



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

LIEPA RISEVIENĖ

**SLUOKSNIUOTŲJŲ LENKIAMŲ KONSTRUKCIJŲ TYRIMAS
NAUDOJANT MEDŽIAGAS SU ANTRINĖMIS ŽALIAVOMIS**

Magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas

Doc. R. Bistrickaitė

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

**SLUOKSNIUOTŲJŲ LENKIAMŲ KONSTRUKCIJŲ TYRIMAS
NAUDOJANT MEDŽIAGAS SU ANTRINĖMIS ŽALIAVOMIS**

Magistro baigiamasis darbas

STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GAMINIŲ INŽINERIJA (kodas 621H20001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. R. Bistrickaitė
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) L. Risevienė
(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

(Fakultetas)

LIEPA RISEVIENĖ

(Studento vardas, pavardė)

STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GAMINIŲ INŽINERIJA (kodas 621H2001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

SLUOKSNIUOTŲJŲ LENKIAMŲ KONSTRUKCIJŲ TYRIMAS
NAUDOJANT MEDŽIAGAS SU ANTRINĖMIS ŽALIAVOMIS

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Liepos Risevienės**, baigiamasis projektas tema **SLUOKSNIUOTŲJŲ LENKIAMŲ KONSTRUKCIJŲ TYRIMAS NAUDOJANT MEDŽIAGAS SU ANTRINĖMIS ŽALIAVOMIS** 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)

Turinys

ANOTACIJA.....	6
ANNOTATION.....	7
1. Įvadas.....	8
2. Darbo aktualumas.....	8
3. Darbo tikslas.....	9
4. Darbo uždaviniai:.....	9
5. Tyrimo metodika.....	9
6. Antrinių žaliavų panaudojimas gelžbetonio konstrukcijų gamybai.....	9
7. Sluoksniuotų konstrukcinių elementų projektavimas ir bendrieji principai.....	12
6. Klasikinės lenkiamų elementų teorijos taikymas skaičiuojant sluoksniuotąsias konstrukcijas 13	
6.1 Geometrinė deformavimo lygtis.....	13
6.2 Lenkiamų elementų klasikinės teorijos bendrosios lygtys ir jų taikymas sluoksniuotoms konstrukcijoms.....	17
7. Jungčių įtaka bendram sluoksnių darbui.....	19
8. Kontaktas tarp sluoksnių.....	20
9. Trisluoksniai lenkiami elementai kai vidinis sluoksnis mažo stiprumo ir standumo.....	21
10. Eksperimentinio tyrimo teorinis aprašymas.....	22
10.1 Medžiagos naudojamos bandinių formavimui.....	22
10.2 Betono sudėties projektavimas.....	24
10.2.1 Keramzitas.....	27
10.2.2 Betono sudėtis.....	28
10.2.3 Betono po 28 dienu fizikinių ir mechaninių savybių nustatymas.....	28
10.2.4 Pradinių bandinių liejimas ir rezultatų po 28 dienų analizė.....	31
10.2.5 Sluoksniuotų sijų formavimas.....	32
11. Teoriniai normalinių įtempių skaičiavimai bei rezultatai iš „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programos.....	38
4 sija.....	38

1 sija.....	41
2 sija.....	45
3 sija.....	49
5 sija.....	53
6 sija.....	56
7 sija.....	61
8 sija.....	65
12. Sijų normalinių įtempių palyginimas	69
13. Teoriniai šlyties įtempių skaičiavimai bei rezultatai iš „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programos.....	74
1 sija.....	74
2 sija.....	75
3 sija.....	75
14. Išvados	77
Literatūra	78

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

Sluoksniuotųjų lenkiamų konstrukcijų tyrimas naudojant medžiagas su antrinėmis žaliavomis
Liepa Risevienė

ANOTACIJA

Sluoksniuotos arba kompozitinės betono ir gelžbetonio konstrukcijos pasižymi geresnėmis fizikinėmis savybėmis. Nuo vienalyčių konstrukcijų skiriasi tuo, kad susideda iš kelių rūšių betono sluoksnių. Lenkiamoje konstrukcijoje labai svarbu kontaktas tarp sluoksnių kad nebūtų prasislinkimo.

Šiame darbe bus nagrinėjami normaliniai ir tangentiniai įtempimai betono sluoksniuotose sijose, bei įtempių persiskirstymas panaudojus armatūrą tose pačiose konstrukcijose.

Darbe bus atliktas eksperimentas su sluoksniuotomis konstrukcijomis, duomenys bus panaudoti teoriniuose skaičiavimuose bei skaičiavimuose su „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programa. Gauti rezultatai bus palyginti tarpusavyje.

Reikšminiai žodžiai: *kompozitinė konstrukcija, tangentiniai įtempimai, normaliniai įtempimai, šlytis, veikiantis momentas*

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE
DEPARTMENT OF BUILDINGS STRUCTURES

Final master thesis

Investigation of layered flexural structures with secondary materials additive

Liepa Risevienė

ANNOTATION

Layered or composite concrete and reinforced concrete structures have better physical properties. The difference between these homogeneous structure is that, it consists of several types of concrete layers. It is very important for the bending structure not to have a contact between the layers.

In this work, normal and tangential stresses in concrete laminated fibers will be considered, as well as the re-distribution of stresses using reinforcement in the same structure.

An experiment with layered structures will be conducted in the work, data will be used in theoretical calculations and calculations using Autodesk Robot Structural Analysis Professional. The results will be compared with each other.

Keywords: *composite structure, shear stress, normal stress, shear, moment acting*

1. Įvadas

Betonas- tai universali medžiaga, plačiai naudojama statyboje. Iš betono mišinio gaminamos labai įvairios laikančiosios bei paprastos statybinės konstrukcijos. Jos būna įvairių matmenų bei formų bei pasižymi ilgalaikiškumu bei patvarumu. Atitinkamai parenkant betono sudėtį, galima reguliuoti ir numatyti reikiamas gaminio fizines bei mechanines savybes. Betonas yra viena iš pigiausių medžiagų naudojamų konstrukcijų gamybai, nes pagrindą sudaro užpildai, kurie yra gaminami iš vietinių pigių žaliavų.

Gaminamos konstrukcijos iš vienos rūšies betono mišinio nesuderina keliamų stiprumo, šilumos laidumo, masės reikalavimų. Jau seniai yra naudojamos sluoksniuotos gelžbetonio konstrukcijos, kurios yra pranašesnės už vieno sluoksnio konstrukcinius gaminius.

Sluoksniuotos konstrukcijos – tai gaminiai pagaminti iš dviejų ar daugiau skirtingų betono mišinių, kurių skiriasi fizinės bei mechaninės savybės. Priklausomai nuo sluoksnių sukibimo, išorines apkrovas jie gali atlaikyti skirtingai. Panaudojus technologines priemones įmanoma pasiekti sluoksnių standaus sukibimo ir tuomet palyginus su viensluoksniais gaminiais – daugiasluoksniai turi daug daugiau teigiamų savybių. Keičiant medžiagas ir sluoksnių storį, galima reguliuoti bendras konstrukcijos savybes bei aplinkos apkrovų poveikį.

2. Darbo aktualumas

Labai daug gaminamų perdengimui naudojamų konstrukcijų yra iš gelžbetonio. Tačiau naudodami tokias konstrukcijas perdangoms suvokiame kad tai sunki medžiaga turinti labai didelį šilumos perdavimo koeficiento reikšmę bei didelį tankį ir svorį. Todėl ieškoma būdų kaip galima konstrukcijas išlengvinti bei suteikti geresnes šilumos perdavimo bei kitas savybes, tuo pačiu metu kad jos nenusileistų savo stiprumo savybėmis ištisinėm gelžbetonio konstrukcijoms. Iš mokslinių tyrimų rezultatų matyti, kad gamindami betoną galime naudoti įvairias atliekas. Jomis galime sėkmingai pakeisti natūralius užpildus ir suteikti betonui ypatingų savybių[9].

Naudojant kelių rūšių betono mišinius gaunamos naujo tipo kompozitinės konstrukcijos, pasižyminčios visai naujomis konstrukcinėmis savybėmis, kurios gali visiškai skirtis nuo atskirai imamų tos pačios rūšies betono gaminių.

Tirdami skirtingas kompozicines konstrukcijas sudarytas iš trijų sluoksnių, bandysime nustatyti visos konstrukcijos bendro stiprumo kitimą nuo vidurinio sluoksnio stiprio pokyčio. Taip bus galima nustatyti kokio storio vidurinį sluoksnį racionaliausia naudoti bei ar konstrukcijos tenkina atsparumo bei stiprumo sąlygas. Bei įvertinti sluoksnių bendrą darbą.

3. Darbo tikslas

Lenkiamų trisluoksnių konstrukcijų, gamintų panaudojant viduriniam sluoksniui lengvą betoną, standumo tyrimas.

Atliekant eksperimentą, panaudoti ekologiškas antrines žaliavas gaminant lengvą betoną bei pritaikyti tuos duomenis atliekant skaičiavimus.

4. Darbo uždaviniai:

1. apžvelgti sluoksniuotų konstrukcijų aktualumą šių laikų rinkoje;
2. pasirinkti antrinių žaliavų rūšį kuri bus naudojama eksperimentui;
3. atlikti eksperimentą ir išlieti sluoksniuotas sijas naudojant apskaičiuoto stiprio kelių rūšių betoną, kuriam buvo panaudotos antrinės žaliavos;
4. atlikti lenkimo bei kitus bandymus suprojektuotam betono bei sluoksniuotų sijų ištyrimui;
5. apskaičiuoti teoriškai bei naudojant „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programą;
6. palyginti gautus rezultatus.

5. Tyrimo metodika

Naudojamas klasikinis lenkiamų konstrukcijų tyrimų bei ekvivalentinio skerspjūvio metodas, apskaičiuoti pagrindinius konstrukcijų parametrus.

6. Antrinių žaliavų panaudojimas gelžbetonio konstrukcijų gamybai

Griovimo ir statybos atliekas sudaro medienos, betono, plytų ir blokų, gipso, metalų, asfaltbetonio, plastikų, stiklo ir pakuočių atliekos. Šių atliekų kiekiai skirtinguose regionuose ir šalyse yra skirtingi [4]. Einant laikui vis daugiau lieka atliekų kurios susidaro buityje ir gamyboje bei kituose srityse. Vis labiau aktualesnė problema tampa kur tas atliekas patalpinti arba sunaikinti. Kai kurios iš atliekų rūšių suyra per labai ilgą laiką. Didėja aplinkos tarša ir vis išlieka poreikis didinti sąvartynų plotus. Ypač tai aktualu dideliems miestams.

Yrant atliekoms, nuodingos medžiagos patenka į aplinką, sukeldamos labai daug negrįžtamų procesų planetoje. Dėl taršos kiekvienais metais miršta daugybė žmonių, nyksta gamta, išskyla oro užterštumo problemos. Šyla planetos klimatas, kiekvieną dieną dideli kiekiai pavojingų medžiagų patenka į atmosferą. Dėl visuotinio užterštumo didėjimo mūsų aplinkoje prasideda negrįžtami procesai. Vis dažniau susiduriama su problema, kaip tinkamai tvarkyti komunalines atliekas, kad būtų pasiekiamas racionalus rezultatas tarp vartotojo ir jį supančios aplinkos[10].

Vienuose regionuose didžiąją dalį atliekų sudaro medienos atliekos, kituose– betono atliekos. Atliekų kiekiai skiriasi priklausomai nuo tuose regionuose buvusių statybos tradicijų ir

šalies gamtinių išteklių [4]. Norėdami išspręsti tokią globalinę problemą turime pradėti rūšiuoti atliekas bei stengtis kaip galima įvairesnėse pramonės srityse jas naudoti pakartotinai. Tai padės sutaupyti ir taip greitai senkančius gamtos išteklius. Mažiau atliekų pateks į sąvartynus ir tai sumažins jų plotą. Padės sumažinti aplinkos taršą bei tausoti aplinką. Sumažės atliekų tvarkymo išlaidos.

Viena iš sričių kur yra galimybė panaudoti antrines atliekas, yra statyba. Čia nagrinėsime galimybes jas panaudoti betono konstrukcijos.

Pagrindinis antrinių atliekų panaudojimas – užpildų keitimas antrinėmis atliekomis. Tam galima naudoti užpildus iš trupinto betono, trupinto mūro, trupintos kelio dangos, trupintos sukietėjusios mišinių masės. Galimos ir kitos mineralinės medžiagos, kurios suteiks papildomas betono savybes, naudojamas specialių savybių turintiems betonams. Norint padidinti betono atsparumą šalčiui naudojamos gumos atliekos. Norint sumažinti kainą ir padidinti stiprį – naudojami lakieji pelenai.

Mūsų darbo tikslas yra panaudoti antrines atliekas kad išlengvintumėm betoną, kurią naudosime sluoksniuotosios sijos vidurinio sluoksnio gamybai. Naudojant daugiau plastmasės ir stiklo atliekų, betono savybės blogėja, mažėja tankis ir gniuždomasis stipris.[8]

Išnagrinėję mūsų poreikius ir galimybes radome medžiagą gaminamą iš antrinių atliekų, tai yra iš stiklo duženų. Ir tai: neorganinė medžiaga - granuliuotas putplastis, pagamintas iš stiklo lūžių mažoje akytoje granuliu formoje. Putplastis gaunamas, kruopščiai susmulkintą stiklą sujungiant putomis, vėliau ši kompozicija ypač aukštoje temperatūroje kaitinama krosnyje ir paverčiama į įvairios skersmens pilkas granules [5].

Stikloporas

STIKLOPORAS- tai granuliuotas putstiklis – neorganinė termoizoliacinė medžiaga, pagaminta iš stiklo duženų, nedidelių porėtų granuliu pavidalu. Ji unikali tuo, kad paprastas panaudotas buityje stiklas virsta puikiai termoizoliacine medžiaga, turinčia daugybę privalumų lyginant su kitomis termoizoliacinėmis medžiagomis. Putstiklis gaunamas sulydant smulkiai sumaltą stiklą su putokšliais, vėliau kaitinamas krosnyse ypač aukštoje temperatūroje bei paverčiamas įvairaus skersmens pilkšvomis granulėmis. Putplasčio gamybos technologija yra viena iš pažangiausių, nes produktas yra pagamintas iš antrinių žaliavų, nepalikdamas jokių trečiųjų atliekų[5].

SAVYBĖS:

1. žemas šilumos laidumo koeficientas. Granuliuotas putplastis yra unikali ekologinė medžiaga, kurios vidaus struktūros poros yra išdėstytos taip, kad oras būtų įstrigęs viduje[5]. Todėl šilumos laidumo koeficientas yra nuo 0,059 iki 0,08 W mK.;
2. patvarumas. Putstiklio granuliu gniuždymas cilindre siekia nuo 1,5 iki 2,5 MPa. Ši savybė nekinta viso eksploatacijos laikotarpio metu;

3. atsparumas ugniai. Konstrukcijos su putstikliu tampa atsparesnės ugniai. Pagrindinė sudedamoji dalis savo chemine sudėtimi yra ne kas kita, o tiesiog išpūstas silikato stiklas, sudarytas išišlydytų aukščiausių oksidų, kurie negaruoja ir nedega. Granuliuoto putstiklio eksploatacijos temperatūrinis režimas nuo -200 C iki 700 C.;
4. atsparumas drėgmei. Granuliuotas putstiklis dėl savo unikalios struktūros net ir visiškai panardintas į vandenį nesugeria daugiau kaip 20 % vandens nuo bendros masės. Taip atsitinka dėl granulės pasidengimo lydinio sluoksniu. Itin svarbu, kad vandens įgėrimas nedidėja bėgant laikui ir medžiaga išlaiko visas pradines termoizoliacines savybes;
5. cheminis ir biologinis patvarumas. Granuliuotas putstiklis visiškai atspari medžiaga organinių ir neorganinių cheminių reagentų poveikiui (išimtis yra tik fluoro vandenilio rūgštis, kuri naudojama stiklo tirpdymui). Taip pat putstiklis yra atsparus biologiniam poveikiui, visiškai nepūna ir negenda, jame nesiveisia nė vienas iš žinomų biologinių mikroorganizmų, jo neėda graužikai;
6. įvairumas. Ši neorganinė medžiaga yra nekenksminga aplinkai, nes tai tėra paprasčiausias stiklas. Eksploatacijos metu veikiant temperatūrų kaitai ar drėgmei neišskiriamos jokios cheminės medžiagos;
7. ilgalaikiškumas. Dėl putstiklio granulių porose esančių uždarytųjų ertmių ši medžiaga išlieka nepakeitusi savo savybių ilgus metus, tad gali būti eksploatuojama neribotai.

Techniniai duomenys:

1.lentelė

Granulių dydis mm	LST EN 933-1	0.1-0.3	0.25-0.5	0.5-1	1-2	2-4	4-8
Piltinis tankis kg/m ³ (±15%)	LST EN 1097-3	400	340	270	230	200	190
Gniuždomasis atsparumas MPa (±0,5MPa)	LST EN 13055-1,	2,8	2,5	2,3	2	1,4	1,4
Šilumos laidumo koeficientas W(m-K) (±0,02)	LST EN 12939:2002	0,0767	0,0767	0,713	0,0663	0,0639	0.0661
Vandens įgeriamumas% nuo masės*(±15%)	LST EN 1097-6:2002	25	25	20	20	23	20
Atsparumas šaldymui ir atšildymui % nuo masės**	LST EN 13055-1	Ne daugiau nei 3					
Smulčiausios dalelės	LST EN 13055-1	10,00 %					
Stambiausios dalelės		15,00 %					
pH vertė		9-11					
Drėgmės kiekio pokytis		<0,5%					

transportavimo metu		
Lydimosi temperatūra		Apytiksliai 700C/1300F
Rūgštyje tirpūs sulfatai		Vidutinė reikšmė 0,18%
Bendras sieros kiekis		Vidutinė reikšmė 0,11 %
Spalva		Kreminė balta

7. Sluoksniuotų konstrukcinių elementų projektavimas ir bendrieji principai

Kompozicinės konstrukcijos labai išpopuliarėjo šiais laikais ir yra taikomos daugelyje sričių, tarp jų ir statybos. Gerai parinkus sluoksnių išdėstymą gauta kompozitinė konstrukcija gali žymiai geriau tenkinti techninius bei eksploatacinius poreikius nei viensluoksninė konstrukcija. Sluoksniuotos konstrukcijos tapo labai populiarios. Energijos taupymas, ekonomiškų spendimų ieškojimas skatina technologinį tobuliną ir reikalauja naujų ieškojimų ir techninių sprendimų. Didelė dalis žmonių visame pasaulyje gyvena gelžbetonio pastatuose. „Šis prioritetas – konstrukcinės ir kompozicinės medžiagos. Jis specifinis tuo, kad daug tų pramonės sričių yra didelės, antai betono pramonė. Tai susiję su statybomis, todėl mokslinių idėjų įdiegimas sunkesnis ir įdiegimo kelias ilgesnis. Antra vertus, net nedideli patobulinimai gali duoti didelį ekonominį efektą“, – tikina G. Tamulaitis[7].

Sluoksniuotoms konstrukcijom iš betono skaičiuoti nėra sukurta vienos sistemos, yra naudojama skirtingos metodikos. Bet parenkant skaičiavimo būdą, būtina atsižvelgti į keletą pagrindinių konstrukcijos savybių- tai sluoksnių storis, jų standumas bei sluoksnių struktūra, o taip pat ir jungčių tarp sluoksnių technologijos ir savybės. Tai labai svarbu visai skaičiuojamai konstrukcijai. Esant standiems ryšiams tarp sluoksnių yra taikomi paprastesni skaičiavimo metodai. Kada ryšiai nėra standūs ir gali įvykti sluoksnių persislinkimas tai ryšius galime vadinti iš dalies standžiais ir jų apaskaičiavimo metodika žymiai sudėtingesnė. Visus normalinius įtempimus perima išoriniai sluoksniai ir iš dalies vidurinis. Šlyties arba tangentinius įtempimus perima dalinai visus vidurinis sluoksnis. Labai svarbu parenkant skaičiavimo metodus įvertinti kompozitinių konstrukcijų struktūrą. Visa tai įvertinus ir atsižvelgiant į sluoksnių jungtį, praktinius skaičiavimus galima skirstyti į kelias grupes. Tačiau reikia pabrėžti kad tik esant standžiam ryšiui tarp sluoksnių galima naudotis apytiksliais metodais:

1. kai sluoksniai pastovūs ir standūs o jungtys taip pat standžios ir stiprios;
2. kai išoriniai sluoksniai yra standūs, o vidurinis yra silpnesnis, bet jungtis tarp sluoksnių yra pakankama stipri bei standi;
3. kai vidinis sluoksnis yra sustiprintas briaunomis arba kitais panašiais metodais;

Tačiau visi skaičiavimai paremti mechanikos principais. Visais atvejais kompozitinių sluoksniuotų tipų konstrukcijų skaičiavimas susideda iš kelių etapų:

1. išorinių konstrukcijos sluoksnių stiprumo nustatymas;

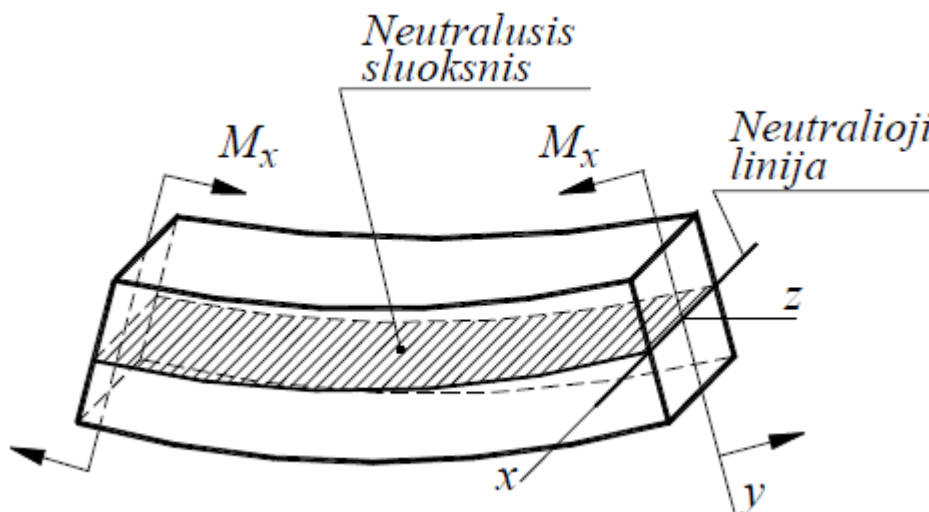
2. vidurinio sluoksnio stiprumo nustatymas;
3. bendras visos konstrukcijos stiprumas ir stabilumas;
4. išorinių sluoksnių stabilumo patikrinimas;
5. gniuždomasis stiprumas;

Yra du pagrindiniai sluoksniuotų konstrukcijų uždavinių sprendimo būdai. Pirmasis yra tikslus ir naudojami tamprumo teorijos lygčių sprendimai. Antras – apytikslis sprendimas, grįstas hipoteze apie įtempimų ir poslinkių pasiskirstymą skersinio pjūvio atžvilgiu. Atsižvelgiant į storių skirtumus bei stiprumų skirtumus atsiranda daugybė apytikšlių metodų taikymo galimybių. Lygtys tampa vis sudėtingesnės ir tikslumas mažėja. Naudosime tik porą iš jų ir susipažinsime su prielaidomis naudojamomis jas kuriant.

6. Klasikinės lenkiamų elementų teorijos taikymas skaičiuojant sluoksniuotąsias konstrukcijas

6.1 Geometrinė deformavimo lygtis

Grynojo lenkimo atveju sija išlinksta apskritimo lanku. Viename jos krašte sluoksniai pailgėja, kitame - sutrumpėja, o vertikalios linijos išliek tiesios. Sluoksnis, kurio ilgis nepasikeičia, vadinamas neutraliuoju. Plokštumai, kurioje guli neutralusis sluoksnis, susikirtus su skerspjūvio plokštuma, gaunama neutralioji linija.



1.pav. Lenkimo schema [17]

Nustatysime ryšį tarp sijos ašies kreivio κ ($\kappa = \frac{1}{\rho}$ – neutraliojo sluoksnio kreivio spindulys) r bet kurio sijos sluoksnio linijinės deformacijos ε . Tam tikslui išskirkime elementarųjį sijos elementą ir panagrinėkime jo

sluoksniu CD, nutolusio atstumu y nuo neutraliojo sluoksniu AB, linijines deformacijas. Akivaizdu, kad sluoksniu CD deformacija:

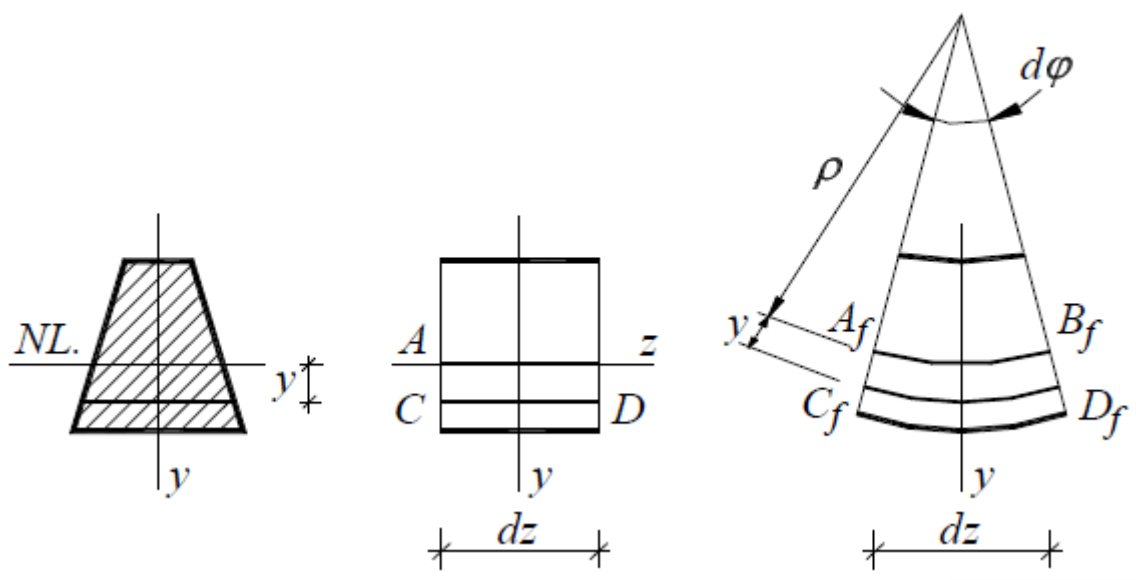
$$\varepsilon = \frac{C_f \cdot D_f - CD}{CD} = \frac{C_f \cdot D_f - dz}{dz} \quad (1)$$

Panaudojus poslinkių mažumo principą, galima užrašyti, kad $\operatorname{tg}(d\varphi) = \frac{dz}{\rho}$ arba $dz = \rho \cdot d\varphi$. Analogiškai gauname, kad $C_f \cdot D_f = (\rho + y)d\varphi$. Dabar galima išreikšti deformaciją per sijos ašies kreivio spindulį:

$$\varepsilon = \frac{(\rho+y)d\varphi - \rho \cdot d\varphi}{\rho \cdot d\varphi} = \frac{y}{\rho} \quad (2)$$

arba per sijos ašies kreivį:

$$\varepsilon = K \cdot y \quad (3)$$



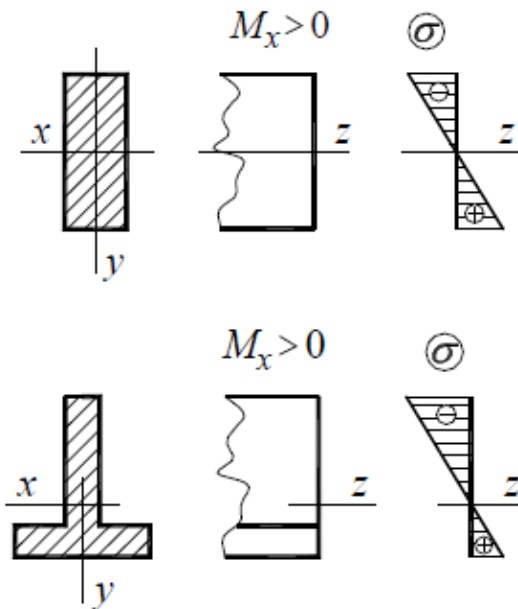
2.pav. Lenkimo deformacijos [17]

Dažniausiai projektuotojus domina didžiausių normalinių įtempimų absoliutinis dydis. Todėl sijos stiprumo sąlyga normalinių įtempimų atžvilgiu turi tokį pavidalą:

$$|\sigma|_{max} = \frac{|M_x|}{W_x} \leq R, \quad (4)$$

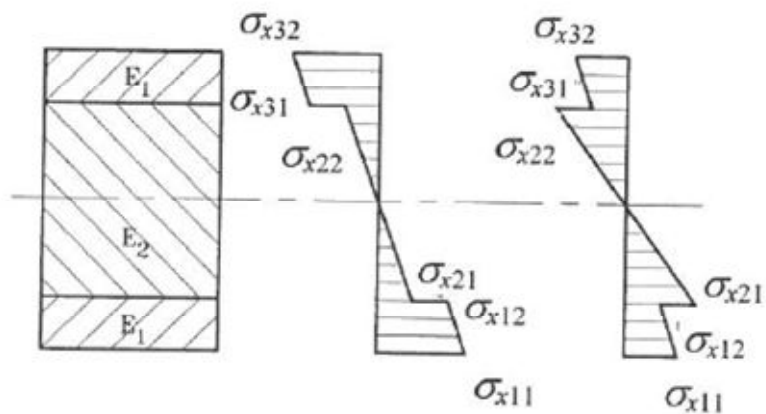
$$W_x = \frac{I_x}{|y|_{max}} \quad (5)$$

Vientiso skerspjūvio normaliniai įtempimai:



3.pav. Normaliniai įtempiai viensluksnėje konstrukcijoje [17]

Ir sluoksniuotų konstrukcijų normaliniai įtempiai:

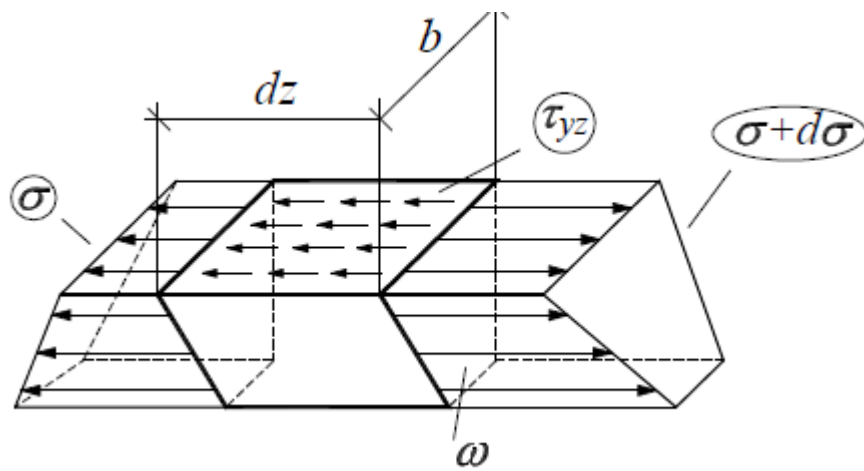


4.pav. Normaliniai įtempiai daugiasluksnėje konstrukcijoje [2]

Tangentinių įtempimų pasiskirstymas taisyklingos stačiakampio konstrukcijos aukštyje dėsnis nustatomas, pagal kurią tangentiniai įtempimai konstrukcijos skerspjūvio plotyje pasiskirsto vienodai, o jų veikimo kryptis sutampa su skersinės jėgos veikimo kryptimi (iš tikrųjų tangentinių įtempimų pasiskirstymas sijos plotyje ir jų veikimo kryptis priklauso nuo skerspjūvio formos). Esant sudėtingai skerspjūvio formai (pvz., dvitėžiui), tangentiniams įtempimams nustatyti taikoma speciali metodika.

Turėdami galvoje, kad tangentinių įtempimų ženklas priklauso tik nuo skersinės jėgos ženklo, gauname tokią galutinę formulę:

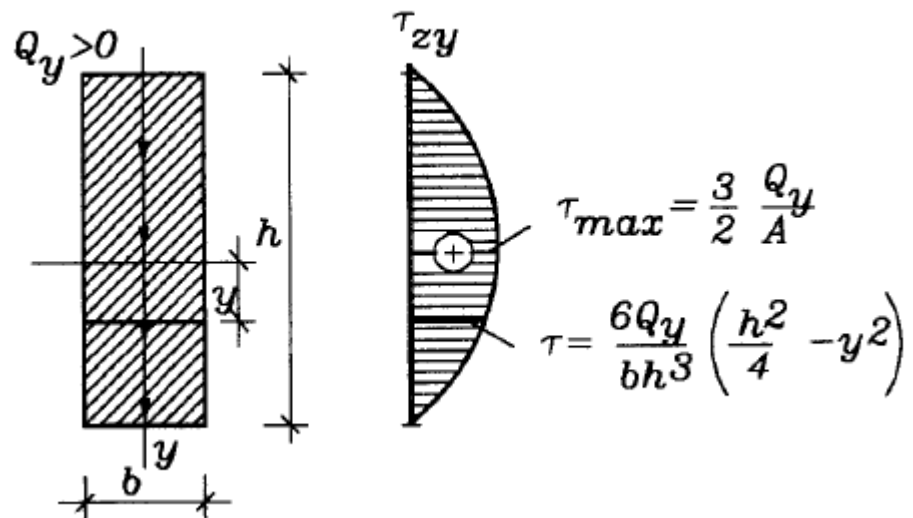
$$\tau_{zy} = \frac{Q_y \cdot |S_x|}{I_x \cdot b}, \quad (6)$$



5.pav. Įtampių pasiskirstymas konstrukcijoje [17]

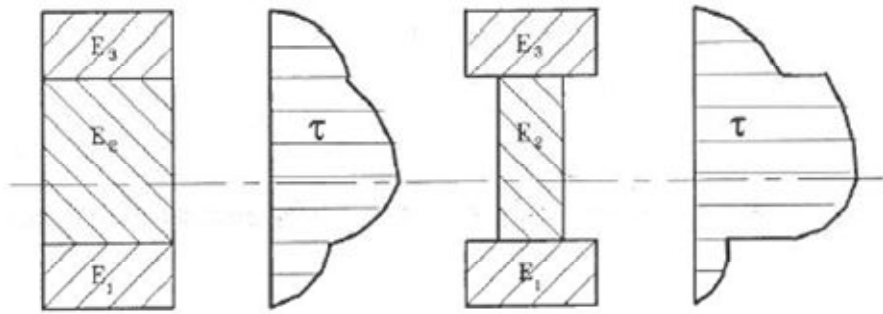
čia: τ – tangentinis įtempimas, veikiantis xy plokštumoje y ašies kryptimi, Q_y – skersinė jėga, veikianti y ašies kryptimi, S – skerspjūvio dalies, esančios į vieną pusę nuo tiesės, nubrėžtos per nagrinėjamąjį tašką lygiagrečiai neutraliajai linijai, statinis momentas neutraliosios ašies (x) atžvilgiu, b – materialusis skerspjūvio ties nagrinėjamoju tašku plotis, matuojamas kryptimi, lygiagrečiai neutraliajai linijai.

Čia tangentiniai įtempiai vientiso pjūvio konstrukcijų



6.pav. Tangentiniai įtempiai viensluksnėje konstrukcijoje [17]

Sluoksniuoto skerspjūvio tangentiniai įtempimai:



7.pav. Tangentiniai įtempiai daugiasluksnėje konstrukcijoje [2]

6.2 Lenkiamų elementų klasikinės teorijos bendrosios lygtys ir jų taikymas sluoksniuotoms konstrukcijoms

Kai taikome klasikinės teorijos dėsnius norint atlikti skaičiavimus, konstrukcija esant tam tikrai apkrovai analizuojama remiantis bendrais mechanikos dėsniais.

Kiekvieno lenkiamo elemento kiekvienas taškas pereina vertikaliai ir horizontaliai pakeisdamas padėtį išilgai su pagrindine ašimi. Tai ir yra kūno deformacija ir tiesiogiai priklauso nuo įtempių. Jeigu imsime sija, kuria veiks jėga F , nuo kurios atsiranda lenkimas ir konstrukcijos kiekviename taške, ir ten atsiranda normaliniai įtempiai vertikalia ir horizontalia kryptimis. Atsiranda ir šlytis bei tangentiniai įtempiai.

Skaičiuojamos sluoksniuotos konstrukcijos susideda iš skirtingų medžiagų sluoksnių, kurių gali skirtis tankis, stiprumas, tamprumo modulis. Gali skirtis išsidėstymas, sluoksnių storis. Konstrukcija gali būti simetriška ir ne. Ryšiai tarp sluoksnių irgi gali skirtis. Todėl sluoksniuotą konstrukciją galime skaičiuoti kaip kompozitinę konstrukciją turinčią skirtingus sluoksnius ir atitinkamus ryšius tarp jų.

Savo sluoksniuotosioms konstrukcijoms naudosime ekvivalentinio skerspjūvio metodą, kuris taikomas kai sluoksniai yra standžiai sujungti ir nėra jokio prasislinkimo tarp jų. Redukuotasis skerspjūvis sudaromas taip, kad jo standumas būtų lygus pradiniam, bet jį sudarytų vienalytė medžiaga[6].

Pakeisime skirtingų sluoksnių konstrukciją į ekvivalentinę vienalytės medžiagos konstrukciją. Parenkama pagrindinė, stipriausia medžiaga. Storiai išlieka tie patys, kinta tik pločiai proporcingai sluoksnių medžiagų deformacijų ar tamprumo modulių santykiui.

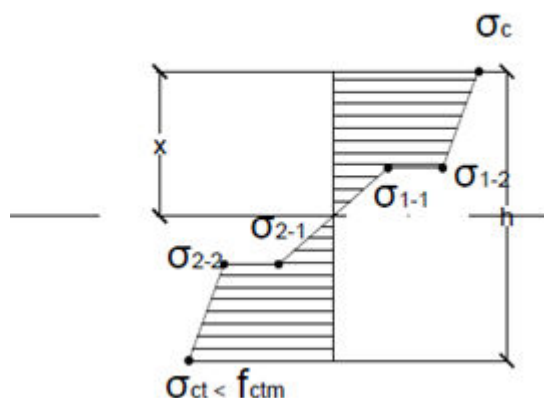
Naudosime tamprumo modulį, taigi sluoksnio plotis bus:

$$b_{eff} = \frac{E_1}{E_2} \cdot b;$$

E_1 – sluoksnio kuris keičiamas į pagrindinio sluoksnio medžiagą tamprumo modulis;

E_2 – Pagrindinio sluoksnio medžiagos tamprumo modulis;

Įtempių skaičiavimas konstrukcijose:



8.pav. Normaliniai įtempimai daugiasluoksniėje konstrukcijoje

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{red}};$$

σ – normaliniai įtempimai;

M – veikiantis momentas;

W_{red} – skerspjūvio atsparumo momentas;

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y};$$

$$I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_2$$

$$= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + b \cdot h_1 \cdot \left(x - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + \alpha \cdot b \cdot h_2 \cdot \left(x - h_1 - \frac{h_2}{2}\right)^2 + \frac{b \cdot h_3^3}{12} + \left(y - \frac{h_3}{2}\right)^2;$$

Čia:

$$\alpha = \frac{E_1}{E_4};$$

E – betono tamprumo moduliai;

$$y = \frac{S_{red}}{A_{red}};$$

$$S_{red} = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha(b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2));$$

$$A_{red} = b \cdot (h_1 + h_3) + \alpha \cdot (b \cdot h_2);$$

Vidurinio sluoksnio normalinių įtempimų skaičiavimas:

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I_{red}} \cdot y_{1-1};$$

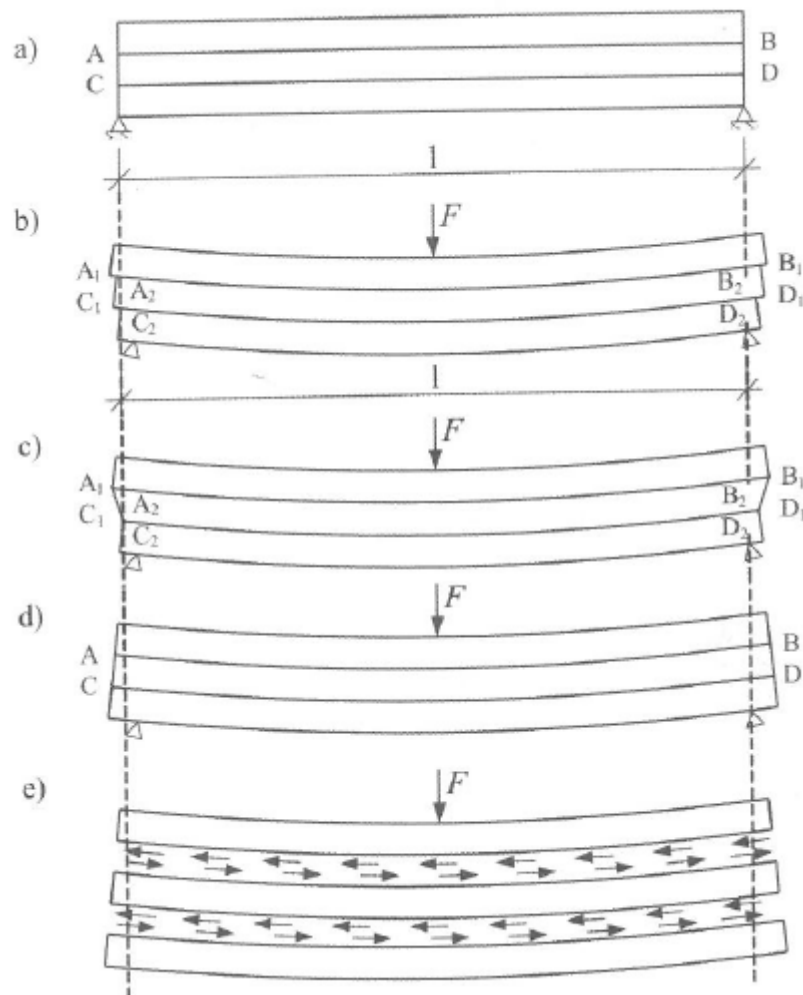
$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I};$$

Simetriškos sluoksniuotos betono konstrukcijos normaliniai ir šlyties įtempimai simetriškai išsidėto neutralios ašies atžvilgiu.

7. Jungčių įtaka bendram sluoksnių darbui

Sluoksniuotos konstrukcijos sudaromos iš įvairaus betono stiprumo sluoksnių, kurių bendros savybės priklausys nuo to, kaip susidarė ryšiai tarp kiekvieno sluoksnio. Kiekvienas sluoksnis visu paviršiumi jungiasi su kitu sluoksniu ir perima šlyties įrašas:

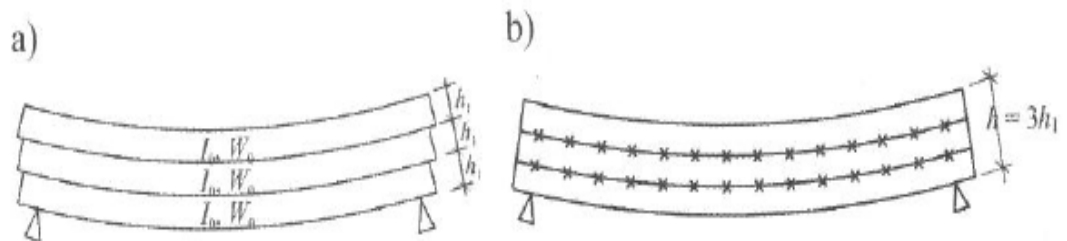
- trys vienas ant kito sudėti laisvi elementai;
- apkrauti jėga F jie išlinksta;
- kai medžiagos yra nevienodos ir sluoksniai A_1B_1 bei C_1D_1 yra tempiami, o A_2B_2 ir C_2D_2 – gniuždomi;
- kai konstrukcija sudaryta iš vienodos medžiagos ir dirba kaip monolitas, bei deformuojasi vienodai;
- šlyties įtempiai tarp sluoksnių.



9.pav. Trislauksnio elemento lenkimo schema [3]

Šlyties įrašos, kurios atsiranda ties paviršiais, kurie susiliečia. Tai galime paaiškinti iš schemos pavaizduotos 8. pav. Atsiradus jėgai F , sluoksniuota konstrukcija išlinksta. Kiekvienos sluoksniuotos konstrukcijos viršutiniai ir apatiniai sluoksniai yra tempiami ir

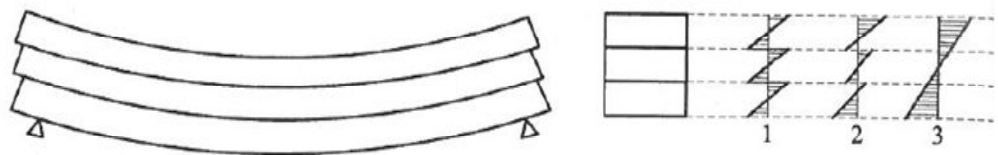
gniuždomi atskirai. Jei sluoksniai sujungti standžiai – konstrukcija deformuosis kaip c pavyzdyje. Prasislinkimą sulaiko šlyties įtempiai (d). Dėl standžių jungčių tarp sluoksnių konstrukcija dirba visa ir tampa daug stipresnė ir standesnė nei kad atskirų sluoksnių sudėtas bendrai darbas.



10.pav. Skirtingos sąveikos tarp sluoksnių [1]

Standžiųjų jungčių įtaka sluoksniuotos sijos charakteristikoms: a. kai jungties nėra; b. kai yra standi jungtis tarp sluoksniu.

Sąveika tarp sluoksnių turi didelę įtaką konstrukcijos stiprumui bei standumui ir įlinkiams. Taipogi plyšio ploto susidarymui.



11.pav. Skirtingos sąveikos tarp sluoksnių [1]

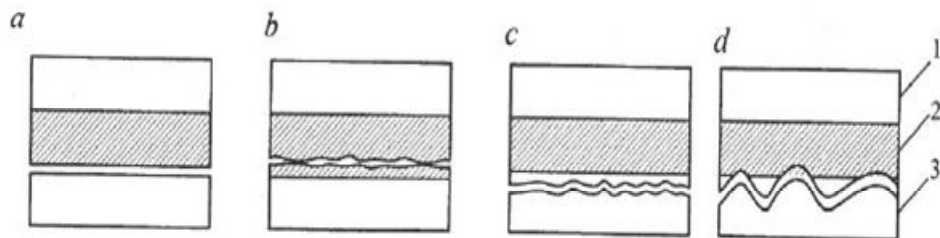
Skirtingos sąveikos tarp sluoksnių įtaka įtempių pasiskirstymui:

1. nėra sąveikos;
2. dalinė sąveika;
3. visiška sąveika.

8. Kontaktas tarp sluoksnių

Labai svarbi sluoksniuotųjų konstrukcijų efektyvaus darbo sąlyga: užtikrinti visų sluoksnių bendra darbą. Tai priklauso nuo ryšių tarp sluoksnių, kurie susidaro gaminant gelžbetonines konstrukcijas. Visa tai pasiekama šiuurkštinant susiliečiančius paviršius betono liejimo metu arba apdorojant juos cheminiais junginiais pagerinančiais sukibimą.

Sluoksnių sukibimą labai gerai parodo konstrukcijos suirimo būdai:

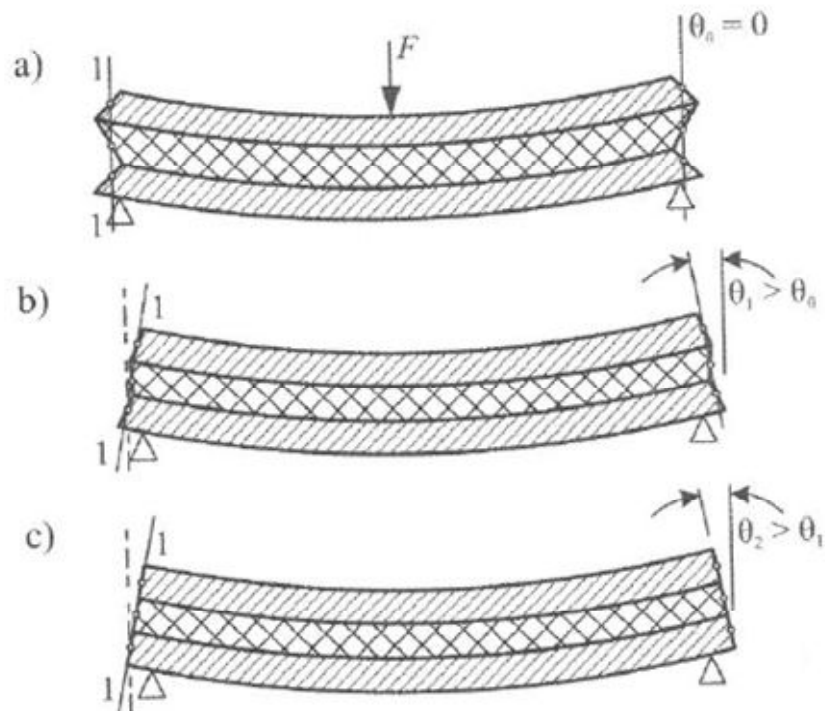


12.pav. Skirtingos sąveikos tarp sluoksnių [3]

- a. Adhezinis - per kontakto paviršių; b – kohezinis –per vidurinį sluoksnį; c- kohezinis - per išorinį sluoksnį; d- kohezinis - mišrus.

9. Trisluoksniai lenkiami elementai kai vidinis sluoksnis mažo stiprumo ir standumo

Kai vidinis sluoksnis yra standus, šlyties deformacijos yra nedidelės ir visiškai perima įtempius. Tai visi sluoksniai deformuosi vienodai ir pasisuka vienodu kampų. Vidinio sluoksnio šlyties kampas pagal aukštį priklauso nuo sluoksnio medžiagos standumo ir stiprumo. Jei vidinis sluoksnis nėra stiprus ir normalinių įtempių galime nevertinti, tai šlyties įtempiai per visą sluoksnio aukštį yra santykinai pastovūs. To negalima pasakyti kai vidinių sluoksnių normaliniai įtempiai yra įvertinami ir tangentiniai įtempiai per visą aukštį nėra pastovūs. Tačiau bendras sluoksniuotosios konstrukcijos skerspjūvis dėl vidinio sluoksnio šlyties deformacijų tampa laužytas ir tik atskiruose sluoksniuose lygus. Vidutinio sluoksnio standumas turi būti toks, kad vertikalia kryptimi nesiglemžtų. Todėl skaičiuojant sluoksniuotąsias konstrukcijas su šilumos izoliavimo sluoksniais, laikoma, kad šie sluoksniai vertikalia kryptimi nesusispaudžia: jų storis ir visos nuo jo priklausančios skerspjūvio charakteristikos skaičiuojant laikomos pastoviomis, nepriklausomai nuo apkrovos dydžio.



13.pav. Lenkiamo elemento sluoksnių deformavimasis [1]

Trisluosnio lenkiamo elemento sluoksnių deformavimasis kai vidinis sluoksnis:

- a. mažo standumo;
- b. vidutinio standumo;
- c. standus.

10. Eksperimentinio tyrimo teorinis aprašymas

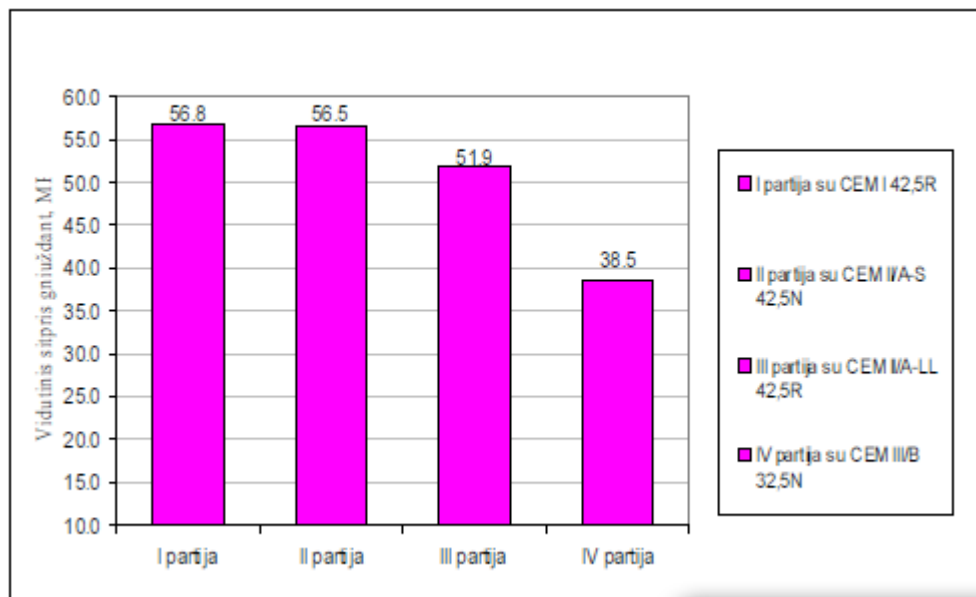
Šioje dalyje bandysime aprašyti eksperimentinio tyrimo metodiką ir pasiruošimą bei darbų eigą. Aptarsime prietaisus naudotus bandymo metu ir bandymui naudotas priemones. Standartus, pagal kuriuos bus atliekami eksperimentiniai tyrimo darbai, bei formulės, pagal kurias bus paskaičiuoti bandymų rezultatai.

10.1 Medžiagos naudojamos bandinių formavimui

Šiame darbe mes tiriamo betono konstrukcijas ir eksperimentiniams bandymams buvo liejamos ir ruošiamos betono sijos. Betonai yra labai universali statybinė medžiaga ir dažnai jiems yra keliami papildomi reikalavimai. Betonai gaminami iš rišamųjų medžiagų, užpildų, vandens ir priedų. Labai svarbu parinkti tinkamas medžiagas betono gamybai atsižvelgiant į techninius reikalavimus ir reikiamas būsimų konstrukcijų savybes. Labai didelį vaidmenį betono gamybai turi rišančioji dalis. Todėl ją pasirenkant stengėmės įvertinti svarbiausias jos savybes – sudėtį, stiprumo klasę, nustatytą pagal valstybinių standartų reikalavimus.

Svarbiausias cementų kokybės rodiklis yra aktyvumas bei cemento klasė. Parinkome jį atsižvelgiant į mechaninius ir fizikinius reikalavimus bei charakteristines vertes.

Išnagrinėjome betono bandinių stiprius gautus iš įvairių portlandcemenčio rūšių



14.pav. Betono bandinių stipriai [27]

Nustatėme kad geriausiai yra panaudoti CEM I 42,5R klasės portlandcementį. Jis yra gaminamas beveik iš gryno klinkerio, pridedama tik 5% papildomų priedų.

Sudėtis:

2.Lentelė

Medžiaga	Konc. Apimtis cemento
Klinkeris	90-100 %
Redukuojančioji medžiaga	0-0,5 %
Malimo intensifikatorius	0-0,3 %
Gipsas	4-5 %

Jis greitai kietėja ir tinka naudoti betoninėm bei gelžbetoninėm konstrukcijoms.

Betonas yra gaminamas naudojant įvairių dydžių užpildus, smulkius, stambesnius. Užpildai sudaro daugiau nei pusę betono svorio bei mažina konstrukcijos kainą. Pagerėja betono techninės savybės, padidėja stiprumas, tamprumas, suteikiama gaminiui specifinių savybių.

Tinkamai parinkus užpildus bei jų dydį ir tarpusavio santykį galima gauti norimų savybių betono mišinį. Todėl renkantis užpildą kreipėme dėmesį į geometrines bei fizikines jo savybes.

Labai svarbi yra betono granulimetrinė sudėtis, tai yra užpildų pagal dydį pasiskirstymas konstrukcijos erdvėje. Tam buvo naudojami natūralūs gamtiniai užpildai 2 rūšių. Smulkus užpildas tai kai dalelės ne didesnės nei 4 mm. Mes naudojome smėlį.

Stambus užpildas tai dalės kurių d - diametras iki 8 mm.

Gamtiniai užpildai iškasami, perdirbami, išvalomi, rūšiuojami ir pateikiami betono gamybai. Tankių uolienų užpildai yra naudojami sunkesniems betonams gaminti

10.2 Betono sudėties projektavimas

Norint suprojektuoti atitinkamos sudėties betoną reikia paskaičiuoti kai kurias techninius duomenis

Atitinkamos klasės stipris gniuždant f_b turi tenkinti sąlygą:

$$f_b \geq f_{bk} + \lambda \cdot S_n; \quad (7)$$

čia: f_{bk} - reikiamas betono kubinis stipris gniuždant, MPa,

S_n - betono stiprio gniuždant standartinis nuokrypis;

λ - koeficientas priklausantis nuo imčių skaičiaus n . Reikšmės pateiktos 3 lentelėje;

3.Lentelė

n	λ
6	1,87
7	1,77
8	1,72
9	1,67
10	1,62
11	1,58
12	1,55
13	1,52
14	1,50
15	1,48

Betono stipris gniuždant f_b , MPa, apskaičiuojamas pagal tokias formules:

$$f_b = A \cdot k_0 \cdot f_c \cdot \left(\frac{C}{V} - 0,5 \right); \quad \text{kai } V/C \geq 0,4; \quad (8)$$

$$f_b = A_1 \cdot k_0 \cdot f_c \cdot \left(\frac{C}{V} + 0,5 \right); \quad \text{kai } V/C \leq 0,4; \quad (9)$$

$$K_0 = 1 - \frac{\Phi_{ok} \cdot 5}{100}; \quad (10)$$

čia: f_b – betono stipris gniuždant, MPa.;

f_c - cemento stipris gniuždant, MPa.;

A, A_1 – koeficientai nusakantys medžiagų kokybę, jie parenkami iš 4. Lentelės;

k_0 – koeficientas priklausantis nuo oro kiekio betono mišinyje.

Φ_{ok} – oro kiekis betone;

Medžiagos	A	A ₁
Aukštos kokybės (tankių uolienu skalda, optimalaus stambumo smėlis, aukštos klasės cementas, švarūs ir frakcionuoti užpildai)	0,65	0,43
Vidutinės kokybės (vidutinės kokybės užpildai, vidutinės klasės cementas)	0,6	0,4
Žemos kokybės (silpni stambūs užpildai, smulkus smėlis, žemos klasės cementas)	0,55	0,37

$$V/C = \frac{A \cdot k_0 \cdot f_c}{f_b + 0,5 \cdot A \cdot k_0 \cdot f_c}, \quad \text{kai } V/C \geq 0,4; \quad (11)$$

$$V/C = \frac{A_1 \cdot k_0 \cdot f_c}{f_b - 0,5 \cdot A_1 \cdot k_0 \cdot f_c}, \quad \text{kai } V/C \leq 0,4; \quad (12)$$

Vandens kiekis parenkamas iš 6. lentelės pagal betono mišinio konsistenciją ir užpildo stambumą, atsižvelgiant į 5 lentelės pastabas:

Betono mišinio		Užpildų didžiausias stambumas D, mm									
Slankumas Sl, cm	Vebe rodiklis Vb, s	Žvirgždo					Skaldos				
		4	8	16	32	63	4	8	16	32	63
-	40...50	160	150	135	125	120	170	160	150	135	135
-	25...35	170	160	145	130	125	180	170	160	145	40
-	15...20	175	165	150	135	130	185	175	165	150	145
-	10...15	185	175	160	145	140	195	185	175	160	155
2...4		200	190	175	160	155	210	200	190	175	170
5...7		210	200	185	170	165	220	210	200	185	180
8...10		215	205	190	175	170	225	215	205	190	185
10...12		225	215	205	190	180	235	225	215	200	190
12...16		230	220	210	197	185	240	230	220	207	195
16...20		237	227	218	213	192	247	237	228	213	202

1. Smėlio stambumo moduliui nuo M=2mm sumažėjus 0,5, vandens kiekis padidinamas 3-5l/m³, ir atvirkščiai.
 2. Jei naudojami superplastikliai, tai vandens kiekis betone sumažinamas 20-30%
 3. Jei naudojami plastikliai, tai vandens kiekis betone sumažinamas 5-15%
 4. Jei projektuojamas smėlingasis betonas tai vandens kiekis betone padidinamas 10%
- Cemento kiekis C, kg/m³, apskaičiuojamas:

$$C = \frac{V}{V/C}.$$

Stambaus užpildo kiekis St , kg/m³, apskaičiuojamas taip:

$$St = \frac{1000}{\frac{T_{st} \cdot \alpha}{\rho_{stp}} + \frac{1}{\rho_{st}}}; \quad (14)$$

čia:

T_{st} – stambaus užpildo tuštymėtumas, vieneto dalimis;

α – stambaus užpildo dalelių praskyrimo koeficientas (5. lentelė. Parenkama interpoliuojant);

ρ_{std} – stambaus užpildo dalelių tankis, g/cm³;

ρ_{stp} – stambaus užpildo piltinis tankis, g/cm³;

6.Lentelė

Cemento kiekis, kg/m ³	V/C santykis					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,3	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,4	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	1,56	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

$$T_{st} = \frac{\rho_{std} - \rho_{stp}}{\rho_{std}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\rho_{stp}}{\rho_{std}}\right) \cdot 100; \quad (15)$$

Smėlio kiekis Sm , kg/m³, apskaičiuojamas taip:

$$Sm = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_C} + \frac{St}{\rho_{st}} + V\right)\right] \cdot \rho_{sm}; \quad (16)$$

Mes projektavome išorinius sluoksniuotos konstrukcijos sluoksnius ir gavome rezultatą:

MEDŽIAGŲ KIEKIAI 1m³ BETONO MIŠINIO Nr 4:

7.Lentelė

Medžiagos	Žymėjimas ir matavimo vienetai	Kiekis 1m ³ betono mišinio
Cemento kiekis	C, kg	405,82
Vandens kiekis	V, l	166,40
Stambaus užpildo kiekis	St, kg	976,93
Smėlio kiekis	Sm, kg	885,20
Vandens ir cemento santykis	V/C	0,41
Betono mišinio tankis	Kg/m ³	2434,35

10.2 Betono sudėtis keitimas viduriniams sluoksniams

Norint palengvinti bendrą konstrukciją ir suteikti jai naujų fizikinių bei mechaninių savybių mes vidurinį sluoksnį keičiame lengvesniu betonu. Norint pasiekti tokį rezultatą, keisime užpildus lengvesniais. Keitimą darysime ne pagal svorį, bet pagal tūrį, todėl kiekiai skirsis.

Vietoje smėlio bus naudojamas stikloporas.

10.2.1 Keramzitas

Keramzitas – tai aukštoje temperatūroje kepto molio granulės, kurios net keturis kartus lengvesnės už gamtoje randamus analogus. Karjere iškastas įvairių klotų molis maišomas, peršaldomas, džiovinamas, smulkinamas ir paduodamas į rutulinę krosnį. Joje, esant 1150 °C temperatūrai, molio žaliava išsipučia, suformuodama kieta išorinį paviršių ir porėtą vidaus struktūrą turinčias granules.

Keramzitas naudojamas statyboje šilumos ir garso izoliacijai, konstrukcinių elementų gamybai ir kaip lengvas užpildas.

Keramzito savybės ir panaudojimo būdai:

1. pasižymi gera šilumos izoliacija - gali būti naudojamas pastatų apšiltinimui (patatų, grindų, sienų ir denginių šilumos savybių pagerinimui);
2. tinkamas naudoti stogo konstrukcijose, nes neįgeria drėgmės ir puikiai ventiliuojasi. Ypač patogus plokščio stogo nuolydžio formavimui;
3. puikiai tinka šlaitiniams stogams apšiltinti;
4. ekologiškas, chemiškai neutralus - todėl gali būti naudojamas gyvenamosioms patalpoms šiltinti;
5. dėl savo tvirtumo, gali būti naudojamas įvairiausiuose konstrukciniuose sprendimuose;
6. keramzitas - ilgaamžis, nepūva, jame nesiveisia graužikai bei vabzdžiai;
7. puikiai užpildo visas tuštumas ir nesukrenta - patogus dirbant;
8. gerai sulaiko garšą - todėl tiks naudoti perdengimuose.

8.Lentelė

Keramzito frakcijos mm.	0-4	4-8	8-16
Pavadinimas	Smėlio frakcija	Statybinių medžiagų frakcija	Termoizoliacinė frakcija
Tankis kg/kub.m.	400-500	300-350	250-300
Stiprumas MPa	>2	1,3	1
Šilumos laidumo koeficientas (W/mK)	0,16	0,11	0,09

10.2.2 Betono sudėtis

MEDŽIAGŲ KIEKIAI 1m³ BETONO MIŠINIO NR: 3 :

9.Lentelė

Medžiagos	Žymėjimas ir matavimo vienetai	Kiekis 1m ³ betono mišinio
Cemento kiekis	C, kg	405,82
Vandens kiekis	V, l	166,40
Stambaus užpildo kiekis	St, kg	976,93
Stikloporas	Sm, kg	160,50
Vandens ir cemento santykis	V/C	0,41
Betono mišinio tankis	kg/m ³	1709,65

MEDŽIAGŲ KIEKIAI 1m³ BETONO MIŠINIO NR: 2 :

10.Lentelė

Medžiagos	Žymėjimas ir matavimo vienetai	Kiekis 1m ³ betono mišinio
Cemento kiekis	C, kg	405,82
Vandens kiekis	V, l	166,40
Stambaus užpildo kiekis	St, kg	488,47
Keramzitas	St, kg	190,23
Stikloporas	Sm, kg	160,50
Vandens ir cemento santykis	V/C	0,41
Betono mišinio tankis	kg/m ³	1411,42

MEDŽIAGŲ KIEKIAI 1m³ BETONO MIŠINIO NR: 1 :

11.Lentelė

Medžiagos	Žymėjimas ir matavimo vienetai	Kiekis 1m ³ betono mišinio
Cemento kiekis	C, kg	405,82
Vandens kiekis	V, l	166,40
Keramzitas	St, kg	380,46
Stikloporas	Sm, kg	160,50
Vandens ir cemento santykis	V/C	0,41
Betono mišinio tankis	kg/m ³	1113,18

10.2.3 Betono po 28 dienu fizikinių ir mechaninių savybių nustatymas Bus nustatinėjama bandinių tankis.

Įranga: reikalingi slankmatis ir liniuotė, kuriais galima būtų nustatyti bandinių matmenis $\pm 0,5\%$ tikslumu. Svarstyklės sveriančios iki 5 kg mažiems bandiniams ir iki 40 kg didesniems bandiniams.

Bus nustatinėjamas tūris iš matavimo duomenų pagamintų pagal EN 12390-1, kubiniais metrais. Tankis apskaičiuojamas naudojant bandinio masę ir tūrį naudojant formulę:

$$D = m/V; \quad (17)$$

D - bandinių tankis išreikštas kilogramais kubiniam metrui;

V - Nustatytas tūris ir matuojamas kubiniais metrais;

m - bandinių masė kilogramais;

Gniuždymo stiprio nustatymas

Bandiniai bus gniuždomi iki suirimo naudojant gniuždymo presą. Gausime didžiausią atlaikomą bandinio apkrovą ir apskaičiuosime betono stiprį gniuždant.

Kubo formos bandiniai dedami ant preso pagrindo nenaudojant jokių pagalbinių plokštelių taip, kad apkrova galėtų veikti jį statmenai. Bandiniai turi būti lygiomis kraštinėmis, todėl visus nelygumus atsiradusius formavimo metu reikia pašalinti mechaniškai. Dėti reikia kubą ant plokštės centro su kuo mažesniu nuokrypiu, bet ne didesniu nei $\pm 1\%$.

Parinkamas pastovus apkrovos didinimas nuo 0,2 MPa/s iki 1,0 MPa/s. Bandiniai apkraunami tiesiogiai ir tolygiai. Apkrova didinama $\pm 10\%$ tol kol nedidėja.

Fiksuojama didžiausia apkrova ir veikianti bandinį jėga.

Stipris gniuždant yra apskaičiuojamas pagal formulę

$$f_c = F/A; \quad (18)$$

f_c - stipris gniuždant MPa ;

F - didžiausia atlaikyta bandinių apkrova N;

A - bandinio gniuždymo plotas milimetrais mm^2 ;

Lenkimo stiprio nustatymas

Yra lenkiami prizminiai bandiniai naudojant lenkimo presą. Gausime didžiausią bandinių atlaikomą apkrovą ir paskaičiuosime betono stiprį lenkiant.

Bandiniai yra dedami ant dviejų apatinių ritinių, kurie turi būti plieniniai ir skersmuo nuo 20 iki 40 mm ir ilgis didesnis nei bandinio 10 mm. Visi trys ritiniai turi laisvai sukotis apie ašį. Bandinys yra centruojamas apatinės plokštės atžvilgiu bei apatiniai rituliai nuo centro turi būti nutolę tokiu pačiu atstumu. Tarp apatinių ritinių atstumas ne mažiau nei 3d, kur d yra bandinio aukštis. Viršutinis ritinys turi būti išcentruotas bandinio bei preso viršutinės plokštės atžvilgiu. Reguliavimo tikslumas $\pm 2\text{ mm}$. Prieš bandymą būtina nuvalyti visus preso atraminius paviršius. Bandiniai turi būti lygiomis kraštinėmis, todėl visus nelygumus atsiradusius formavimo metu reikia pašalinti mechaniškai. Ypatingą dėmesį atkreipti vietoms kur bus ritiniai. Taip užtikrinamas geras sąlytis tarp bandinio ir ritinio. (Visą tai galime matyti paveikslėlyje). Įsitikinus kad bandinys išcentruotas preso plokščių ir ritinių atžvilgiu galime pradėti tyrimą.

Apkrovos intensyvumo formulė:

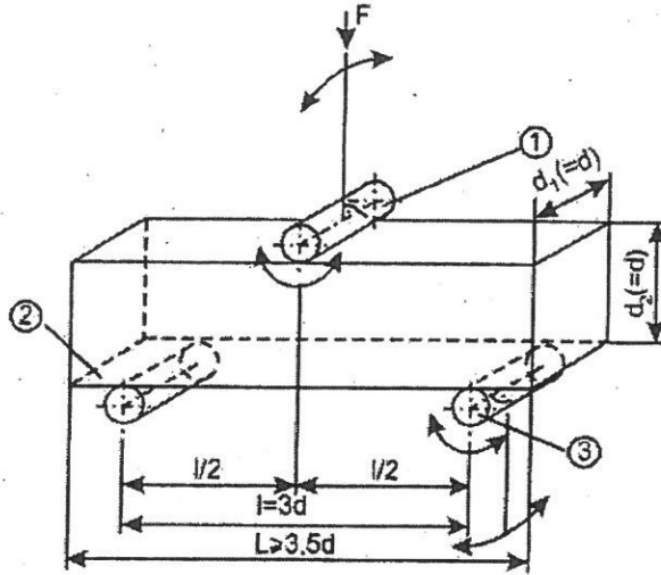
$$R = \frac{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2 \cdot s}{3 \cdot l}; \quad (19)$$

čia :

R - reikalaujamas apkrovimo intensyvumas $N \cdot s$;

s - įtempių intensyvumas $MPa \cdot s$;

d_1 ir d_2 - bandinio matmenys mm;



15.pav. Lenkimo schema

Stipris lenkiant apskaičiuojamas pagal formulę

$$f_c = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}; \quad (20)$$

čia:

f_c - stipris lenkiant MPa;

F - apkrova N;

l - atstumas tarp apatinių ritinių mm;

d_1 ir d_2 - bandinio matmenys mm;

Siūlių stiprumo nustatymas skėlimu.

Yra gniuždomi bandiniai naudojant gniuždymo presą, bei pagalbines priemones naudojamas jėgos sukongravimui į siūlės paviršių.

Bandiniai yra gniuždomi presu, gniuždymo plotas labai susiaurinamas, kad gniuždymo jėga veiktų konkrečiai tik siūlės plotą. Tam bus naudojamas armatūros strypas. Prieš bandymą būtina nuvalyti visus preso atraminius paviršius. Bandiniai turi būti lygiomis kraštinėmis, todėl visus nelygumus atsiradusius formavimo metu reikia pašalinti mechaniškai. Bandinys yra centruojamas apatinės plokštės atžvilgiu, pirmas armatūros strypas padedamas išilgai siūlės po bandiniu taip, kad ji eitų per preso plokštės centrą. Antras armatūros strypas talpinamas virš bandinio tokiu pačiu metodu kaip ir apatinis.

Esant siūlei silpnesnei nei betonas, skilimas vyksta sujungimo vietoje. Jei betonas yra silpnesnis už siūlės sujungimą, skilimas vyksta silpnesnio betono juostoje.

Santykinis tamprumo modulis.

Atlikus gniuždymo bandymus galima tamprumo modulį pasiskaičiuoti teoriškai iš gautų gniuždymo reikšmių:

$$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0.3}; \quad (21)$$

Čia :

f_{cm} – 28 parų amžiaus vidutinis betono gniuždomasis stipris;

E_{cm} – betono tamprumo modulis;

$$E_{lcm} = E_{cm} \cdot \eta_E;$$

$$\eta_E = (\rho/2200)^2;$$

10.2.4 Pradinių bandinių liejimas ir rezultatų po 28 dienų analizė

Buvo išlieti pradiniai mėginiai 10 x 10 x 10 cm kurie buvo naudojami tankio bei gniuždymo stiprio nustatymui. Po 28 dienų buvo atlikti gniuždymo bandymai bei paskaičiuota teorinis tamprumo modulis. Duomenys bus naudojami teoriniuose skaičiavimuose kad būtų įmanoma palyginti gautus teorinius ir praktinius duomenis.

Buvo išlieti 6 bandiniai. Iš jų buvo išrinkti 4 geriausiai atitinkantys reikalavimus ir padarytos sijos, kurių matmenys 60 x 15 x 15 cm. Išrinktų bandinių medžiagų kiekiai 1 kubiniam metrui betono mišinio aprašyta ankstesniame skyriuje.

Gauti duomenys:

12.Lentelė

Bandinio numeris	Betono numeris	Ilgis, mm	Plotis, mm	Aukštis, mm	Tūris, m ³	Bandinio masė, gr	Tankis, kg/m ³
1	1	95,5	99,7	100,2	0,000954	917,40	961,64
2	2	96,5	100	100,1	0,000966	1262,90	1307,35
3	3	97,0	99,9	100	0,000969	1587,70	1638,49
4	-	96,5	100	100,1	0,000966	1887,10	1953,52
5	4	98,0	100,2	99,8	0,000979	2277,50	2326,35
6	-	97,5	100	100	0,000975	2302,80	2361,85

Duomenys po gniuždymo:

Bandinio numeris	Betono numeris	Ilgis, mm	Plotis, mm	Aukštis, mm	Jėga, kN	f_{ck}, cube, MPa 100x100 (150x150)
1	1 betonas (lengvas betonas)	95,5	99,7	100,2	131,4	13,8 (13,11)
2	2 betonas (lengvas betonas)	96,5	100	100,1	138	14,3 (13,59)
3	3 betonas (lengvas betonas)	97,0	99,9	100	188	19,4 (18,43)
4	-	96,5	100	100,1	327,8	34 (32,3)
5	4 betonas (sunkus betonas)	98,0	100,2	99,8	420,77	42,98(40,83)
6		97,5	100	100	492,47	50,51(47,98)

10.2.5 Sluoksniuotų sijų formavimas

Pirmiausiai buvo suformuota sija kuri bus naudojama kontroliniams matavimas ir skaičiavimams, kad turėtumėm su kuo lyginti gautus sluoksniuotų sijų rezultatus. Ji bus formuojama naudojant betono mišinį Nr.: 4.

Po to formuosime trijų sluoksnių sijas, ir pirmas ir trečias sluoksnis suformuotas naudojant tą patį betono mišinį Nr.: 4. Vidurinis sluoksnis paeiliui bus keičiamas betono mišiniais Nr.: 1;2 ir 3.

Formuojant sluoksniuotas sijas labai svarbu sluoksnių sukibimas, nes tai užtikrina bendrą visų sluoksnių darbą. Todėl ėmėmės kelių priemonių kad galėtumėm užtikrinti geresni sukibimą.

Pirmas – tai išliejus naują sluoksnį, ir palaukus maždaug 60 minučių, paveikti visą viršutini sluoksnį mechaniškai jį pašiaušiant ir sudarant nelygų paviršių geresniam sukibimui susidaryti. Lengvam betonui buvo daromi maži krateriai.

Po paros laiko, pirmam sluoksniui pakankamai išdžiuvus, naudojome specialų gruntą sustiprinantį sluoksnių sukibimą. Tai CN 94 Concentrate. Itin veiksmingas klijuojamasis gruntas patikimam išlyginamųjų mišinių, keraminės ir gamtinio akmens dangos sukibimui su nestandartiniais paviršiais. Būtent todėl jį ir naudojome savo bandinių gamybai.

Pertepus gruntu, pagal medžiagos rekomendacijas, laukiama dar 24 valandas ir tik tada yra formuojamas kitas sluoksnis. Norint gauti geresnį sukibimą dar yra įberiama į skystį 1/10 dali smėlio. Tai buvo daroma bandiniui kur vidurinį sluoksnį imamame betono mišinį Nr.: 3



16.pav. Sijų formavimas

Suformavus antrąjį sluoksnį, jis tokiu pačiu būdu paveikiamas mechaniškai ir po 24 valandų pertepamas gruntu. Dar praėjus 24 valandom yra formuojamas trečias sluoksnis pagal betono mišinį Nr.: 4. Praėjus parai po sijos paskutinio sluoksnio suformavimo, ji išimama iš formos ir talpinama 28 parom į vandens talpą. Po 28 parų iš vandens talpyklos išimama ir atliekami bandymai.

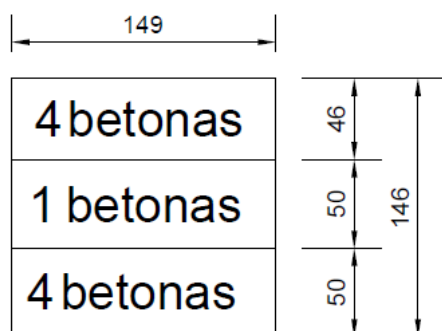
Pirmiausiai buvo atlikti matavimai ir svėrimas. Po to sijos buvo lenkiamos.



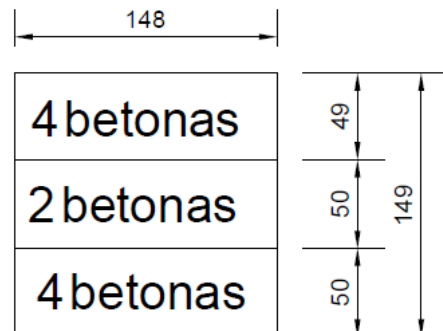
17.pav. Sijų lenkimas

Sijos gamybos schemas :

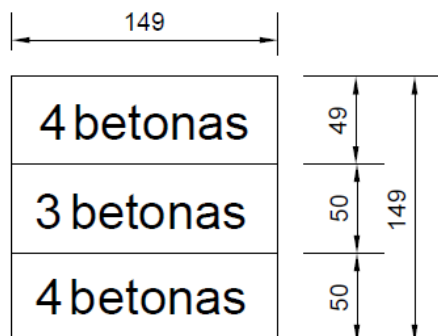
1 sija



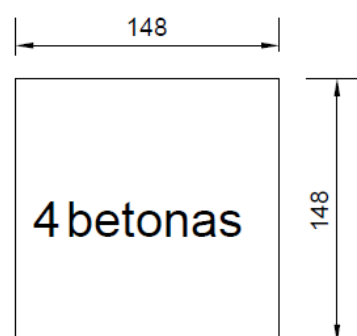
2 sija



3 sija



4 sija



18.pav. Sijų schemas

Gauti duomenys:

14.Lentelė

Sijos Nr.	Ilgis, m	Plotis, m	Aukštis, m	Svoris, kg	Jėga, kN.	$\sigma_{ct,max}$, MPa	Momentas, kNm
1	0,600	0,149	0,146	25,532	20,96	4,90	0,9432
2	0,600	0,148	0,149	27,264	22,95	5,26	1,0327
3	0,600	0,149	0,149	28,702	24,99	5,59	1,125
4	0,600	0,148	0,148	31,556	19,89	4,51	0,895



19.pav. Po lenkimo skerspjūviai

Bandiniai nupjauti iki 0,15 m ilgio ir buvo atlikti gniuždymo bandymai

Gauti rezultatai:

15.Lentelė

Eil. Nr	Plotis, m	Ilgis, m	Aukštis, m	Svoris, kg	Jėga, kN	Stipris, MPa
1	0,149	0,148	0,146	6,276	299,3	13,57
2	0,148	0,149	0,149	6,848	367,5	16,7
3	0,149	0,148	0,149	6,957	441,7	20,1
4	0,148	0,149	0,148	7,988	900,4	40,83
5	0,147	0,148	0,148	7,745	1050,9	47,98

Po gniuždymo :



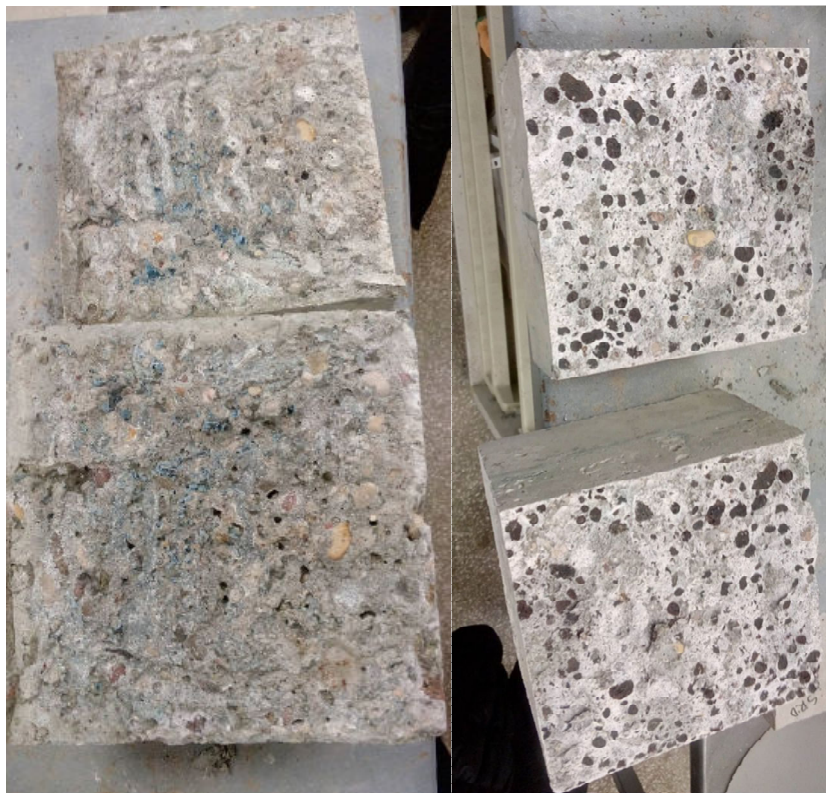
20.pav. Mėginiai po gniuždymo

Buvo atliktas siūlių skėlimas, norint patikrinti jų stiprumą.



21.pav. Siūlių skėlimas

1 ir 2 bandiniai skilo per lengvą sluoksnį, 3 bandinys skilo netoli siūlės, bet skilimas nėra visai lygus.

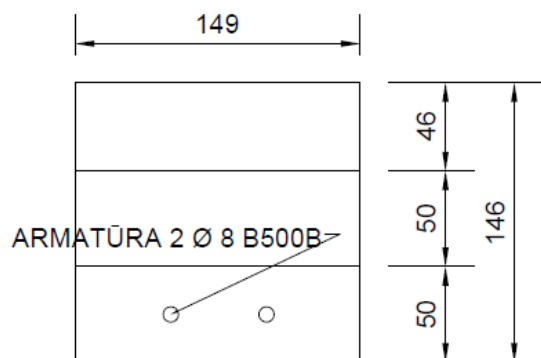


22.pav. Po skėlimo

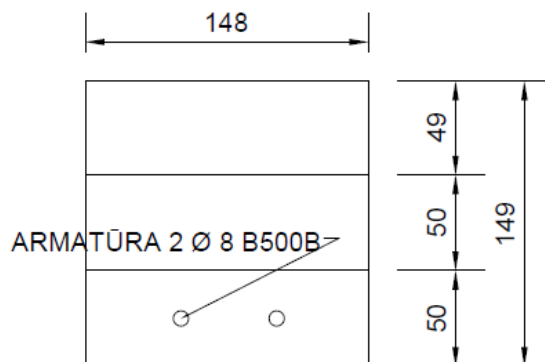
Eil.Nr.	Plotis, m	Aukštis, m	Stipris, MPa	Stipris, MPa
1(3)	0,149	0,147	2,04	1,59
2(2)	0,148	0,146	1,49	1,74
3(1)	0,148	0,15	1,59	1,39

Skaičiavimams naudosime sijų modelius su armatūra:

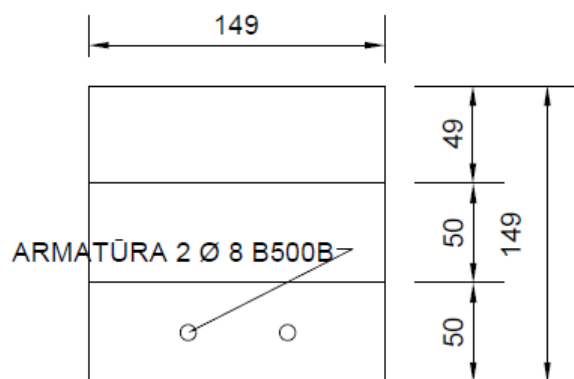
5 SIJA (1 SIJOS
SUDĖTIS)



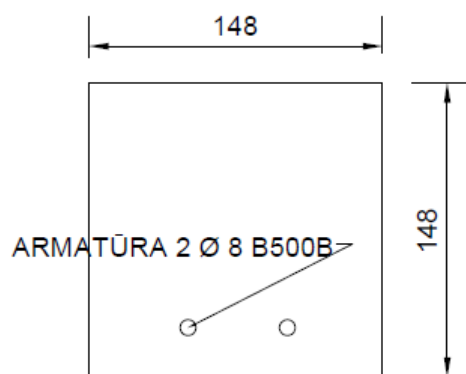
6 SIJA (2 SIJOS
SUDĖTIS)



7 SIJA (3 SIJOS
SUDĖTIS)



8 SIJA (4 SIJOS
SUDĖTIS)

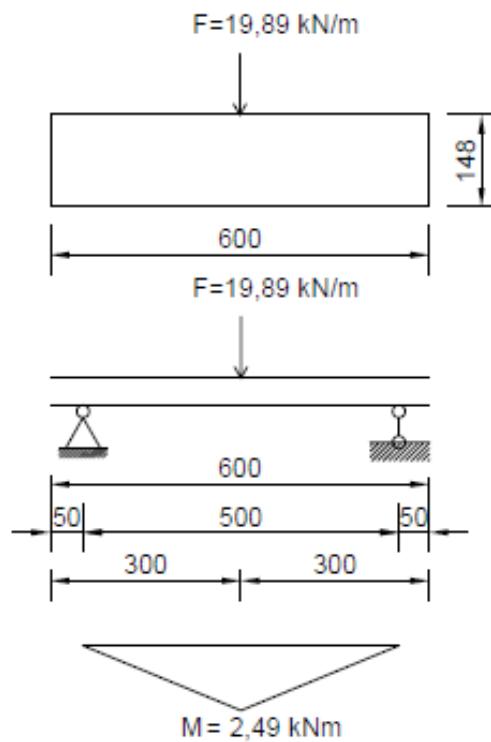


23.pav.Sijų schemas

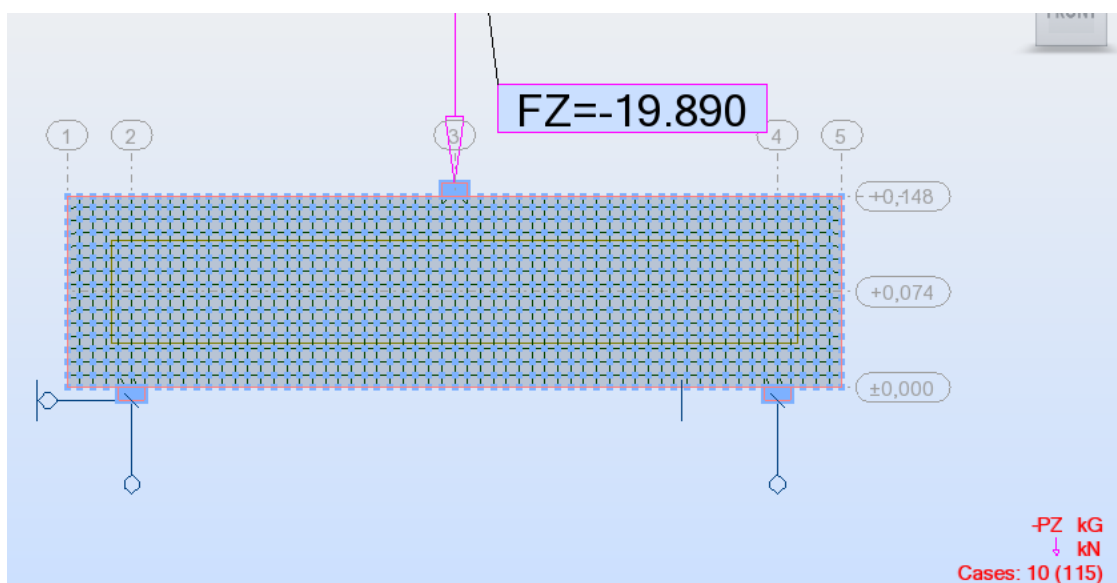
11. Teoriniai normalinių įtempių skaičiavimai bei rezultatai iš „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programos

4 sija

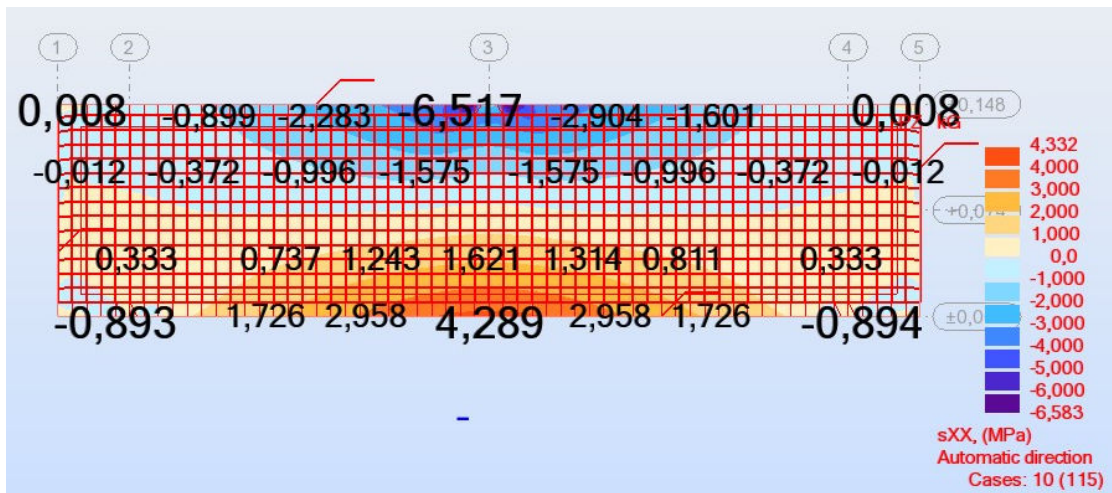
4 Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašžos



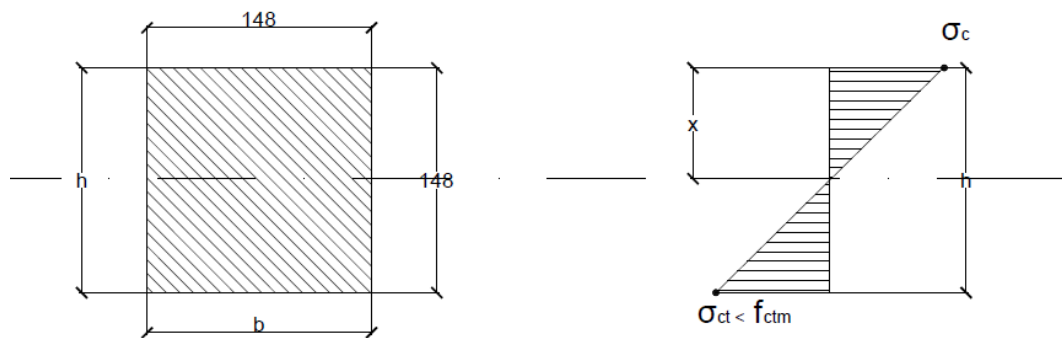
24.pav. Skaičiuojamoji schema



25.pav. Programoje naudojama 4 tipo sija



26.pav. Programos skaičiuojamoji schema



27.pav. 4 sijos skaičiuojamoji schema

Kai $F = 19,89 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq f_{ctm};$$

$f_{ctm} = 4,51 \text{ MPa};$

$$W = \frac{I}{y} = \frac{0,399 \cdot 10^{-4}}{0,074} = 0,539 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3;$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,148 \cdot 0,148^3}{12} = 0,399 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4;$$

$$y = \frac{S_4}{A_4} = \frac{0,00162}{0,0219} = 0,074 \text{ m};$$

$$S = 0,5 \cdot b \cdot h^2 = 0,5 \cdot 0,148 \cdot 0,148^2 = 0,00162 \text{ m}^3;$$

$$A = 0,148 \cdot 0,148 = 0,0219 \text{ m}^2;$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2,49}{0,539 \cdot 10^{-3}} = 4,61 \text{ MPa};$$

Kai $F = 5,00 \text{ kN};$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,625}{0,539 \cdot 10^{-3}} = 1,16 \text{ MPa};$$

Kai $F= 10 \text{ kN}$;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1,25}{0,539 \cdot 10^{-3}} = 2,32 \text{ MPa};$$

Kai $F= 15 \text{ kN}$;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

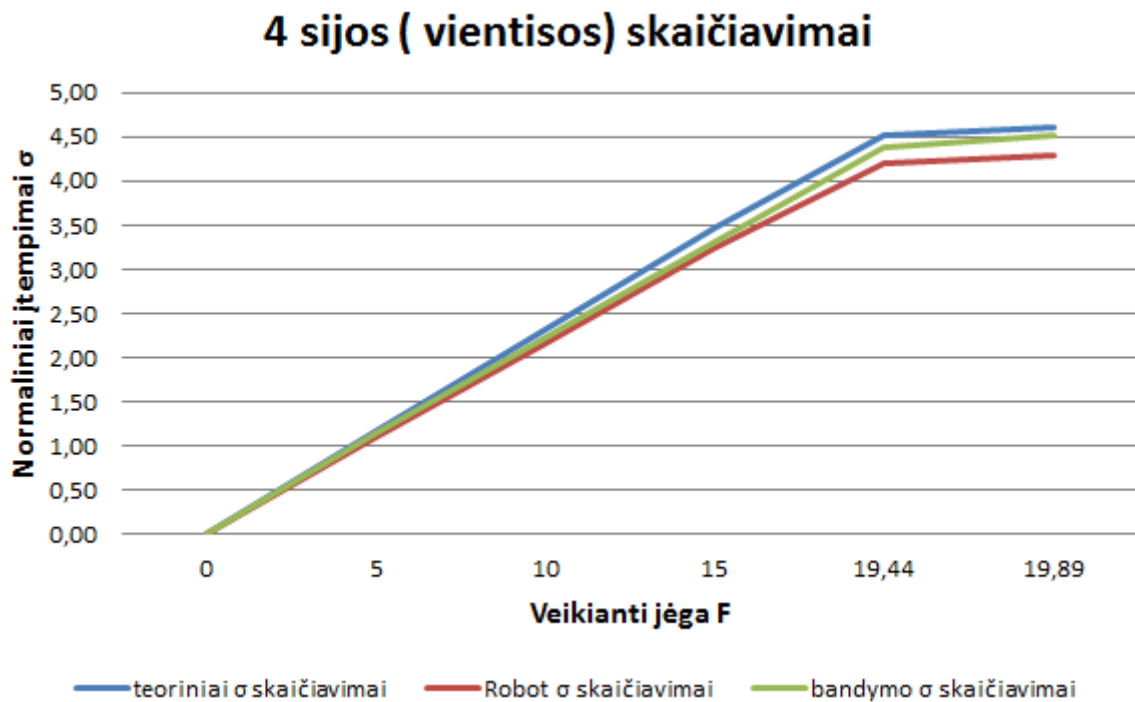
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1,875}{0,539 \cdot 10^{-3}} = 3,48 \text{ MPa};$$

Kokia jėga bus kai $\sigma = 4,51 \text{ MPa}$

$$M = \sigma \cdot W = 4,51 \cdot 0,539 \cdot 10^{-3} = 2,43 \text{ kNm}$$

$$F = \frac{4 \cdot M}{l} = \frac{4 \cdot 2,43}{0,5} = 19,44 \text{ kN}$$

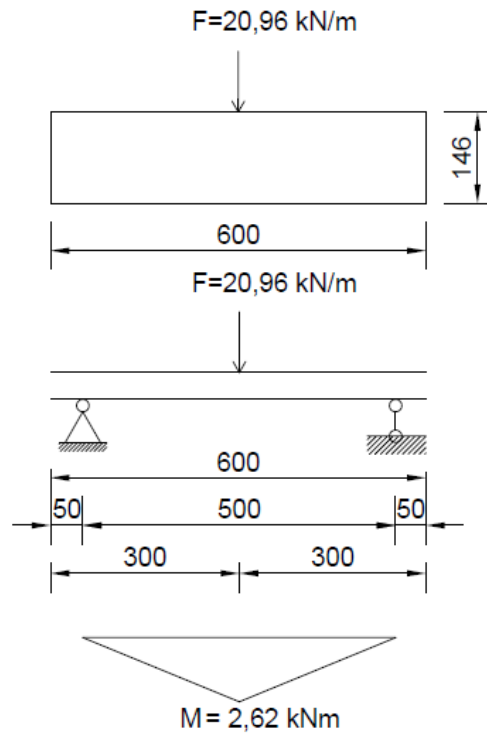
4 sijos skaičiavimų palyginimai :



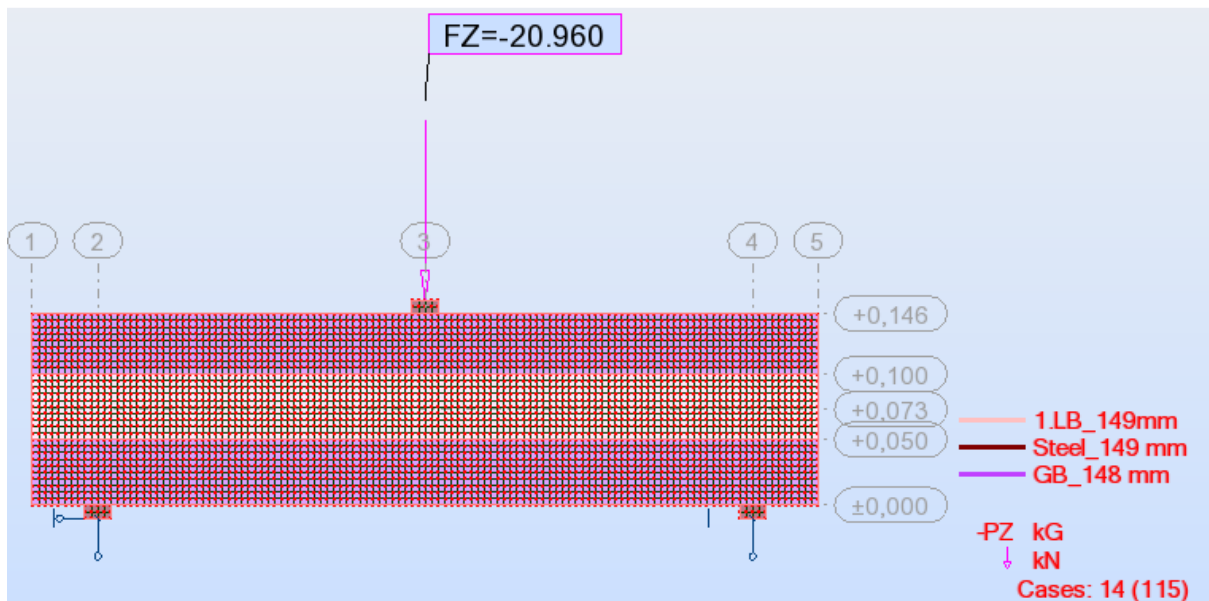
28.pav. Rezultatai

1 sija

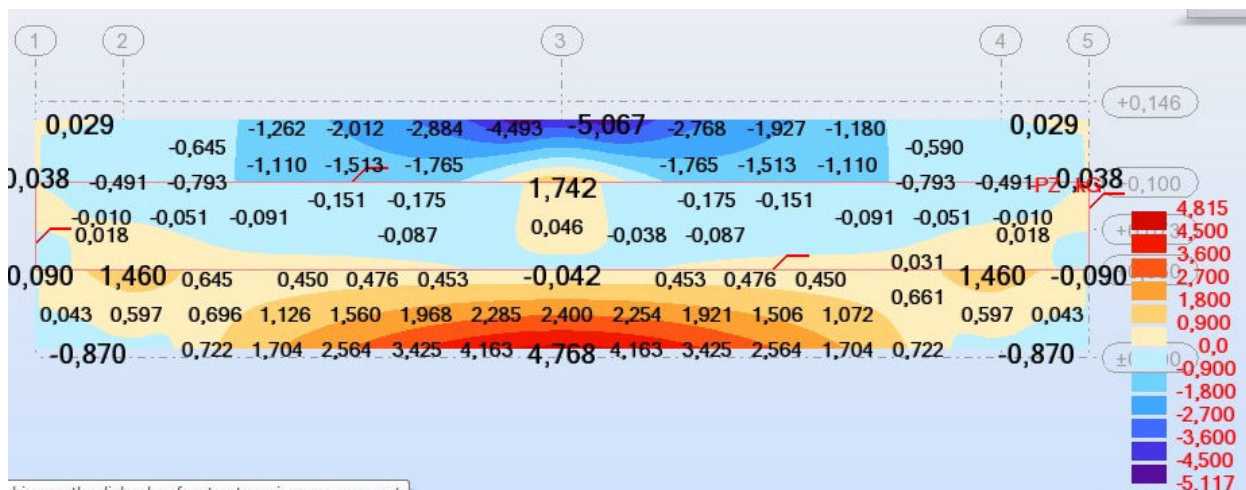
1 Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



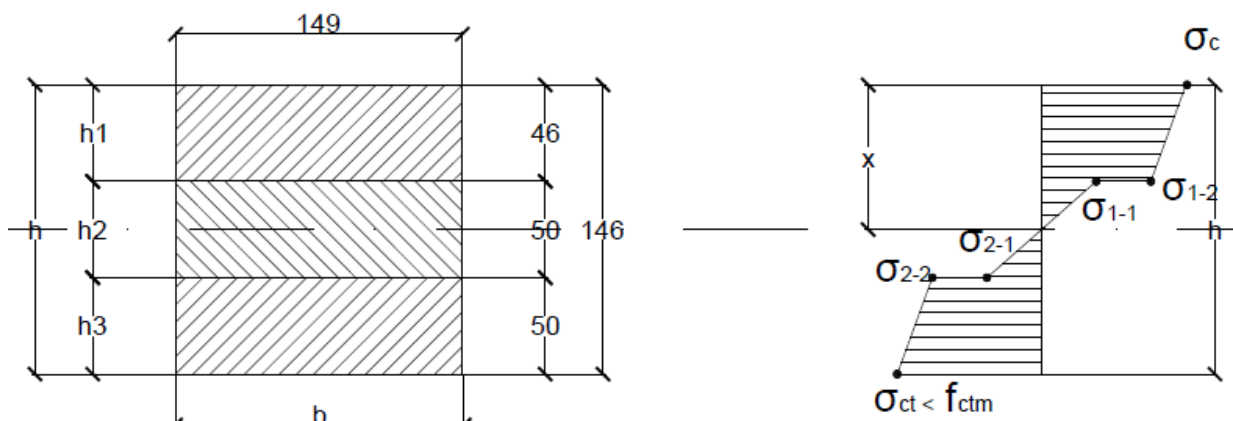
29.pav. Skaičiuojamoji schema



30.pav. Programoje naudojama 1 tipo sija



31.pav. Programos skaičiuojamoji schema



32.pav. 1 sijos skaičiuojamoji schema

Kai $F = 20,96 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{20,96 \cdot 0,5}{4} = 2,62 \text{ kNm};$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq f_{ctm};$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y} = \frac{0,3827 \cdot 10^{-4}}{0,0725} = 0,528 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_2$$

$$= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + b \cdot h_1 \cdot \left(x - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + \alpha \cdot b \cdot h_2 \cdot \left(x - h_1 - \frac{h_2}{2}\right)^2 + \frac{b \cdot h_3^3}{12} + \left(y - \frac{h_3}{2}\right)^2 = 0,3827 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$y = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{0,00145}{0,02} = 0,0725 \text{ m}$$

$$S_{red} = b \cdot h_3^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_1 \cdot (h_3 + h_2 + 0,5 \cdot h_1) + \alpha (b \cdot h_2 \cdot (h_3 + 0,5 \cdot h_2))$$

$$= 0,00019 + 0,000836 + 0,000425 = 0,00145 \text{ m}^3$$

$$\alpha = \frac{E_1}{E_4} = \frac{26,5 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 0,76$$

$$A_{red} = 0,149 \cdot 0,096 + \alpha \cdot (0,149 \cdot 0,05) = 0,0143 + 0,0057 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{2,62}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{4,96 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{2,62}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{1,711 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,76 \cdot \frac{2,62 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,3 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{0,625}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{1,184 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{0,625}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{0,40 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,76 \cdot \frac{0,625 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,31 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 10 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1,25}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{2,37 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{1,25}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{0,816 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,76 \cdot \frac{1,25 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,62 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1,875}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{3,55 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{1,875}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{1,22 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,76 \cdot \frac{1,875 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,93 MPa}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 19,89 kN

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{2,49}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{4,72 MPa}$$

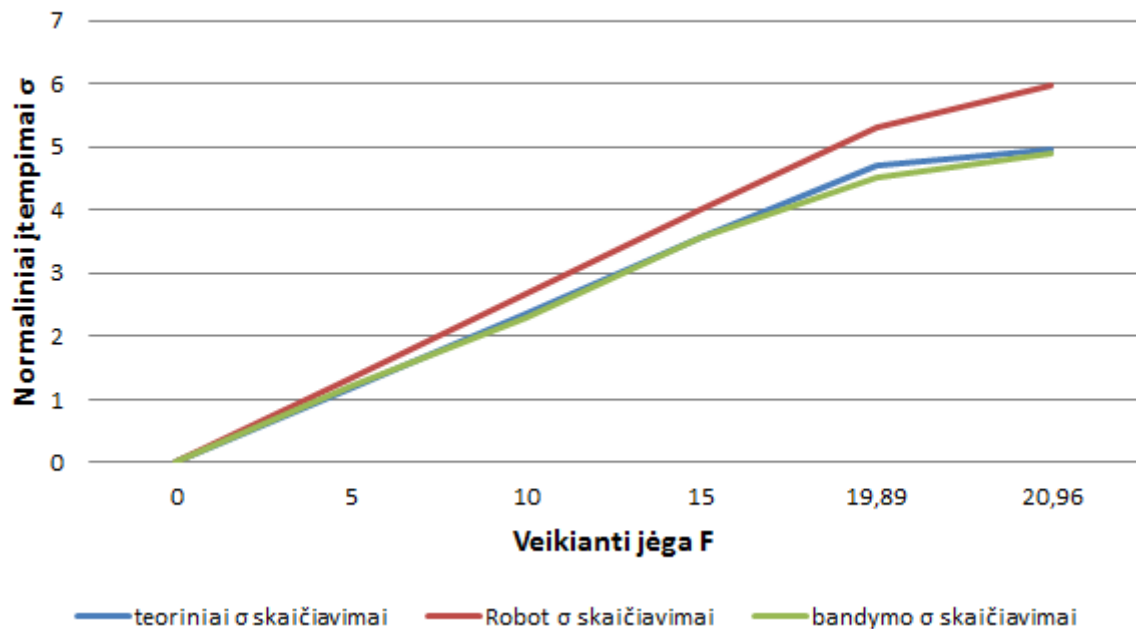
$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{2,49}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{1,63 MPa}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,76 \cdot \frac{2,49 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,24 MPa}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

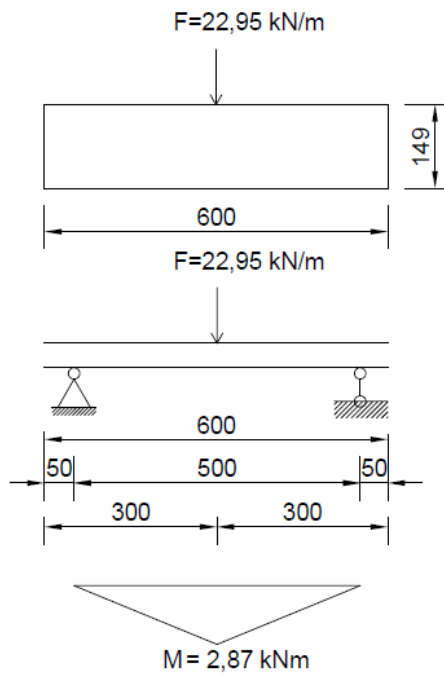
1 sijos skaičiavimai



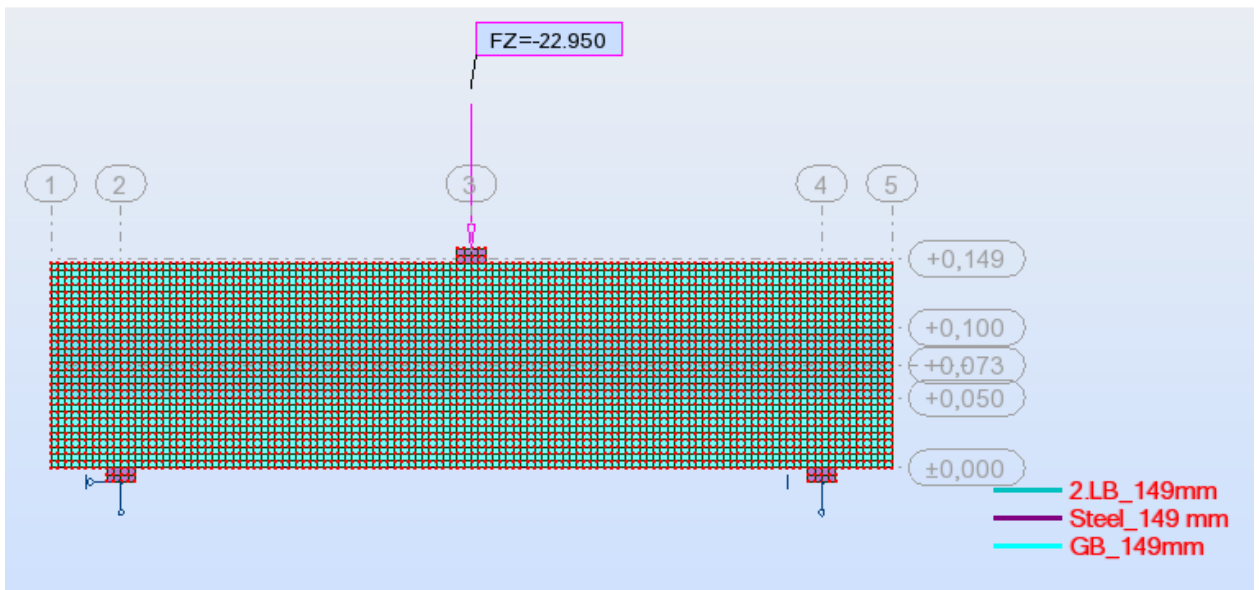
33.pav. Rezultatai

2 sija

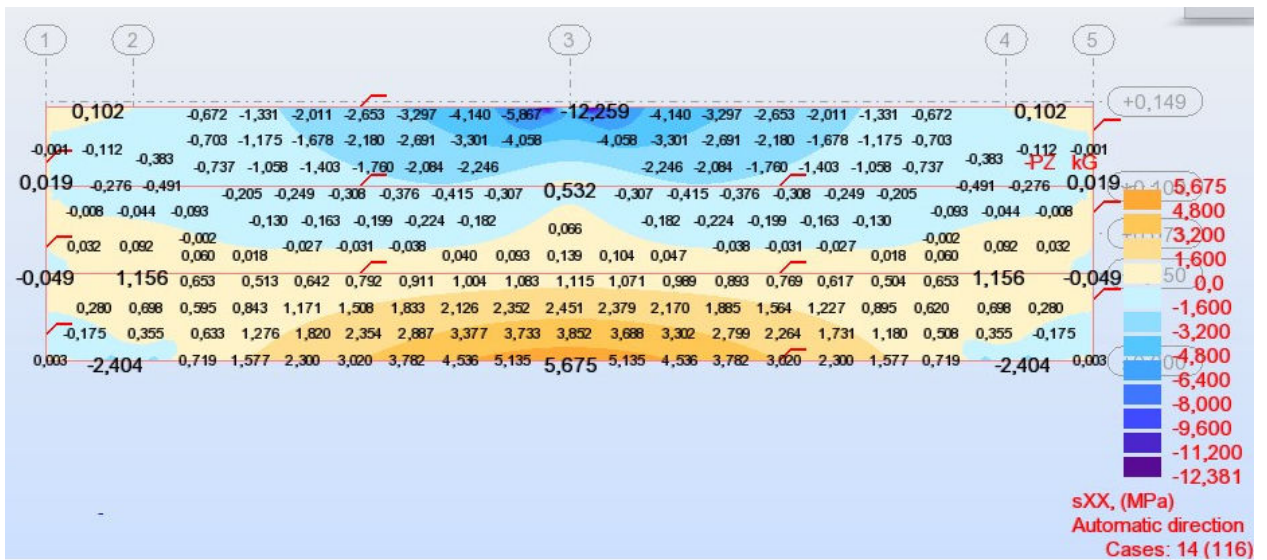
2 Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



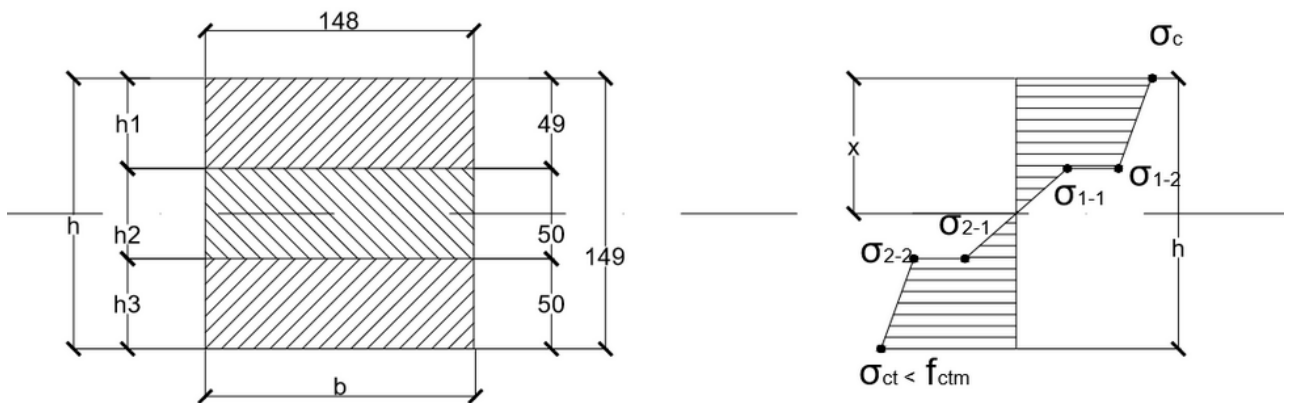
34.pav. Skaičiuojamoji schema



35.pav. Programoje naudojama 2 tipo sija



36.pav. Programos skaičiuojamoji schema



37.pav. 2 sijos skaičiuojamoji schema

Kai $F = 22,95 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{22,95 \cdot 0,5}{4} = 2,87 \text{ kNm} ;$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq f_{ctm} ;$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y} = \frac{0,3827 \cdot 10^{-4}}{0,0725} = 0,528 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_{red} = I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_2$$

$$= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + b \cdot h_1 \cdot \left(x - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + \alpha \cdot b \cdot h_2 \cdot \left(x - h_1 - \frac{h_2}{2}\right)^2 + \frac{b \cdot h_3^3}{12} + \left(y - \frac{h_3}{2}\right)^2 = 0,3827 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$y = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{0,00145}{0,02} = 0,0725 \text{ m}$$

$$S_{red} = b \cdot h_3^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_1 \cdot (h_3 + h_2 + 0,5 \cdot h_1) + \alpha(b \cdot h_2 \cdot (h_3 + 0,5 \cdot h_2)) \\ = 0,00019 + 0,000836 + 0,000425 = 0,00145 \text{ m}^3$$

$$\alpha = \frac{E_2}{E_4} = \frac{26,9 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 0,77$$

$$A_{red} = 0,148 \cdot 0,099 + \alpha \cdot (0,149 \cdot 0,05) = 0,0143 + 0,0057 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{2,87}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{5,44 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{2,87}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{1,87 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,77 \cdot \frac{2,87 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,44 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{0,625}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{1,184 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{0,625}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{0,41 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,77 \cdot \frac{0,625 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,314 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 10 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1,25}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{2,37 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{1,25}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{0,82 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,77 \cdot \frac{1,25 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,63 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1,875}{0,528 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{3,55 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{1,875}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = 1,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,77 \cdot \frac{1,875 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = 0,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 19,89 kN

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{2,49}{0,528 \cdot 10^{-3}} = 4,72 \text{ MPa}$$

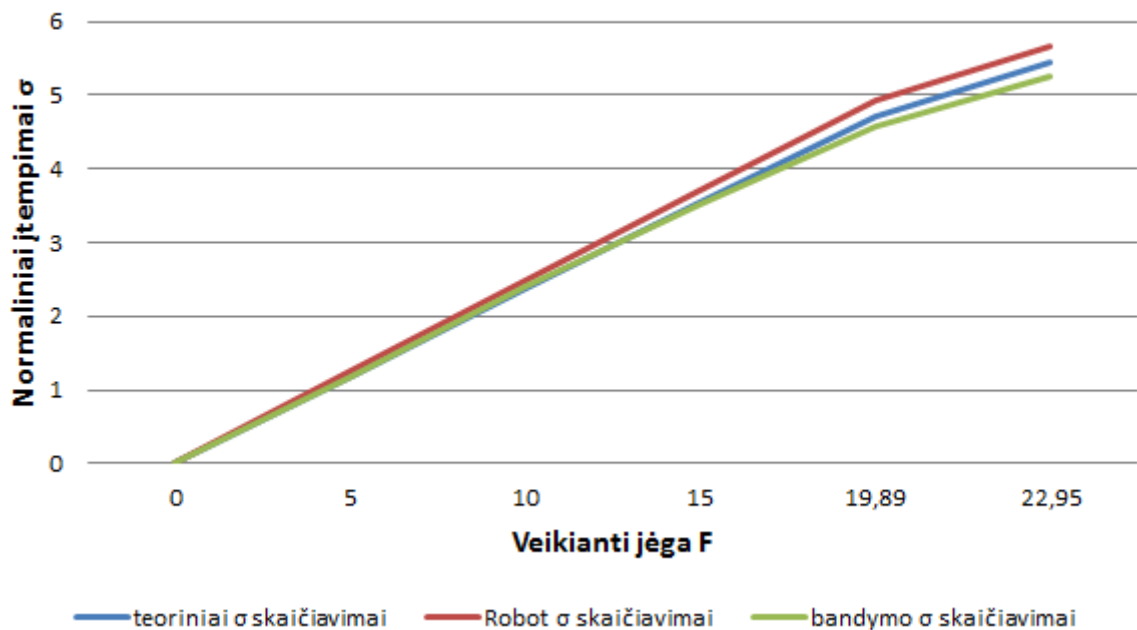
$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{2,49}{0,3827 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = 1,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,77 \cdot \frac{2,49 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3827 \cdot 10^{-4}} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

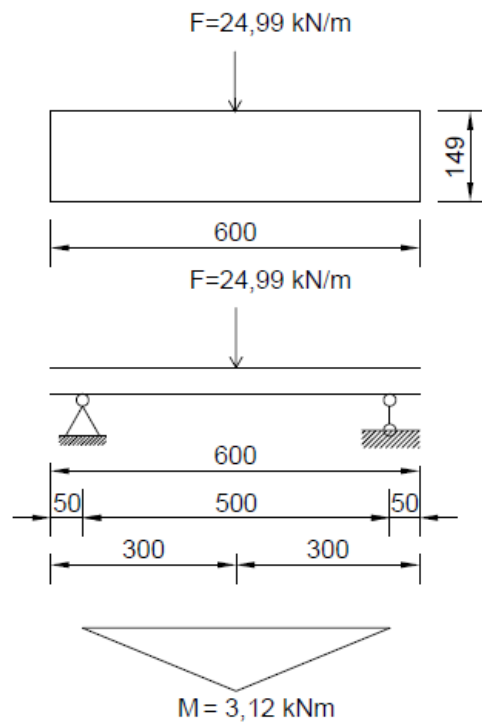
2 sijos skaičiavimai



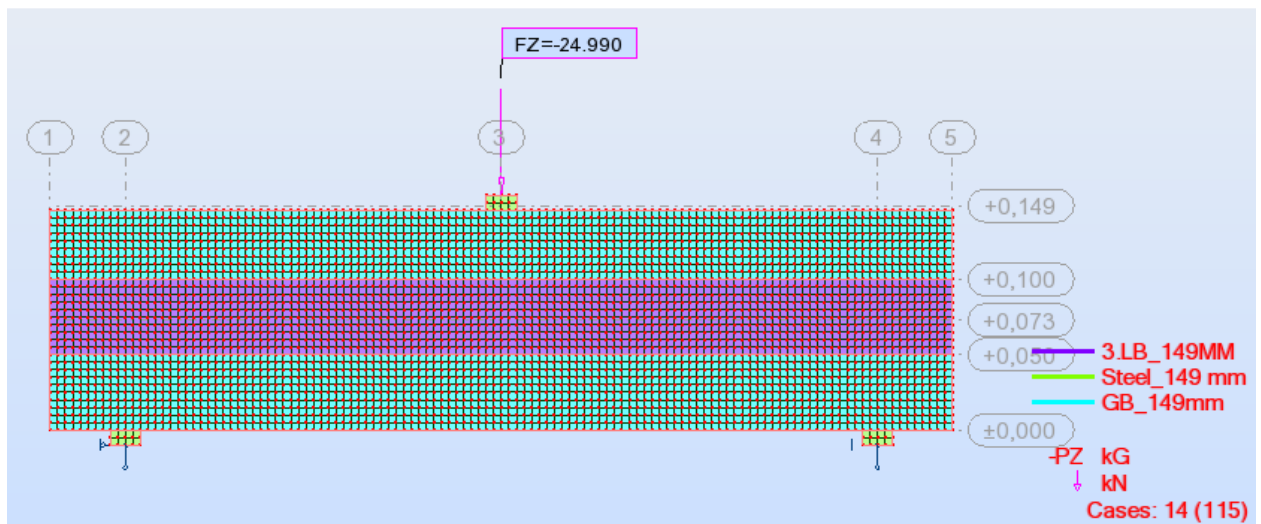
38.pav. Rezultatai

3 sija

3 Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



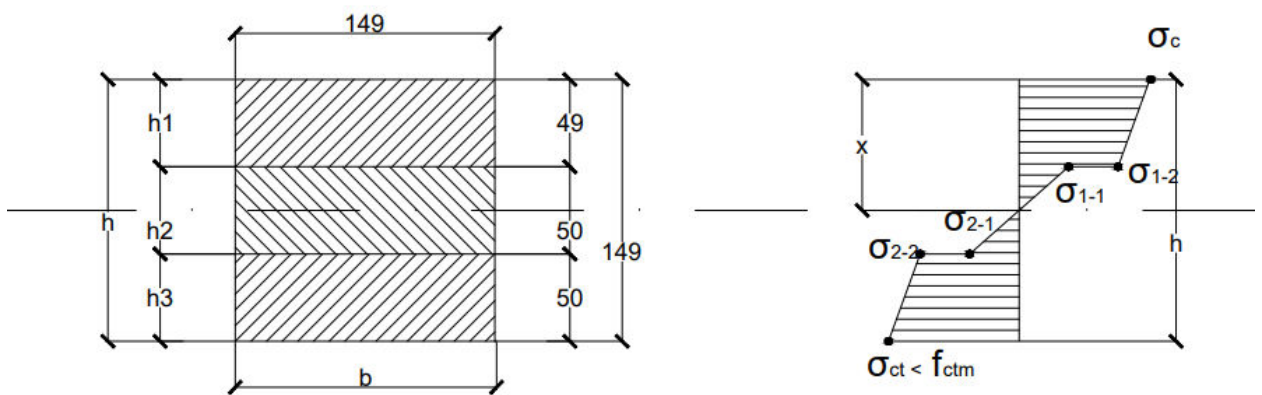
39.pav. Skaičiuojamoji schema



40.pav. Programoje naudojama 3 tipo sija



41.pav. Programos skaičiuojamoji schema



42.pav. Programos skaičiuojamoji schema

Kai $F = 24,99 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{24,99 \cdot 0,5}{4} = 3,12 \text{ kNm} ;$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq f_{ctm} ;$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y} = \frac{0,3851 \cdot 10^{-4}}{0,0747} = 0,516 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_3$$

$$= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + b \cdot h_1 \cdot \left(x - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + \alpha \cdot b \cdot h_2 \cdot \left(x - h_1 - \frac{h_2}{2}\right)^2 + \frac{b \cdot h_3^3}{12} + \left(y - \frac{h_3}{2}\right)^2 = 0,4035 \cdot 10^{-4} + 0,012 \cdot 10^{-4} = 0,3851 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$y = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{0,00157}{0,021} = 0,0747 \text{ m}$$

$$S_{red} = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha(b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2))$$

$$= 0,000186 + 0,00093 + 0,00045 = 0,00157 \text{ m}^3$$

$$\alpha = \frac{E_3}{E_4} = \frac{28,5 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 0,81$$

$$A_{red} = 0,149 \cdot 0,099 + \alpha \cdot (0,149 \cdot 0,05) = 0,0148 + 0,006 = 0,021 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{3,12}{0,516 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{6,05 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{3,12}{0,3851 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{2,025 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,81 \cdot \frac{3,12 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3851 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,64 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{0,625}{0,516 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{1,211 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{0,625}{0,3851 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{0,41 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,81 \cdot \frac{0,625 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3851 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,33 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 10 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1,25}{0,516 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{2,422 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{1,25}{0,3851 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = \mathbf{0,81 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,81 \cdot \frac{1,25 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3851 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,657 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1,875}{0,516 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{3,634 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{1,875}{0,3851 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = 1,217 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,81 \cdot \frac{1,875 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3851 \cdot 10^{-4}} = 0,986 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

Kai F= 19,89 kN

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{2,49}{0,516 \cdot 10^{-3}} = 4,83 \text{ MPa}$$

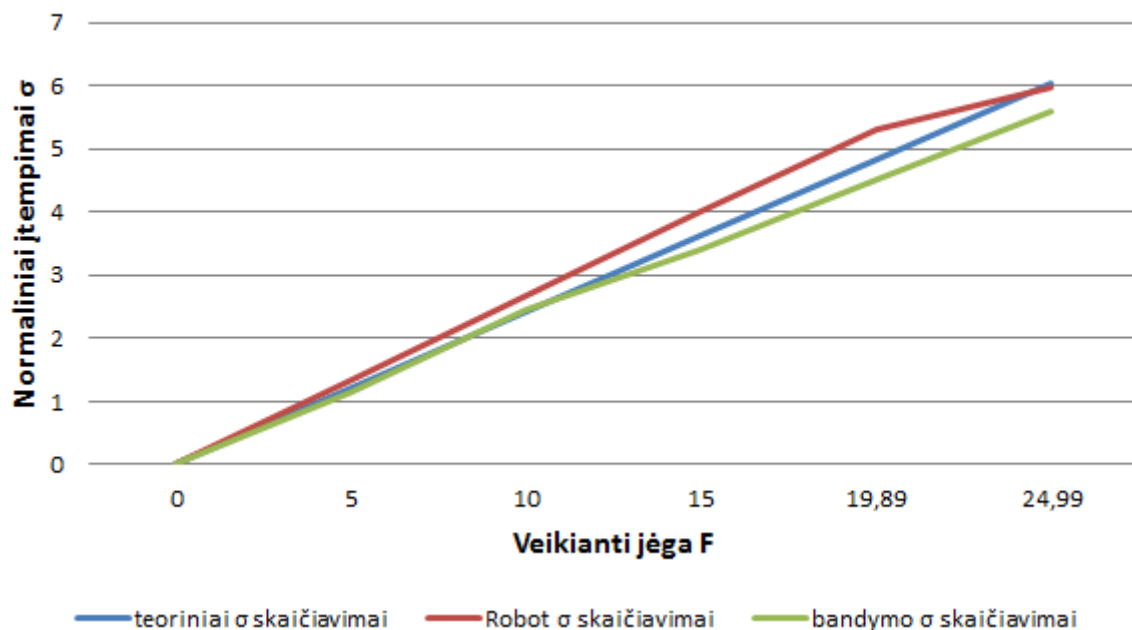
$$\sigma_{1-2} = \frac{M}{I} \cdot y_{1-1} = \frac{2,49}{0,3851 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,025 = 1,616 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-2} = \sigma_{2-2};$$

$$\sigma_{1-1} = \alpha \cdot \frac{M \cdot h_2}{2 \cdot I} = 0,81 \cdot \frac{2,49 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,3851 \cdot 10^{-4}} = 1,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{2-1};$$

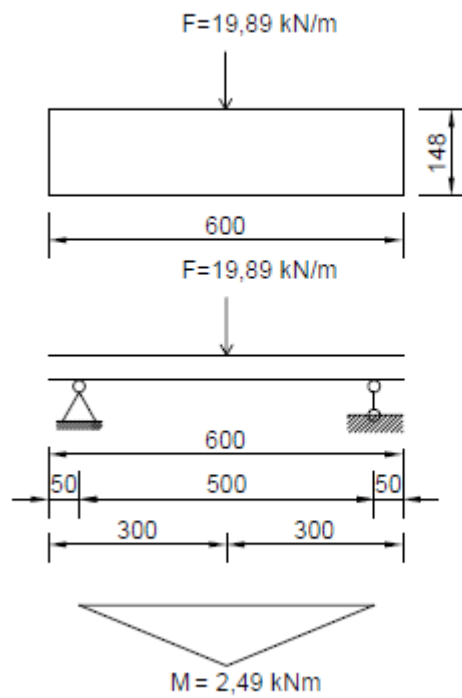
3 sijos skaičiavimai



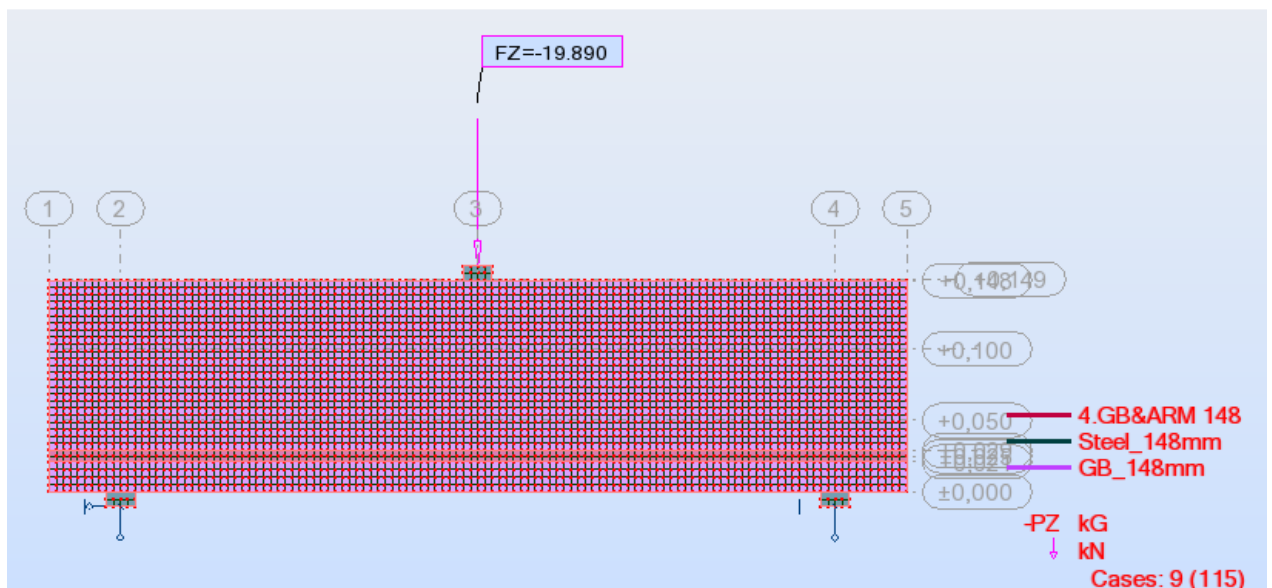
43.pav. Rezultatai

5 sija

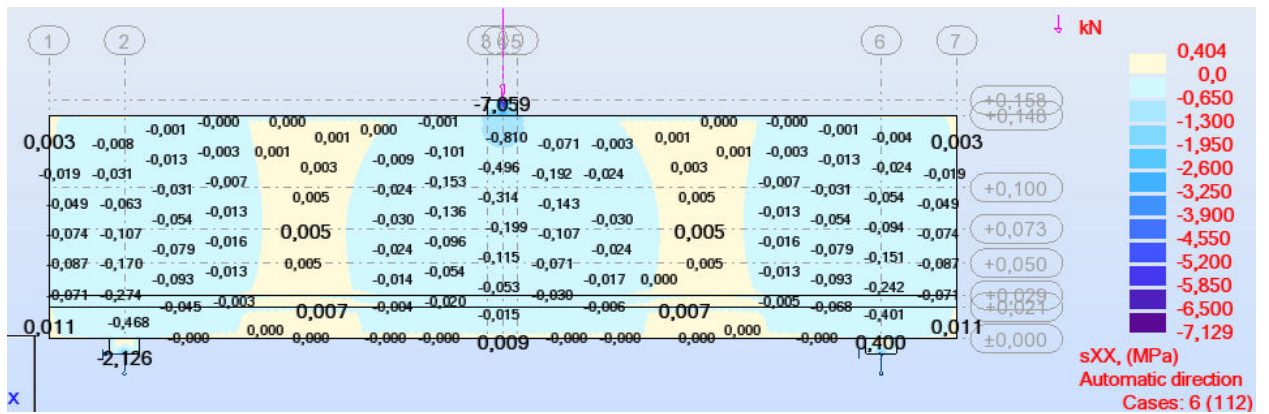
Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



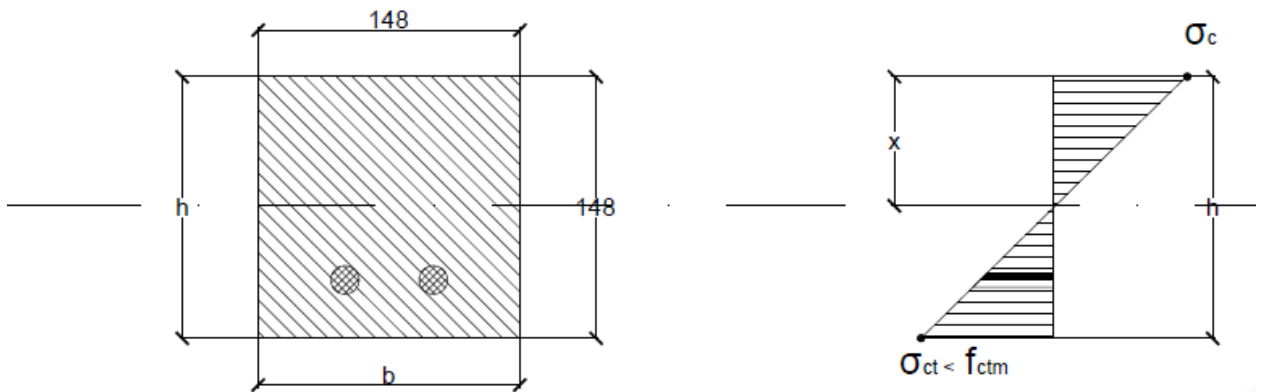
44.pav. Skaičiuojamoji schema



45.pav. Programoje naudojama 5 tipo sija



46.pav. Programos skaičiuojamoji schema



47.pav. Programos skaičiuojamoji schema

Kai $F= 19,89 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} \leq f_{ctm};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} \leq f_{ctm};$$

$f_{ctm} = 4,51 \text{ MPa};$

Skerspjūvio inercinis momentas neutralios ašies atžvilgiu:

$$I_{eff} = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (0,5 \cdot h - y_{eff})^2 + \alpha \cdot A_{s1} (y_{eff} - a_{s1}) = \frac{0,148 \cdot 0,148^3}{12} + 0,148 \cdot 0,148 \cdot (0,5 \cdot 0,148 - 0,0728)^2 + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} (0,0728 - 0,025) = 0,399 \cdot 10^{-4} + 0,00031 \cdot 10^{-4} + 0,281 \cdot 10^{-4} = 0,694 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4;$$

$$y_{eff} = \frac{S_1}{A_1} = \frac{0,00163}{0,0224} = 0,0728 \text{ m};$$

$$x_{eff} = h - y_{eff} = 0,148 - 0,0728 = 0,0752 \text{ m};$$

$$\alpha = \frac{E_{sm}}{E_4} = \frac{205 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 5,86$$

Sijos statinis momentas apatinio sluoksnio atžvilgiu:

$$S_c = 0,5 \cdot b \cdot h^2 + \alpha A_{s1} \cdot a_{s1} = 0,5 \cdot 0,148 \cdot 0,148^2 + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 = 0,00162 + 0,0000147 = 0,00163 \text{ m}^3;$$

$$A_1 = b \cdot h + \alpha \cdot A_{s1} = 0,148 \cdot 0,148 + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} = 0,0219 + 0,000592 = 0,0224 \text{ m}^2;$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot 0,0728}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,61 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot 0,0752}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,7 \text{ MPa}};$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot 0,0728}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,656 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot 0,0752}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,677 \text{ MPa}};$$

Kai F= 10 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot 0,0728}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,311 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot 0,0752}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,354 \text{ MPa}};$$

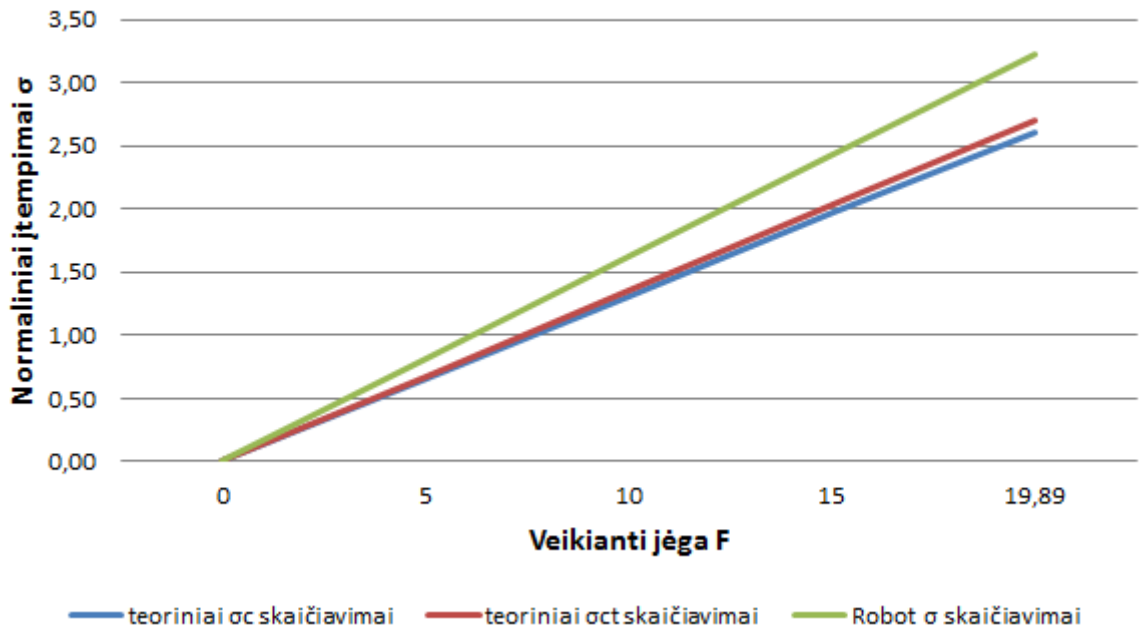
Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,875 \cdot 0,0728}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,967 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,875 \cdot 0,0752}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,03 \text{ MPa}};$$

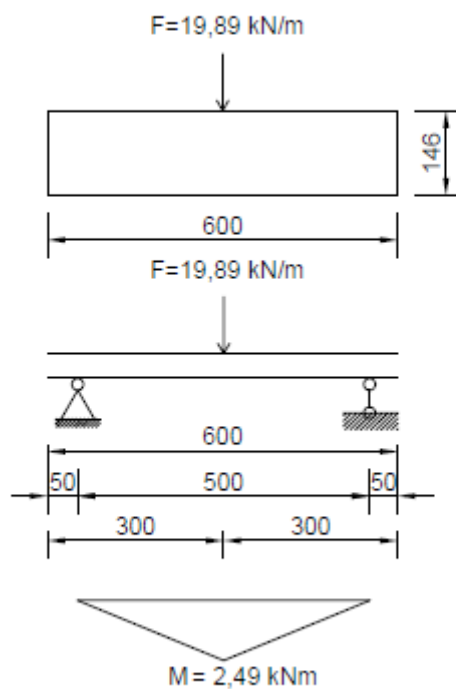
5 sijos (vientisos) skaičiavimai



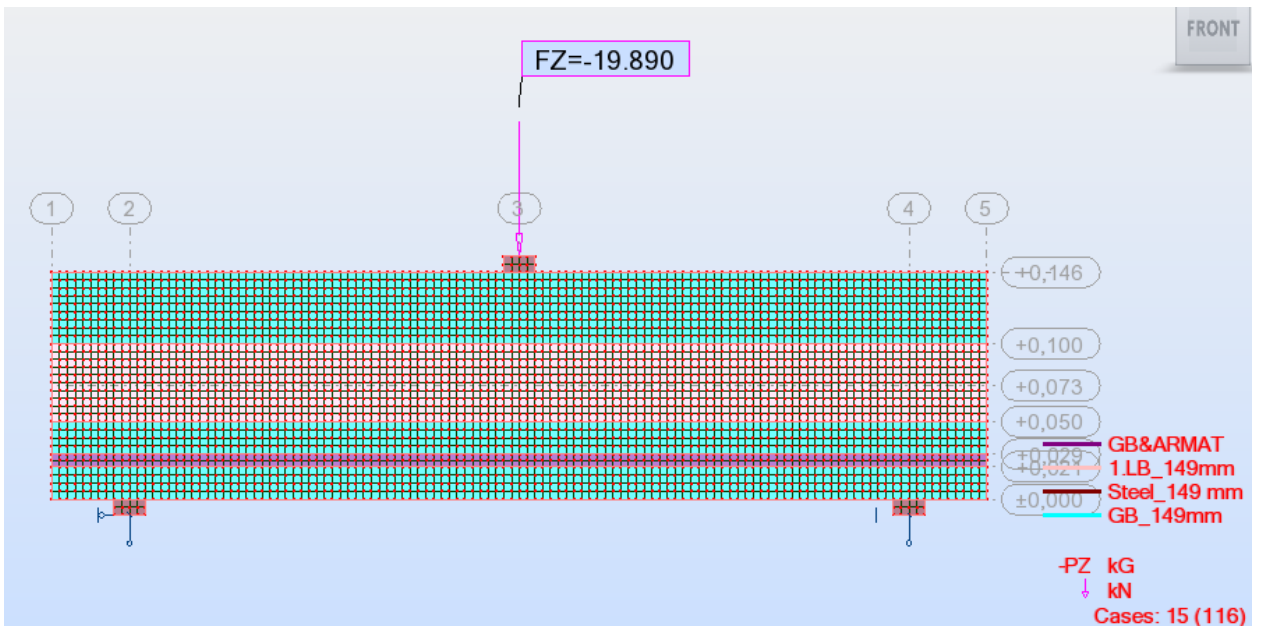
48.pav. Rezultatai

6 sija

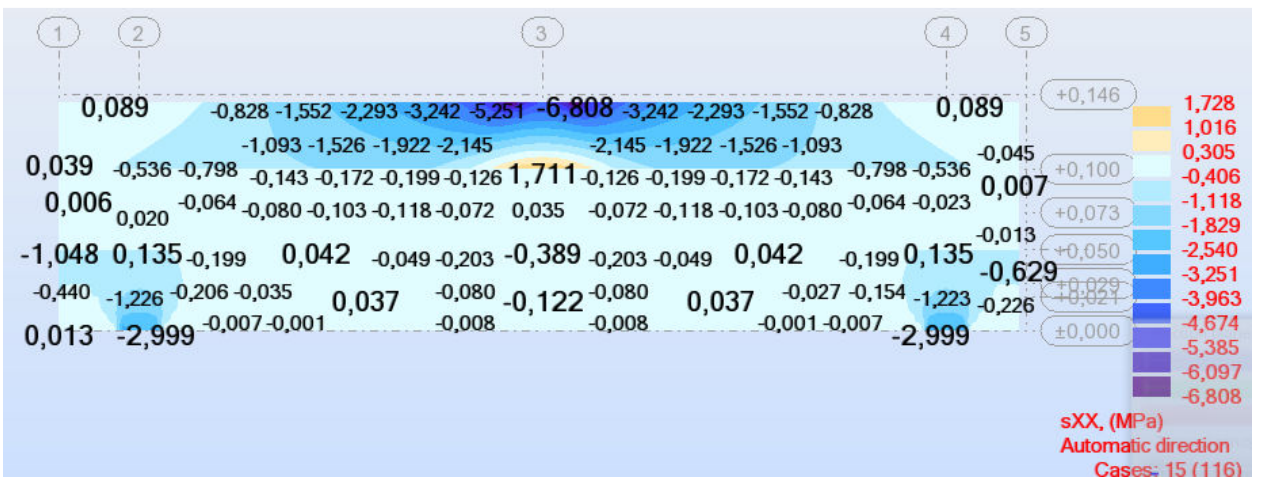
Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



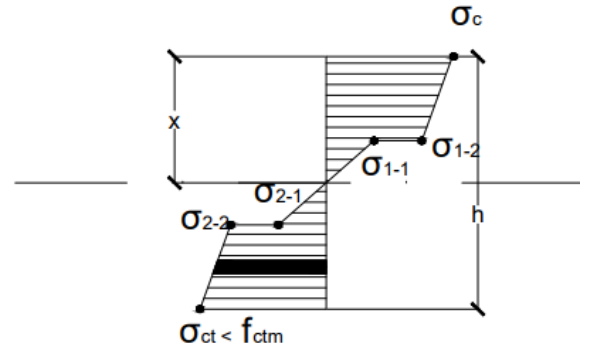
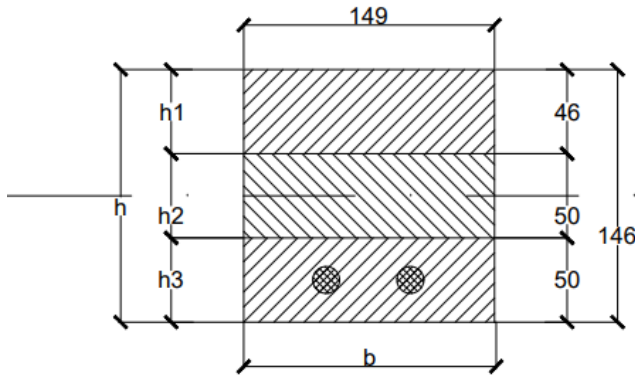
49.pav. Skaičiuojamoji schema



50.pav. Programoje naudojama 6 tipo sija



51.pav. Programos skaičiuojamoji schema



52.pav. Programos skaičiuojamoji schema

Kai $F = 19,89 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} \leq f_{ctm};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} \leq f_{ctm};$$

$f_{ctm} = 4,51 \text{ MPa};$

Skerspjūvio inercinis momentas neutralios ašies atžvilgiu:

$$I_{\text{eff}} = \frac{b \cdot h_{1,3 \text{ vid}}}{2} \cdot \left(\frac{h_{1,3 \text{ vid}}}{3} + h_0^2 \right) + 2 \cdot b \cdot h_{1,3 \text{ vid}} \cdot (0,5 \cdot h - y_{\text{eff}})^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + 2 \cdot b \cdot h_2 \text{ vid} \cdot (0,5 \cdot h - y_{\text{eff}})^2 + \alpha \cdot A_{s1} (y_{\text{eff}} - a_{s1}) = \frac{0,148 \cdot 0,048^3}{12} \cdot \left(\frac{0,048^2}{3} + 0,1^2 \right) + 2 \cdot 0,148 \cdot 0,048 \cdot (0,5 \cdot 0,148 - 0,0709)^2 + 0,76 \cdot \frac{0,148 \cdot 0,050^3}{12} + 2 \cdot 0,148 \cdot 0,050 \cdot (0,5 \cdot 0,148 - 0,0709)^2 + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} (0,0709 - 0,025) = 0,399 \cdot 10^{-4} + 0,0013 \cdot 10^{-4} + 0,011 \cdot 10^{-4} + 0,0013 \cdot 10^{-4} + 0,281 \cdot 10^{-4} = 0,694 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4;$$

$$\alpha = \frac{E_1}{E_4} = \frac{26,5 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 0,76$$

$$y_{\text{eff}} = \frac{S_1}{A_1} = \frac{0,00146}{0,0206} = 0,0709 \text{ m};$$

$$x_{\text{eff}} = h - y_{\text{eff}} = 0,146 - 0,0709 = 0,0751 \text{ m};$$

$$\alpha = \frac{E_{sm}}{E_4} = \frac{205 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 5,86$$

Sijos statinis momentas apatinio sluoksnio atžvilgiu:

$$S_c = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha (b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2)) + \alpha \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} =$$

$$0,5 \cdot 0,148 \cdot 0,050^2 + 0,148 \cdot 0,046 \cdot 0,123 + 0,76 \cdot (0,149 \cdot 0,05 \cdot 0,075) + 5,86 \cdot 1,01 \cdot$$

$$10^{-4} \cdot 0,025 = 0,00019 + 0,000837 + 0,000425 + 0,0000147 = 0,00146 \text{ m}^3;$$

$$A_1 = b \cdot h_{1+3} + \alpha \cdot (b \cdot h_2) + \alpha \cdot A_{s1} = 0,149 \cdot 0,096 + \alpha \cdot (0,149 \cdot 0,05) + 5,86 \cdot 1,01 \cdot$$

$$10^{-4} = 0,0143 + 0,0057 + 0,000592 = 0,0206 \text{ m}^2;$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,54 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,7 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot (0,0751 - 0,046)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,044 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 1,044 \cdot 0,76 = \mathbf{0,793 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{eff} - j)}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,75 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,75 \cdot 0,76 = \mathbf{0,57 \text{ MPa}}$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,639 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,676 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot (0,0751 - 0,046)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,262 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,262 \cdot 0,76 = \mathbf{0,199 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{eff} - j)}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,188 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,188 \cdot 0,76 = \mathbf{0,143 \text{ MPa}}$$

Kai F= 10 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,277 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,353 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot (0,0751 - 0,046)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,364 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,364 \cdot 0,76 = \mathbf{0,277 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,25 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,376 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,376 \cdot 0,76 = \mathbf{0,286 \text{ MPa}}$$

Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{\text{ct}} = \frac{M \cdot y_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,916 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{\text{c}} = \frac{M \cdot x_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,029 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{\text{eff}} - i)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot (0,0751 - 0,046)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,786 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

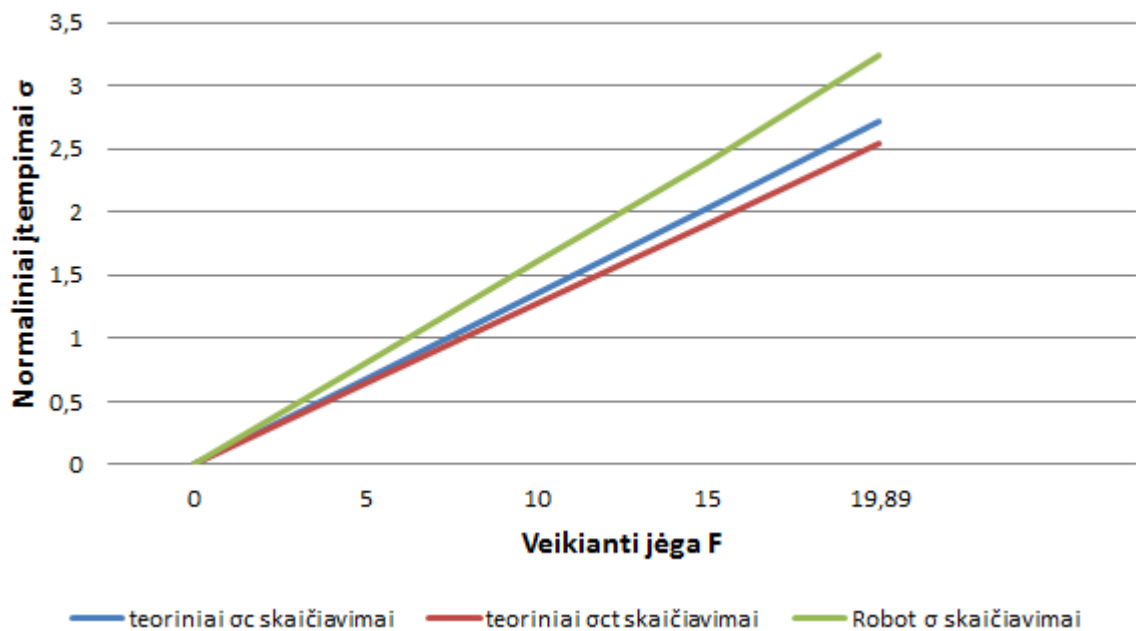
$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,786 \cdot 0,76 = \mathbf{0,597 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,565 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,565 \cdot 0,76 = \mathbf{0,429 \text{ MPa}}$$

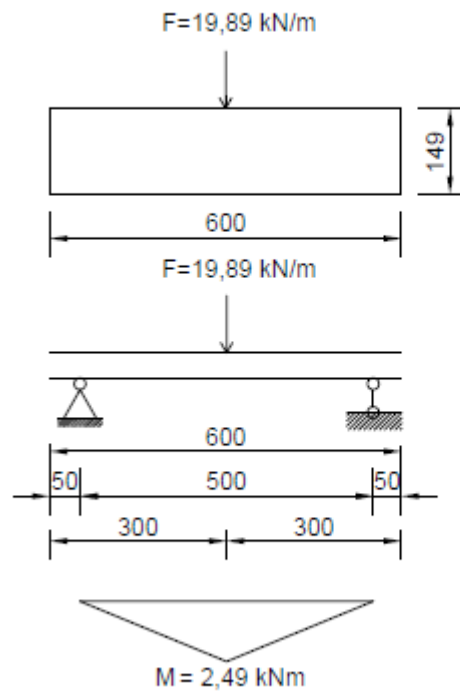
6 sijos skaičiavimai



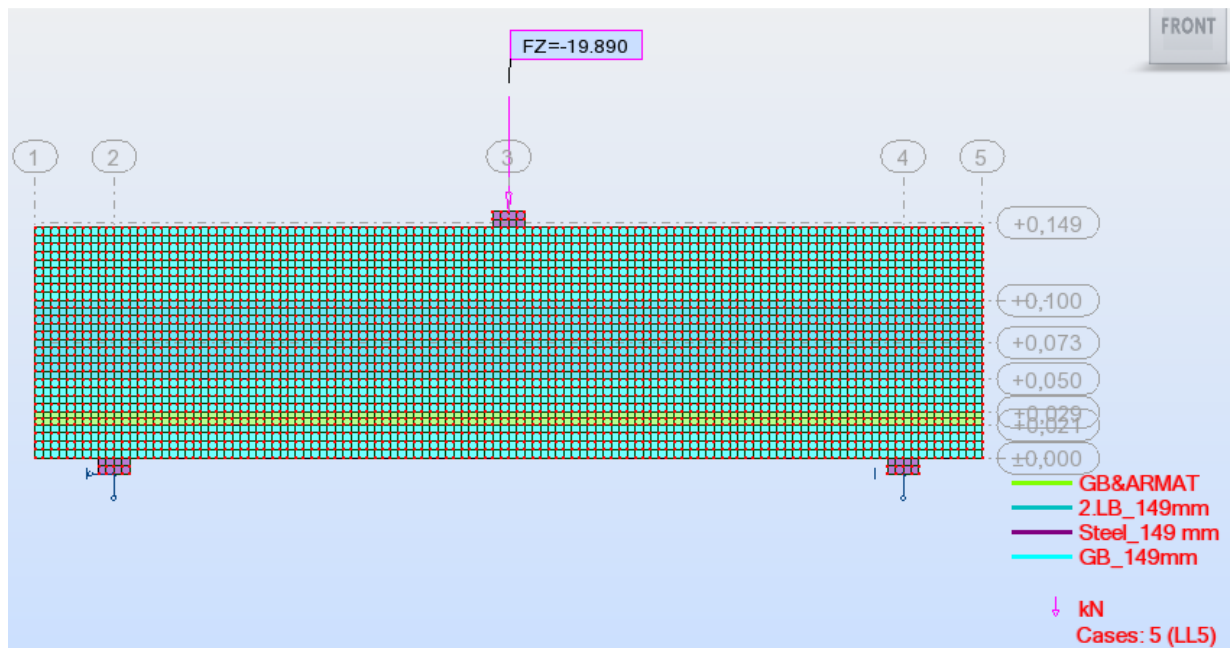
53.pav. Rezultatai

7 sija

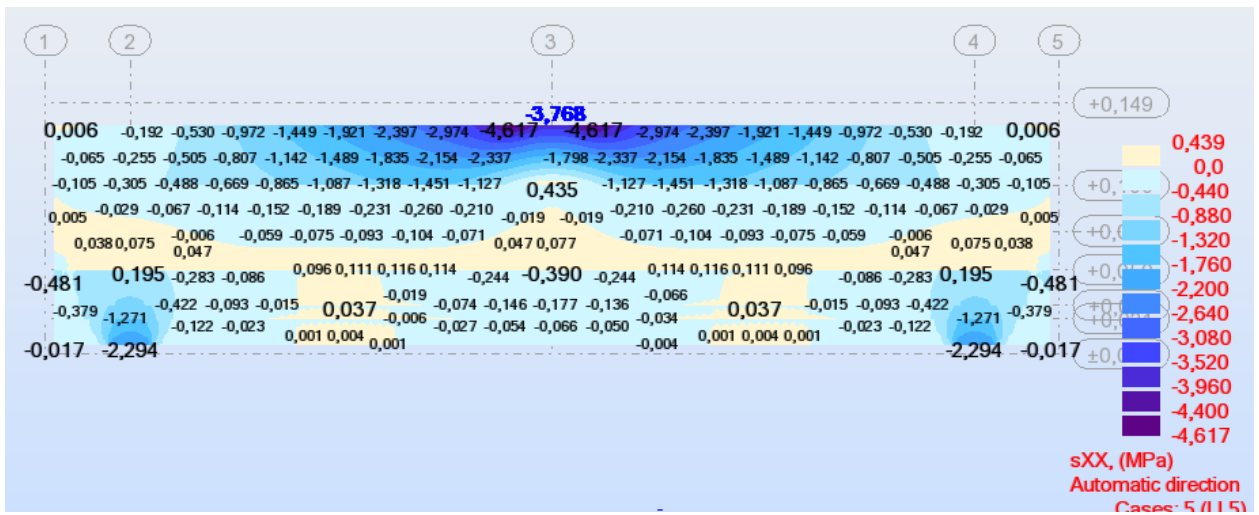
Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



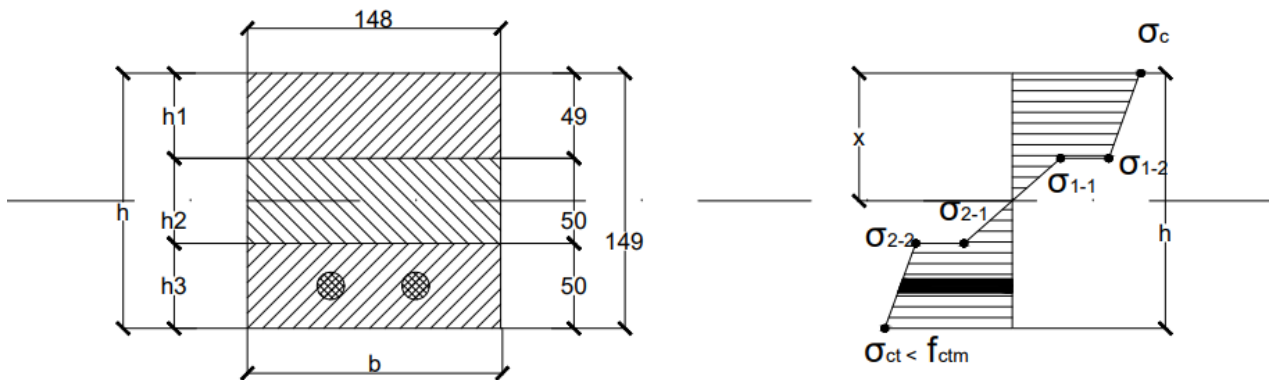
54.pav. Skaičiuojamoji schema



55. pav. Programoje naudojama 7 tipo sija



56.pav. Programos skaičiuojamoji schema



57.pav. Programos skaičiuojamoji schema

Kai $F = 19,89 \text{ kN}$

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} \leq f_{ctm};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} \leq f_{ctm};$$

$f_{ctm} = 4,51 \text{ MPa};$

Skerspjūvio inercinis momentas neutralios ašies atžvilgiu:

$$I_{eff} = \frac{b \cdot h_{1,3 \text{ vid}}}{2} \cdot \left(\frac{h_{1,3 \text{ vid}}}{3} + h_0^2 \right) + 2 \cdot b \cdot h_{1,3 \text{ vid}} \cdot (0,5 \cdot h - y_{eff})^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + 2 \cdot b \cdot h_{2 \text{ vid}} \cdot$$

$$(0,5 \cdot h - y_{eff})^2 + \alpha \cdot A_{s1} (y_{eff} - a_{s1}) = \frac{0,148 \cdot 0,048^3}{12} \cdot \left(\frac{0,048^2}{3} + 0,1^2 \right) + 2 \cdot 0,148 \cdot 0,048 \cdot$$

$$(0,5 \cdot 0,148 - 0,0709)^2 + 0,77 \cdot \frac{0,148 \cdot 0,050^3}{12} + 2 \cdot 0,148 \cdot 0,050 \cdot (0,5 \cdot 0,148 - 0,0709)^2 + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} (0,0709 - 0,025) = 0,399 \cdot 10^{-4} + 0,0013 \cdot 10^{-4} + 0,011 \cdot 10^{-4} + 0,0013 \cdot 10^{-4} + 0,281 \cdot 10^{-4} = 0,694 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4;$$

$$\alpha = \frac{E_1}{E_4} = \frac{26,6 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 0,77$$

$$y_{\text{eff}} = \frac{S_1}{A_1} = \frac{0,00146}{0,0206} = 0,0709 \text{ m};$$

$$x_{\text{eff}} = h - y_{\text{eff}} = 0,149 - 0,0709 = 0,0781 \text{ m};$$

$$\alpha = \frac{E_{\text{sm}}}{E_4} = \frac{205 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 5,86$$

Sijos statinis momentas apatinio sluoksnio atžvilgiu:

$$S_c = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha (b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2)) + \alpha \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} = 0,5 \cdot 0,148 \cdot 0,050^2 + 0,148 \cdot 0,049 \cdot 0,123 + 0,77 \cdot (0,148 \cdot 0,05 \cdot 0,075) + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 = 0,00019 + 0,000837 + 0,000425 + 0,0000147 = 0,00146 \text{ m}^3;$$

$$A_1 = b \cdot h_{1+3} + \alpha \cdot (b \cdot h_2) + \alpha \cdot A_{s1} = 0,148 \cdot 0,096 + \alpha \cdot (0,148 \cdot 0,05) + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} = 0,0143 + 0,0057 + 0,000592 = 0,0206 \text{ m}^2;$$

$$\sigma_{\text{ct}} = \frac{M \cdot y_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{2,49 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,54 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{2,49 \cdot 0,0781}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,8 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{\text{eff}} - i)}{I_{\text{eff}}} = \frac{2,49 \cdot (0,0781 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,044 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 1,044 \cdot 0,77 = \mathbf{0,804 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{2,49 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,75 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,75 \cdot 0,77 = \mathbf{0,578 \text{ MPa}}$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{\text{ct}} = \frac{M \cdot y_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{0,625 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,639 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{0,625 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,676 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{\text{eff}} - i)}{I_{\text{eff}}} = \frac{0,625 \cdot (0,0781 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,262 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,262 \cdot 0,77 = \mathbf{0,202 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{0,625 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,188 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,188 \cdot 0,77 = \mathbf{0,145 \text{ MPa}}$$

Kai F= 10 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{\text{ct}} = \frac{M \cdot y_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,25 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,277 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{\text{c}} = \frac{M \cdot x_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,25 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,353 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{\text{eff}} - i)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,25 \cdot (0,0781 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,364 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,364 \cdot 0,77 = \mathbf{0,28 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,25 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,376 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,376 \cdot 0,77 = \mathbf{0,29 \text{ MPa}}$$

Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{\text{ct}} = \frac{M \cdot y_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot 0,0709}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,916 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{\text{c}} = \frac{M \cdot x_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot 0,0751}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,029 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{\text{eff}} - i)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot (0,0751 - 0,046)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,786 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

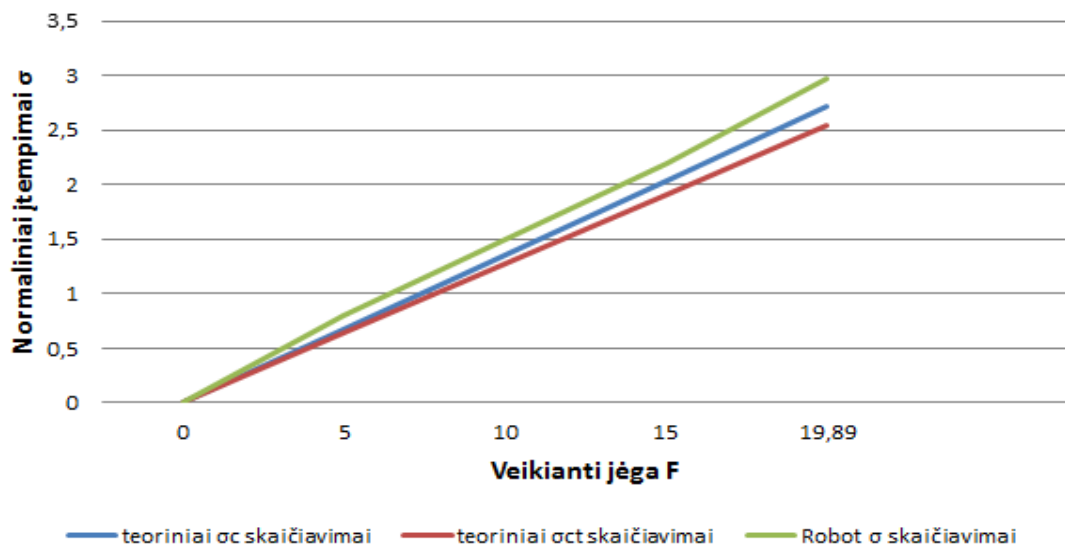
$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,786 \cdot 0,77 = \mathbf{0,605 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot (0,0709 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,565 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,565 \cdot 0,77 = \mathbf{0,435 \text{ MPa}}$$

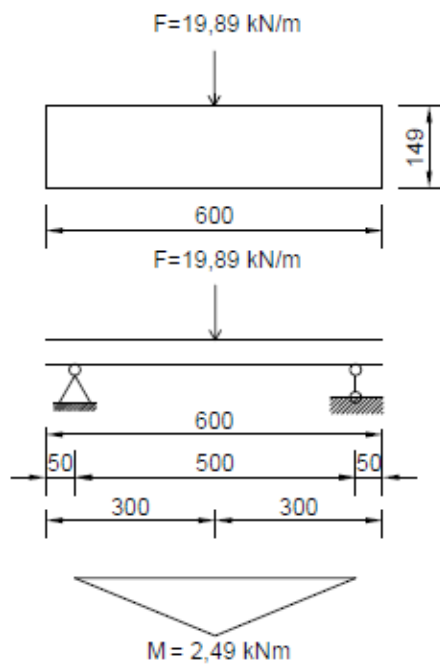
7 sijos skaičiavimai



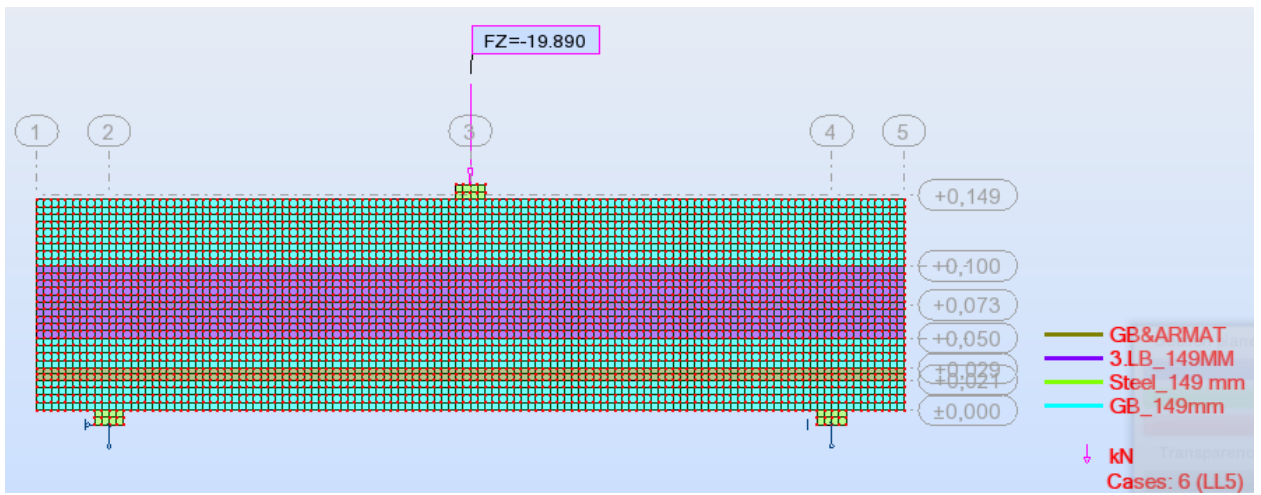
58.pav. Rezultatai

8 sija

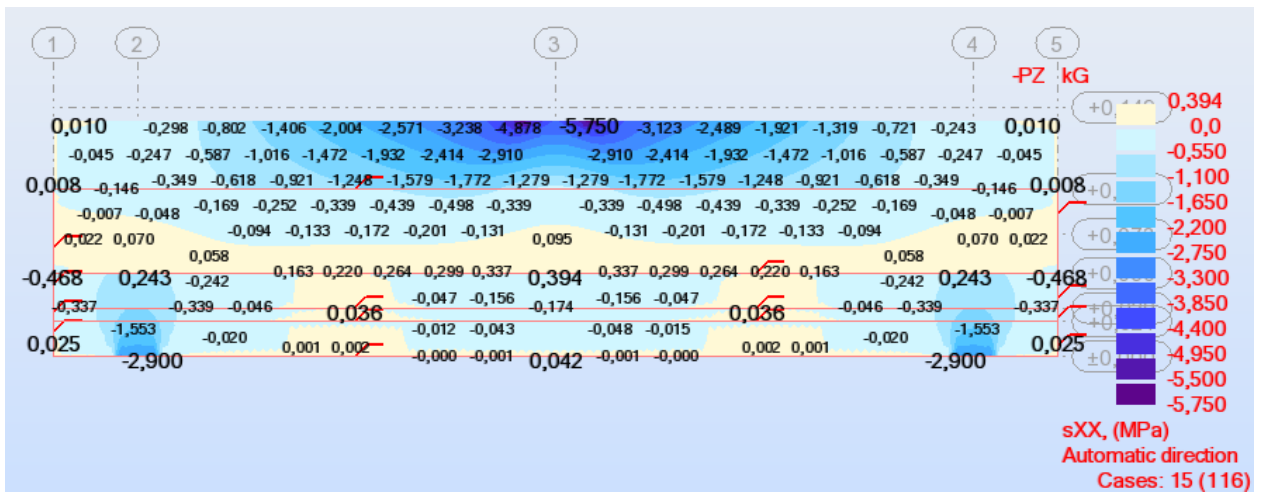
Sijos skaičiuojamoji schema ir įrašos



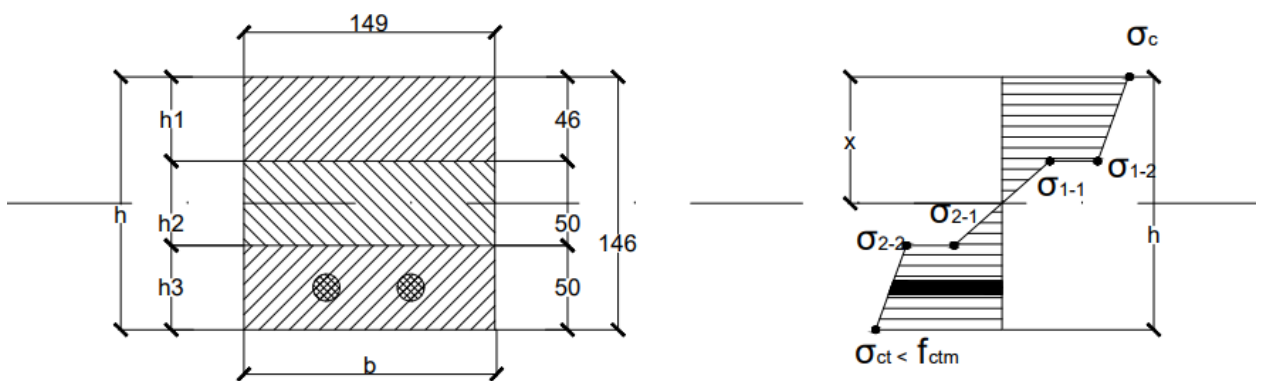
59.pav. Skaičiuojamoji schema



60. pav. Programoje naudojami 8 tipo sija



61. pav. Programos skaičiuojamoji schema



62. pav. Programos skaičiuojamoji schema

Kai F= 19,89 kN

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{19,89 \cdot 0,5}{4} = 2,49 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} \leq f_{ctm};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} \leq f_{ctm};$$

$f_{ctm} = 4,51 \text{ MPa}$;

Skerspjūvio inercinis momentas neutralios ašies atžvilgiu:

$$I_{eff} = \frac{b \cdot h_{1,3 \text{ vid}}}{2} \cdot \left(\frac{h_{1,3 \text{ vid}}}{3} + h_0^2 \right) + 2 \cdot b \cdot h_{1,3 \text{ vid}} \cdot (0,5 \cdot h - y_{eff})^2 + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12} + 2 \cdot b \cdot h_{2 \text{ vid}} \cdot (0,5 \cdot h - y_{eff})^2 + \alpha \cdot A_{s1} (y_{eff} - a_{s1}) = \frac{0,149 \cdot 0,049^3}{12} \cdot \left(\frac{0,048^2}{3} + 0,1^2 \right) + 2 \cdot 0,149 \cdot 0,048 \cdot (0,5 \cdot 0,149 - 0,0734)^2 + 0,81 \cdot \frac{0,149 \cdot 0,050^3}{12} + 2 \cdot 0,149 \cdot 0,050 \cdot (0,5 \cdot 0,149 - 0,0734)^2 + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} (0,0734 - 0,025) = 0,399 \cdot 10^{-4} + 0,00017 \cdot 10^{-4} + 0,012 \cdot 10^{-4} + 0,0018 \cdot 10^{-4} + 0,281 \cdot 10^{-4} = 0,694 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4;$$

$$\alpha = \frac{E_1}{E_4} = \frac{28,5 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 0,81$$

$$y_{eff} = \frac{S_1}{A_1} = \frac{0,00157}{0,0214} = 0,0734 \text{ m};$$

$$x_{eff} = h - y_{eff} = 0,149 - 0,0734 = 0,0756 \text{ m};$$

$$\alpha = \frac{E_{sm}}{E_4} = \frac{205 \text{ GPa}}{35,0 \text{ GPa}} = 5,86$$

Sijos statinis momentas apatinio sluoksnio atžvilgiu:

$$S_c = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha (b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2)) + \alpha \cdot A_{s1} \cdot a_{s1} = 0,5 \cdot 0,149 \cdot 0,050^2 + 0,149 \cdot 0,049 \cdot 0,1245 + 0,81 \cdot (0,149 \cdot 0,05 \cdot 0,075) + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 = 0,00019 + 0,00091 + 0,0004525 + 0,0000147 = 0,00157 \text{ m}^3;$$

$$A_1 = b \cdot h_{1+3} + \alpha \cdot (b \cdot h_2) + \alpha \cdot A_{s1} = 0,149 \cdot 0,099 + \alpha \cdot (0,149 \cdot 0,05) + 5,86 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} = 0,0148 + 0,00603 + 0,000592 = 0,0214 \text{ m}^2;$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot 0,0734}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,634 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot 0,0756}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,71 \text{ MPa}};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot (0,0756 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,954 \text{ MPa}}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,954 \cdot 0,81 = \mathbf{0,773 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{eff} - j)}{I_{eff}} = \frac{2,49 \cdot (0,0734 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,84 \text{ MPa}}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,84 \cdot 0,81 = \mathbf{0,68 MPa}$$

Kai F= 5,00 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{5,00 \cdot 0,5}{4} = 0,625 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot 0,0734}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,661 MPa};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot 0,0756}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,681 MPa};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot (0,0756 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,24 MPa}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

Kai F= 10 kN;

$$\sigma_{1-1} = M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{10,00 \cdot 0,5}{4} = 1,25 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot 0,0734}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,322 MPa};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot 0,0756}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,362 MPa};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot (0,0756 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,479 MPa}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,479 \cdot 0,81 = \mathbf{0,388 MPa}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{eff} - j)}{I_{eff}} = \frac{1,25 \cdot (0,0734 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,421 MPa}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,421 \cdot 0,81 = \mathbf{0,341 MPa}$$

$$\sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,24 \cdot 0,81 = \mathbf{0,194 MPa}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{eff} - j)}{I_{eff}} = \frac{0,625 \cdot (0,0734 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,21 MPa}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,21 \cdot 0,81 = \mathbf{0,17 MPa}$$

Kai F= 15 kN;

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15,00 \cdot 0,5}{4} = 1,875 \text{ kNm};$$

$$\sigma_{ct} = \frac{M \cdot y_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,875 \cdot 0,0734}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{1,983 MPa};$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot x_{eff}}{I_{eff}} = \frac{1,875 \cdot 0,0756}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{2,043 MPa};$$

$$\sigma_{1-2} = \frac{M \cdot (x_{eff} - i)}{I_{eff}} = \frac{1,875 \cdot (0,0756 - 0,049)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,719 MPa}$$

čia i atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško

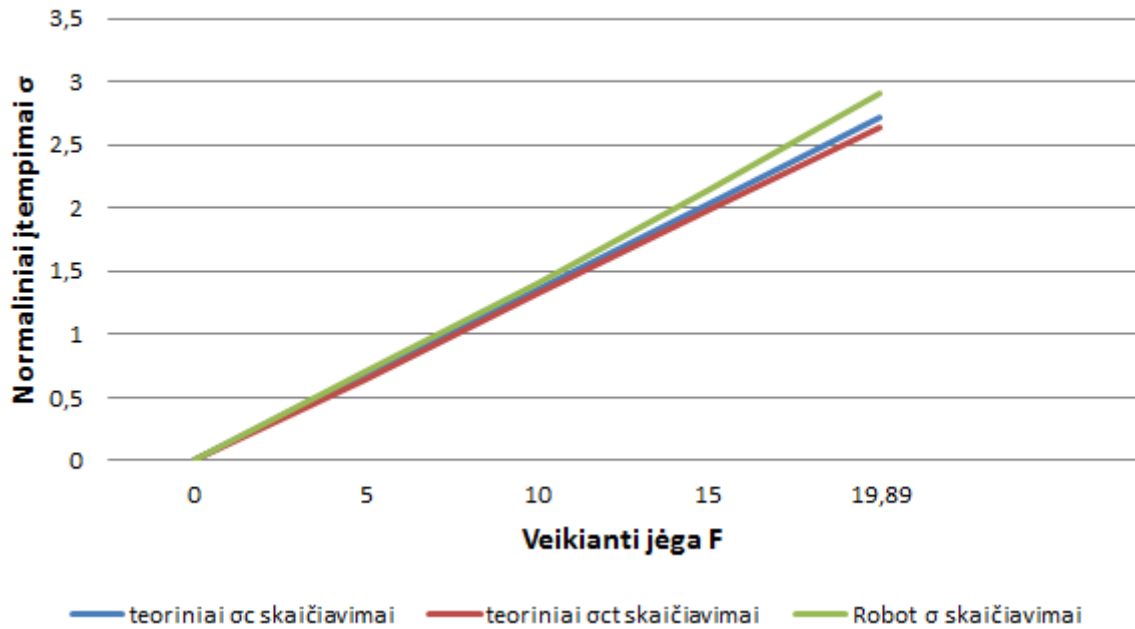
$$\sigma_{1-1} = \sigma_{1-2} \cdot \alpha = 0,719 \cdot 0,81 = \mathbf{0,582 MPa}$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{M \cdot (y_{\text{eff}} - j)}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,875 \cdot (0,0734 - 0,050)}{0,694 \cdot 10^{-4}} = 0,632 \text{ MPa}$$

čia j atstumas nuo gniuždomo krašto iki nagrinėjamo taško;

$$\sigma_{2-1} = \sigma_{2-2} \cdot \alpha = 0,632 \cdot 0,81 = 0,512 \text{ MPa}$$

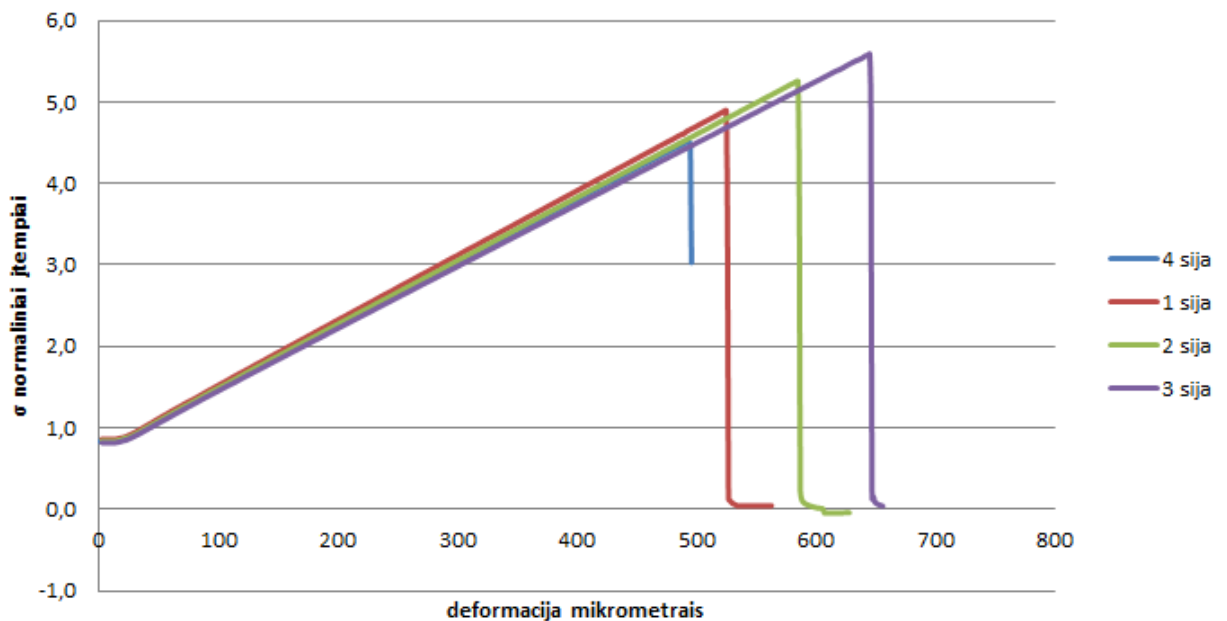
8 sijos skaičiavimai



63.pav. Rezultatai

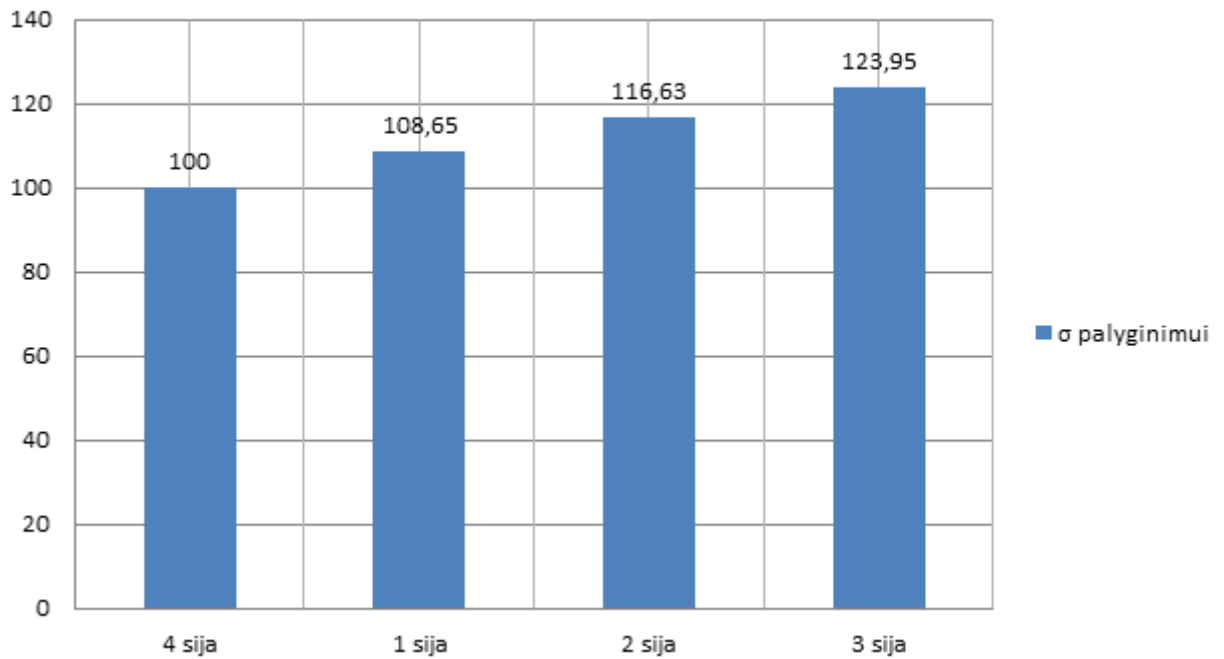
12.Sijų normalinių įtempių palyginimas

Gauti lenkimo duomenys



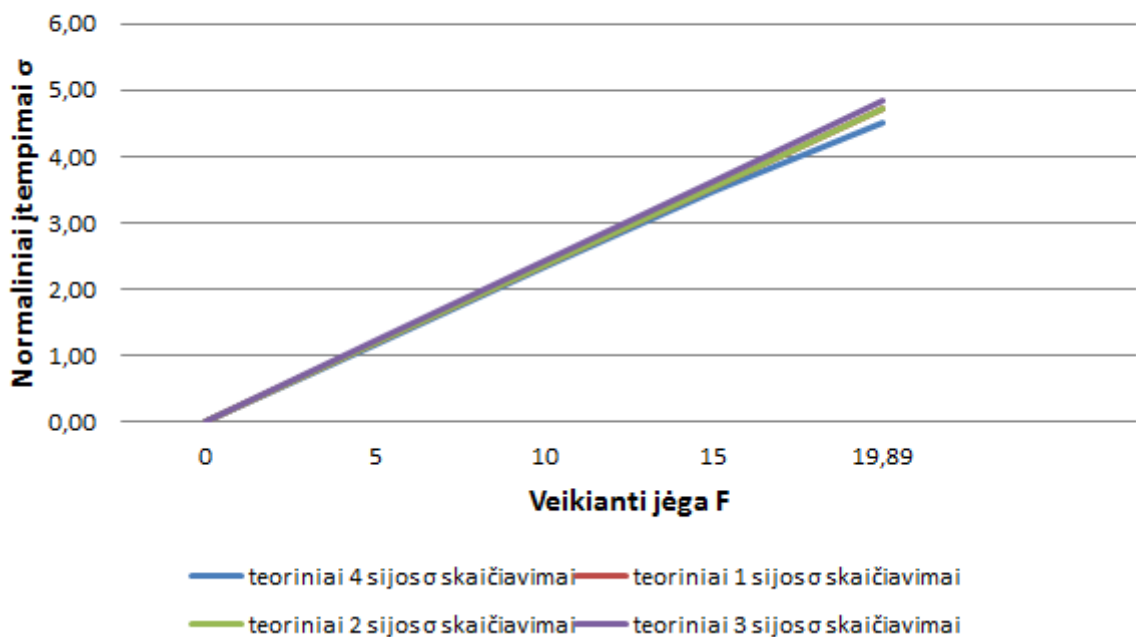
64.pav. Praktiniai lenkimo duomenys

Praktinių duomenų palyginimas %



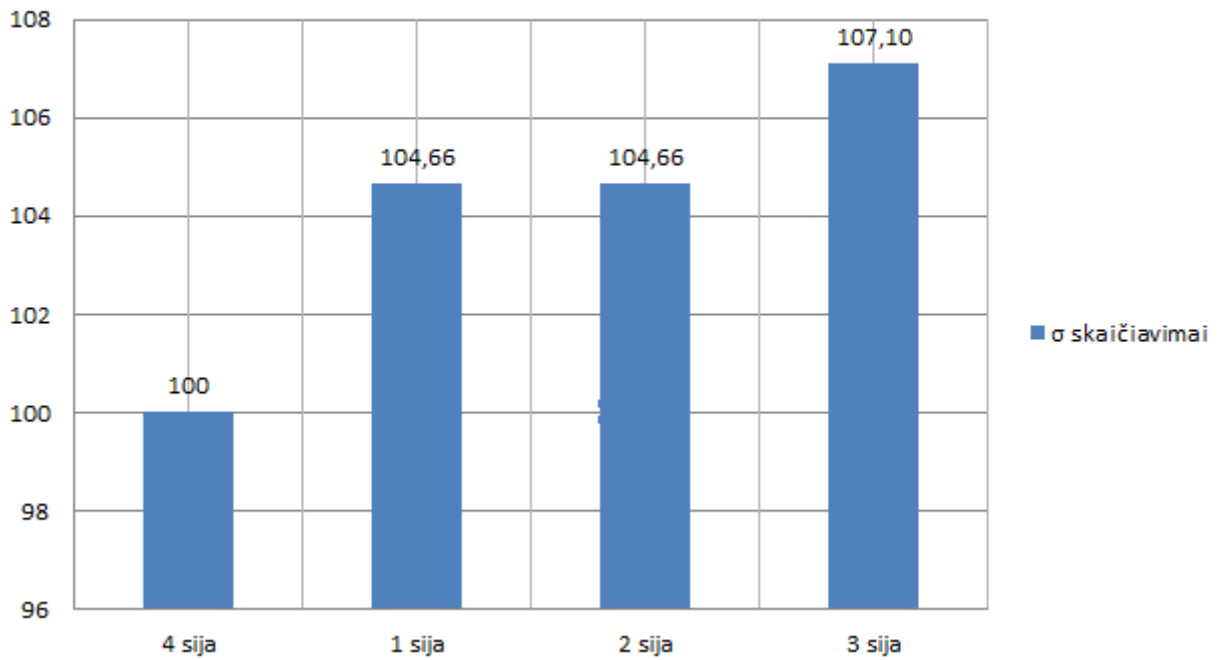
65.pav. Praktinių duomenų palyginimas

teoriniai sijų skaičiavimai



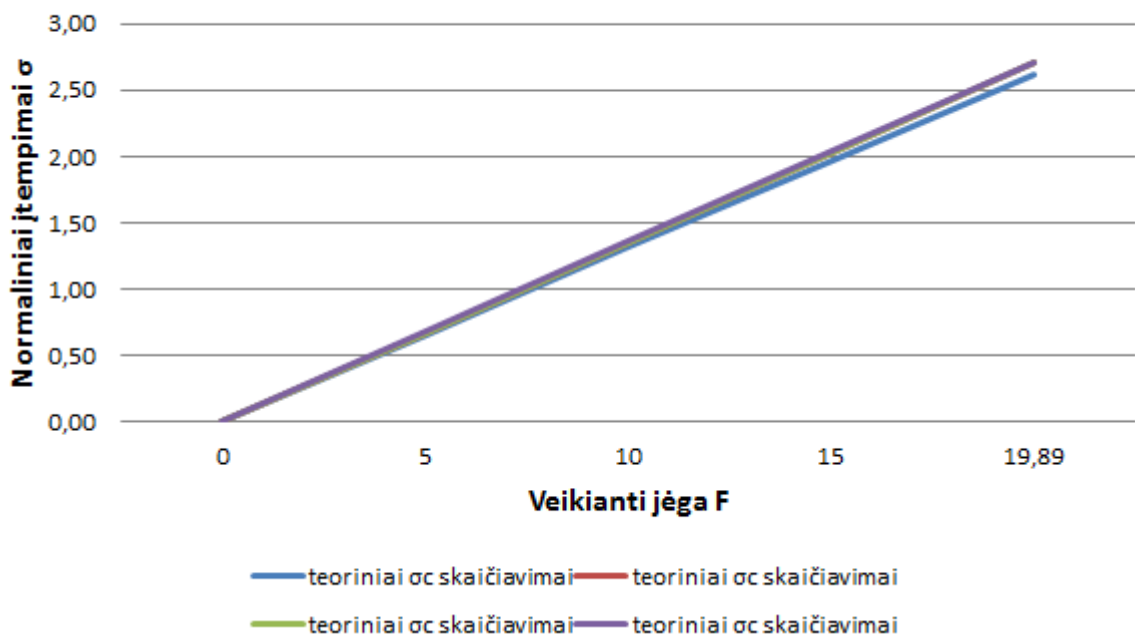
66.pav. Teoriniai sijų įtempimų skaičiavimai (1-4 sijos)

Teorinių duomenų palyginimas %



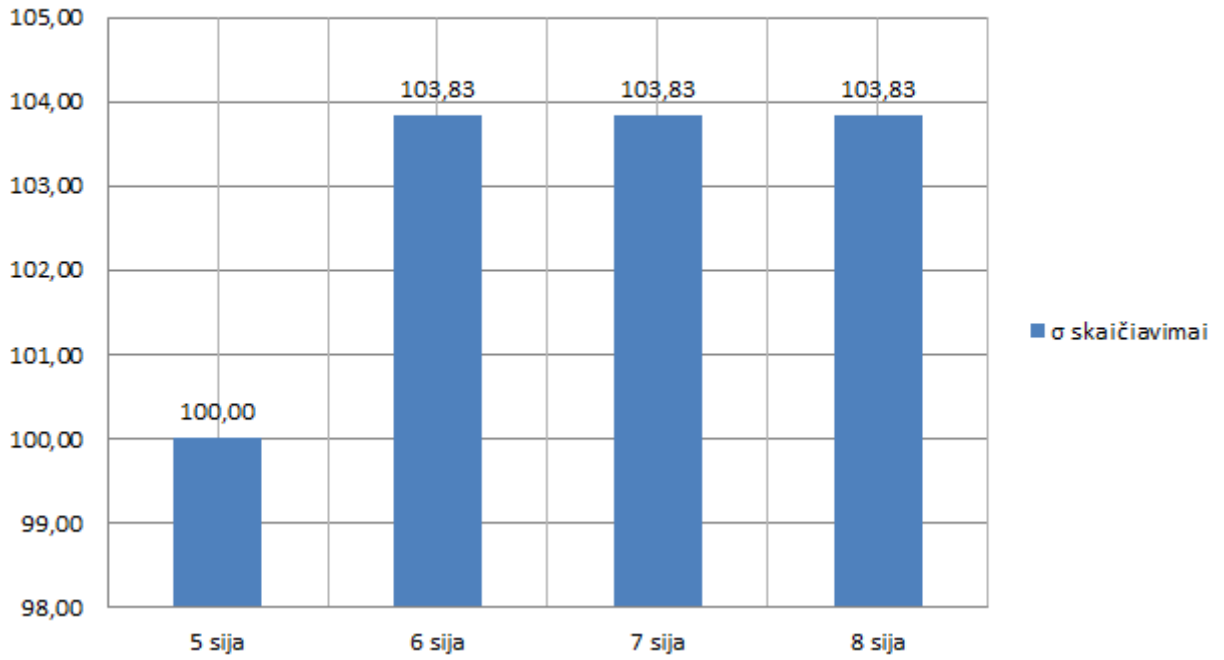
67.pav. Teorinių skaičiavimų palyginimas (1-4 sijos)

Teoriniai sijų skaičiavimai



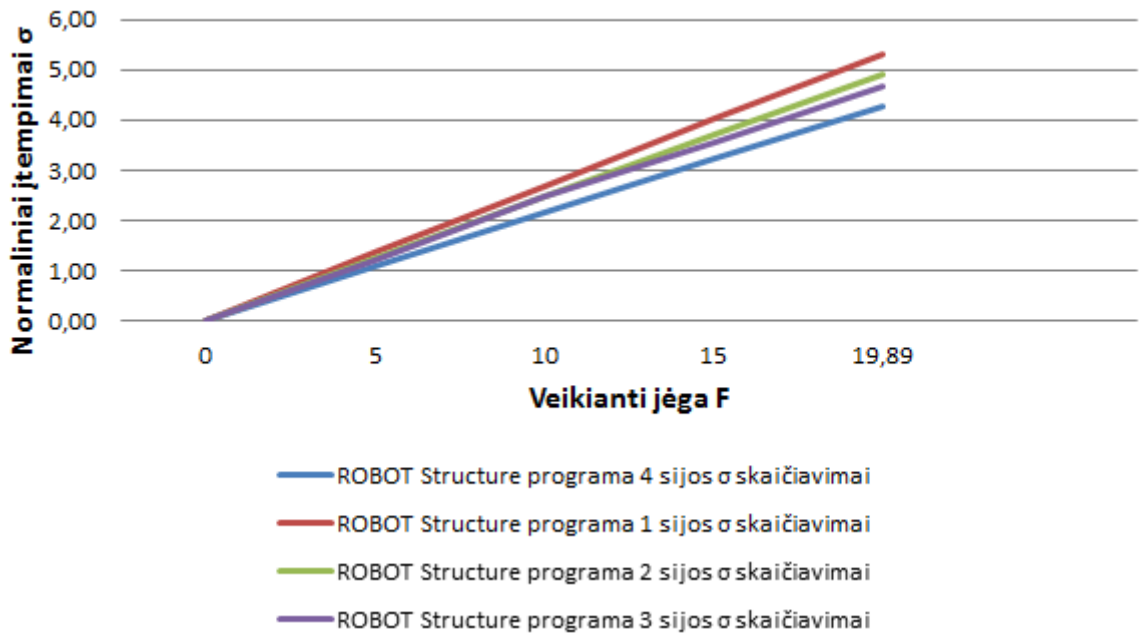
68.pav. Teoriniai sijų įtempimų skaičiavimai (5-8 sijos)

Teorinių duomenų palyginimas %



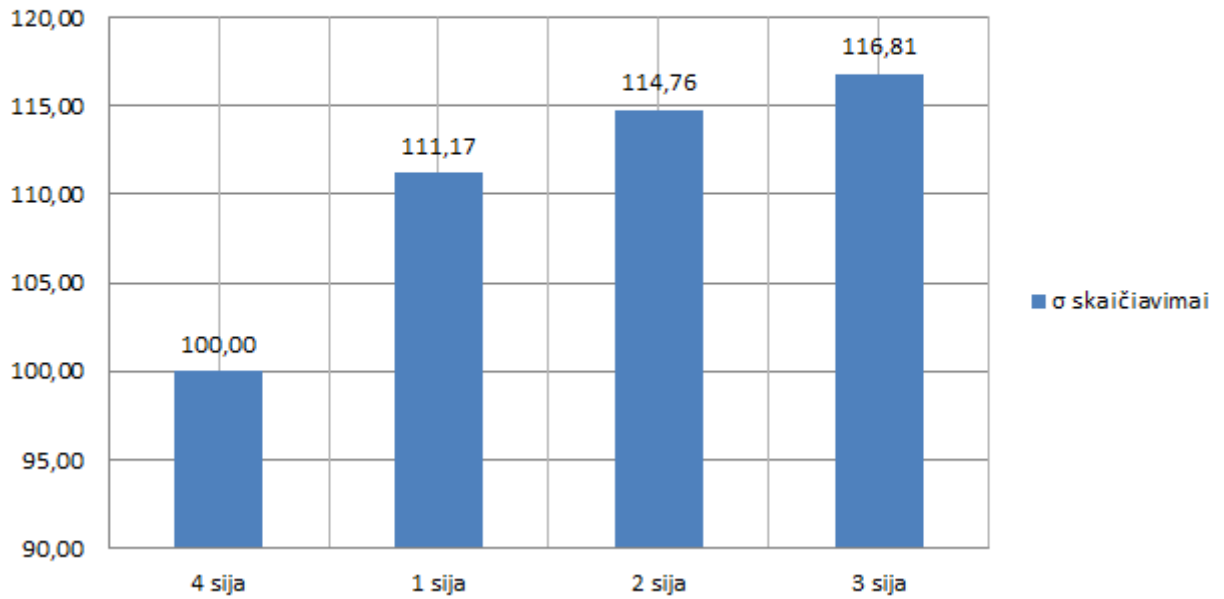
69.pav. Teorinių skaičiavimų palyginimas (5-8 sijos)

ROBOT Structure programa sijų skaičiavimai



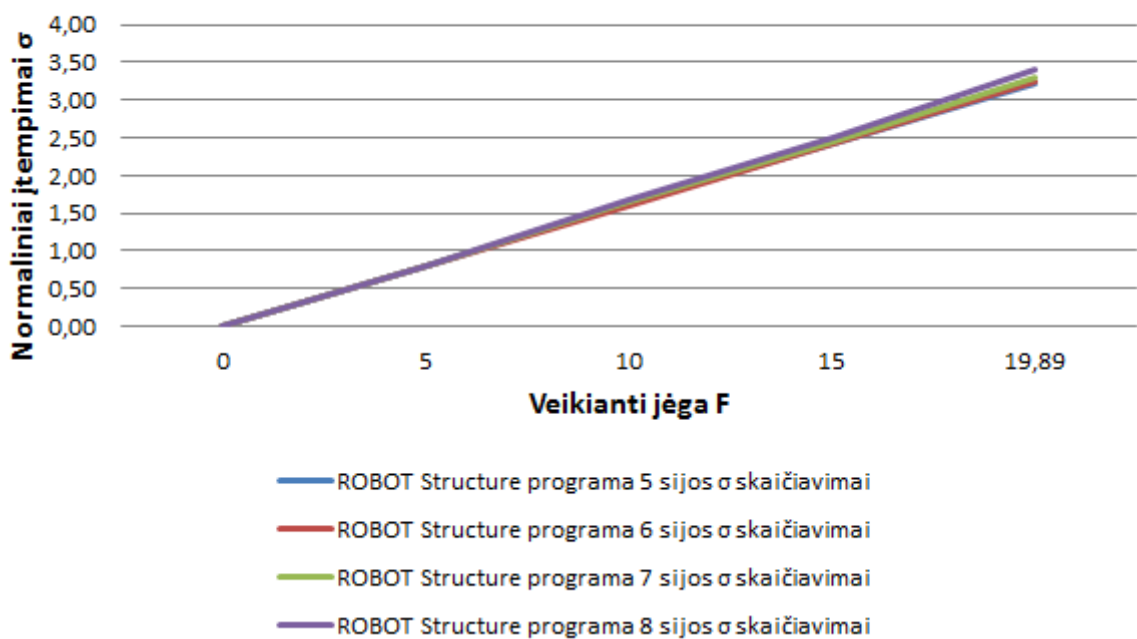
70.pav. ROBOT programos sijų skaičiavimai (1-4 sijos)

ROBOT Structure programa duomenų palyginimas %



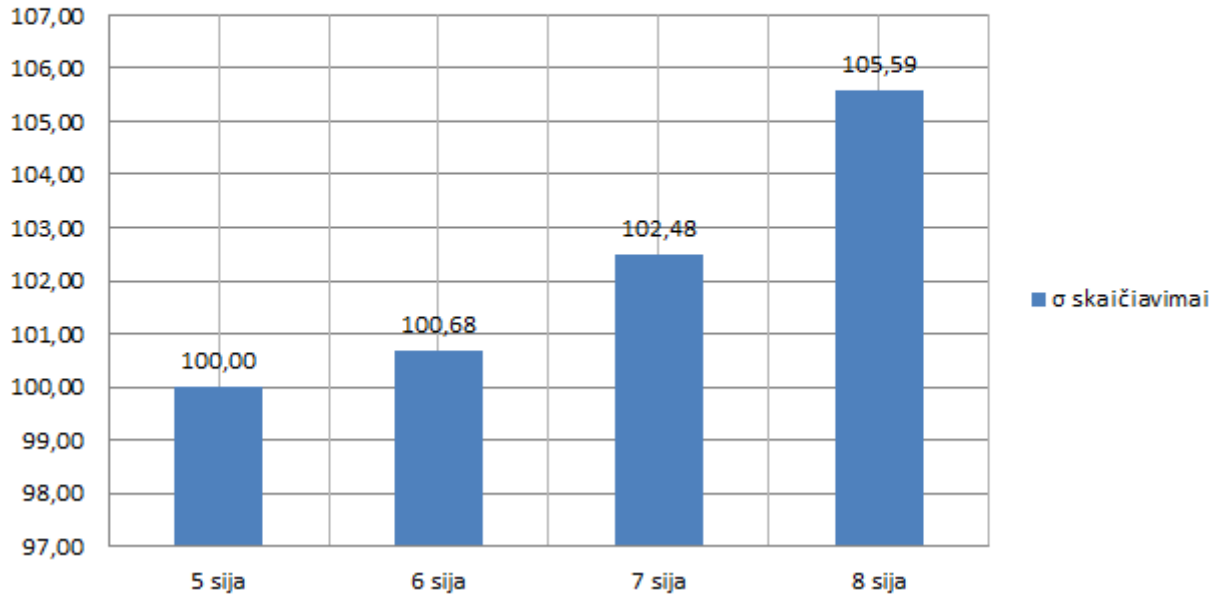
71.pav. ROBOT programos duomenų palyginimas (1-4 sijos)

ROBOT Structure programa sijų skaičiavimai



72.pav. ROBOT programos sijų skaičiavimai (5-8 sijos)

ROBOT Structure programa duomenų palyginimas %



73.pav. ROBOT programos duomenų palyginimas (5-8 sijos)

13. Teoriniai šlyties įtempių skaičiavimai bei rezultatai iš „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programos

1 sija

$$\tau_{max} = \frac{V \cdot S_{red}}{b \cdot I_{red}} = \frac{20,96 \cdot 0,00145}{0,149 \cdot 0,414 \cdot 10^{-4}} = 0,492 \text{ MPa}$$

Kai F= 20,96 kN

$$I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_3 = \frac{b \cdot h_{1,3 \text{ vid}}}{2} \cdot \left(\frac{h_{1,3 \text{ vid}}}{3} + h_0^2 \right) + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12}$$

$$= 0,4035 \cdot 10^{-4} + 0,0114 \cdot 10^{-4} = 0,414 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$S_{red} = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha (b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2))$$

$$= 0,00019 + 0,000836 + 0,000425 = 0,00145 \text{ m}^3$$



Teoriškai apskaičiuotas $\tau_{max} = 0,492 MPa$;

Iš programos gautas $\tau_{max} = 0,456 MPa$

Gautas iš kirpimo bandymų $\tau_{max} = 1,490 MPa$

74.pav. 1 sijos tangentiniai įtempiai programoje

2 sija

$$\tau = \frac{V \cdot S_{red}}{b \cdot I_{red}} = \frac{22,95 \cdot 0,00145}{0,148 \cdot 0,414 \cdot 10^{-4}} = 0,543 MPa$$

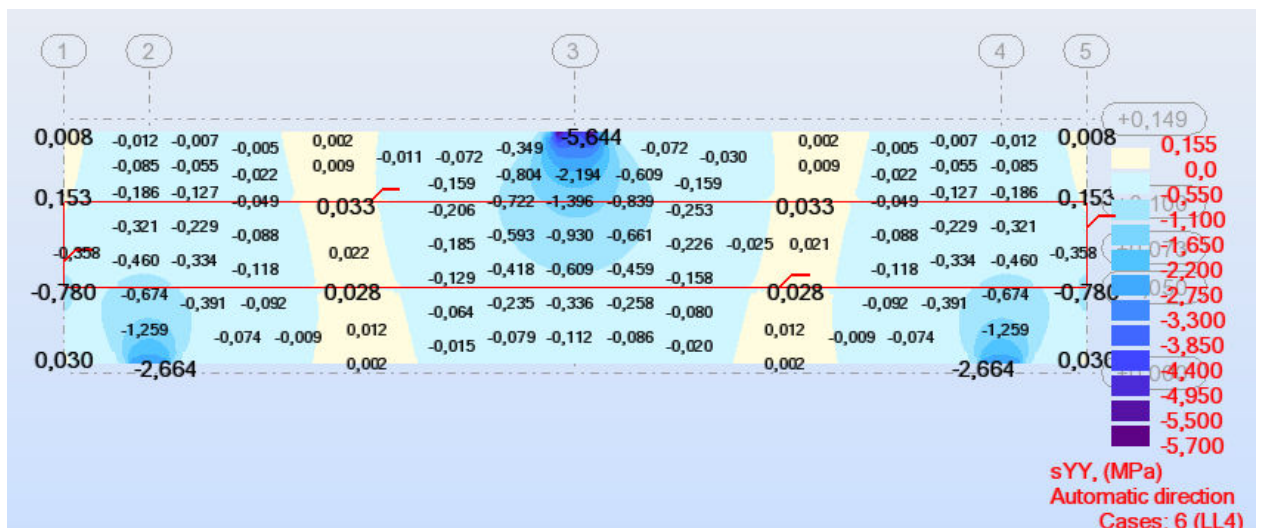
Kai $F = 22,95 kN$

$$I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_3 = \frac{b \cdot h_{1,3 \text{ vid}}}{2} \cdot \left(\frac{h_{1,3 \text{ vid}}}{3} + h_0^2 \right) + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12}$$

$$= 0,4035 \cdot 10^{-4} + 0,011 \cdot 10^{-4} = 0,414 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$S_{red} = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha (b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2))$$

$$= 0,00019 + 0,000836 + 0,000425 = 0,00145 m^3$$



Teoriškai apskaičiuotas $\tau_{max} = 0,543 MPa$;

Iš programos gautas $\tau_{max} = 0,804 MPa$

Gautas iš kirpimo bandymų $\tau_{max} = 1,615 MPa$

3 sija

$$\tau = \frac{V \cdot S_{red}}{b \cdot I_{red}} = \frac{24,99 \cdot 0,00157}{0,148 \cdot 0,416 \cdot 10^{-4}} = 0,637 MPa$$

Kai $F = 24,99 kN$

$$I_{red} = I_1 + I_3 + \alpha \cdot I_3 = \frac{b \cdot h_{1,3 \text{ vid}}}{2} \cdot \left(\frac{h_{1,3 \text{ vid}}}{3} + h_0^2 \right) + \alpha \cdot \frac{b \cdot h_2^3}{12}$$

$$= 0,4035 \cdot 10^{-4} + 0,012 \cdot 10^{-4} = 0,416 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

h_0 – atstumas tarp išorinių sluoksnių centrų;

$$S_{4red} = b \cdot h_1^2 \cdot 0,5 + b \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_2 + 0,5 \cdot h_3) + \alpha(b \cdot h_2 \cdot (h_1 + 0,5 \cdot h_2))$$

$$= 0,000186 + 0,00093 + 0,00045 = 0,00157 \text{ m}^3$$



76.pav. 3 sijos tangentiniai įtempiai prognozoje

Teoriškai apskaičiuotas $\tau_{max} = 0,637 \text{ MPa}$;

Iš programos gautas $\tau_{max} = 0,846 \text{ MPa}$

Gautas iš kirpimo bandymų $\tau_{max} = 1,815 \text{ MPa}$

14. Išvados

1. Sluoksniuotų arba kompozitinių konstrukcijų paklausa vis auga, nes jos geriau atitinka šių laikų keliamus vis griežtesnius šilumos ir garso laidumo, svorio bei kitus reikalavimus statomiems pastatams. Bet tokių konstrukcijų iš gelžbetonio ar betono skaičiavimo metodika nėra taip aprašyta ir kaip viensluoksnių, todėl ateityje ją bus būtina plėsti ir tobulinti.
2. Norint pagerinti bendras konstrukcijos fizikines savybes, viduriniam sluoksniui buvo imamas lengvesnis betonas, kuriam pagaminti buvo imama medžiaga pagaminta iš anrinių žaliavų. Tai stikloporas. Todėl palyginus svorį viensluoksnės (4 tipo) sijos su sluoksniuotomis (3,2 ir 1 tipo), skirtumas 9,04 %; 13,6% ir 19,09%.
3. Buvo pastebėta, kad bandymo metu naudojant mechanines ir chemines priemones galima pasiekti labai gero sluoksnių sukibimo ir atliekant lenkimo bandymus, nebuvo pastebėtas visiškai gaminių išsisluoksniavimas.
4. Atlikus lenkimo bandymus gauti rezultatai parodė, kad sluoksniuotos konstrukcijos atlaikė didesnes apkrovas bei skirtumas tarp gautų maksimalių įtempių duomenų 8,65%; 16,63% bei 23,95%.
5. Atlikus teorinius skaičiavimus gauta kad skirtumas skaičiuojant sluoksniuotas betono konstrukcijas ir imant praktinius bandymus nuo 4% (4,3,2 tipo) iki 10%(1 tipo), bei iki 7% skirtumas lyginant teorinius skaičiavimus tarp visų 4 tipų sijų. Vientisa sija buvo patvariausia.
6. Atlikus skaičiavimus „Autodesk Robot Structural Analysis Professional“ programa skirtumas imant praktinius bandymus 5-7% (4,3,2 tipo) iki 20%(1 tipo), bei nuo 11,17% iki 16,81% skirtumas lyginant duomenis gautus iš programos tarpusavyje. Vientisa sija buvo patvariausia.

Literatūra

1. Gediminas MARČIUKAITIS, J.VALIVONIS. Lengvos sluoksniuotosios statybinės konstrukcijos, VGTU 2008 ISBN 978-9955-28-124-5
2. Jonas BAREIŠIS Plastikų, kompozitų ir daugiasluoksnių konstrukcinių elementų stiprumas, Kaunas 2006 ISBN 9955-25-150-6
3. Reda BISTRICKAITĖ, G. MARČIUKAITIS, R.ŽILINSKAS Surenkamosios monolitinės gelžbetonio perdangos su liktiniais klojiniais, Kaunas 2004 ISBN 9955-09-762-0
4. Olga FINOŽENOK, Rimvydas ŽURAUSKAS. Makrostruktūriniai betono bandinių pagamintų naudojant betono atliekas, tyrimai. *Science: Future of Lithuania*, 2011 3(2): 65–70. ISSN 2029-2341
5. ŽURAUSKIENĖ, Ramunė; VALENTUKEVIČIENĖ, Marina; ŽURAUSKAITĖ, Raminta. Filter Medias from Granulated Foam-glass, Properties Investigated for Water Treatment Possibilities. *Science–Future of Lithuania/Mokslas–Lietuvos Ateitis*, 2017, 9.4: 419-423. ISSN-2029-2341
6. Gintaris KAKLAUSKAS, Darius BAČINSKAS, ViktorGRIBNIAK, Ronaldas JAKUBOVSKIS, Darius ULBINAS, Eugenijus GUDONIS, Adas MEŠKĖNAS, Edgaras TIMINSKAS, Aleksandr SOKOLOV. KOMPOZITAIS ARMUOTOS BETONINĖS KONSTRUKCIJOS. Vilnius „Technika“ 2012. ISBN 978-609-457-349-1
7. Rolandas MASKOLIŪNAS. Naujos medžiagos: ir betonas gali būti sumanus [interaktyvus]24 gruodžio 2017 22:01:51 [žiūrėta 2017 m. gruodžio 10 d.] <http://www.lrt.lt/naujienos/mokslas-ir-it/1/93961/naujos-medziagos-ir-betonas-gali-buti-sumanus>
8. Marija VAIČIENĖ, Technogeninių, statybinių ir buitinių atliekų naudojimas gaminant betoną. *Mokslas–Lietuvos ateitis*, 1(5), 20-24. ISSN 2029-2341
9. Marija VAIČIENĖ, Concrete Production Using Technogenical, Constructional and Domestic Waste. *Science–Future of Lithuania/Mokslas–Lietuvos Ateitis*, 1(5), 20-24 ISSN 2029-2341
10. M. LAZAUSKAS, M., Tilinga, A. Statybos ir griovimo atliekų susidarymą, rūšiavimą bei panaudojimą įtakančių veiksnių analizė, iš 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2011 metų teminės konferencijos „Statyba“ straipsnių rinkinys. ISBN 978-9955-28-929-6.
- 11.
12. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos : statybos techniniai reglamentai. Vilnius : Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2003.
13. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas Patvirtinta 2005 m. sausio 26 d. Galioja nuo 2005 m. vasario 7 d. Vilnius : Rekona, 2005.

14. Juozas VALIKONIS, V. VENCKEVIČIUS. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Metodiniai nurodymai, Kaunas : KPI, 1987. UDK: 624.012.45.04 (07).
15. V.VENSKEVIČIUS. Įtemptojo gelžbetonio sijų projektavimas. Metodiniai nurodymai. Kaunas, „KTU“ Kauno technologijos universitetas (KTU). Statybinės technikos katedra. 1990. UDK: 624.012.45 (075.8).
16. _Index of / konspektai / Skaic_mech / Inziner_met / Teorija [interaktyvus] 2009-09-07 http://www.techmat.vgtu.lt/konspektai/Skaic_mech/Inziner_met/Teorija/AGG_P10.pdf
17. Algirdas VALENTINAVIČIUS, Balys VALIŪNAS. Medinės konstrukcijos. Vilnius 2000 ISBN 9986-433-20-7
18. Saulius DILIŪNAS, Nerijus MESLINAS, Audrius JUSTAS, Vytautas ČIAPAS. Skespjūvio geometrinės charakteristikos:paprastai ir ne tik. KTU Kaunas 2013. ISBN 978-609-02-0969-1
19. LST EN 1015-11 „Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymas“
20. LST EN 206-1 „Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis“
21. LST EN 12390-5 „Sukietėjusio betono bandymai. 5 dalis. Bandinių lenkimo stipris“
22. LST EN 826 „Statybinės termoizoliacinės medžiagos. Stiprio gniuždant nustatymas“
23. Marčiukaitis, G. "Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai." V.: Technika (1998).
24. Mear, F., et al. "Elaboration and characterisation of foam glass from cathode ray tubes." *Advances in applied ceramics* 104.3 (2005): 123-130.
25. SMITH, Mark JT; AKANSU, Ali N. Introduction and overview. In: *Subband and Wavelet Transforms*. Springer, Boston, MA, 1996. p. 1-31.
26. DEL COZ DÍAZ, J. J., et al. Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method. *Applied thermal engineering*, 2007, 27.8: 1445-1456.
27. Algimantas Naujokaitis. Statybinės medžiagos. Betonai. Vilnius : Technika, 2007. 1 interneto išteklius (355 p.) : iliustr. ISBN: 9789955282099