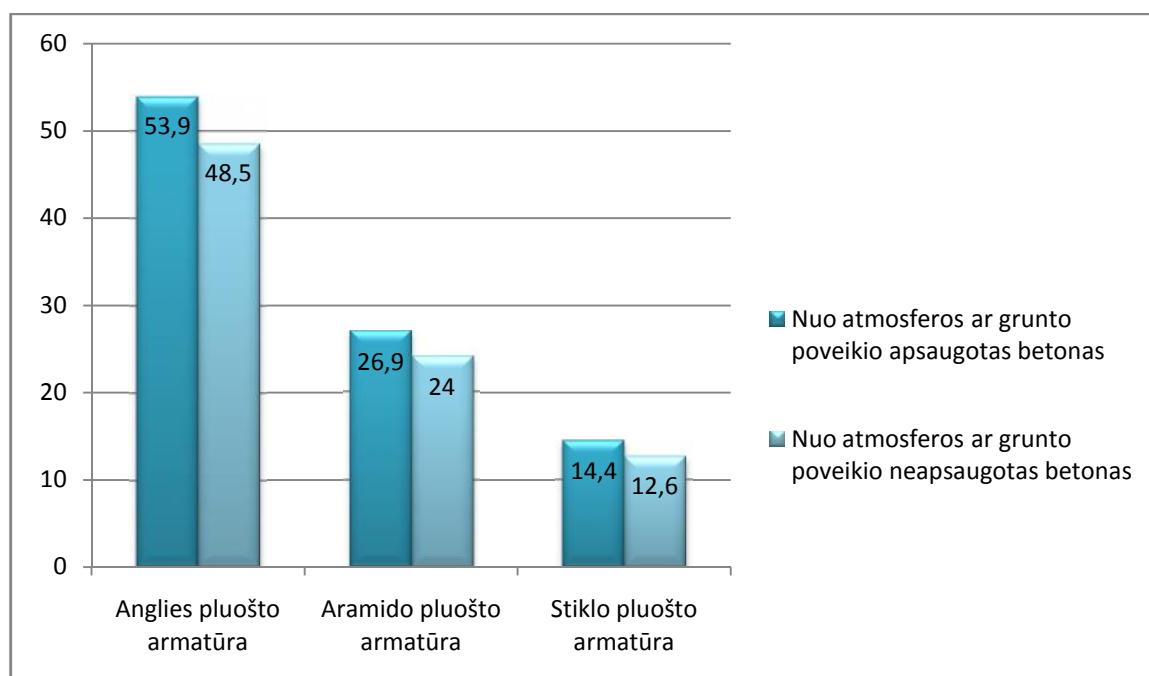
1.5 lentelė . Eksploatacinis aplink vertinantis koeficientas [1]

Eksploatacijos sąlygos	Pluošto tipas	Koeficientas α
Nuo atmosferos ar grunto poveikio apsaugotas betonas	Anglies	1,0
	Aramido	0,9
	Stiklo	0,8
Nuo atmosferos ar grunto poveikio neapsaugotas betonas	Anglies	0,9
	Aramido	0,8
	Stiklo	0,7

1.6 lentelė . Ilgalaikius efektus vertinantis koeficientas [1]

Efektai	Pluošto tipas	Koeficientas α
Nuovargis, statinis nuovargis	Anglies	0,9
	Aramido	0,5
	Stiklo	0,3

Atlikus apskaičiavimus pagal 1.1 formulę, matome, kad armatūros skaičiuojamasis tempiamasis stipris f_{fd} vertinant ilgalaikius efektus ir eksploatacines sąlygas ženkliai skiriasi nuo charakteristinio tempiamojo stiprio f_{fk} . Skaičiuojamasis tempiamasis stipris f_{fd} išreikštas procentais nuo charakteristinio tempiamojo stiprio f_{fk} pateikiamas 1.3 pav.



1.6 pav. Skaičiuojamasis tempiamasis stipris f_{fd} išreikštas procentais nuo charakteristinio tempiamojo stiprio f_{fk}

1.5 Kompozitinis armatūros gniuždymas

Kompozitinis armatūros strypų skerspjūvyje pluošto gijų skersmuo sudaro tik tiktą kstantias milimetro dalis, todėl akivaizdu, kad pluoštas negali priešintis išoriniam gniuždymo poveikiui. Dėl šios priežasties polimeriniai strypai naudoti gniuždomojoje betono zonoje nerekomenduojama. Gniuždomasias kompozitinis armatūros strypų savybes eksperimentiškai nustatyti sudėtinga, nes gaunami rezultatai dažniausiai priklauso nuo bandinio geometrijos ir bandymo metodo. Taip pat kaip ir tempiamajam strypų atveju svarbios kompozitinis strypų sudaranio pluošto ir matricos savybės, cheminės, fizikinės veikos ir armatūros gamybos technologija. Kai kompozitinis armatūros naudojimas gniuždomojoje zonoje yra neišvengiamas, išskiriami trys charakteringi šios armatūros suirimo atvejai [1]:

- sukumpas pluošto gijos;
- armatūros suyra dėl skersinių deformacijų (panašiai kaip gniuždomasis betonas);
- nukerpamos pluošto gijos.

Kai kompozitinis armatūra yra gniuždoma, tiksliai jos suirimo pobūdį prognozuoti labai sunku. Kartu tampa neaiškus ir jos gniuždomasis stipris. Todėl, kaip minima skyriaus pradžioje, projektuojant armuotojo betono konstrukcijas, šios armatūros naudojimo gniuždomosiose zonose reikėtų vengti. [1]

2 EKSCENTRIŠKAI GNIUŽDOMOS, ARMUOTOS BETONINĖS KOLONOS LAIKOMOSIOS GALIOS APSKAIČIAVIMAS

2.1 Tiriamasis objektas

Tiriamasis objektas yra lenkiama ir ekscentriškai gniuždoma betoninė kolona veikiamą agresyvią aplinką. Šiai iavimams atlikti naudojami STR 2.05.05:2005 [2] pateikiama ekscentriškai gniuždoma gelžbetoninė konstrukcijai laikomosios galios apskaičiavimo metodika vertinant elemento linki. Aplinkos klasė XD3 [2]. Sniego apkrovos rajonas I pagal STR 2.05.04:2003 1 priedas, 1 lentelė [4]. Vėjo apkrovos rajonas III pagal STR 2.05.04:2003 3 priedas, 1 lentelė [4].

Tiriamajame darbe nagrinėjami trys skirtingos išilginės armatūros rūšys:

- plieniniai armatūros strypai S400 klasės;
- stiklo pluoštu armuotų polimerinių armatūros FRPR-GV-A1 strypai, 2.1 pav. (gamintojas UAB Ugira LT);
- „NANOARMAT ROS“ polimeriniai stiklo pluošto strypai, 2.2 pav. (gamintojas „Znamenskij kompozitnyj zavod“).



2.1 pav. Stiklo pluoštu armuotų polimerinių armatūros FRPR-GV-A1 strypas



2.2 pav. „NANOARMAT ROS” polimeriniai stiklo pluošto strypai

Pagrindinis armatūros savybės pateikiamos 2.1 lentelėje.

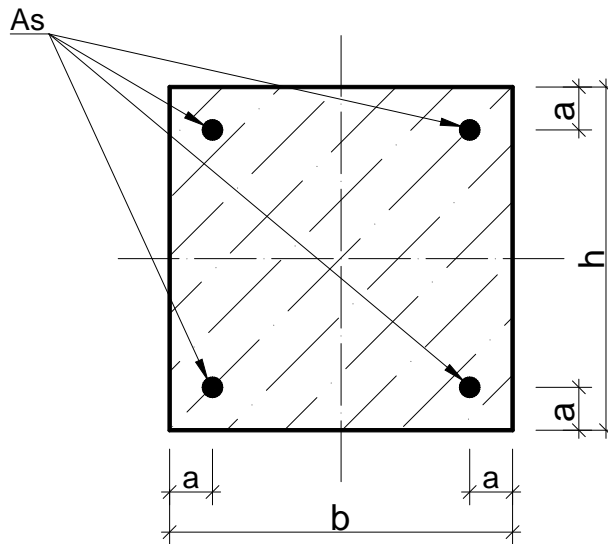
2.1 lentelė. Armatūros strypų savybės

Armatūros rūšis	Charakteristinis stipris (MPa)	Tamprumo modulis (GPa)	Tankis (kg/m ³)
Plieninis armatūros strypai	400	200	7850
FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armatūros strypai	1000	45	2000
„NANOARMAT ROS” polimeriniai stiklo pluošto strypai	1350	63	1900

Skaičiuojamasis kolonos ilgis $l_0=6\text{m}$. Kolonos matmenys $b=h=400\text{mm}$. Kolonos skerspjūvio schema pateikta 2.3 pav. Kolona armuota 4 neįtemptos išilginės armatūros strypais, kurių skersmuo $\varnothing 12-20\text{mm}$. Apsauginis betono sluoksnis $a=40\text{mm}$. Betonas sunkusis C35/45.

Skaičiuodamas darau prielaidas kad:

- kolona tvirtinta abiem galais šarnyriškai;
- kolonos žingsnis abiem kryptimis 6m;
- kolonai veikiančias momentas susidaro tik nuo šoninio vėjo slėgio poveikio;
- kolonai veikianti ašinė jėga yra nuo denginio konstrukcijos kuri laiko gelžbetoninį siją $400 \times 600 \times 6000\text{mm}$, ir kintamam poveikiui (sniego ir naudojimo apkrova H kategorijos stogams).



2.3 pav. Betonin s kolonos skerspj v io schema

2.2 Ašin j ga N_{Ed} ir momentas M_{Ed} veikiantis kolon

Kolon veikianti ašin j ga N_{Ed} ir momentas M_{Ed} pateiktas 2.2 lentel je. Poveiki reikšm s apskai iuojamos 2.2.1 ir 2.2.2 skyriuose.

2.2 lentel . Kolon veikiam poveiki lentel

	Saugos ribiniam b viui kai poveiki patikimumo koeficientas $\gamma > 1$	
	nuo nuolatini ir tariamai nuolatini poveiki	nuo nuolatini ir kintam j poveiki
N_{Ed} (kN)	128,57	146,39
M_{Ed} (kNm)	13,46	22,46

2.2.1 Momento veikian io kolon apskai iavimas

Skai iudamas darau prielaid , kad kolon veikia šoninis v jas pagal III v jo apkrovos rajon (STR 2.05.04:2003 3 priedas, 1 lentel).

Atskaitinis v jo greitis:

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0} \quad (2.1)$$

- ia: $v_{ref,0}$ – v jo grei io pagrindin atskaitin reikšm 32m/s,
 c_{DIR} – krypties koeficientas, lygus 1,0,
 c_{TEM} – laikotarpio (sezono) koeficientas, lygus 1,0,
 c_{ALT} – aukš io virš j ros lygio koeficientas, lygus 1,0.

$$V_{\text{ref}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 32 = 32 \text{ m/s}$$

Atskaitinis vėjo slėgis:

$$q_{\text{ref}} = \frac{\rho}{2} v_{\text{ref}}^2 \quad (2.2)$$

čia: ρ – oro tankis $1,25 \text{ kg/m}^3$.

$$q_{\text{ref}} = \frac{1,25}{2} \cdot 32^2 = 0,64 \text{ kN / m}^2$$

Kadangi skaičiuodamas neužsiduodu konkrečiai pastato matmenų plane tai poveikiui nuo vėjo pastato kolon priimu:

$$q = q_{\text{ref}} \cdot d = 0,64 \cdot 6 = 3,84 \text{ kN / m}$$

čia: d – atstumas tarp kolon.

Kolonai veikiantis tariamai nuolatinis poveikis nuo vėjo apskaičiuojamas:

$$q_{gd} = \chi_Q \cdot \xi_0 \cdot q \quad (2.3)$$

čia: χ_Q – poveikio dalinis koeficientas 1,3 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentelė) [4],

ξ_0 – poveikio dalinis koeficientas 0,6 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 1 lentelė) [4].

$$q_{gd} = 1,3 \cdot 0,6 \cdot 3,84 = 2,99 \text{ kN/m}$$

Kolonai veikiantis kintamas poveikis apskaičiuojamas:

$$q_d = \gamma_Q \cdot q \quad (2.4)$$

ia: γ_Q – poveikio dalinis koeficientas 1,3 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentel) [4].

$$q_d = 1,3 \cdot 3,84 = 4,99 \text{ kN/m}$$

Momentas veikiantis kolon nuo tariamai nuolatini poveiki :

$$M_{\text{Egd}} = \frac{q_{gd} \cdot l^2}{8} = \frac{2,99 \cdot 6^2}{8} = 13,46 \text{ kNm} \quad (2.5)$$

Momentas veikiantis kolon nuo nuolatini poveiki :

$$M_{\text{Ed}} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{4,99 \cdot 6^2}{8} = 22,46 \text{ kNm}; \quad (2.6)$$

2.2.2 Ašin s apkrovos veikian ios kolon apskai iavimas

Sniego apkrovos stogo horizontali j projekcij dydis nustatomas pagal formul :

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (2.7)$$

ia: s_k – sniego dangos ant 1 m^2 horizontaliojo žem s paviršiaus svorio charakteristin reikšm I sniego apkrovos rajonas $1,2 \text{ kN/m}^2$ (STR 2.05.04:2003 1 priedas, 1 lentel);

μ – stogo sniego apkrovos formos koeficientas, kurio reikšm 1;

C_e – atodangos koeficientas, kurio reikšm 1;

C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostoli per stog , kurio reikšm 1.

$$s = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

2.3 lentel . Denginio konstrukcijos apkrovos

Apkrovos r šis	Charakteristin s apkrovos,kN/m ²
Nuolatin apkrova	
Hidroizoliacija (G ₁)	0,10
Termoizoliacija (G ₂)	0,20
Garo izoliacija(G ₃)	0,01
Gelžbetonio plokšt (G ₄)	3,20
Sumin nuolatin apkrova:	3,51
Kintama apkrova	
Sniego (Q ₁)	1,20
Naudojimo,H kategorijos stogams (Q ₂)	0,40
Sumin kintama apkrova:	1,60

Deginio poveikis nuo nuolatin ir tariamai nuolatin apkrov apskai iuojamas pagal formul :

$$P_{gd}=\gamma_{Gj,sup} G+\gamma_Q \psi_{0,i} Q_i \quad (2.8)$$

- ia: $\gamma_{Gj,sup}$ – poveikio dalinis koeficientas 1,35 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentel) [4];
 γ_Q – poveikio dalinis koeficientas 1,3 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentel) [4];
 $\psi_{0,1}$ – poveikio dalinis koeficientas H kategorijos stogams lygus 0 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 1 lentel) [4];
 ψ_0 – poveikio dalinis koeficientas statini sniego apkrovai lygus 0,7 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 1 lentel) [4].

$$P_{gd}=1,35 \cdot 3,51+1,3 \cdot 0,7 \cdot 1,2+1,3 \cdot 0 \cdot 0,4=5,83 \text{ kNm}^2$$

Deginio poveikis nuo nuolatin ir kintam apkrov apskai iuojamas pagal formul :

$$P_d=\gamma_{Gj,sup} G+\gamma_Q Q \quad (2.9)$$

- ia: $\gamma_{Gj, sup}$ – poveikio dalinis koeficientas 1,35 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentel) [4].
 γ_Q – poveikio dalinis koeficientas 1,3 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentel) [4].

$$P_d = 1,35 \cdot 3,51 + 1,3 \cdot 1,6 = 6,82 \text{ kNm}^2$$

Poveikis kolonai nuo dengin laikan ios sijos apskai iuojamas:

$$F = G_s / 2 \quad (2.10)$$

- ia: G_s – sijos nuosavas svoris kN.

Sijos nuosavas svoris:

$$G_s = b \cdot h \cdot l \cdot \chi = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 6 \cdot 25 = 36 \text{ kN}$$

- ia: b – sijos plotis (m);
 h – sijos aukštis (m);
 l – sijos ilgis (m);
 χ – betono t rinis svoris (kN/m³).

$$F = 36 / 2 = 17,5 \text{ kN}$$

Poveikio F skai iuotin reikšm F_d apskai iuojama pagal formul :

$$F_d = F \cdot \chi_Q; \quad (2.11)$$

- ia: χ_Q – poveikio dalinis koeficientas 1,35 (STR 2.05.04:2003 10 priedas, 3 lentel).

$$F_d = 17,5 \cdot 1,35 = 23,63 \text{ kN}$$

Ašin apkrova veikianti kolon nuo nuolatini ir tariamai nuolatini poveiki apskai iuojama pagal formul :

$$N_{Egd} = P_{gd} \cdot S_{den} + F_d \quad (2.12)$$

ia: S_{den} – denginio plotas tenkantis kolonai, lygus 18m^2 ;

$$N_{Ed} = 5,83 \cdot 18 + 23,63 = 128,57\text{kN}$$

Ašin apkrova veikianti kolon nuo nuolatini ir kintam poveiki apskaičiuojama pagal formulę :

$$N_{Ed} = P_d \cdot S_{den} + F_d \quad (2.13)$$

$$N_{Ed} = 6,82 \cdot 18 + 23,63 = 146,39\text{kN}$$

2.3 Išilginis armatūros apskaičiavimas

Apskaičiuojamos medžiagų skaičiuotiniai reikšmės.

Betono gniuždomasis skaičiuotinis stipris f_{cd} randamas pagal formulę :

$$f_{cd} = \gamma \cdot \gamma_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad (2.14)$$

ia: f_{ck} - charakteristinis betono gniuždomasis stipris, MPa;

γ_c - medžiagos patikimumo koeficientas, gelžbetoninėms konstrukcijoms saugos ribiniam $1,5$ lygiu;

γ - koeficientas vertinantis stačiakampio formos tempiamumo pasiskirstymo diagramą lygus $0,9$, kai charakteristinis betono stipris 50MPa ;

γ_{cc} - koeficientas lygus 1 .

$$f_{cd} = 0,9 \cdot 1 \cdot 35 / 1,5 = 21\text{MPa}$$

Plieninio armatūros skaičiuotinis tempiamasis ir gniuždomasis stipris apskaičiuojamas pagal formulę :

$$f_{yd} = f_{s,d} = f_{yk} / \gamma_s \quad (2.15)$$

ia: f_{yk} - charakteristinis armatros stipris, MPa;

γ_s - medžiagos patikimumo koeficientas, strypinei armatrai 1,1.

$$f_{yd} = f_{scd} = 400 / 1,1 = 360 \text{ N/mm}^2;$$

Kolonos skerspjūvio laikomosios galios apskaičiavimas.

Apskaičiuojamas skerspjūvio naudingasis aukštis d pagal formulę:

$$d = h - a = 400 - 40 = 360 \text{ mm} \quad (2.16)$$

ia: h – skerspjūvio aukštis, mm;

a – apsauginis betono sluoksnis, mm.

Apskaičiuojamos poveikių reikšmės $M_{Ed,s}$ ir $M_{Ed,sl}$ pagal formules:

$$M_{Ed,s} = M_{Ed} + N_{Ed} \frac{d - a}{2} \quad (2.17)$$

ia: d – skerspjūvio naudingasis aukštis, m;

a – apsauginis betono sluoksnis, m;

M_{Ed} – momentas nuo nuolatinių ir kintamųjų poveikių kai poveikių patikimumo koeficientas $\gamma > 1$;

N_{Ed} – ašinis jėga nuo nuolatinių ir kintamųjų poveikių kai poveikių patikimumo koeficientas $\gamma > 1$.

$$M_{Ed,s} = 22,46 \cdot 10^3 + 146,39 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,36 - 0,04}{2} = 45,88 \text{ kNm};$$

$$M_{Ed,sl} = M_{Ed} + N_{Ed} \frac{d - a}{2} \quad (2.18)$$

ia: d – skerspjūvio naudingasis aukštis, m;

a – apsauginis betono sluoksnis, m;

M_{Ed} – momentas nuo nuolatini ir tariamai nuolatini poveiki, kai poveiki patikimumo koeficientas $\gamma > 1$;

N_{Ed} – ašinis jėga nuo nuolatini ir tariamai nuolatini poveiki, kai poveiki patikimumo koeficientas $\gamma > 1$.

$$M_{Ed,sl} = 13,46 \cdot 10^3 + 128,57 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,36 - 0,04}{2} = 34,03 \text{ kNm};$$

Apskaičiuojamas koeficientas ξ_1 , vertinantis ilgalaikio poveikio tak elemento linkiui ribiniame būvyje pagal formulę:

$$\xi_1 = 1 + S \cdot \frac{M_{Ed,sl}}{M_{Eds}} < 1 + S \quad (2.19)$$

čia: S – koeficientas vertinantis betono rėš, sunkiajam betonui 1.

$$\xi_1 = 1 + 1 \cdot \frac{34,03}{45,88} = 1,74 < 1 + 1 = 2$$

Apskaičiuojamas ekscentricitetas e_0 kuris turi būti ne mažesnis nei $l/600$ elemento ilgio arba $l/30$ elemento skerspjūvio aukštinio pagal formulę:

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \quad (2.20)$$

$$e_0 = \frac{22,46 \cdot 10^6}{146,29 \cdot 10^3} = 153 \text{ mm} > \begin{cases} 6000 / 600 = 10 \text{ mm} \\ 400 / 30 = 13,3 \text{ mm} \end{cases}$$

Apskaičiuojamas koeficientas u_e pagal formulę:

$$u_e = \frac{e_0}{h} > u_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \cdot \frac{l_0}{h} - 0,01 f_{cd} \quad (2.21)$$

$$u_e = \frac{153}{400} = 0,38 > u_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \cdot \frac{6000}{400} - 0,01 \cdot 21 = 0,140$$

Apskai iuojamas koeficientas γ_e pagal formul :

$$\gamma_e = \frac{E}{E_{cm}} \quad (2.22)$$

ia: E - armat ros medžiagos tamprumo modulis ;

E_{cm} - betono tamprumo modulis, sunkiojo betono C35/45 klas s, lygus 34GPa.

2.4 lentel . koeficiento γ_e reikšm s apskai iuotos pagal 2.22 formul

Armat ros r šis	γ_e reikšm
Plienin s armat ros strypai	5,88
FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	1,32
“NANOARMAT ROS” polimeriniai stiklo pluošto strypai	1,85

Apskai iuojamos I_c ir I_s reikšm s pagal formules:

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2.23)$$

ia: b – skerspjo plotis ;

h – skerspjo aukštis.

$$I_c = \frac{400 \cdot 400^3}{12} = 2,133 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_s = A_s \left(\frac{d-a}{2} \right)^2 \quad (2.24)$$

ia: A_s – suminis armat ros skerspjo plotas.

2.5 lentel . I_s reikšm s apskai iuotos pagal 2.24 formul

Armat ros strypo \emptyset (mm)	I_s reikšm (mm ⁴)
12	$1,157 \cdot 10^7$
14	$1,576 \cdot 10^7$
16	$2,058 \cdot 10^7$
18	$2,604 \cdot 10^7$
20	$3,215 \cdot 10^7$

Apskai iuojama s lygin kritin j ga N_{crit} pagal formul :

$$N_{crit} = \frac{6,4 \cdot E_{cm}}{l_0^2} \left[\frac{I_c}{\xi_l} \left(\frac{0,11}{0,1+u_e} + 0,1 \right) + r_e I_s \right] \quad (2.25)$$

2.6 lentel . N_{crit} (kN) reikšm s apskai iuotos pagal 2.25 formul

Armat ros r šis	Armat ros strypo \emptyset (mm)				
	12	14	16	18	20
Plienin s armat ros strypai	2830	2985	3156	3350	3568
FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	2517	2550	2589	2633	2682
„NANOARMAT ROS” polimeriniai stiklo pluošto strypai	2554	2601	2655	2716	2785

Apskai iuojamas koeficientas vertinantis ašin s j gos ekscentriciteto e_0 padid jim d l linkio pagal formul :

$$y = \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} \quad (2.26)$$

ia: N_{Ed} – ašin j ga nuo nuolatini ir kintam j poveiki , kai poveiki patikimumo koeficientas $\gamma > 1$;

2.7 lentel . koeficiento reikšmės apskaičiuotos pagal 2.26 formulę

Armatūros rėžis	Armatūros strypų Ø (mm)				
	12	14	16	18	20
Plieninis armatūros strypai	1,0544	1,0516	1,0486	1,0457	1,0428
FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armatūros strypai	1,0617	1,0609	1,0599	1,0589	1,0577
„NANOARMAT ROS” polimeriniai stiklo pluošto strypai	1,0608	1,0596	1,0584	1,0570	1,0555

Apskaičiuojamas ekscentricitetas e_e pagal formulę :

$$e_e = e_0 \cdot \gamma + \frac{d-a}{2} \quad (2.27)$$

2.8 lentel . ekscentricitetas e_e (mm) apskaičiuotas pagal 2.27 formulę

Armatūros rėžis	Armatūros strypų Ø (mm)				
	12	14	16	18	20
Plieninis armatūros strypai	321,8	321,3	320,9	320,4	320,0
FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armatūros strypai	322,9	322,8	322,6	322,5	322,3
„NANOARMAT ROS” polimeriniai stiklo pluošto strypai	322,8	322,6	322,4	322,2	321,9

Apskaičiuojamas ribinis gniuždomos zonos aukštis x_{eff} pagal formulę :

$$x_{eff} = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot b} \quad (2.28)$$

čia: N_{Ed} – ašinis jėga nuo nuolatinių ir kintamųjų poveikių, kai poveikių patikimumo koeficientas $\gamma > 1$;

f_{cd} – betono gniuždomasis skaičiuotinis stipris saugos ribiniam b viui.

$$x_{eff} = \frac{146,39 \cdot 10^3}{21 \cdot 400} = 17,43 \text{ mm}$$

Skerspjvio armuoto plienine armat ra laikomoji galia tikrinama pagal s lyg :

$$f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) + f_{scd} \cdot A_s (d - a) > N_{Ed} \cdot e_e \quad (2.29)$$

ia: f_{scd} – armat ros skai iuotinis gniuždomas stipris.

2.9 lentel . reikšm s apskai iuotos pagal 2.29 formul

Plienin armat ra		
Armat ros strypo Ø (mm)	Skerspjvio laikomoji galia (kNm)	$N_{Ed} \cdot e_e$ (kNm)
12	77,73	47,10
14	87,23	47,04
16	98,19	46,97
18	110,62	46,91
20	124,50	46,84

Skerspjvio armuoto stiklo pluošto polimerine armat ra laikomoji galia tikrinama pagal s lyg nevertinant armat ros gniuždomojo stiprio:

$$f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) > N_{Ed} \cdot e_e \quad (2.30)$$

2.10 lentel . reikšm s apskai iuotos pagal 2.30 formul

FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai		
Armat ros strypo Ø (mm)	Skerspjvio laikomoji galia (kNm)	$N_{Ed} \cdot e_e$ (kNm)
12	51,42	47,27
14		47,25
16		47,23
18		47,20
20		47,18

2.11 lentelė .reikšmės apskaičiuotos pagal 2.30 formulę

“NANOARMAT ROS” polimerinis stiklo pluošto armatūra		
Armatūros strypų Ø (mm)	Skerspjūvio laikomoji galia (kNm)	$N_{Ed} \cdot e_e$ (kNm)
12	51,42	47,25
14		47,22
16		47,19
18		47,16
20		47,13

2.4 Kolonos su pasirinkta armatūra didžiausio atlaikomo momento apskaičiavimas

Pagal 2.3 skyriuje aprašytą metodiką priartėjimo būdu apskaičiuojamas didžiausias momentas kur atlaiko kolona, ašinis įgis išlieka tokia pati kaip pateikta 2.2 lentelėje. Skaičiavimui reikalingi duomenys tokie pat kaip pateikti 2.1 skyriuje. Skaičiavimo rezultatai pateikiami žemiau esančiose lentelėse.

2.12 lentelė . poveikio $M_{Ed,s}$ reikšmės pagal 2.17 formulę

Armatūros strypų Ø (mm)	Plieninis armatūra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armatūros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerinis stiklo pluošto armatūra
12	73,85	49,68	49,71
14	82,75	49,70	49,74
16	93,13	49,73	49,77
18	105,00	49,76	49,81
20	118,38	49,79	49,86

2.13 lentelė . poveikio $M_{Ed,sl}$ reikšmės pagal 2.18 formulę

Armatūros strypų Ø (mm)	Plieninis armatūra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armatūros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerinis stiklo pluošto armatūra
12	50,80	36,31	36,33
14	56,14	36,32	36,35
16	62,36	36,34	36,36
18	69,48	36,36	36,39
20	77,50	36,37	36,42

2.14 lentel . koeficiento ξ_1 reikšm pagal 2.19 formul

Armat ros strypo \varnothing (mm)	Plienin armat ra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerin stiklo pluošto armat ra
12	1,69	1,73	1,73
14	1,68	1,73	1,73
16	1,67	1,73	1,73
18	1,66	1,73	1,73
20	1,65	1,73	1,73

2.15 lentel . ekscentriciteto e_0 reikšm pagal 2.20 formul

Armat ros strypo \varnothing (mm)	Plienin armat ra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerin stiklo pluošto armat ra
12	344	179	179
14	405	179	179
16	476	179	179
18	557	179	180
20	648	180	181

2.16 lentel . koeficiento u_e reikšm pagal 2.21 formul

Armat ros strypo \varnothing (mm)	Plienin armat ra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerin stiklo pluošto armat ra
12	0,861	0,448	0,448
14	1,011	0,448	0,449
16	1,190	0,449	0,449
18	1,393	0,450	0,450
20	1,622	0,450	0,451

2.17 lentel . s lygin kritin j ga N_{crit} (kN) apskai iuota pagal 2.25 formul

Armat ros strypo \varnothing (mm)	Plienin armat ra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerin stiklo pluošto armat ra
12	2049	2332	2368
14	2088	2365	2414
16	2162	2402	2466
18	2274	2445	2526
20	2421	2492	2593

2.18 lentel . koeficientas apskai iuotas pagal 2.26 formul

Armat ros strypo \varnothing (mm)	Plienin armat ra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerin stiklo pluošto armat ra
12	1,0769	1,0670	1,0659
14	1,0752	1,0660	1,0646
16	1,0726	1,0649	1,0631
18	1,0688	1,0637	1,0615
20	1,0644	1,0598	1,0599

2.19 lentel . ekscentriciteto e_e (mm) reikšm pagal 2.27 formul

Armat ros strypo \varnothing (mm)	Plienin armat ra	FRPR-GV-A1 polimeriniai stiklo pluošto armat ros strypai	“NANOARMAT ROS” polimerin stiklo pluošto armat ra
12	531,0	351,3	351,3
14	595,9	351,3	351,3
16	670,8	351,3	351,3
18	755,6	351,3	351,3
20	850,4	351,3	351,3

2.20 lentel . kolonos armuotos plienin armat ra didžiausias atlaikomas momentas.

Armat ros strypo \varnothing (mm)	reikšm s apskai iuotas pagal formul 2.29 kai veikia didžiausias momentas M_{Ed}		M_{Ed} nuo nuolatini ir kintam j poveiki	M_{Ed} nuo nuolatini ir tariamai nuolatini poveiki
	Skerspji vio laikomoji galia (kNm)	$N_{Ed} \cdot e_e$ (kNm)		
12	77,73	77,73	50,43	30,23
14	87,23	87,23	59,33	35,57
16	98,19	98,19	69,71	41,79
18	110,62	110,62	81,58	48,91
20	124,50	124,50	94,96	56,93

2.21 lentelė . kolonos armuotos FRPR-GV-A1 polimeriniais stiklo pluošto armatros strypais didžiausias atlaikomas momentas.

Armatros strypo Ø (mm)	reikšmės apskaičiuotos pagal formulę 2.30 kai veikia didžiausias momentas M_{Ed}		M_{Ed} nuo nuolatinių ir kintamųjų poveikių	M_{Ed} nuo nuolatinių ir tariamųjų nuolatinių poveikių
	Skerspjūvio laikomoji galia (kNm)	$N_{Ed} \cdot e_e$ (kNm)		
12	51,43	51,43	26,25	15,74
14	51,43	51,43	26,27	15,75
16	51,43	51,43	26,30	15,77
18	51,43	51,43	26,33	15,78
20	51,43	51,43	26,35	15,80

2.22 lentelė . kolonos armuotos "NANOARMATROS" polimeriniais stiklo pluošto armatros strypais didžiausias atlaikomas momentas.

Armatros strypo Ø (mm)	reikšmės apskaičiuotos pagal formulę 2.30 kai veikia didžiausias momentas M_{Ed}		M_{Ed} nuo nuolatinių ir kintamųjų poveikių	M_{Ed} nuo nuolatinių ir tariamųjų nuolatinių poveikių
	Skerspjūvio laikomoji galia (kNm)	$N_{Ed} \cdot e_e$ (kNm)		
12	51,43	51,43	26,28	15,75
14	51,43	51,43	26,31	15,77
16	51,43	51,43	26,34	15,79
18	51,43	51,43	26,38	15,81
20	51,43	51,43	26,43	15,84

2.5 Kompozitin s polimerin s stiklo pluošto ir plienin s armat ros kain tyrimas

Armat ros kainos buvo nustatytos darant tiek j apklaudas bei perži rint pateikt informacij internete tiek j internetiniuose puslapiuose. Kainos pateiktos žemiau esan iose lentel se.

2.23 lentel . kompozitin s polimerin s stiklo pluošto armat ros kaina

Pardav jas	kaina (be PVM) €m				
	Armat ros stryp Ø				
	4	6	8	10	12
UAB „Ugira“ [7]	0,14	0,21	0,32	0,45	0,65
UAB „Relema“ [6]	0,12	0,25	0,32	0,41	0,61
UAB "Grynas B stas" [13]	0,24	0,34	0,51	0,82	1,26

2.24 lentel . stiklo bazalto kompozitin s polimerin s stiklo pluošto armat ros kaina

Pardav jas	kaina (be PVM) €m				
	Armat ros stryp Ø				
	4	6	8	10	12
UAB “Durisolio namai” [8]	0,68	0,98	1,46	2,35	3,36
UAB "FibroLT" [10]	-	-	2,23	3,16	4,05

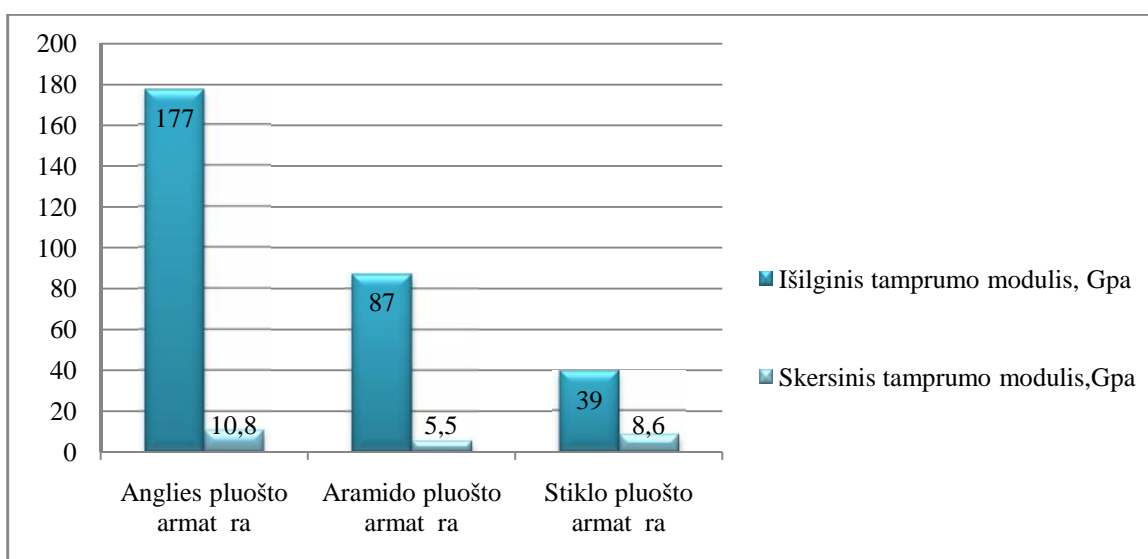
2.24 lentel . plieno armat ros kaina

Pardav jas	kaina (be PVM) €m			
	Armat ros stryp Ø			
	6	8	10	12
http://www.b-a.eu [9]	0,155	0,243	0,331	0,430
UAB "Metalai ir Ko“ [12]	0,115	0,190	0,265	0,372

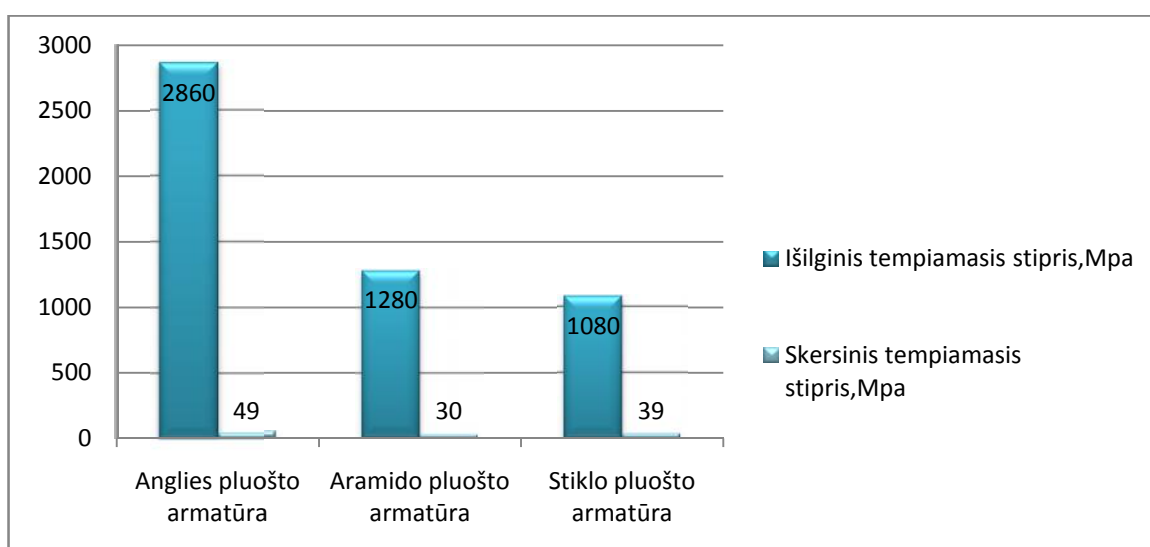
2.6 Betonin s kolonos, armuotos kompozitine polimerine stiklo pluošto ir plienine armat ra analitini tyrim rezultat analiz

2.6.1 Polimerin s kompozitin s armat ros pagrindin s mechanin s savyb s

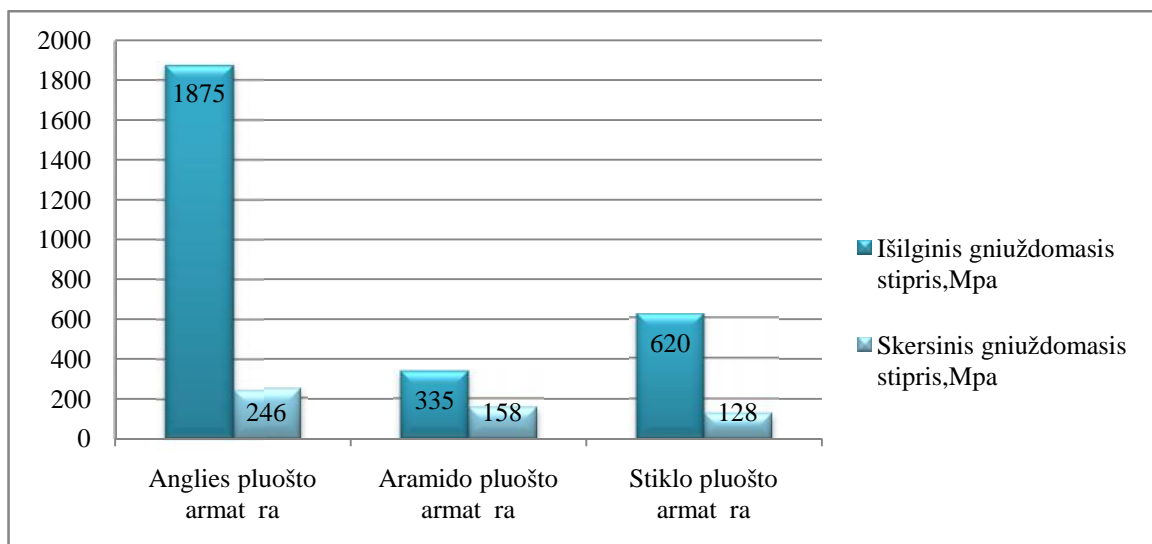
Kompozitin polimerin armat ra yra anizotropin medžiaga, tod l jos mechanin s savyb s skersai ir išilgai pluošto skiriasi. 2.4 pav. 2.5 pav. ir 2.6 pav. pateikiamos dažniausiai pasitaikan i pagrindin s kompozitin s polimerin s armat ros mechanin s savyb s.



2.4 pav. Kompozitin s polimerin s armat ros tamprumo modulis išilgai ir skersai pluošt , GPa



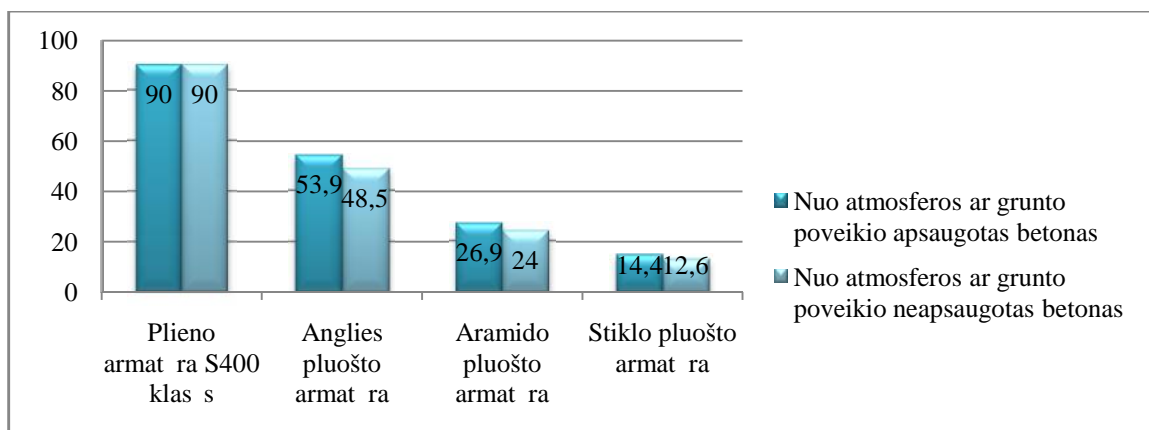
2.5 pav. Kompozitin s polimerin s armat ros tempiamasis stipris išilgai ir skersai pluošt , MPa



2.6 pav. Kompozitinės polimerinės armatūros gniuždomasis stipris išilgai ir skersai pluoštui, MPa

2.6.2 Polimerinės kompozitinės ir plieno armatūros tempiamojo stiprio skaičiuotinė reikšmė

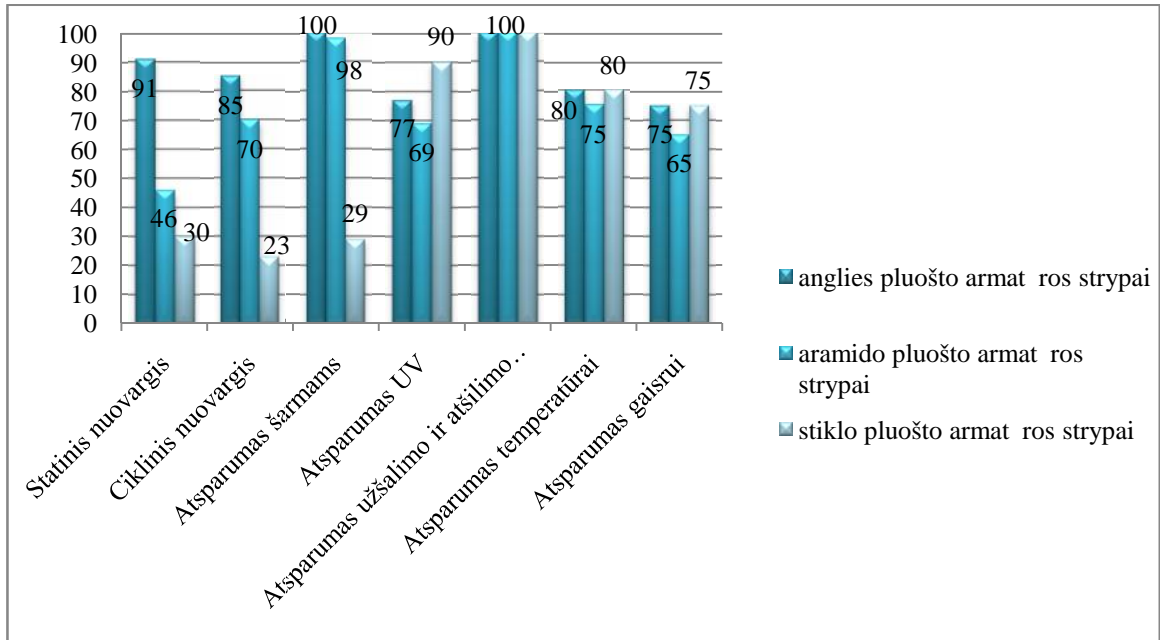
Iš 1.4 skyriaus pateikiamos medžiagos matome, kad skaičiuojamojo kompozitinės armatūros tempiamojo stiprio sumažėjimui, palyginti su charakteristiniu tempiamuoju stipriu, didelį taką daro eksploataavimo aplinka, gamybos kokybės kontrolė, armatūros pluošto tipas. Tuo tarpu plieno armatūros skaičiuojamasis tempiamasis stipris apskaičiuotas pagal 2.15 formulę palyginti su charakteristiniu tempiamuoju stipriu sumažėja tik dėl plieno dalinio koeficiento, kuris strypinė armatūroje yra 1,1. Kompozitinės ir plieninės armatūros skaičiuojamasis tempiamasis stipris išreikštas procentais nuo charakteristinio tempiamojo stiprio, pateikiamas 2.7 pav.



2.7 pav. Kompozitinės ir plieninės armatūros skaičiuojamasis tempiamasis stipris išreikštas procentais nuo charakteristinio tempiamojo stiprio

2.6.3 Kompozitin s polimerin s armat ros sen jimas

2.8 pav. pateikiamas kompozitin s polimerin s armat ros liekamasis stipris priklausantis nuo armat ros strypus veikian i aplinkos s lyg pagal 1.4 lentel s duomenis.



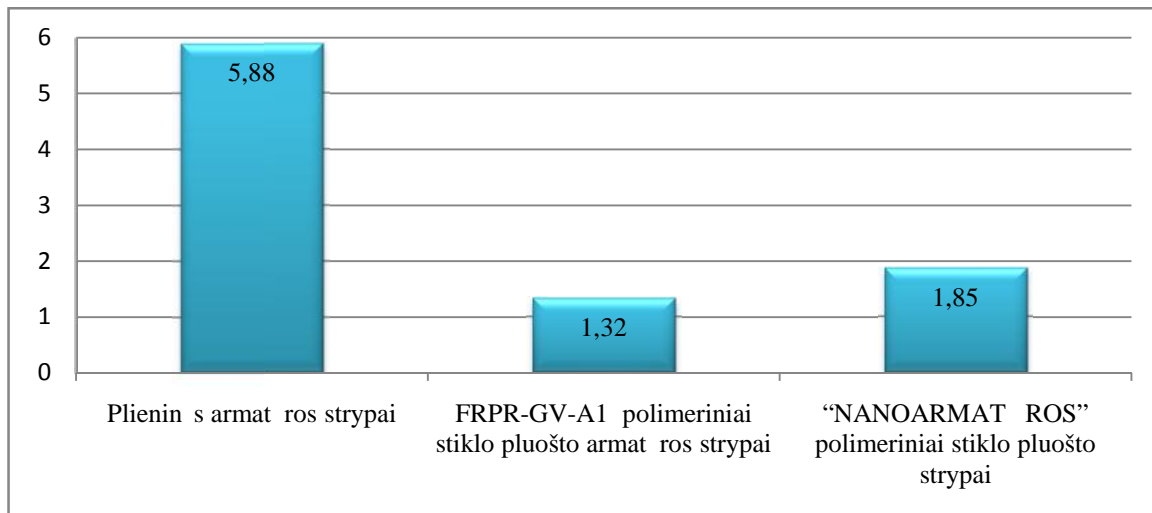
2.8 pav. Kompozitin s polimerin s armat ros liekamasis stipris %, priklausantis nuo armat ros strypus veikian i aplinkos s lyg

- ia:
- statinis nuovargis prie 20 °C, 100 met ;
 - ciklinis nuovargis 100 Mpa amplitud , 2 milijonai cikl ;
 - atsparumas šarmams NaOH (natrio hidroksidas), 120 dienos, 40 °C;
 - atsparumas UV poveikiui 3 metus;
 - atsparumas užšalimo ir atšilimo ciklams, nuo –20 °C iki +15 °C, 300 cikl ;
 - atsparumas temperatūrai nuo –10 °C iki +60 °C;
 - atsparumas gaisrui prie 350 °C.

2.6.4 Armat ros stryp ir betono tamprumo moduli santykis

Projektuojant armuoto betono konstrukcijas yra svarbus armat ros stryp ir betono tamprumo moduli santykis. Nuo jo priklauso, kaip armat ros strypai perduoda tempius betonui ir atvirkščiai. Iš darbe atlikt skaičiavimų pagal 2.22 formul matyti, kad šis santykis yra ženkliai

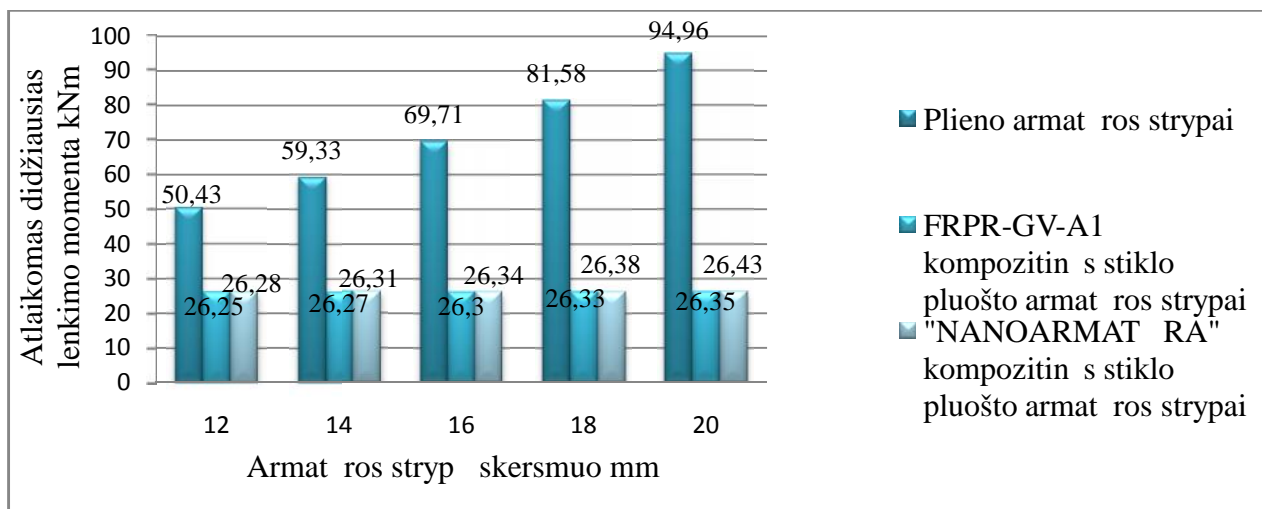
didesnis plieno armat ros stryp nei kompozitin s stiklo pluošto stryp . Armat ros stryp ir betono tamprumo moduli santykis pateikiamas 2.9 pav.



2.9 pav. Armat ros stryp ir betono tamprumo moduli santykis

2.6.5 Ekscentriškai gniuždomo elemento, armuoto plienin s armat ros ir kompozitin s polimerin s armat ros strypais, laikomoji galia

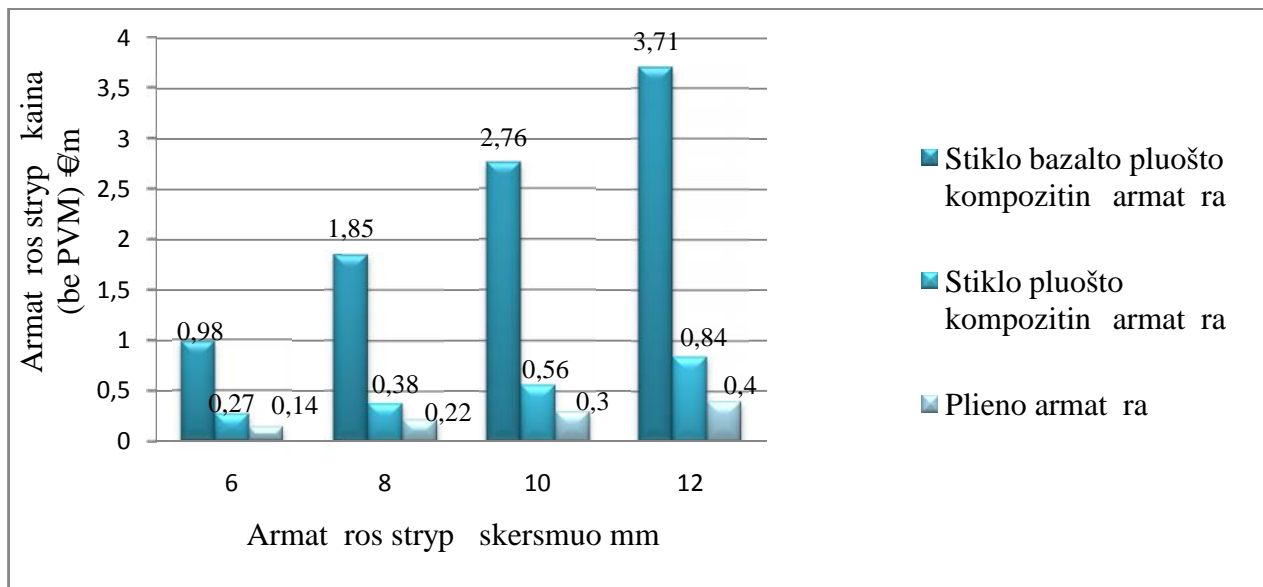
Iš 2.6 poskyryje atlikt skai iavim rezultat matome, kad su užsiduota nekintan ia ašine j ga, kolonos armuotos kompozitine polimerine armat ra atlaikomas didžiausias momentas, didinant armat ros skersmen did ja labai nežymiai. 2.10 pav. pateikiamas armuotos betonin s kolonos atlaikomas didžiausias lenkimo momentas su vaira us skersmens armat ros strypais, kai kolon veikianti ašin apkrova nuo nuolatini ir kintam j poveiki $N_{Ed}=146,39kN$.



2.10 pav. Armuotos betonin s kolonos atlaikomas didžiausias lenkimo momentas su vaira us skersmens armat ros strypais

2.6.6 Kompozitin s polimerin s ir plieno armat ros kain analiz

2.10 pav. pateikiamos kompozitin s polimerin s ir plienin s armat ros stryp vidutin s kainos pagal stryp skersmenis.



2.10 pav. Armat ros stryp vidutin s kainos

IŠVADOS

1. Iš tyrime apžvelgtos medžiagos matome, kad kompozitinis polimerinis armatros mechaninės savybės išilgai ir skersai pluošto ženkliai skiriasi. Dėl šios priežasties atliekant gniuždomo armuoto betoninio elemento laikomosios galios apskaičiavimus armatros strypų gniuždomasis stipris neturėtų būti vertinamas.

2. Polimerinis kompozitinis armatras yra atspari korozijai, tačiau dėl jos sudėtyje esančių dervų atsižvelgiant armatras veikiančius ilgalaikius poveikius, armatros skaičiuojamasis stipris palyginti su charakteristiniu gali sumažėti nuo 2 iki 8 kartų. Tai priklauso nuo kompozitinio polimerinio armatros pluošto rūšies. Ilgalaikiai poveikiai, armatros stipriui, mažiausi – takdaro anglies pluošto armatros strypams, o didžiausi – stiklo pluošto armatrai.

3. Didžiausi – takdaro armatros senjimui daro ciklinis poveikis, dėl jo stiklo pluošto armatros stipris gali sumažėti daugiau nei 4 kartus. Stiklo pluošto armatras taip pat neatspari šarmams, jos stipris dėl to gali sumažėti net iki 3,5 kartų, todėl projektuojant armuotas betonines konstrukcijas veikiamas agresyvios aplinkos reikėtų rinktis anglies arba aramido pluošto kompozitinį polimerinį armatras. Pagal pateiktą medžiaga matome, kad kompozitinį polimerinį armatras yra gana gerai atspari veikiant temperatūros svyravimams ir ultravioletiniams spinduliams.

4. Projektuojant armuotas betonines konstrukcijas labai svarbi armatros ir betono tarpusavio sąveika. Iš 2.9 pav. pateikto grafiko matyti, kad plieninis armatros strypų sukibimas su betonu yra net iki 4,5 kartų didesnis nei kompozitinio polimerinio armatros strypų.

5. Ekscentriškai gniuždomo elemento laikomajai galiai, kompozitinio polimerinio armatros skersmens didinimas turi palyginti labai nedidelį poveikį, tai yra dėl to, kad projektuojant armuotas betonines konstrukcijas nevertinamas armatros gniuždomasis stipris.

6. Darbui parinkta stiklo pluošto kompozitinio polimerinio armatras už plieninį armatras yra brangesnė apie 2 kartus. Tačiau vystantis technologijoms pastaraisiais metais ši armatras ženkliai atpigė, pasaulyje nuolatosis ieškoma būdų kaip kompozitinio polimerinio armatros kainą priartinti prie plieninio armatros.

LITERATŪRA

1. Kompozitais armuotos betoninis konstrukcijos: vadovelis / Gintaris Kaklauskas, Darius Bašinskas, Viktor Gribniak ir kt. ; Vilniaus Gedimino technikos universitetas – Vilnius : Technika, 2012.- 300p. (ISBN 978-609-457-349-1).
2. STR 2.05.05:2005. Betoniniai ir gelžbetoniniai konstrukcijų projektavimas.
3. LST EN 1992-1-1:2005. Eurokodas 2. Gelžbetoniniai konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės.
4. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos.
5. The research of concrete products reinforced by composite polymer reinforcement/ T.Zaveckas, S. Sušinskas. Kaunas University of Technology. Proceedings of 10th International Conference ITELMS'2015, 6p.

INFORMACINIAI ŠALTINIAI

6. <http://www.build-on-prince.com/fiber-reinforced-polymers.html> [žiūrėta 2015-11-18]
7. <http://www.relema.lt/kompozitine-stiklo-pluosto-armatura.php> [žiūrėta 2015-11-18]
8. <http://www.ugira.lt/armatura> [žiūrėta 2015-11-18]
9. <http://www.durisolionamai.lt> [žiūrėta 2015-11-18]
10. <http://www.b-a.eu> [žiūrėta 2015-11-18]
11. <http://www.fibro.lt/armatura> [žiūrėta 2015-11-18]
12. <http://tudalit.de/> [žiūrėta 2015-11-18]
13. <http://www.metalaiirko.lt> [žiūrėta 2015-11-18]
14. <http://grynasbustas.lt> [žiūrėta 2015-11-18]