VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ IR MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Saulius Pilkavičius

GNIUŽDOMŲ GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMO GELŽBETONINIAIS APVALKALAIS ANALIZĖ

ANALYSIS OF STRENGTHENING COMPRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING REINFORCED CONCRETE JACKETS

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 62402T107
Pastatų konstrukcijų specializacija
Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2010

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Gelžbetoninių ir mūrinių kons-jų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. ……..
Data 2010-05-25

Statinių konstrukcijų studijų programos baigiamasis magistro darbas
Gniuždomų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo gelžbetoniniais apvalkalais analizė
Autorius: **Saulius Pilkavičius** Vadovas: doc. dr. **V. J. Jokūbaitis**

Kalba
[X] lietuvių
[ ] užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjami gniuždomųjų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo gelžbetoniniais apvalkalais laikomosios galios skaičiavimo ypatumai, stiprinimo būdai ir technologija. Analizuojama panašaus pobūdžio literatūra bei moksliniai straipsniai, aptariamos skirtingos sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais elementų laikomosios galios skaičiavimo metodikos. Atliekami sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių laikomosios galios, pleišėjimo ir deformacijų eksperimentiniai tyrimai. Pateikiamos siūlomos teorinės prielaidos sustiprintų elementų stiprumui skaičiuoti, kai apvalkalas netiesiogiai apkraunamas. Eksperimentinių tyrimų metu gauti rezultatai lyginami su teorinių skaičiavimų rezultatais, kurie gauti pagal analizuotas Malganovo ir kt. bei Krause skaičiavimo metodikas. Pateikiamos galutinės darbo išvados bei rekomendacijos.

Darbą sudaro 7 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, eksperimentiniai tyrimai, skaičiuotinų ir eksperimentinių rezultatų analizė, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas, priedai.

Darbo apimtis – 86 p. teksto be priedų, 50 iliustr., 5 lent., 25 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai:
gniuždomos gelžbetoninės konstrukcijos, konstrukcijų stiprinimas, gelžbetoninis apvalkalas, dispersinis armavimas, laikomoji galia

Vilnius Gediminas technical university
Civil Engineering faculty
Reinforced concrete and masonry structures department

ISBN ISSN
Copies No. ……
Date 2010-05-25

Building structures study programme master thesis.

Analysis of strengthening compressed reinforced concrete structures using reinforced concrete jackets

Author: **Saulius Pilkavičius** Academic supervisor: doc. dr. **V. J. Jokūbaitis**

Thesis language

	Lithuanian
X	Foreign (English)

Annotation

This master thesis considers compressed reinforced concrete constructions strengthened using reinforced concrete jackets calculation features of carrying capacity, strengthening technology and technique. Analizes similar literature and scientific articles, discusses different carrying capacity calcalation methods of strengthened reinforced concrete elements using reinforced concrete jackets. Carried out carrying capacity, cracking and strain experimental research of strengthened fiber reinforced elements using reinforced concrete jackets. Presented theoretical assumptions of carrying capacity calculation for strengthened elements, when the jacket indirectly loaded. In the experimental studies obtained results compared with theoritcal calculation results, which were obtained by the analized Malganov et. al. and Krause calculation methods. Presented the final conclusions and recommendations.

Thesis consist of 7 chapters: introduction, literature review, experimental research, analysis of countable and experimental results, conclusions and recommendations, referentes, appendixes.

Thesis consists of – 86 p. text without appendixes, 50 pictures, 5 tables, 25 bibliographical entries. Appendixes included.

Keywords:

compressed reinforced concrete constructions, strengthening of constructions, reinforced concrete jacket, dispersive reinforcement, carrying capacity

TURINYS

ĮVADAS.....10
1. GNIUŽDOMŲJŲ BETONINIŲ IR GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMAS GELŽBETONINIAIS APVALKALAIS (APŽVALGA).....12
1.1. Konstrukcijų techninės būklės tyrimų tvarka, defektai bei pažaidos.....12
1.2. Konstrukcijų stiprinimo apvalkalais būdai ir technologija.....19
1.3. Gelžbetoniniais apvalkalais sustiprintų gelžbetoninių konstrukcijų laikomoji galia....27
1.3.1. Gniuždomų gelžbetoninių elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimas pagal Malganovo ir kt. (1990) metodiką.....32
1.3.2. Gniuždomų gelžbetoninių elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimas pagal Krause (1993) metodiką.....36
1.4. Išvados ir darbo tikslas.....42
2. SUSTIPRINTŲ GELŽBETONINIAIS APVALKALAIS DISPERSIŠKAI ARMUOTŲ BETONINIŲ MODELIŲ EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....43
2.1. Tyrimų programa ir metodika.....43
2.2. Tyrimų rezultatai ir analizė.....56
2.2.1. Betono ir armatūros charakteristinių bei projektinių rodiklių nustatymas.....56
2.2.2. Apvalkalų pleišėjimas ir deformacijos.....56
2.2.3. Bandomųjų modelių suirimo pobūdis ir laikomoji galia.....62
2.3. Išvados.....65
3. GELŽBETONINIAIS APVALKALAIS SUSTIPRINTŲ DISPERSIŠKAI ARMUOTŲ GNIUŽDOMŲJŲ ELEMENTŲ LAIKOMOSIOS GALIOS SKAIČIUOTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ.....69
3.1. Siūlomos teorinės prielaidos sustiprintų elementų stiprumui skaičiuoti, kai apvalkalas netiesiogiai apkraunamas.....69
3.2. Sustiprintų elementų laikomosios galios skaičiuotinių reikšmių palyginimas pagal pateiktas skaičiavimo metodikas ir pasiūlytas prielaidas.....74
3.3. Sustiprintų elementų laikomosios galios skaičiuotinių ir eksperimentinių reikšmių palyginimas.....81
3.4. Išvados ir rekomendacijos.....84
4. BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....86
LITERATŪRA.....87

PRIEDAI.....89

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Blogai sutankintas betonas.....12
2 pav. Agresyvios aplinkos klasifikacija.....13
3 pav. Intensyvi kolonos armatūros korozija.....14
4 pav. Konstrukcijų ir atskirų elementų stiprinimo būdų klasifikacija.....20
5 pav. Kolonos skerspjūvio matmenų didinimas.....21
6 pav. Bendras, pilnai sustiprinto elemento skerspjūvis.....22
7 pav. Pažeistos kolonos sustiprinimas iš visų pusių dalinai ją nukraunant.....22
8 pav. Konstrukcijų atstatymas.....24
9 pav. Stiprinamos kolonos apvalkalo įrengimas.....26
10 pav. Suirusio elemento dalies atstatymas (remontas).....27
11 pav. Centriškai gniuždomo elemento faktinis įtempių būvis.....28
12 pav. Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema.....33
13 pav. Ekscentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema (mažų ekscentricitetų atvejis).....34
14 pav. Ekscentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema (didelių ekscentricitetų atvejis).....35
15 pav. Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema.....37
16 pav. b_c ir h_c bei b_c^* ir h_c^* padėtis.....38
17 pav. $b_{c,a}$ ir $h_{c,a}$ bei $b_{c,a}^*$ ir $h_{c,a}^*$ padėtis.....40
18 pav. Skerspjūvio efektyvūs plotai A_{eff} ir $A_{eff,a}$ 40
19 pav. Gumos granulės (a) ir plieno skaidulos gautos po antrojo smulkinimo etapo (b).....44
20 pav. Plieno skaidulomis (fibromis) armuoto betono fragmentas.....44
21 pav. Dispersiškai armuoti SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 modeliai.....45
22 pav. Nesustiprintų modelių SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 geometrija.....46
23 pav. Nesustiprintų modelių SP–K1–3 bei sustiprintų modelių SP–T1–3 ir SP–R1–3 branduolių klojinių geometrija.....46
24 pav. Sustiprinti gelžbetoniniu apvalkalu SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 modeliai.....47
25 pav. Sustiprintų modelių SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 geometrija ir armatūros

padėtis.....47
26 pav. Sustiprintų modelių SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 klojinių geometrija.....48
27 pav. Sustiprinti gelžbetoniniu apvalkalu SP–T1, SP–T2 ir ST–T3 modeliai.....48
28 pav. Sustiprintų modelių SP–T1, SP–T2 ir SP–T3 geometrija ir armatūros padėtis.....49
29 pav. SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 modelių apkrovimo schema.....50
30 pav. SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 modelių matavimo prietaisų išdėstymo schema.....50
31 pav. SP–R1–3 ir SP–T1–3 modelių apkrovimo schema.....51
32 pav. SP–R1, SP–R2, SP–R3 ir SP–T1, SP–T2, SP–T3 modelių matavimo prietaisų išdėstymo schema.....52
33 pav. Principinė nesustiprintų modelių įstatymo ir bandymo schema.....54
34 pav. Principinė sustiprintų modelių įstatymo ir bandymo schema.....55
35 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių išilginių santykinių deformacijų ties jų viduriu priklausomybė nuo įtempių.....57
36 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties jų viduriu priklausomybė nuo įtempių.....58
37 pav. SP-T ir SP-R modelių vidutinių skersinių bei išilginių santykinių deformacijų ties jų viršutine atrama ir viduriu priklausomybė nuo įtempių.....59
38 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių santykinių skersinių ir išilginių deformacijų tie jų viduriu priklausomybė nuo įtempių.....60
39 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių Puasono koeficiento priklausomybė nuo įtempių ties modelių viduriu.....61
40 pav. SP-R ir SP-T modelių skersinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių ties jų viduriu ir viršutine atrama.....62
41 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių santykinių skersinių deformacijų ties jų viršumi ir apačia priklausomybė nuo įtempių.....63
42 pav. Vidutinė eksperimentinė nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių suardančioji jėga.....65
43 pav. Vidutinė eksperimentinė nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių perimama jėga, prie kurios pastebėtas pirmasis plyšys.....66
44 pav. Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema įvertinant trintį.....70

45 pav. Eksentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema įvertinant trintį.....73
46 pav. Centriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Malganovo ir kt. (1990) metodika.....76
47 pav. Ekscentriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Malganovo ir kt. (1990) metodika.....77
48 pav. Centriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Krause (1993) metodika.....78
49 pav. Eksentriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Krause (1993) metodika.....79
50 pav. Centriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia įvertinus trintį tarp sluoksnių.....80
51 pav. Ekscentriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia įvertinus trintį tarp sluoksnių.....81
52 pav. Eksperimentinių tyrimų laikomosios galios rezultatų palyginimas su teorinių laikomosios galios skaičiavimų rezultatais.....83

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimas.....17
1.2 lentelė. Gelžbetoninių konstrukcijų būklės įvertinimas.....20
2.1 lentelė. Eksperimentinių tyrimų rezultatai.....64
3.1 lentelė. Teorinių skaičiavimų rezultatai.....74
4.1 lentelė. Teorinių duomenų atitiktis eksperimentinių tyrimų rezultatams.....82

ĮVADAS

Susiformavus esamai situacijai Lietuvoje, labai sumažėjo naujų pastatų bei statinių statyba, todėl neišvengiamai pradėjo plėtotis esamų pastatų bei statinių rekonstrukcija. Taigi pastaruoju metu daugelis senesnių pastatų yra rekonstruojami, remontuojami ar atnaujinami, pritaikant juos naujai paskirčiai arba atkuriant esamą. Prieš numatomą rekonstrukciją būtina įvertinti tokių pastatų laikančiųjų konstrukcijų techninę būklę. Tiriant šių konstrukcijų būklę, nustatomi jų defektai bei pažaidos, prognozuojamos vystymosi tendencijos, atliekami konstrukcijų laikomosios galios tikrinamieji skaičiavimai, įvertinant būsimą po rekonstrukcijos apkrovą ir kitus galimus poveikius. Neretai tenka nustatyti konstrukcijų, dirbančių agresyviojoje aplinkoje, veikiamų vibracinių ir smūginių apkrovų, pažeistų gaisro ir pan., būklę. Laikančiųjų konstrukcijų būklės įvertinimas reikalingas taisant projektuotojų ir statybininkų padarytas klaidas statomuose, jau pastatytuose objektuose ar po įvykusių statinių avarijų. Tik įvertinus konstrukcijų būklę, sprendžiama apie jų remonto būdus, apimtį ir trukmę.

Statybos pramonėje rekonstruojant ar renovuojant pastatus ir statinius vykdomas pažeistų ar kitaip paveiktų ir neatitinkančių reikalavimų laikančiųjų ir nelaikančiųjų konstrukcijų bei elementų stiprinimas įvairiais metodais. Konstrukcinių elementų stiprinimo būdai, metodai ir priemonės suteikia galimybę stiprinti pavienius konstrukcinius elementus arba tam tikras elementų grupes ir taikomi atsižvelgiant į irimo pobūdį, defektų bei pažaidų atsiradimo, plitimo tendencijas, stiprinimo galimybes ir kitus parametrus. Konstrukcijų stiprinimas atliekamas dėl įvairių priežasčių: norint padidinti elemento stiprumą, standumą, stabilumą, sumažinti irimo ir pleišėjimo priežastis bei atsiradimo galimybes, padidinti atsparumą ugniai ar kitų poveikių sukeltai aukštai temperatūrai, atsparumą erozijai ir korozijai, taip pat jei reikia apriboti aplinkos poveikį.

Taip pat žinoma, kad daug pastatų ir statinių, kurie suprojektuoti pagal senesnes normas ir reikalavimus, gali būti labai neatsparūs šiuolaikiniams poveikiams, kadangi seniau nebuvo taip išsamiai įvertinama projektuojamus pastatus ir statinius veiksiančios apkrovos ir poveikiai, nes kai kurie dalykai nebuvo paremti skaičiavimais, o tik priimami ar parenkami intuityviai.

Daugeliu atvejų iš naujo suprojektuoti ir pastatyti pastatą ekonominiu požiūriu neapsimoka, nes atskirų gelžbetoninių konstrukcinių elementų ar jungčių pakeitimas naujais yra gana brangus, todėl šis rekonstrukcijos būdas taikomas tik labai retais atvejais. Dėl šių priežasčių buvo išnagrinėta ir sukurta daug stiprinimo būdų bei priemonių, kad į darbą

būtų įtraukti jau esami gelžbetoniniai, mūriniai, metaliniai ar kiti elementai ir konstrukcijos.

Kadangi gelžbetoniniai pastatai bei statiniai yra suprojektuoti ir pastatyti taip, kad visa apkrova atitektų pastato laikančiosioms konstrukcijoms ir jomis būtų perduodama į pamatus, o nuo jų į gruntą, tai išskiriant statinio ar pastato antžeminę dalį nuo požeminės, didžiausia apkrova tenka apatinėms jų kolonoms, todėl šios dažniausiai pleišėja, skilinėja ir pradeda irti. Irti gali ne tik apatinės, bet ir kitų aukštų kolonos, kurios yra labiausiai apkraunamos, veikiamos didesnių lenkimo momentų, paveiktos erozijos ar korozijos, ar turinčios defektų nuo statybos pradžios. Vienas iš racionaliausių būdų to išvengti yra laikančiųjų elementų stiprinimas.

Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo projektavimui taikomi įvairių normų skaitiniai metodai. Daugelio šalių normos taiko skirtingus stiprumo, pleišėtumo, standumo, išankstinių įtempių, nuostolių bei kitų parametrų apskaičiavimo metodus ir prielaidas. Tačiau Lietuvoje gniuždomų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimą galima projektuoti remiantis tiek STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimo bei praktinio taikymo vadovo, I ir II dalimis, tiek ir EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures, nuostatomis.

Šiame baigiamajame magistro darbe aprašomos ir analizuojamos dvi pasirinktos gniuždomų gelžbetoninių elementų, sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais, laikomosios galios skaičiavimo metodikos. Šių skaičiavimo metodikų palyginimui bei patikslinimui atliekami gniuždomų dispersiškai armuotų elementų, sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais, pleišėjimo, deformacijų ir laikomosios galios eksperimentiniai tyrimai. Atlikus eksperimentinius tyrimus, pagal išanalizuotas metodikas atliekamas teorinių skaičiavimo rezultatų palyginimas su eksperimentinių tyrimų rezultatais. Pateikiamos teorinės prielaidos sustiprinto elemento stiprumui skaičiuoti, kai apvalkalas netiesiogiai apkraunamas.

1. GNIUŽDOMŲJŲ BETONINIŲ IR GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRINIMAS GERLŽBETONINIAIS APVALKALAIS (APŽVALGA)

1.1. Konstrukcijų techninės būklės tyrimų tvarka, defektai bei pažaidos

Projektavimo metu dažnai neišvengiama skaičiavimo klaidų, todėl statybos metu, vykdant tokius projektus, pasitaiko daug defektų bei pažaidų. Prancūzijoje, apytiksliai per dešimt metų, dešimties tūkstančių defektų analizė parodė, kad 88 procentai defektų bei pažaidų buvo susiję su statybos ar projektavimo metu padarytomis klaidomis (Kay T., 1992). Todėl beveik visus betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektus galime laikyti technologinės prigimties, atsirandančius dėl visoje projektavimo bei statybos eigoje įvykusių klaidų ar pažeidimų, tačiau pažeidimai taip pat dažnai atsiranda ir pastatų naudojimo metu.

Pastato, statinio ar jo konstrukcijų nusidėvėjimą galima suskirstyti į tam tikrus periodus:

- statinio ir jo konstrukcijų prisitaikymo periodas (2 – 5 metai);
- pastato ar statinio normalaus naudojimo periodas (tai lėtas nusidėvėjimo periodas, kadangi tai pagrindinis pastato ar statinio egzistavimo laiko tarpas);
- pastato ar statinio pagreitinto nusidėvėjimo periodas (šiuo laiko periodu statiniai ar pastatai dažniausiai griaunami).

Kaip ir viso gelžbetoninio pastato ar statinio, atskirų jo konstrukcijų technologiniai betono defektai yra susiję su betono mišinio ruošimu, t. y. su betono sudėties parinkimu ir dozavimu, mišinio maišymu, tankinimu (1 pav.), transportavimu ir jo kietėjimo sąlygomis.

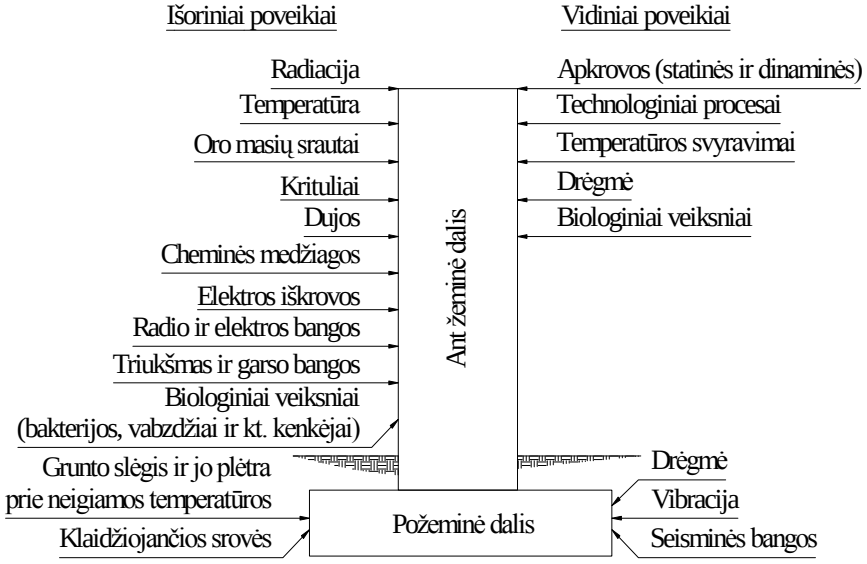


1 pav. Blogai sutankintas betonas

Šių defektų atsiradimo priežastimi taip pat gali būti armatūros kiekis ir jos padėtis elemento skerspjūvyje, betono apspaudimo įtemptąja armatūra procesas, armatūros sandūrų ir inkaravimo būdai, konstrukcijų skerspjūvio forma, klojinių konstrukcija ir pan.

Technologiniai armatūros defektai – tai įvairios armatūros ir įdėtinių detalių nuokrypos gaminyje, blogos kokybės armatūrinių dirbinių virintinės siūlės ir pan. Šie defektai atsiranda dėl konstrukcijų projektavimo, gamybos bei montavimo klaidų.

Konstrukcijų senėjimui (degradacijai) reikšmę turi išoriniai ir vidiniai poveikiai į pastatą ar statinį. Pastatą ar statinį veikiančios agresyvios aplinkos klasifikacija pateikiama 2 paveiksle.



2 pav. Agresyvios aplinkos klasifikacija

Statinio naudojimo metu atsiradę konstrukcijų pažeidimai yra susiję su armatūros ir betono savybių pokyčiais, eroziniais bei koroziniais procesais, kurie priklauso nuo aplinkos poveikių pobūdžio, trukmės, intensyvumo ir t.t. (3 pav.). Dažnai tokių pažeidimų pradine priežastis yra technologiniai defektai arba projektavimo, gamybos ar statybos metu padarytos klaidos. Naudojimo metu atsiradę konstrukcijų pažeidimai turi tendenciją plėstis ir didėti, todėl konstrukcijos tampa vis pavojingesnės, vis labiau trukdo naudoti statinį pagal paskirtį ar kitaip jį eksploatuoti. Norint išvengti šių pažeidimų arba bent jau sumažinti iki minimumo jų įtaką konstrukcijų būklei, būtina efektyvi ir laiku atlikta viso statinio priežiūra – periodinės statinio būklės apžiūros ir jo konstrukcijų remontas bei stiprinimas.



3 pav. Intensyvi kolonos armatūros korozija

Vienas iš pagrindinių gelžbetoninių konstrukcijų pažeidimų yra jų pleišėjimas. Gelžbetonio supleišėjimo priežasčių yra daug (žr. 1.1 lentelė). Plyšiai gali būti technologiniai ir atsivėrę konstrukcijų naudojimo metu, dėsningi, susidarę veikiant projektinėms apkrovoms, ir netikėti – nuo įvairių atsitiktinių poveikių (Jokūbaitis V., 2007).

1.1 lentelė. Gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimas

Eil Nr.	Priežastys	Požymiai	Laikas	Pleišėjimą Kontroliuojančios priemonės
1	2	3	4	5
1	Šviežio betono slūgimas	Išilginiai plyšiai virš armatūros, mažas jų gylis	Pirmosios Kietėjimo valandos	Betono sudėtis, mišinio tankinimas
2	Ankstyvasis betono traukumas	Plyšiai virš viršutinės armatūros, didelis gylis	Pirmosios Kietėjimo valandos	Kaip ir 1 eilutėje, betono kietėjimo sąlygos
3	Šilumos išsiskyrimas vykstant betono hidratacijai	a) Plyšiai statmeni senojo betono sluoksniui b) Plyšiai statmeni skerspjūvio viršaus plokštumai, ribotas gylis	1–2 dienos po betonavimo Vėstant paviršiniam sluoksniui	Betono sudėtis, cemento rūšis, kietėjimo sąlygos, armavimas Temperatūros pokyčių ribojimas
4	Betono traukumas	Plyšiai statmeni skerspjūvio viršaus plokštumai, ribotas gylis	Keli mėnesiai po betonavimo	Kaip ir 3 eilutėje

1.1 lentelės tęsinys

5	Temperatūros poveikiai	a) Dėl suvaržytų deformacijų normaliniai ir įstrižieji plyšiai b) Plyšiai dėl netolygaus skerspjūvio įkaitimo	Naudojimo metu esant temperatūros pokyčiams	Armavimas, armatūros išankstinis įtempimas, betono sudėtis
6	Atrėmimo sąlygų pokyčiai (atramų deformacijos)	Kaip ir 5 eilutėje	Atsiradus atrėmimo pokyčiui	Jungčių tipas, armavimas, armatūros išankstinis įtempimas
7	Išankstinis betono apspaudimas	a) Normaliniai plyšiai ekscentriškai gniuždant elemento skerspjūvį b) Išilginiai plyšiai dėl betono skėlimo armatūros inkaravimo zonoje	Betono apgniuždymo metu	Išankstinis armatūros įtempimas, skerspjūvio matmenys, armavimas, betono stiprumas
8	Apkrovų sukeltos įrąžos	a) Normaliniai plyšiai, veikiant lenkiamiesiems momentams ir išilginėms jėgoms, b) Įstrižieji plyšiai, veikiant skersinėms jėgoms ir lenkiamiesiems momentams, c) Srieginiai plyšiai, veikiant sukamiesiems ir lenkiamiesiems momentams bei skersinėms jėgoms, d) Išilginiai plyšiai, esant šlyčiai, lenkimui plokščių ir briaunų jungčių kampuose	Konstrukciją apkrovus	Armavimas, skerspjūvio matmenys, betono savybės, senojo ir naujojo betono sankiba
9	Armatūros korozija	Išilgai armatūros atsivėrę plyšiai	Po daugelio metų	Armatūros ir betono naujos apsauginės dangos, aplinkos sąlygos, skersinis armavimas
10	Vietinis betono gniuždymas	Tankūs vietiniai betono plyšiai po sutelktosiomis apkrovomis	Kaip ir 8 eilutė	Armavimas, padėklai, betono stiprumas

1.1 lentelės pabaiga

11	Ribiniai gniuždomojo betono įtempiai	Smulkūs išilginiai plyšiai gniuždomojoje zonoje	Betonui irstant	Betono stiprumas, armavimas, skerspjūvio matmenys
12	Įtempių koncentracijos vietos	Plyšiai prie angų kampų plokščiosiose konstrukcijose ir pan.	Gali atsiverti jau statybos metu	Armavimas, betono stiprumas
13	Šaltis	Plyšiai tuštymėtųjų konstrukcijų sienelėse, atsivėrę šąlant vandeniui tuštymėse	Esant neigiamai temperatūrai	Priemonės, neleidžiančios kauptis vandeniui
14	Smūginė apkrova	Plyšių voratinklis, tankėjantis prie apkrovos veikimo vietos	Smūgio metu	Konstrukcijos storis, betono savybės, armavimas

Gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir pažaidos gali būti klasifikuojami pagal pavojingumą, plitimo tendencijas, atsiradimo laiką, priežastis, jų aptikimo ir pašalinimo sunkumus. Vertinant saugos ribinio būvio atžvilgiu, aktualiausia yra defektų ir pažaidų klasifikacija pagal pavojingumą. Šiuo požiūriu jie skirstomi į keturias kategorijas:

- ***pirmosios kategorijos*** – nepavojingi, neturi tendencijos plėtotis, nepageidaujami estetikos ir higienos sumetimais;
- ***antrosios kategorijos*** defektai ir pažaidos turi neigiamos įtakos konstrukcijų laikomajai galiai, pleišėjamajam atsparumui, standumui ir naudojimo trukmei, todėl laikui bėgant konstrukcijų ar jų elementų deformacijų bei plyšių parametrai gali plėstis ir viršyti projektavimo normų leidžiamas ribas;
- ***trečiosios kategorijos*** defektai ir pažaidos yra pavojingi – dėl jų sumažėja konstrukcijų laikomoji galia (vėliau gali būti pasiektas saugos ribinis būvis), atsivėria neleistino dydžio plyšiai ir pasireiškia neleistinos deformacijos, kurios gali viršyti tinkamumo ribinį būvį;
- konstrukcijos ar jų elementai su ***ketvirtosios kategorijos*** defektais ir pažaidomis turi avarinės būklės požymių.

Pirmosios kategorijos defektai ir pažaidos yra pašalinami arba paslepiami, pavyzdžiui, įrengiant kabamąsias lubas, apdailinį sienų sluoksnį ir pan. Antrosios kategorijos defektus ir pažaidas patariama pašalinti, apie jų palikimo galimybę būtų galima nuspręsti atlikus specialius (dažnai ilgalaikius) tyrimus ir tikrinamuosius skaičiavimus. Konstrukcijas

turinčias trečiosios kategorijos defektus bei pažaidas būtina remontuoti atkuriant jų projektines savybes arba sustiprinant, kad būtų tenkinami reikiami statinio ar pastato reikalavimai. Kai statinio konstrukcijos turi ketvirtosios kategorijos defektus ir pažaidas, pirmiausia reikia užtikrinti žmonių saugumą, įstatymo nustatyta tvarka nedelsiant spręsti organizacinius klausimus dėl statinio avarinės būklės pripažinimo ir kuo skubiau sustiprinti stipriai pažeistas konstrukcijas arba jei įmanoma pakeisti naujomis.

Be to, siūlomoje metodikoje yra apibūdinamas gelžbetoninių konstrukcijų pažeidimo laipsnis, atsižvelgiant į laikomosios galios sumažėjimą ir būdingus defektus bei pažaidas (žr. 1.2 lentelė) (Jokūbaitis V., 2007).

1.2 lentelė. Gelžbetoninių konstrukcijų būklės įvertinimas

Pažeidimo laipsnis	Laikomosios galios sumažėjimas, %	Būdingi defektai ir pažaidos bei jų požymiai	Rekomendacijos
1	2	3	4
Silpnas	Iki 15 metų	Apsauginis betoninis sluoksnis skerspjūvio kampuose sunkiai atskeliamas gyliu iki 10 mm; po smūgio kaltu betone lieka nežymūs pėdsakai, garsas skardus; temperatūros poveikis mažai pakeitė betono spalvą; nėra paviršinių plyšių dėl betono traukumo	Atliekami tikrinamieji laikomosios galios skaičiavimai. Jei laikomoji galia pakankama, konstrukcija nestiprinama. Atkuriamas apsauginis betoninis sluoksnis ir šalinami arba paslepiami kiti smulkūs defektai
Vidutinis	Iki 25 metų	Dėl temperatūrinių ir traukumo deformacijų konstrukcijos paviršiuje yra susidaręs negilių plyšių tinklas; apsauginis betoninis sluoksnis skerspjūvio kampuose atskeliamas 20 mm gyliu; po smūgio kaltu betono paviršiuje lieka žymūs pėdsakai; dėl temperatūros poveikio betono spalva įgavo rausvą atspalvį	Atliekami tikrinamieji laikomosios galios skaičiavimai. Pagal šio skaičiavimo rezultatus sprendžiama, ar reikia atstatyti konstrukcijas. Atkuriant pažeistas konstrukcijos vietas, galimas laikinas jos sustiprinimas

1.2 lentelės pabaiga

Stiprus	Iki 50 metų	Betone yra atsivėrę iki 1 mm pločio plyšiai; lengvai smūgiuojant plaktuku, apsauginis betoninis sluoksnis atskeliamas didesniu kaip 30 mm gyliu; kaltas įsminga iki 10 mm gylio, smūgio garsas yra duslus; betono stipris sumažėjęs iki 50 %; temperatūros poveikis stipriai pakeitęs betono spalvą (iki baltos); pastebimi gniuždomosios armatūros išlinkimo požymiai	Atliekami laikomosios galios patikrinamieji skaičiavimai. Pažeistos konstrukcijos stiprinamos (iki sustiprinimo dėl žmonių saugos aptveriama stipriai pažeistų konstrukcijų zona, konstrukcijos laikinai sustiprinamos)
Avarinis	Virš 50 metų	Betone yra atsivėrę 1–5 mm pločio plyšiai, atsivėrę gniuždomosiose ir atraminėse zonose; smūgiuojant į betoną girdisi duslus garsas; kaltas lengvai įsminga į betoną iki 20 mm gyliu; matyti apnuogintos armatūros ruožai, gniuždomosios armatūros išlinkimo požymiai, nutrūkusi tempiamoji armatūra, pažeista armatūros ir betono sankiba; gniuždomųjų elementų pastovumo netekimo, betono atsiknojimo, išpūtimo požymiai; aukštos temperatūros pažeistas ne mažesnio kaip 30 mm storio betono sluoksnis	Dėl žmonių saugos aptveriama avaringų konstrukcijų zona. Turinčios avarinius požymius konstrukcijos išmontuojamos arba laikinai jas paramsčius yra stiprinamos

1.2 lentelėje pateiktas gelžbetoninių konstrukcijų pažeidimo laipsnis įvairios paskirties pastatuose bei statiniuose gali būti vertinamas nevienodai. Ypatingiems statiniams šis vertinimas gali būti griežtesnis. Pavyzdžiui, tilto būklė gali būti vertinama kaip bloga, jei pažaidos labai progresuoja ir tilto konstrukcijų laikomoji galia yra sumažėjusi iki 20 %.

Apžvelgus galimus konstrukcijų defektus bei pažaidas ir jų atsiradimo priežastis, kiekvienu atveju turi būti numatomas tinkamas tų konstrukcijų stiprinimas, restauravimas ar atstatimas. Tam tikslui turi būti remiamasi bendromis, jau sudarytomis konstrukcijų analizavimo metodikomis bei principais.

Rekomenduojama gelžbetoninių konstrukcijų analizavimą bei stiprinimą atlikti tokia tvarka:

1. išanalizuoti konstrukcijų būklės tyrimo duomenis (konstrukcijų skaičiuojamąsias schemas, apkrovas, skerspjūvio matmenis, medžiagų savybes ir t.t.);
2. išanalizuoti būsimos konstrukcijos eksploatavimo sąlygas po pastato rekonstrukcijos ar kapitalinio remonto (apkrovas, agresyvios aplinkos ar kitus poveikius, galimus ateityje šių apkrovų ir poveikių pokyčius ir t.t.);
3. ištirti remonto darbų sąlygas (priėjimus prie stiprinamųjų elementų, galimybę pastatyti pastolius ar klojinius, pastato eksploatavimo nutraukiamumą ar nenutraukiamumą ir pan.);
4. parinkti konstrukcijos stiprinimo būdą (išnagrinėti keletą variantų), numatyti medžiagas bei būtinus mechanizmus ir įrangą darbams atlikti;
5. parengti konstrukcijos elemento ar jų grupės stiprinimo projektą, nurodyti darbų vykdymo sąlygas ir eiliškumą, laukiamą stiprinimo darbų efektyvumą.

Projektuojant gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimą, reikia vadovautis projektavimo ir saugumo normų, Valstybinių standartų reikalavimais, taikomais medžiagų, gaminių ir darbų kokybei, atskirų elementų ar viso pastato eksploatacinėms savybėms.

Projektuojant konstrukcinių elementų ar jų grupės stiprinimą, dažnai tenka išnagrinėti keletą variantų. Pasirenkamas efektyviausias būdas, kuriuo patikimai, techniškai nesunkiai ir reikiamai sustiprinami elementai mažiausiomis statybinių medžiagų, darbo jėgos ir laiko sąnaudomis. To pasiekiama, tinkamai parinkus medžiagas ir konstrukcinius sprendimus, maksimaliai panaudojus laikomosios galios rezervą, kurį turi stiprinamosios konstrukcijos ar gretimos mažiau apkrautos pastato konstrukcijos.

Kai yra pažeista daugiau kaip 50 % elemento skerspjūvio ploto arba pagrindinės armatūros, projektuojama stiprinimo konstrukcija turi laikyti visą apkrovą, t.y. į pažeistos konstrukcijos darbą neatsižvelgiama. Projekte reikia numatyti priemones, kaip sumažinti galimus papildomus vietinius ar vidinius įtempius (suvirinimo, traukimosi, temperatūros, vietinių apkrovų ir pan.), kurie neišvengiami stiprinant konstrukcijas ar atskirus elementus (statramsčiais, spyriais, pastoliais ir pan.) remonto darbų metu (Kamaitis Z., Jokūbaitis V., 1986).

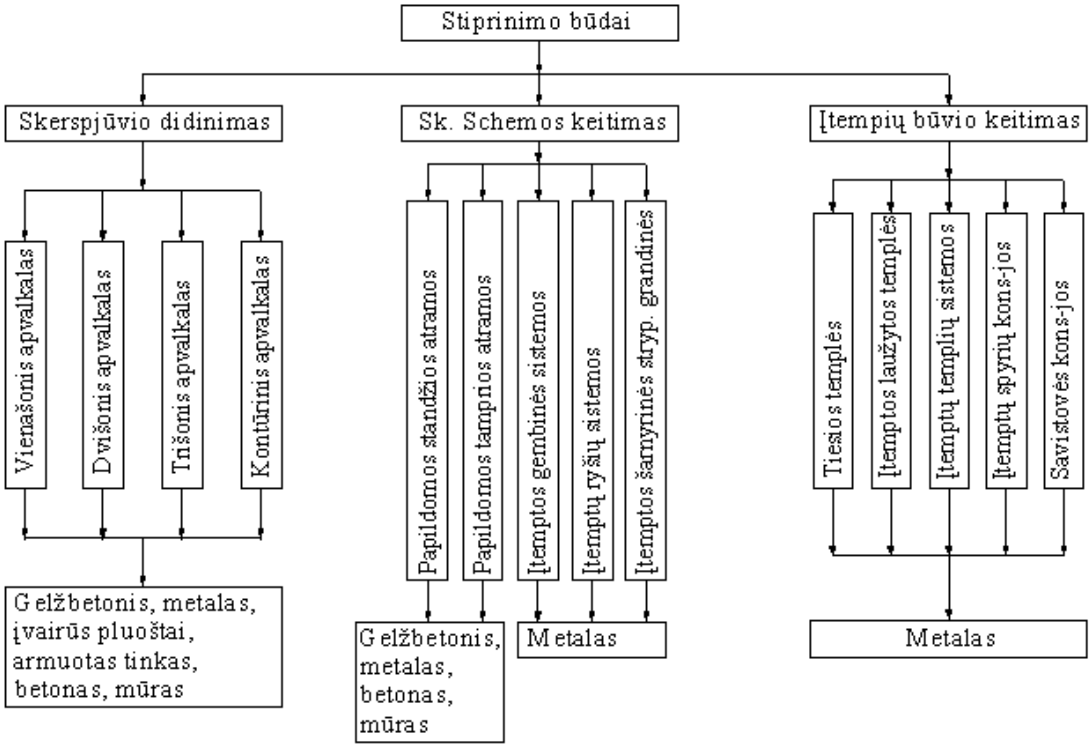
1.2. Konstrukcijų stiprinimo apvalkalais būdai ir technologija

Visos gelžbetoninės, betoninės, mūrinės ar plieninės konstrukcijos, pirmiausia laikančiosios, stiprinamos tuomet, kai pastebimi tų konstrukcijų ar atskirų jų elementų reikšmingi defektai bei pažaidos, netenkinami saugos ar tinkamumo reikalavimai. Stiprinimas labai priklauso nuo defektų ir pažaidų pavojingumo, intensyvumo, vystimosi greičio ir kitų parametrų, todėl šie parametrai turi būti nustatomi tik patyrusių ekspertų ir specialistų.

Konstrukcijų senėjimui (degradacijai) reikšmę turi išoriniai ir vidiniai poveikiai statiniui, todėl laikui bėgant konstrukcijų medžiagos dyla, nes yra veikiamos žmonių srautų, judančio oro, transporto ir kitų gamtinių bei mechaninių poveikių, kurie pavaizduoti 2 pav. Tuomet laikančiosios gelžbetoninės ar kitos konstrukcijos turi būti stiprinamos pagal sekančius reikalavimus:

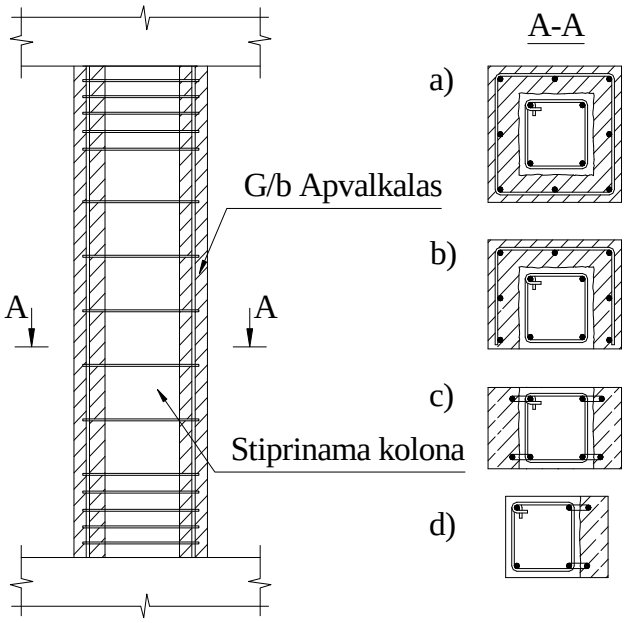
- stiprinantys elementai turi patikimai įsitraukti į bendrą darbą su stiprinamaisiais elementais;
- sustiprintos konstrukcijos neturi trukdyti technologiniams procesams;
- stiprinimo darbai turi būti nesudėtingi, atliekami per trumpiausią laiką;
- medžiagų ir darbo sąnaudos turi būti mažiausios.

Gelžbetoninių, betoninių, mūrinių ir plieninių konstrukcijų stiprinimo būdų įvairovė gali būti pritaikyta kiekvienu konkrečiu atveju, atsižvelgiant į eksploatuojamų konstrukcijų būklę. Visus stiprinimo būdus galima suklasifikuoti į tris grupes (žr. 4 pav.)



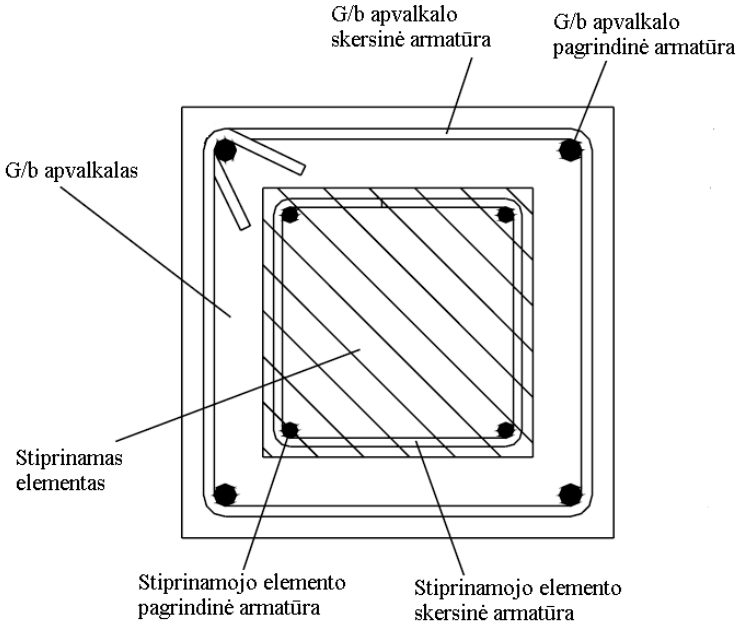
4 pav. Konstrukcijų ir atskirų elementų stiprinimo būdų klasifikacija

Konstrukcijų skerspjūvio didinimas - yra labiausiai paplitęs, universalus ir patikimas stiprinimo būdas. Skerspjūvio matmenys gali būti padidinti iš vieno, dviejų, trijų arba iš visų šonų, įrengus apvalkalą (5 pav.). Pastarasis ypač tinka gniuždomiems elementams stiprinti. Stiprinimas, didinant elementų skerspjūvį, gali būti vietinis, kai stiprinamos tik labiausiai apkrautos ir pažeistos konstrukcijų vietos, arba ištisas, kai stiprinama visa konstrukcija. Prieš stiprinimo darbus konstrukcijos turi būti maksimaliai nukrautos. Šis būdas efektyvus tik tuomet jeigu garantuojamas patikimas naujų sluoksnių ryšys su stiprinamąja konstrukcija, t.y. irimo metu elemente ir apvalkale vienu metu pasiekiami ribiniai įtempiai. Tačiau reikia atsiminti, kad toks bendras iki pat suirimo apvalkalo ir stiprinamosios konstrukcijos darbas įmanomas tik tada, kai prieš stiprinimą konstrukcija yra visiškai nukraunama arba jos apkrova sudaro ne didesnę kaip 25 % maksimalios apkrovos dalį po sustiprinimo. Jei stiprinamosios konstrukcijos nukrauti neįmanoma, tuomet apvalkalo betono ir armatūros skaičiuojamieji stipriai mažinami 30 %.



5 pav. Kolonos skerspjūvio matmenų didinimas, kai apvalkalas įrengiamas: a) iš visų elemento šonų; b) iš trijų šonų; c) iš dviejų šonų; d) iš vieno šono

Stiprinamos konstrukcijos gelžbetoninis apvalkalas įrengiamas užpurškiant torkretinį betoną į klojinius suslėgtu oru arba supiltą betoną sutankinant vibratoriais. Betono stiprumas turi būti ne mažesnis kaip 20 MPa ir ne mažesnis kaip stiprinamo elemento betono stiprumas. Torkretuojant betono sluoksnio storis daromas ne mažesnis kaip 30 mm, vibruojamo - ne mažesnis kaip 60 mm. Vienas iš didžiausių šio būdo trūkumų - stiprinimo darbų metu kartais trukdoma gamybai. Bendras, pilnai sustiprintos elemento skerspjūvis, bei pažeistos kolonos sustiprinimas iš visų pusių dalinai ją nukraunant, pateikiami 6 ir 7 paveiksluose.



6 pav. Bendras, pilnai sustiprinto elemento skerspjūvis



7 pav. Pažeistos kolonos sustiprinimas iš visų pusių dalinai ją nukraunant

Kontūriniu apvalkalu sustiprintų elementų gniuždomo betono deformacijos yra suvaržytos. Dėl to padidėja tokio betono stiprumas ir elemento laikomoji galia. Patikimų rekomendacijų, kaip vertinti apvalkalo efektą gniuždomų gelžbetoninių elementų laikomajai galiai skaičiuoti, nėra, tačiau stiprumo skaičiavimuose į jį turi būti atsižvelgiama.

Keičiant skaičiuojamąją konstrukcijų schemą, didinama lenkiamų ar gniuždomų elementų laikomoji galia ir standumas, pašalinama intensyvi konstrukcijų vibracija.

Skaičiuojamąją schemą galima pakeisti, įrengus papildomas kolonas, spyrius, pakabas, ryšius - temples, gembes ir grandines. Visi šie stiprinimo elementai dažnai daromi plieniniai, kad būtų lengvi ir patogūs sujungti. Gelžbetoninės papildomos atramos taikomos tik tuo atveju, kai konstrukcija turi būti atspari ugniai ir korozijai. Tačiau statant papildomas standžias atramas, reikia įsitikinti ar pastarųjų poslinkis, veikiant maksimaliai apkrovai, neviršys 10 % stiprinamosios konstrukcijos (be šių atramų) įlinkio. Po to tikrinama stiprinamojo elemento laikomoji galia, atsižvelgiant į jo įrąžas prieš sustiprinimą ir po jo. Kaip stiprinimo būdas, šis yra vienas iš paprastesnių.

Įtempių būvio keitimas, kai konstrukcijos stiprinamos projektuojant iš anksto apgniuždytus spyrius. Šiam stiprinimo būdui reikia:

- apskaičiuoti stiprinamojo elemento laikomąją galią ir perkrovą;
- parinkti plieninio spyrio (dviejų šakų) ir antdėklo skerspjūvio plotą ir patikrinti antdėklo privirinimo siūlių stiprumą;
- rasti spyrių išankstinio apgniuždimo (įtempimo) didumą.

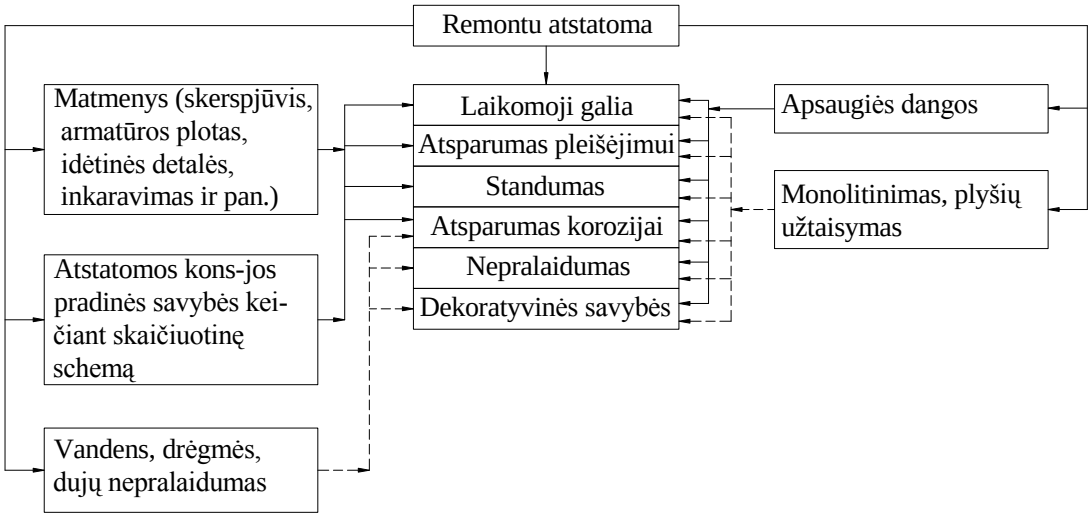
Kaip jau buvo minėta, dažnai tenka stiprinti įvairių tipų ir įvairios struktūros konstrukcijas. Stiprinamos gelžbetoninės, mūrinės kolonos, sienų tarpuangiai (stulpai), kiti pastato horizontalūs ruožai, to pasėkoje padidinamas pastato standumas. Dažniausiai kolonos, sienų tarpuangiai ar stulpai stiprinami didinant (žymiai arba nežymiai) jų skerspjūvio plotą. Šiems procesams taikomi gelžbetoniniai, plieniniai, gelžbetoniniai – plieniniai, anglies pluošto ar stiklo pluošto apvalkalai. Kartais jei pažeidimai nėra dideli, užtenka stiprinti armuoto tinko apvalkalu. Kai stiprinamo elemento viena skerspjūvio kraštinė daugiau kaip du kartus didesnė už kitą, dedami skersiniai papildomi ryšiai, išdėstyti ne rečiau kaip 750 mm pagal aukštį ir nutolę nuo skerspjūvio mažesniosios kraštinės atstumu, neviršijančiu 1000 mm ir dviejų šios kraštinės ilgių. Gelžbetoninės kolonos efektyviai stiprinamos kontūriniais apvalkalais. Šių apvalkalų skersinė armatūra išdėstoma ne didesniu kaip 200 mm žingsnių ir ne daugiau nei 15 pagrindinės apvalkalo armatūros diametrų, o atraminiuose ruožuose sutankinama. Kaip rodo dauguma gelžbetoniniais apvalkalais sustiprintų elementų tyrimų, sujungus stiprinamojo elemento ir apvalkalo išilginius armatūros strypus, jų laikomoji galia nepadidėja. Be to, smarkiai išauga stiprinimo darbų sąnaudos (Kamaitis Z., Jokūbaitis V., 1986).

Plieninį kontūrinį kolonos apvalkalą sudaro ant kolonos kampų uždėti kampuočiai, prie kurių privirinami įtemptieji antdėklai, išdėstyti ne didesniu kaip 300 mm žingsniu. Prieš suvirinant šie antdėklai įkaitinami iki 100 – 400^{o}C temperatūros. Kampuočių galai remiami į plieninius profilius, padėtus ant cementinio skiedinio.

Anglies ar stiklo pluošto apvalkalai yra kur kas stipresnis už plieną ir turi geresnių deformacinių savybių. Klijuojant pluoštą klijai įsigeria į paviršinius betono sluoksnius, o tai pakeičia fizines ir mechanines betono savybes, kurios priklauso nuo jo struktūros. Supleišėjus gelžbetoninių konstrukcijų tempiamajai zonai, betono ir anglies pluošto jungties standumas sumažėja. Jungtyje išryškėjusios šlyties deformacijos sumažina sustiprinto elemento standumą ir stiprumą (Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З., 2003).

Kai konstrukcijos stiprinamos, keičiant jų įtempių būvį, įrengiami iš anksto apgniuždyti spyriai, sukaustantys stiprinamąjį elementą. Dažnai imami spyriai iš dviejų antdėklais sujungtų kampuočių (arba lovių). Priešingose elemento pusėse statomi į išorę išlenkti spyriai, kurie sutraukiami ties viduriu varžtais, kur sujungiami plieniniais antdėklais. Kai ekscentriškai gniuždomą elementą veikia vieno ženklo lenkimo momentas, šį elementą galima sustiprinti spyriu tik iš skerspjūvio gniuždomosios zonos pusės. Stiprinamųjų elementų laikomoji galia didėja proporcingai spyrių skerspjūvio plotui. Atsižvelgiant į didžiausią jų galimą skerspjūvio plotą, laikomoji galia gali būti padidinta 1200 – 1300 kN. Spyrių išankstinis įtempimas siekia 60 – 80 MPa. Kai plieninis apvalkalas iš anksto neįtemptas, jo kampuočių galų inkaravimo zonos ilgis skaičiavimuose imamas lygus dviems kolonos skerspjūvio pločiams ir nemažesnis kaip 10 kampuočio lentynos pločių. Laikoma, kad šiame ruože apvalkalo konstrukcija tik iš dalies įtraukiama į darbą. Šiuo atveju reikalaujama, kad tarp kampuočių ir stiprinamojo elemento būtų cementinis skiedinys (Kamaitis Z., Jokūbaitis V., 1986).

Aptariant naudojamų stiprinimo būdų funkcinę paskirtį, tai kas jais yra atstatoma, bei tam remontui naudojamas medžiagas, galima apibendrinti ir pateikti tokioje schemoje (žr. 8 pav.):



8 pav. Konstrukcijų atstatymas

Iš visų išvardintų elementų stiprinimo apvalkalais būdų ir metodų, naujoviškiausiais galima laikyti, stiprinimą anglies arba stiklo pluoštu, tačiau šis būdas yra vis dar ganėtinai brangus. Todėl racionaliausias ir suteikiantis didžiausią laikomąją galią, nors ir įrengimo technologija trunka ilgiau, yra gelžbetoninių elementų stiprinimas gelžbetoniniais apvalkalais (Huei-Jeng Lin., Chin-I Lia., 2003).

Taigi, nustačius pažeistų laikančių konstrukcijų (kolonų, stulpų ir kt.) suirimo priežastis, jei reikalinga atlikus eksperimentinius tyrimus, saugos bei tinkamumo tikrinamuosius skaičiavimus ir nusprendus kad konstrukcija ar jų grupė turi būti stiprinama, parenkamas stiprinimo būdas, metodika, atliekami paruošiamieji ir tik po to stiprinimo darbai.

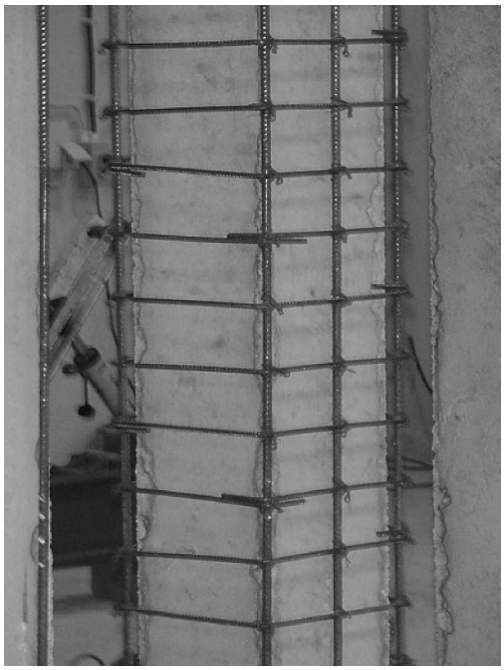
Visuomet, pradedant laikančių konstrukcijų stiprinimą, pirmiausia nuvalomas atitrūkęs ir supleišėjęs, ruošiamos stiprinti gelžbetoninės konstrukcijos, betonas. Šis, nereikalingas ir atitrūkęs betonas pašalinamas vieliniu šepečiu, stipriau besilaikantis betonas - naudojant paprastą plaktuką ir kaltą arba mažą pneumatinį plaktuką. Labai svarbu pašalinti visą atitrūkusį betoną, net smulkiausias jo daleles, tam kad vėliau, įrengiant gelžbetoninį apvalkalą, būtų užtikrintas geras apvalkalo betono sukibimas su esamu nepažeistu stiprinamojo elemento betonu. Pažeistos stiprinamojo elemento vietos gali būti taip pat valomos suspaustu oru ar smėlio srove tam, kad būtų pašalintos stipriau besilaikančios, užstrigusios dalelės, ar tiesiog tos dalelės, kurios liko po pirminio valymo grubesniais įrankiais. Kai pažeistos elemento tik tam tikros vietos, tai nėra jokio reikalo keisti viso elemento paviršiaus šiurkštumą.

Švariai nuvalius stiprinamo elemento paviršių, naudojamos rišamosios medžiagos, tam, kad naujas stiprinantysis sluoksnis gerai sukibtų su esamu nuvalytu paviršiumi. Todėl dažniausiai yra naudojama iš dviejų komponentų sudaryta epoksido derva. Taip pat efektyvus metodas, padidinantis paviršiaus šiurkštumą, yra paviršiaus valymas smėliasrove. Šiurkštinant elementų paviršius ir norint pasiekti gerą sukibimą tarp sluoksnių, turi būti naudojamas tik vienas iš šių metodų, nes jei bus naudojama epoksidinė derva, o po jos paviršius šiurkštinamas smėliasrove, tai derva visiškai praranda efektyvumą, nes paprasčiausiai ji yra nuvaloma smėlio dalelių (Julio E., et al. 2003).

Paruošus gelžbetoninį elementą ar jų grupę stiprinimui, atliekamas įdėtinių pagrindinių strypų montavimas ir inkaravimas. Inkaruojant pagrindinius strypus pamate, turi būti išgręžtos ir tinkamai paruoštos skylės. Skylių valymui rekomenduojama naudoti vakuuminį siurblį. Plieniniai armatūros strypai pamate gali būti patikimai inkaruojami naudojant dviejų komponentų epoksido dervą. Taip pat yra būtinas apvalkalo strypų inkaravimas ir perdangose, todėl pagrindiniai išilginiai apvalkalo strypai pratęsiami per

perdangas išgręžiant perdangoje skyles. Perdangose strypai inkaruojami tuo pačiu principu kaip ir pamate.

Pagrindinių išilginių strypų projektinė padėtis taip pat yra labai svarbus veiksnys stiprinamųjų elementų atžvilgiu, kadangi dažnai yra reikalingas strypų išdėstymo simetriškumas, bet pasitaiko tokių atvejų kai būtinas nesimetriškumas. Todėl jei projekte yra numatytas pagrindinių strypų išdėstymo simetriškumas, tai jie apvalkale ir turi būti montuojami su vienodais tarpais. Jei tai neįmanoma, strypai turi būti išdėstomi taip, kad tarp jų laisvai patektų įvairaus skersmens skiedinio dalelės ir pratekėtų skiedinys. Taip pat patartina vengti strypų susikoncentravimo kampuose (žr. 9 pav.).



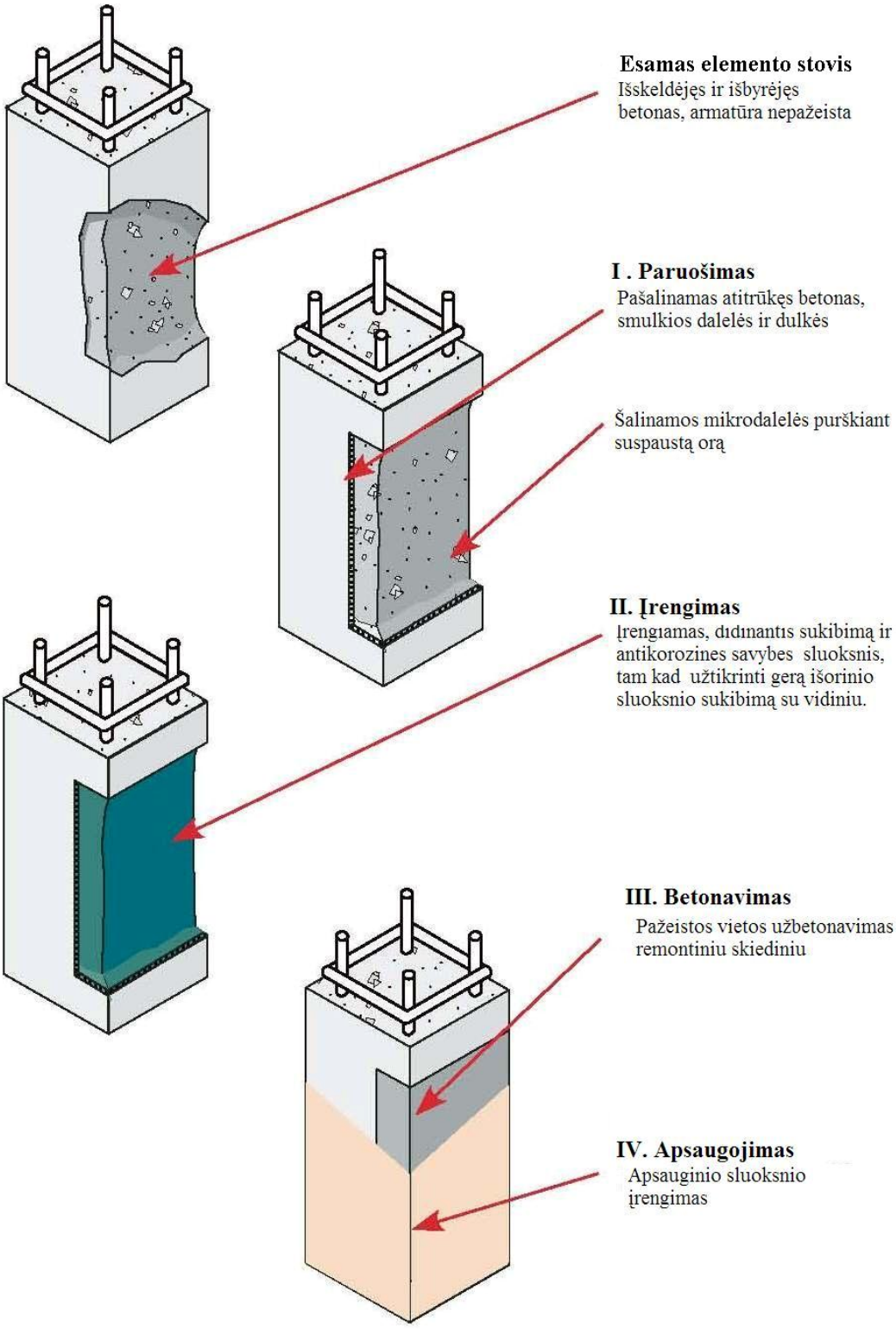
9 pav. Stiprinamos kolonos apvalkalo įrengimas

Įrengus išilginius pagrindinius armatūros strypus, jie surišami skersine armatūra (žr. 9 pav.). Skersinės armatūros įrengimo technologija taip pat yra gana svarbi, nes jų išdėstymas būna įvairus, priklausomai nuo apkrovimo pobūdžio. Ties atramomis skersiniai strypai turi būti išdėstomi tankiau nei kolonos viduryje, dėl susikoncentravusios plėšimo (skėtimo) jėgos. Tarpatramio viduryje strypai išretinami dėl to, kad didesnę dalį įtempių sudaro gniuždymo įtempiai (Julio E., et al. 2003).

Paskutinis gelžbetoninių elementų stiprinamų gelžbetoniniais apvalkalais etapas - tai gelžbetoninio apvalkalo betonavimas. Šiai stadijai naudojamas betonas turi turėti minimalias susitraukimo charakteristikas, ne mažesnį nei stiprinamojo elemento betono stiprį ir ilgaamžiškumo savybes.

Kaip buvo minėta, gniuždomuose gelžbetoniniuose elementuose gali suirti tik

tam tikra paviršiaus dalis ar plotas, o ne visas išorinis paviršius, jei agresyvusis veiksnys veikia būtent tik toje vietoje. Tuomet tokių elementų stiprinimas atliekamas ne viso skerspjūvio ploto didinimu, o tik suirusios dalies atstatymu (remontu). Stiprinimo metodika ir eiliškumas pateikiami 10 paveiksle.



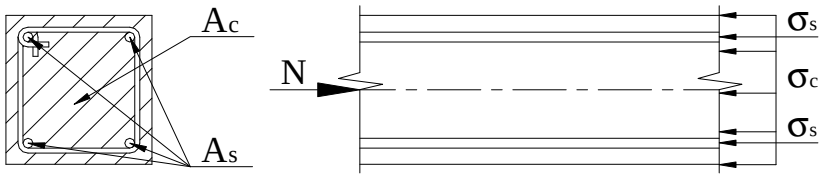
10 pav. Suirusio elemento dalies atstatymas (remontas)

1.3. Gelžbetoniniais apvalkalais sustiprintų gelžbetoninių konstrukcijų laikomoji galia

Kaip buvo minėta 1.1. poskyryje, atlikus statinio ar pastato ekspertizę ir nustačius laikančiųjų konstrukcijų būklę, pagal esamus defektus bei pažaidas pastatas priskiriamas vienai iš keturių kategorijų. Jeigu kategorija nusakanti statinio būklę teigia, kad pastatas, statinys ar jų atskiros konstrukcijos turi būti nedelsiant stiprinamos, yra numatoma visa stiprinimo eiga, tame tarpe ir tų konstrukcijų skaičiavimai.

Esant jau pastatytam pastatui ar statiniui, kurio kai kurios konstrukcijos jau pasiekusios tinkamumo ar net saugos reikalavimų ribines reikšmes, stiprinimo skaičiavimai yra sudėtingesni nei pradiniai projektavimo skaičiavimai, nes atliekant stiprinimo skaičiavimus turi būti numatyta jau esama ir busima pastato ar statinio situacija po sustiprinimo, atsižvelgiama į stiprinamos konstrukcijos laikomąją galią, standumą bei stabilumą.

Įvertinus viso pastato ar statinio įtempių – deformacijų būvį prieš sustiprinimą, atliekamas jo atskirų laikančių elementų pradinio įtempių – deformacijų būvio nustatymas. Įtempių ir deformacijų būvis labai priklauso nuo pradinio konstrukcijos apkrovimo būdo, kadangi laikančiosios konstrukcijos deformuotas būvis gali būti pasiekiamas trumpalaikiu, ilgalaikiu gniuždymu ar sudėtingu apkrovimu (Zabulėnas A., 1992). Centriškai gniuždomo gelžbetoninio elemento faktinis įtempių būvis pavaizduotas 11 pav.



11 pav. Centriškai gniuždomo elemento faktinis įtempių būvis

Esant ašiniam elemento gniuždymui su simetriškai išdėliota armatūra (11 pav.) išorinių ir vidinių jėgų pusiausvyros sąlyga galima užrašyti taip:

$$N = \sigma_c(t) \cdot A_c + \sigma_s(t) \cdot A_s, \tag{1.1}$$

ribinė ašinė apkrova, kurią gali perimti centriškai gniuždomas gelžbetoninis elementas, užrašoma tokia formule:

$$N_u = A_c \cdot (f_c + \mu \cdot f_s), \tag{1.2}$$

čia:

N – elementą veikianti ašinė jėga,

N_u – ribinė ašinė jėga,

$\sigma_c(t)$ – betone atsirandantys normaliniai gniuždymo įtempiai veikiant ašinei jėgai, laike t,

$\sigma_s(t)$ – armatūroje atsirandantys įtempiai veikiant ašinei jėgai, laike t,

A_c – betono skerspjūvio plotas,

A_s – armatūros skerspjūvio plotas,

f_c – faktinis betono gniuždomasis stipris,

f_s – faktinis armatūros stipris,

$\mu = A_s / A_c$ – armavimo koeficientas.

Akivaizdu, kad veikianti ašinė jėga realiose konstrukcijose neturi viršyti ribinės ašinės jėgos, kuri apskaičiuota pagal 1.2 formulę.

Kadangi betonas nėra vienalytė medžiaga, gniuždymas betone sukelia sudėtingus procesus ne tik visame bandinyje, bet ir atskiruose betono komponentuose. Todėl gniuždymo įtempių atsiradimas nuo veikiančios ilgalaikės gniuždymo apkrovos iššaukia įtempių persiskirstymą tarp stambių užpildo dalelių ir cementinio betono, bei netamprių deformacijų atsiradimą. Tam tikru nukrovimo momentu betonas būna tokiam įtempių būvyje, kai didesnės užpildo dalelės yra gniuždomos, o cementinio skiedinio betonas yra tempiamas. Tokie tempimo įtempiai gali pakenkti betono cementinio akmens stiprumui. To pasėkoje, veikiant trumpalaikiam gniuždymui, bandinyje atsiranda skersiniai mikroplyšiai, sumažinantys betono stiprumą.

Esant išilginei armatūrai, kuri iššaukia taip pat stiprumo persiskirstymą tarp betono ir armatūros, tam tikrą laiko momentą skirtingas skersinis gniuždomų bandinių armavimas turi neginčijamą įtaką gelžbetoninių elementų stiprumui. Todėl galima teigti, jog skersinis gniuždomų elementų armavimas didina konstrukcijų stiprumą skersinių deformacijų kryptimi. Kai kurių mokslininkų eksperimentai parodė, jog skersinio armavimo strypai gniuždomame elemente pradeda dirbti ne iš karto apkrovus konstrukciją, o tik pasiekus 0,4…0,6 $f_{c,red}$

betono stiprio. Ši skersinės armatūros įsijungimo į darbą stadija įtakoja mikroplyšių atsiradimą betone ir intensyvų skersinių deformacijų prieaugį.

Nustačius stiprinamojo elemento esamus įtempius ir deformacijas, atliekamas gniuždomų gelžbetoninių elementų stiprinimo gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimas.

Gniuždomų gelžbetoninių elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimo metodika priklauso nuo sekančių veiksnių:

- sustiprintas gelžbetoninis elementas dirba kaip vientisa monolitinė konstrukcija;
- stiprinamojo ir stiprinančiojo elementų armatūra ir betonas, kai veikianti išorinė apkrova artėja prie maksimalios suardančios apkrovos, artėja prie apskaičiuotųjų atitinkamų betono ir armatūros klasių;
- skersinė stiprinamojo elemento ir stiprinančiojo elemento armatūra dirba kartu.

Analizuojant šiuo metu Lietuvoje egzistuojančius sustiprintų gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimo metodus, galima pastebėti, kad dauguma jų remiasi jau esamais gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimo metodais, kurie pateikti SNIP, statybos techniniuose reglamentuose, Europos ar kitų šalių normose bei rekomendacijose, todėl nevisiškai tiksliai yra apibūdinamas ir atvaizduojamas įtempių ir deformacijų būvis paveiktose konstrukcijose. Taip pat galima pastebėti, kad sustiprintos konstrukcijos nevisada dirba kaip vientisas gelžbetoninis elementas, nes sustiprintos konstrukcijos apkrova dažniausiai perduodama ne tiesiogiai į patį apvalkalą, o sukibimo jėgų pagalba tarp „senojo“ ir „naujojo“ betono nuo stiprinamojo elemento. Todėl sustiprintų gelžbetoninių elementų gelžbetoniniais apvalkalais efektyvumas darbo stadijoje labai priklauso nuo stiprinamo gelžbetoninio elemento paviršiaus paruošimo prieš betonuojant apvalkalą.

Mokslininkų Konstantinos G. Vandoros ir Stephanos E. Dritsos (2007) atlikti ir aprašyti tyrimai rodo, kad esant irimo apkrovai, stiprinamojo gelžbetoninio apvalkalo pagrindinė armatūra gali nepasiekti skaičiuojamųjų tempimo įtempių.

Straipsnio autoriai Takeuti Adilson R., et. al. (2008) teigia, kad vienas iš pagrindinių realių rodiklių, skirtų vertinti gniuždomų, sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais, elementų paprastų veiksnių įtaka laikomajai galiai, yra stiprumo išnaudojimo procentas. Dažniausiai tai yra nusakoma koeficientu, kuris paprastai yra mažiau už vienetą. Šiuo koeficientu atsižvelgiama į stiprinimo konstrukcijos konstravimo metodą, patį stiprinimą, taip pat į apkrovos suteikimo pobūdį apvalkalui ir į kai kuriuos technologinius veiksnius susijusius su elementų stiprinimu.

Konstrukcijos elementų laikomoji galia, kai elementai stiprinami jų nenukrovus ir nesumažinus veikiančių juose įtempių, priklauso nuo juose veikiančių įtempių

dydžio. Kuo mažesnis skirtumas tarp veikiančių ir skaičiuojamųjų įtempių, tuo mažiau nukenčia stiprinimo efektyvumas, todėl pilnai atkurti stiprinamos konstrukcijos pradinę laikomąją galią galima tik visiškai ją nukrovus stiprinimo periodui, kada bus vykdomi stiprinimo darbai.

Nagrinėtų straipsnių Emmons P. H., et. al. (1998) ir Konstantinos G., et. al. (2006) eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė parodė, kad gniuždomi gelžbetoniniai elementai, kurie buvo stiprinti nenukrovus, perima apkrovą artimą ribinei, kuri savo dydžių yra mažesnė negu perimama tų gelžbetoninių elementų, kurie buvo nukraunami ir sumažinamas jų įtempių bei deformacijų būvis prieš atliekant stiprinimą. Analogiškas išvadas galima formuluoti ir Shannag M. J. ir Al-Rousan R. (2004) bei Shin S.-W., et. al. (2006) autorių straipsniams, kuriuose buvo analizuojami stiprinami lenkiami gelžbetoniniai elementai, taip pat jų nenukraunat prieš stiprinimo darbus.

Zabulėno A. (1992) disertacijoje nurodoma, kad centriškai gniuždomų elementų laikomoji galia, kai jie stiprinami jų nenukrovus, gali būti tikrinama pagal 1.3 išraišką:

$$N \le N_u = m_s \cdot \varphi \cdot \left[\left(f_{cd} \cdot A_c + f_{scd} \cdot A_s \right) + \left(f_{cd,a} \cdot A_{c,a} + f_{scd,a} \cdot A_{s,a} \right) \right], \qquad (1.3)$$

čia:

m_s - koeficientas, kuriuo tikslinama elemento laikomoji galia, kai elementas stiprinamas jo nenukrovus,

φ - koeficientas įvertinantis elemento klupumą, apkrovos veikimo trukmę ir armavimą, yra nustatomas pagal 1.4 išraišką:

$$\varphi = \varphi_b + 2 \cdot \left(\varphi_r - \varphi_b \right) \cdot \frac{f_{scd} A_s + f_{scd,a} A_{s,a}}{f_{cd} \cdot A_c + f_{cd,a} A_{c,a}}, \qquad (1.4)$$

čia:

φ_r ir φ_b - koeficientai, kurie priklauso nuo elemento skaičiuotinio ilgio ir skerspjūvio aukščio santykio $\frac{l_0}{h_1}$, bei nuo pastovių, ilgalaikių ir nuo visų apkrovų santykio $\frac{N_e}{N}$.

f_{cd} - stiprinamojo elemento betono skaičiuotinis gniuždomasis stipris,

A_c - stiprinamojo elemento betono skerspjūvio plotas,

f_{scd} - stiprinamojo elemento pagrindinės armatūros skaičiuotinis gniuždomasis stipris,

A_s - stiprinamojo elemento pagrindinės armatūros skerspjūvio plotas,

$f_{cd,a}$ - gelžbetoninio apvalkalo betono skaičiuotinis gniuždomasis stipris,

$A_{c,a}$ - gelžbetoninio apvalkalo betono skerspjūvio plotas,

$f_{scd,a}$ - gelžbetoninio apvalkalo pagrindinės armatūros skaičiuotinis gniuždomasis stipris,

$A_{s,a}$ - gelžbetoninio apvalkalo pagrindinės armatūros skerspjūvio plotas,

НИИЖБ (1992) rekomendacijose priimamas darbo sąlygų koeficientas γ_a, kuris priskiriamas tik apvalkalui.

$$N \le N_u = \varphi \cdot \left[\left(f_{cd} \cdot A_c + f_{scd} \cdot A_s \right) + \gamma_a \cdot \left(f_{cd,a} \cdot A_{c,a} + f_{scd,a} \cdot A_{s,a} \right) \right], \qquad (1.5)$$

čia:

γ_a – apvalkalo darbo sąlygų koeficientas.

$\varphi, f_{cd}, A_c, f_{scd}, A_s, f_{cd,a}, A_{c,a}, f_{scd,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje.

Taip pat pagal 1.3 formulę galima skaičiuoti ir pirminio apkrovimo įtaką, kadangi tai yra labai patogu, nes galima atskirai spręsti apie stiprinamojo elemento ir apvalkalo darbą.

Pagal 1.5 išraišką gaunami skaičiavimų rezultatai yra tikslesni ir labiau panašūs į realų stiprinamų elementų ir apvalkalų darbą. Negana to, fiksuota koeficiento reikšmė γ_a suteikia galimybę nustatyti pradinį įtempių bei deformacijų būvį elemente stiprinimo metu.

1.3.1. Gniuždomų gelžbetoninių elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimas pagal Malganovo ir kt. (1990) metodiką

Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento laikomoji galia pagal šią metodiką skaičiuojama pagal 1.6 išraišką:

$$N \le N_u = \varphi \cdot \left[\left(f_{cd} \cdot A_c + f_{scd} \cdot A_s \right) \cdot \gamma_1 + \gamma_2 \cdot \left(f_{cd,a} \cdot A_{c,a} + f_{scd,a} \cdot A_{s,a} \right) \right], \qquad (1.6)$$

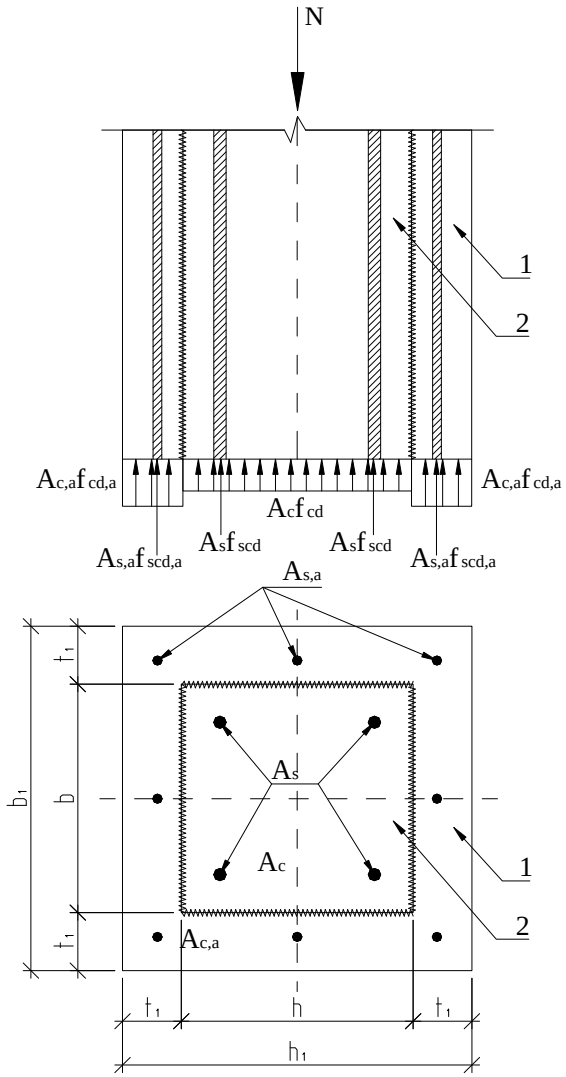
čia:

γ_1 - koeficientas, kuris priklauso nuo stiprinamojo elemento skerspjūvio aukščio. Kai $h \le 200mm, \gamma_1 = 0,9$, kai $h > 200mm, \gamma_1 = 1,0.$

γ_2 - $\gamma_2 = 0,9$, kai rištinė elemento skersinė armatūra ir elementas prieš sustiprinimą yra nukraunamas ir po sustiprinimo jėga padidėja ≤ 35 %, $\gamma_2 = 1,0$, kai rištinė elemento skersinė armatūra ir elementas prieš sustiprinimą yra nukraunamas ir po sustiprinimo jėga padidėja > 35 %,

$\varphi, f_{cd}, A_c, f_{scd}, A_s, f_{cd,a}, A_{c,a}, f_{scd,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje.

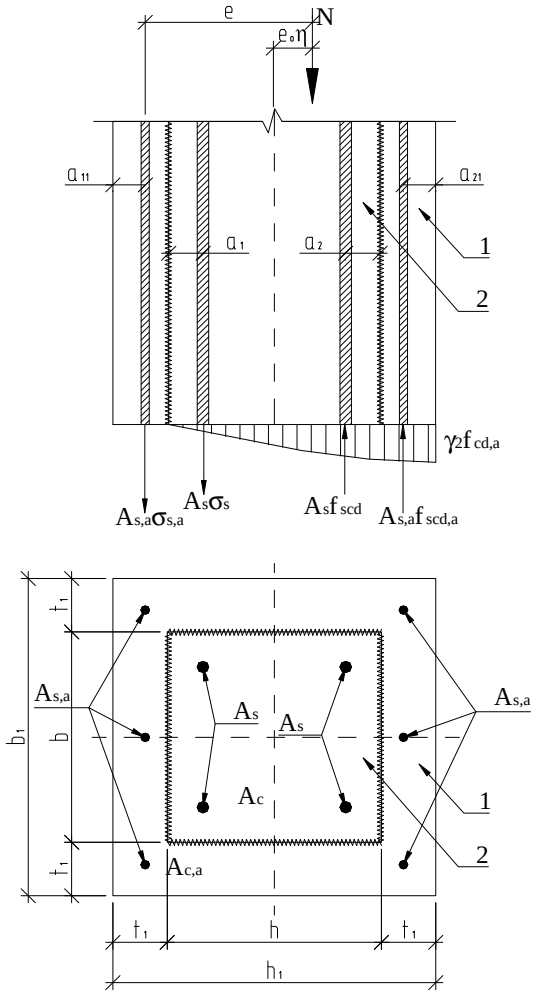
Skaičiuojamoji schema pateikta 12 paveiksle.



12 pav. Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema: 1 – gelžbetoninis apvalkalas, 2 – stiprinamas elementas

Pagal STR 2.05.05:2005 gniuždomų betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimo saugos ribiniam būviui metodiką, centriškai gniuždomų konstrukcijų praktiškai nebūna dėl įvairių gamybos technologijos ar kitų netikslumų atsirandusių nuokrypų gaminiuose. Šios nuokrypos įvertinamos veikiančios jėgos ekscentricitetu.

Apskaičiuojant ekscentriškai gniuždomus gelžbetoninius elementus, esant mažų ekscentricitetų atvejui, daroma prielaida, kad ribinis būvis pasiekiamas suirus skerspjūvio gniuždomosios zonos betonui. Todėl skerspjūvio tempiamosios zonos betonas neįvertinamas. Taip pat daroma prielaida, kad gniuždomojo betono stipris sąlygiškai yra lygus įtempiams $\gamma_2 f_{cd1}$, netolygiai, o pagal parabolę pasiskirsčiusiems sąlyginėje gniuždomojoje zonoje (žr. 13 pav.), kuri sutrumpintai vadinama skerspjūvio gniuždomąja zona (STR 2.05.05:2005).



13 pav. Eksentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema (mažų ekscentricitetų atvejis): 1 – gelžbetoninis apvalkalas, 2 – stiprinamas elementas

Ekscentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento laikomoji galia, kai yra mažų ekscentricitetų atvejis, skaičiuojama pagal 1.7 išraišką:

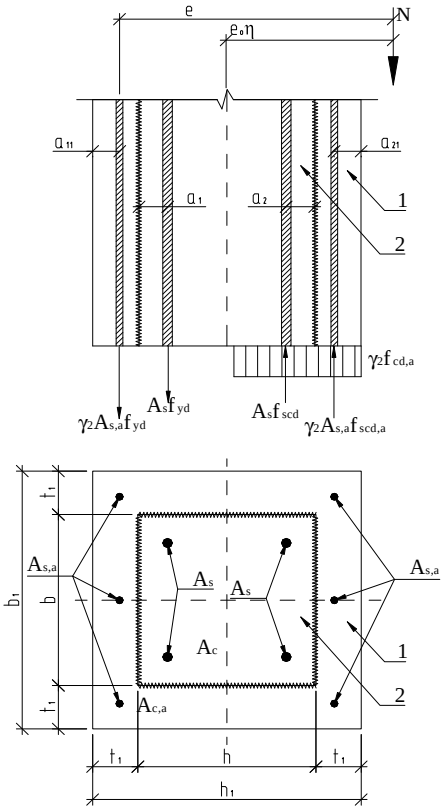
$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e \le M_u = f_{scd,a} \cdot A_{s,a}\left(h_1 - a_{21} - a_{11}\right) + f_{scd} \cdot A_s\left(h_1 - t_1 - a_2 - a_{11}\right) + \\ +0{,}85 \cdot \gamma_2 \cdot f_{cd,a} \cdot b_1 \cdot h_1\left(0{,}75 \cdot h_1 - a_{11}\right) - \sigma_s \cdot A_s\left(t_1 - a_{11} + a_1\right), \quad (1.7)$$

čia:

$f_{cd}, A_c, f_{scd}, A_s, f_{cd,a}, A_{c,a}, f_{scd,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje,

γ_2 – dydis aprašytas 1.6 išraiškoje, σ_s – dydis aprašytas 1.1 išraiškoje.

Apskaičiuojant ekscentriškai gniuždomus gelžbetoninius elementus, esant didelių ekscentricitetų atvejui, taip pat lenkiamus gelžbetoninius elementus, daroma prielaida, kad ribinis būvis pasiekiamas suirus skerspjūvio gniuždomosios zonos betonui, todėl skerspjūvio tempiamosios zonos betonas neįvertinamas. Taip pat daroma prielaida, kad gniuždomojo betono stipris sąlygiškai yra lygus įtempiams $\gamma_2 f_{cd1}$, tolygiai pasiskirsčiusiems sąlyginėje gniuždomojoje zonoje (žr. 14 pav.).



14 pav. Eksentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema (didelių ekscentricitetų atvejis): 1 – gelžbetoninis apvalkalas, 2 – stiprinamas elementas

Ekscentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento laikomoji galia, kai yra didelių ekscentricitetų atvejis, skaičiuojama pagal 1.9 išraišką, kuri gaunama parašius momentų pusiausvyros lygtį apie tempiamą apvalkalo armatūrą.

Pirmiausia, parašoma pusiausvyros lygtis į vertikalią ašį ir randamas betono gniuždomos zonos aukštis:

$$N - f_{scd} \cdot A_s - \gamma_2 \cdot f_{scd,a} \cdot A_{s,a} - \gamma_2 \cdot f_{cd,a} \cdot b_1 \cdot x_{eff} + f_{yd} \cdot A_s + \gamma_2 \cdot f_{yd,a} \cdot A_{s,a} = 0, \qquad (1.8)$$

Tuomet laikomoji galia gaunama parašius momentų pusiausvyros lygtį apie tempiamą apvalkalo armatūrą:

$$\begin{aligned} M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e \le M_u = f_{scd} \cdot A_s \left(h + t_1 - a_2 - a_{11}\right) + \gamma_2 \cdot f_{scd,a} \cdot A_{s,a} \left(h_1 - a_{21} - a_{11}\right) + \\ + \gamma_2 \cdot f_{cd,a} \cdot b_1 \cdot x_{eff} \left(h_1 - a_{11} - 0,5 x_{eff}\right) - f_{yd} \cdot A_s \left(t_1 + a_1 - a_{11}\right), \end{aligned} \qquad (1.9)$$

čia:

x_{eff} - betono gniuždomo zonos aukštis,

f_{yd} - stiprinamo elemento pagrindinės tempiamos armatūros skaičiuotinis stipris,

$f_{scd}, A_s, f_{cd,a}, f_{scd,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje,

γ_2 – dydis aprašytas 1.6 išraiškoje,

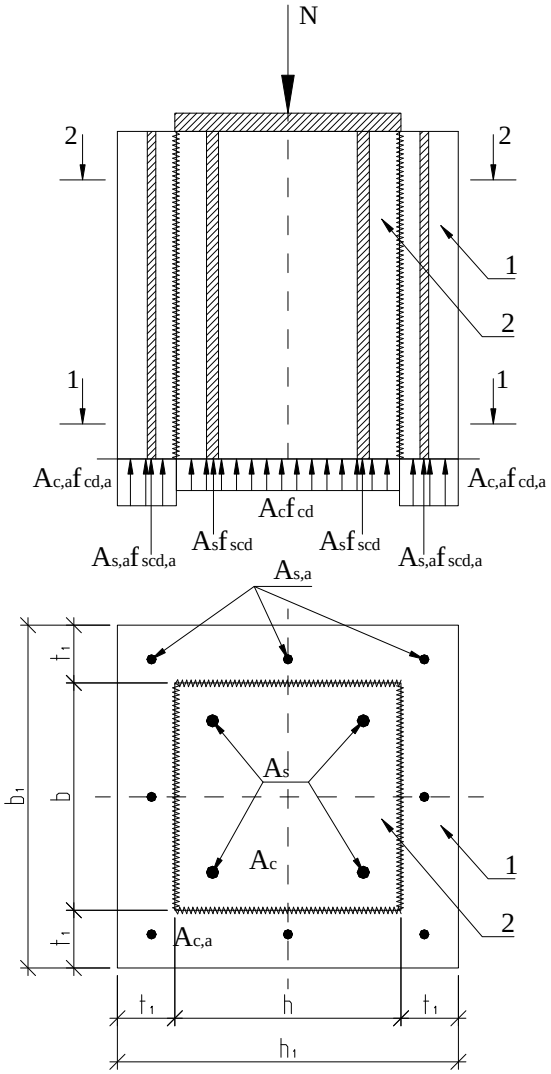
σ_s – dydis aprašytas 1.1 išraiškoje.

1.3.2. Gniuždomų gelžbetoninių elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimas pagal Krause (1993) metodiką

Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento laikomoji galia tikrinama dviejuose pjūviuose (15 pav.):

- ***Pjūvyje 1–1*** – viduriniajame elemento pjūvyje. Šiame pjūvyje dirba visas elemento skerspjūvis.
- ***Pjūvyje 2–2*** – kraštiniame elemento pjūvyje ties atrama. Šiame pjūvyje į darbą įtraukiama skersinė stiprinamojo elemento bei apvalkalo armatūra.

Centriškai gniuždomo sustiprinto gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema pateikta 15 paveiksle.



15 pav. Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema: 1 – gelžbetoninis apvalkalas, 2 – stiprinamas elementas

Taigi, centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento laikomoji galia pjūvyje 1 – 1 skaičiuojama pagal 1.10 išraišką:

$$N_{u,1-1} = \varphi \cdot \left[\left(f_{cd} \cdot A_c + f_{scd} \cdot A_s \right) + \left(\gamma \cdot f_{cd,a} \cdot A_{c,a} \right) + f_{scd,a} \cdot A_{s,a} \right], \qquad (1.10)$$

čia:

$\varphi, f_{cd}, A_c, f_{scd}, A_s, f_{cd,a}, A_{c,a}, f_{scd,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje,

γ - koeficientas, priklausantis nuo stiprinamojo elemento betono ir apvalkalo

betono amžiaus. Jeigu naujai įrengiamo apvalkalo betono amžius skiriasi mažiau kaip vieneriais metais nuo esamo elemento betono amžiaus, tuomet $\gamma = 0,9$, jeigu daugiau kaip vieneriais metais - $\gamma = 1,0$.

Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento laikomoji galia pjūvyje 2 – 2 skaičiuojama pagal 1.11 išraišką:

$$N_{u,2-2} = \left(f_{cd} \cdot A_c + f_{scd} \cdot A_s \right) \cdot \left[1 + \frac{\nu \cdot \lambda^* \cdot A_w \cdot f_{swd} \cdot (1+k)}{f_{cd} \cdot A_c + f_{scd} \cdot A_s} \right], \quad (1.11)$$

čia:

$f_{cd}, A_c, f_{scd}, A_s$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje,

f_{swd} – stiprinamojo elemento skersinės armatūros skaičiuotinis stipris,

A_w – stiprinamojo elemento skersinės armatūros darbo plotas apskaičiuojamas pagal 1.12 išraišką:

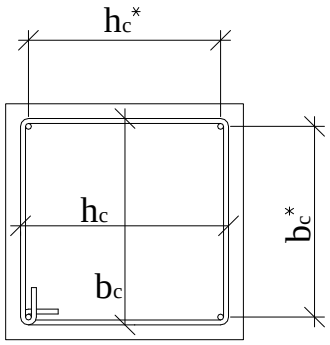
$$A_w = \left(2 \cdot b_c + 2 \cdot h_c \right) \cdot \frac{A_{sw}}{S_w}, \quad (1.12)$$

čia:

A_{sw} – elemento skersinės armatūros skerspjūvio plotas,

S_w – elemento skersinės armatūros žingsnis,

b_c ir h_c – atstumai elemente tarp skersinės armatūros išorinių kraštų (16 pav.).



16 pav. b_c ir h_c, bei b_c^* ir h_c^* padėtis

Koeficientas ν apskaičiuojamas pagal 1.13 išraišką:

$$\nu = 2,3 \cdot \left(1 + \frac{f_{ck} - 20}{100} \right), \quad (1.13)$$

tačiau turi būti tenkinama sąlyga: $\frac{f_{ck}-20}{100} \geq 0$,

čia:

f_{ck} – stiprinamojo elemento betono charakteristinis gniuždomasis stipris.

Koeficientas k apskaičiuojamas pagal 1.14 išraišką:

$$k = \frac{\lambda_a^*}{\lambda^*} \cdot \frac{A_{ef,a}}{A_{ef}} \cdot \frac{\rho_{sw,a}}{\rho_{sw}} \cdot \frac{f_{swd,a}}{f_{swd}}, \tag{1.14}$$

čia:

f_{swd} – dydis aprašytas 1.11 išraiškoje,

$f_{swd,a}$ – apvalkalo skersinės armatūros skaičiuotinis stipris.

Koeficientai λ^* ir λ_a^* apskaičiuojami pagal 1.15 ir 1.16 išraiškas:

$$\lambda^* = \left(1 - \frac{\sum_{n-1}^{n} b_c^*}{5,5 \cdot A_c^*}\right) \cdot \left(1 - \frac{S_w}{2 \cdot b_c}\right) \cdot \left(1 - \frac{S_w}{2 \cdot h_c}\right), \tag{1.15}$$

$$\lambda_a^* = \left(1 - \frac{\sum_{n-1}^{n} b_{c,a}^*}{5,5 \cdot A_{c,a}^*}\right) \cdot \left(1 - \frac{S_{w,a}}{2 \cdot b_{c,a}}\right) \cdot \left(1 - \frac{S_{w,a}}{2 \cdot h_{c,a}}\right), \tag{1.16}$$

čia:

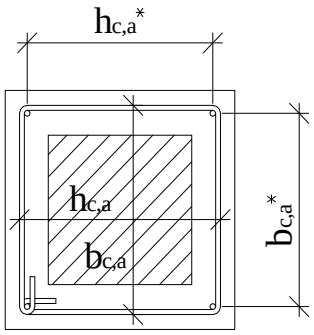
b_c, h_c, S_w – dydžiai aprašyti 1.12 išraiškoje,

b_c^* ir h_c^* – atstumai stiprinamajame elemente tarp pagrindinių strypų centrų (16 pav.),

$S_{w,a}$ – apvalkalo skersinės armatūros žingsnis,

$b_{c,a}$ ir $h_{c,a}$ – atstumai apvalkale tarp skersinės armatūros išorinių kraštų (17 pav.),

$b_{c,a}^*$ ir $h_{c,a}^*$ - atstumai apvalkale tarp pagrindinių strypų centrų (17 pav.).



17 pav. $b_{c,a}$ ir $h_{c,a}$, bei $b_{c,a}^{*}$ ir $h_{c,a}^{*}$ padėtis

Skerspjūvio plotai A_c^{*} ir $A_{c,a}^{*}$ apskaičiuojamas pagal 1.17 ir 1.18 išraiškas:

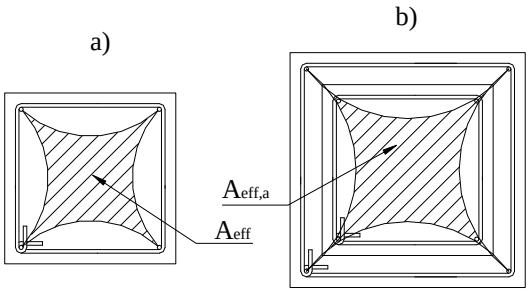
$$A_c^{*} = b_c \cdot h_c, \tag{1.17}$$

$$A_{c,a}^{*} = b_{c,a} \cdot h_{c,a}. \tag{1.18}$$

Skerspjūvio efektyvūs plotai A_{eff} ir $A_{eff,a}$ (18 pav.) apskaičiuojami pagal 1.19 ir 1.20 išraiškas:

$$A_{eff} = A_c^{*} \cdot \lambda^{*}, \tag{1.19}$$

$$A_{eff,a} = A_{c,a}^{*} \cdot \lambda_a^{*}. \tag{1.20}$$



18 pav. Skerspjūvio efektyvūs plotai A_{eff} ir $A_{eff,a}$:

a) nesustiprintos kolonos, b) sustiprintos kolonos

Stiprinamojo elemento ir apvalkalo skersinio armavimo koeficientai ρ_{sw} ir $\rho_{sw,a}$ apskaičiuojami pagal 1.21 ir 1.22 išraiškas:

$$\rho_{sw} = \frac{A_w}{A_c^*}, \tag{1.21}$$

$$\rho_{sw,a} = \frac{\left(2 \cdot b_{c,a} + 2 \cdot h_{c,a}\right) \cdot A_{sw,a}}{A_{c,a}^* \cdot S_{w,a}}. \tag{1.22}$$

Atlikus skaičiavimus nurodytuose pjūviuose, turi būti tenkinama 1.23 sąlyga:

$$N_u = \min\left[N_{u,1-1}; N_{u,2-2}\right] \geq N_{Ed}. \tag{1.23}$$

Prieš tai aptartoje skaičiavimo metodikoje teigiama, jog centriškai gniuždomų konstrukcijų praktiškai nebūna dėl to, kad neįmanoma pagaminti idealiai tikslių gaminių tiek gamykloje tiek ir statybvietėje. Todėl ir šioje skaičiavimo metodikoje nuokrypos įvertinamos ekscentricitetu.

Ekscentriškai gniuždomo gelžbetoninio elemento sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu laikomosios galios tikrinamieji skaičiavimai atliekami taip pat dviejuose pjūviuose.

Pjūvyje 1 – 1 skaičiuojama pagal 1.24 išraišką:

$$N_{u,1-1,e} = N_{u,1-1} \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot e_0}{h_{c,a}}\right), \tag{1.24}$$

pjūvyje 2 – 2 skaičiuojama pagal 1.25 išraišką:

$$N_{u,2-2,e} = N_{u,2-2} \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot e_0}{h_{c,a}}\right). \tag{1.25}$$

Išraiškose 1.24 ir 1.25 narys $\left(1 - \frac{8 \cdot e_0}{h_{c,a}}\right)$ įvertina gniuždomų sustiprintų gelžbetoniniu apvalkalu gelžbetoninių elementų ekscentricitetą.

$N_{u,1-1}$ ir $N_{u,2-2}$ – dydžiai aprašyti 1.10 ir 1.11 išraiškose,

e_0 – ekscentricitetas, kuris nustatomas pagal STR 2.05.05:2005 pateiktą metodiką arba eksperimentiškai.

Atlikus skaičiavimus nurodytuose pjūviuose, turi būti tenkinama 1.26 sąlyga:

$$N_u = \min\left[N_{u,1-1,e}; N_{u,2-2,e}\right] \geq N_{Ed}. \quad (1.26)$$

1.4. Išvados ir darbo tikslas

Šalyje didelę dalį statybų apimties sudaro statinių rekonstrukcija bei remontas. Lietuvai vis labiau integruojantis į ES statinių rekonstrukcijos ir remonto apimtys didėja ir toliau didės. Ryšium su tuo iškyla gniuždomųjų elementų (ypač kolonų) stiprinimo kontūriniais apvalkalais klausimai.

Šiuo metu labiausiai paplitęs yra gniuždomųjų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas gelžbetoniniais kontūriniais apvalkalais, kurių įtaka sustiprintos konstrukcijos bendram darbui vertinama nevienareikšmiškai. Tai matyti iš 1 – me skyriuje atliktos sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais konstrukcijų laikomosios galios skaičiavimo metodų analizės.

Pagal iki dabar Lietuvoje taikomą gelžbetoninių elementų, sustiprintų kontūriniais gelžbetoniniais apvalkalais, stiprumo skaičiavimo metodiką yra laikoma, kad stiprinamoji konstrukcija ir apvalkalas dirba kaip vientiso skerspjūvio elementas ir užtenka patikrinti laikomąją galią viename pjūvyje, kuriame veikia pavojingiausios įrąžos. Tačiau Vokietijoje atlikti tyrimai parodė, kad apkrovos perdavimo atraminėse zonose (ypač, kai apkrova į apvalkalą perduodama tik per trintį tarp senojo ir naujojo betono) dominuoja didelės skersinės betono deformacijos ir gali atitrūkti apvalkalas. Šiuo atveju į darbą įsijungia apvalkalo skersinė armatūra. Todėl sustiprintos konstrukcijos laikomąją galią rekomenduojama tikrinti 2 – se pjūviuose: atraminėje zonoje ir pjūvyje, kuriame ši konstrukcija laikoma, kad yra vientiso skerspjūvio. Galima pagrįstai teigti, kad tokius sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais gniuždomųjų gelžbetoninių konstrukcijų stiprumo skaičiavimo skirtumus lėmė nevienodos apvalkalų įjungimo į darbą sąlygos atliktuose eksperimentiniuose tyrimuose.

Darbo tikslas – remiantis aukščiau pateiktomis išvadomis, atlikti sustiprintų kontūriniu gelžbetoniniu apvalkalu modelių iš dispersiškai armuoto stipraus betono teorinius ir eksperimentinius tyrimus, kai apvalkalas apkraunamas per trintį tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betonų, įvertinti apvalkalo skersinės armatūros įtaką gniuždomų elementų pleišėjimui, deformacijoms ir laikomajai galiai.

2. SUSTIPRINTŲ GELŽBETONINIAIS APVALKALAIS DISPERSIŠKAI ARMUOTŲ BETONINIŲ MODELIŲ EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

2.1. Tyrimų programa ir metodika

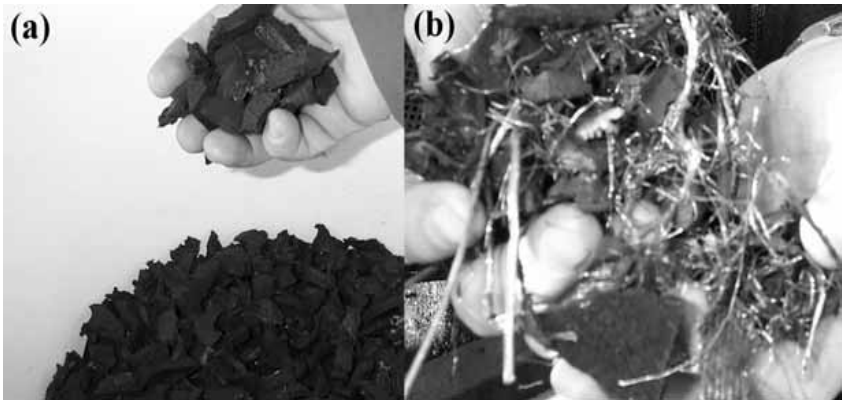
Paprastas nearmuotas betonas yra medžiaga, kuri pasižymi puikiomis gniuždymo savybėmis, tačiau yra labai neatsparus ir greitai suyra tempiant. Nuspręsta ištirti modelius – bandinius, kurie suprojektuoti ir pagaminti naudojant plieno skaidulomis armuotą betoną. Pagrindinė plieno skaidulų (fibrų) naudojimo priežastis yra pagerinti tempiamo betono elgseną ir gauti kuo elastingesnį betoną tempimo metu, bei sumažinti stiprinamojo elemento skersinės šlyties poveikį.

Yra žinoma, kad betonas armuotas plieno skaidulomis yra atsparesnis smūgiams, bei plyšių ar trūkimų atsiradimo metu ne taip staigiai lūžta ir suyra. Dėl naudojamų skaidulų, plieno fibromis armuotas betonas (steel fiber reinforced concrete – SFRC) gali perimti didesnius tempimo įtempius, todėl savaime ilgėja laiko trukmė iki pirmųjų plyšių atsivėrimo. Tačiau dispersiškai armuoto betono tempiamasis stipris, lyginant su paprastu betonu, yra didesnis tik iki pirmųjų plyšių (mikroplyšių) susidarymo. Vėliau, plintant betono plyšiams, dispersinio armavimo efektas mažėja. Taigi galime teigti, kad irimo metu dispersiškai armuoto ir paprasto betono savybės suvienodėja.

Kadangi dispersinio betono traukumo deformacijos yra mažesnės nei paprasto betono, todėl kietėjančio dispersiškai armuoto betono medžiagų savybės stipriai priklauso nuo plieno fibrų kiekio, tipo, jų pasiskirstymo bei orientacijos juose. Taip pat gana didelę įtaką kietėjimo sąlygoms turi ir pačio betono savybės (Thomée et al. 2005).

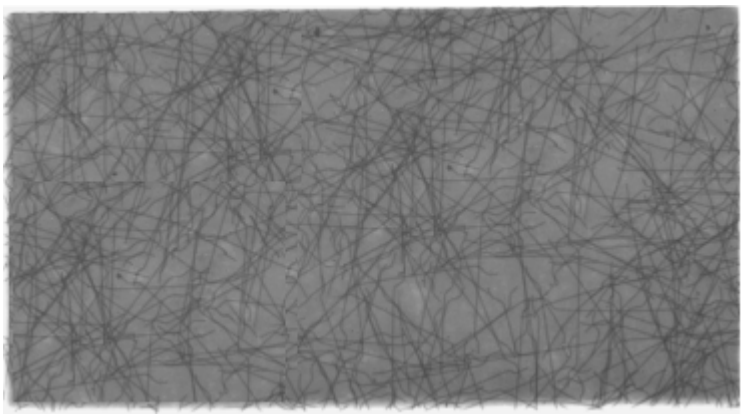
Kaip teigia Pilakoutas ir kt. (2004), plieno skaidulos gali būti gaunamos perdirbant jau nebenaudojamas žaliavas. Daugiausiai plieno skaidulų galima gauti perdirbus jau nebetinkamas naudoti padangas, kadangi jose yra plieninių vijų, kurios sukarpytos gali būti naudojamos gaminti dispersiškai armuotam betonui. Nebenaudojamų padangų smulkinimo proceso metu padangos susmulkinamos į gumos gabalus, o plieno pluoštas atskiriamas. Visas procesas vykdomas keliais etapais tam, kad būtų pasiektas reikiamas granulių dydis. Po pirmojo smulkinimo etapo gumos gabalai rūšiuojami ir atskiriami tie, kuriose dar yra plieno. Jie smulkinami antrame etape į mažesnes granules (19 (a) pav.). Antrame etape vėl atskiriamos plieno skaidulos (19 (b) pav.). Galutiniame etape yra naudojami magnetai, kurie atskiria plieną nuo gumos. Atskyrus gumos granulės dar susmulkinamos iki 1-10 mm frakcijų dydžio, o magnetai pašalina plieno likučius.

.



19 pav. Gumos granulės (a) ir plieno skaidulos gautos po antrojo smulkinimo etapo (b)

Praktikoje ir realiose konstrukcijose dispersiškai armuotas betonas naudojamas gana retai ir tik tam tikrais atvejais, kai yra būtinas. Plieno skaidulomis armuotas betonas gali būti naudojamas statinių bei pastatų konstrukcijų remonto darbams, perdangų plokštėms, poliams ir pan. (Indelicato 2002).



20 pav. Plieno skaidulomis (fibromis) armuoto betono fragmentas

Fibrų išsidėstymas (20 pav.) betoniniame ar gelžbetoniniame elemente gali būti labai įvairus, nes tai nėra reglamentuotas ar kitaip akcentuojamas dalykas, kita vertus, kontroliuoti jų išdėstymą yra neįmanoma. Tačiau konstrukcijos ar atskiro fibromis armuoto elemento stiprumas priklauso nuo plieno skaidulų padėties jame (Kwan A., 2007).

Todėl atliekant sustiprintų kontūriniu gelžbetoniniu apvalkalu modelių iš dispersiškai armuoto stipraus betono eksperimentinius tyrimus, kai apvalkalas apkraunamas per trintį tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betonų, pirmiausia buvo siekiama išsiaiškinti jų pleišėjimo bei suirimo pobūdį ir palyginti su nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių tyrimais. Taip

pat buvo siekiama nustatyti ir įvertinti apvalkalo skersinės armatūros įtaką gniuždomų elementų pleišėjimui, deformacijoms ir laikomajai galiai.

Taigi, šiame magistro darbe buvo pagaminti 9 dispersiškai armuoti kolonų modeliai. Visų modelių matmenys buvo a (mm) x b (mm) x h (mm) = 150 x 150 x 630. Dispersiškai armuoti modeliai buvo gaminami iš betono, kurio klasė C35/45. Skiediniui atitinkamomis proporcijomis buvo naudojama granitinė skalda (4/11), smėlis (0/4), cementas, superplastiklis „PLATOLITH“ bei plieno skaidulos (fibros), kurios sudarė apie 4-5 % bandinio svorio. Fibrų diametras buvo apie 1,0-1,05 mm, o ilgis 25-55 mm, kadangi moksliniai tyrimai rodo, jog su tokio ilgio fibromis elemento stipris yra didžiausias.

Po 28 – ių parų kietėjimo 6 – i bandiniai iš 9 – nių buvo sustiprinti kontūriniu gelžbetoniniu apvalkalu, įrengiant skrtingą rištinį armatūros karkasą apvalkale ties atramomis. Apvalkalo betonui ruošti atitinkamomis proporcijomis buvo naudojama granitinė skalda (4/11), smėlis (0/4), cementas bei superplastiklis „PLATOLITH“.

Betono savybėm nustatyti buvo pagaminta penkiolika etaloninių bandinių (6 kubeliai ir 9 prizmės).

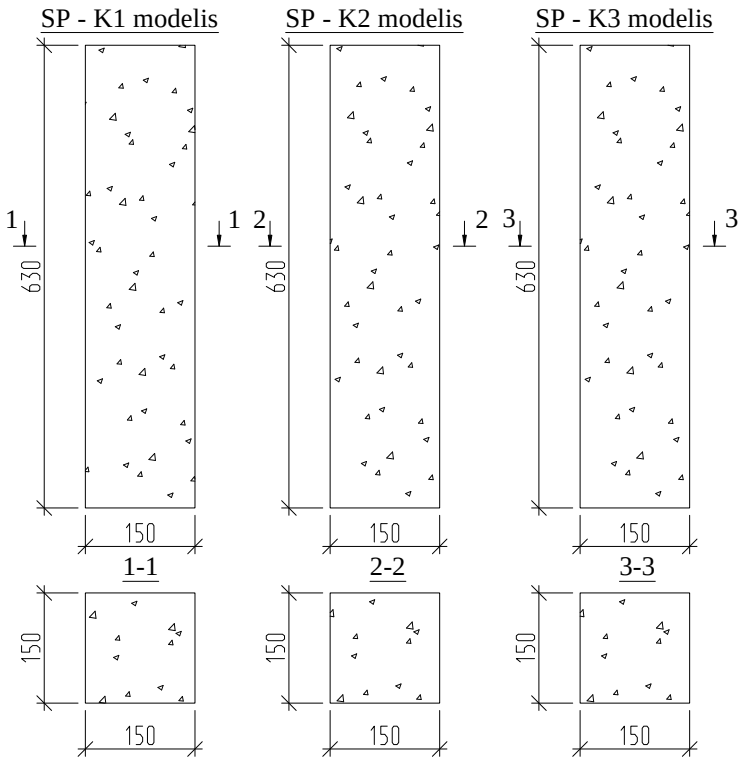
Devynių kolonų modelių grupę sudarė trys pogrupiai. Modelių žymėjime pirmosios dvi raidės nusako autoriaus vardo ir pavardės pirmąsias raides, trečioji raidė – modelio tipą (K – kolona, R – reta apvalkalo skersinė armatūra, T – tanki apvalkalo skersinė armatūra), skaičius – pogrupio modelio numerį.

Pirmą pogrupį sudarė trys SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 dispersiškai armuoti modeliai (21 pav.). Kolonų modeliai buvo pagaminti liejimo būdu, mediniuose klojiniuose (22 pav.), vėliau sutankinti ir palikti kietėti.

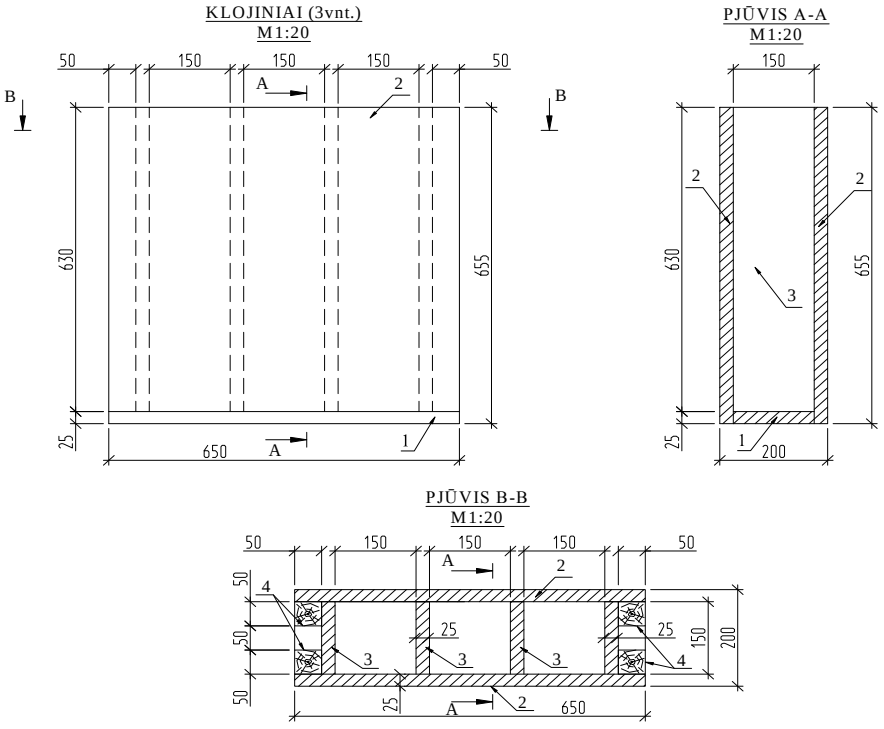


21 pav. Dispersiškai armuoti SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 modeliai

Šių modelių geometrija pateikta 22 paveiksle.



22 pav. Nesustiprintų modelių SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 geometrija



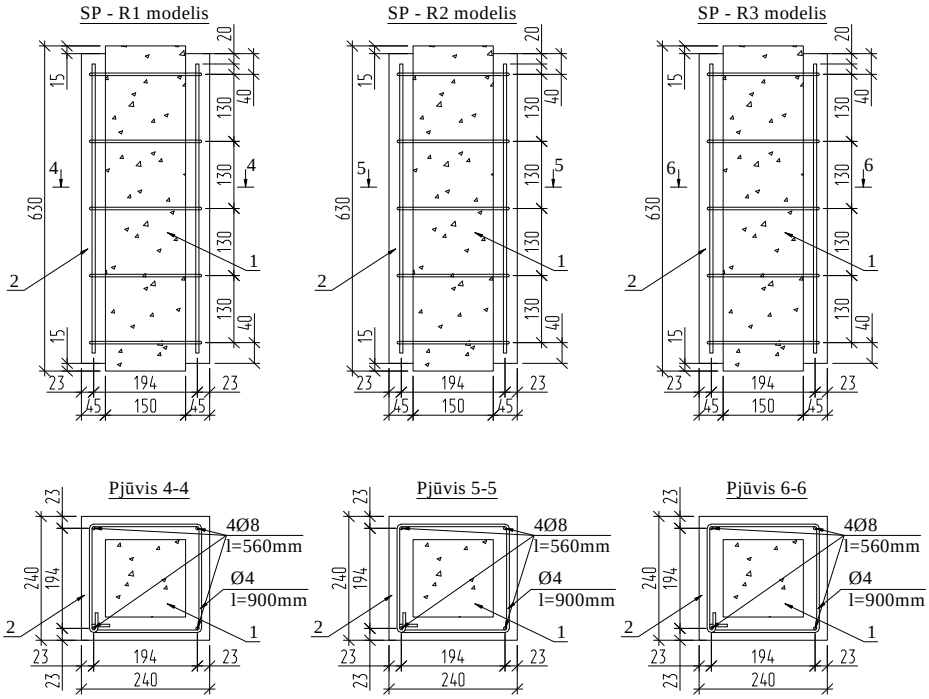
23 pav. Nesustiprintų modelių SP–K1–3 bei sustiprintų modelių SP–T1–3 ir SP–R1–3 branduolių klojinių geometrija

Antrą bandinių pogrupį sudarė taip pat trys SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 dispersiškai armuoti modeliai, kurie buvo gaminami kartu su pirmojo pogrupio modeliais ir po 28 – ių parų kietėjimo buvo sustiprinti gelžbetoniniu kontūriniu apvalkalu, pagaminant rištinį armatūros strypyną su retu (S=130 mm) skersinės armatūros žingsniu (24 pav.).



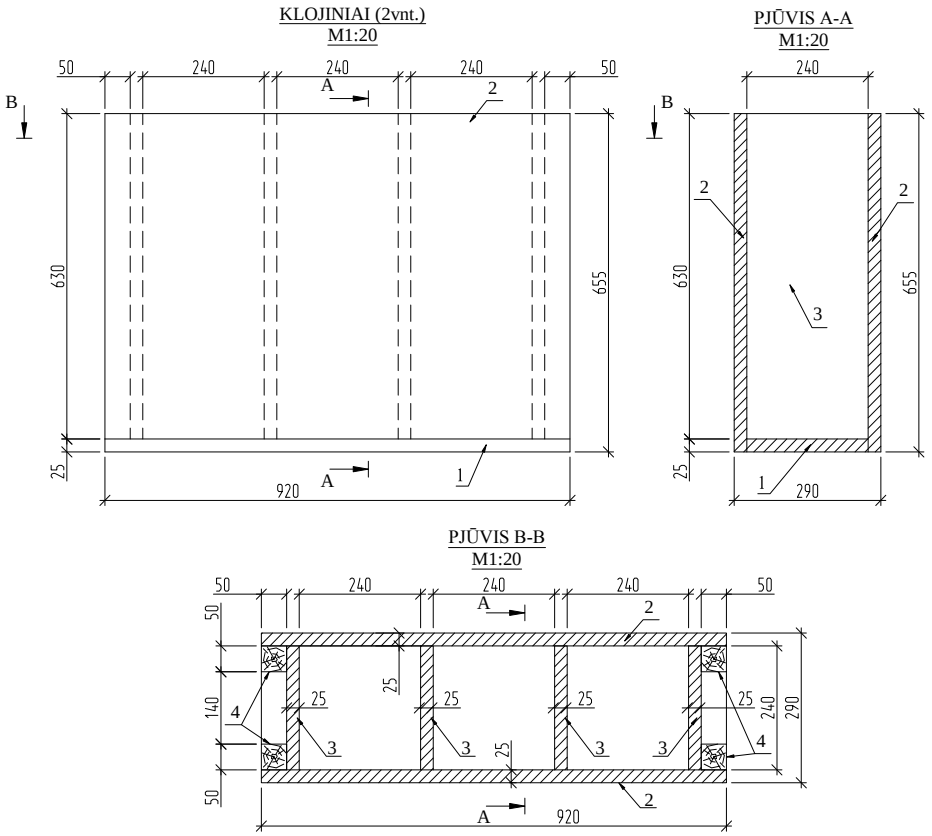
24 pav. Sustiprinti gelžbetoniniu apvalkalu SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 modeliai

Šių eksperimentinių modelių geometrija ir armatūros strypynų padėtis pavaizduota 25 paveiksle.



25 pav. Sustiprintų modelių SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 geometrija ir armatūros padėtis

Šie modeliai taip pat buvo monolitinami mediniuose klojiniuose (26 pav.).



26 pav. Sustiprintų modelių SP–R1, SP–R2 ir SP–R3 klojinių geometrija

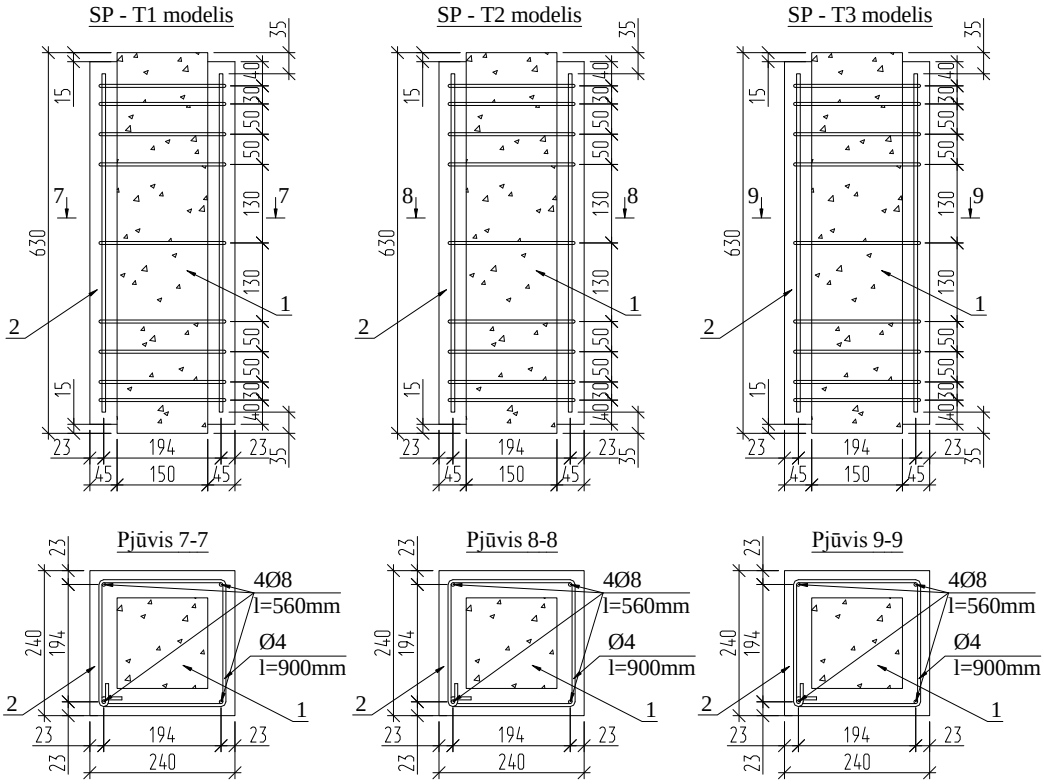
Modeliai buvo pagaminti liejimo būdu, klojiniuose sutankinat ir paliekant kietėti.

Trečią bandinių pogrupį sudarė taip pat trys SP–T1, SP–T2 ir SP–T3 dispersiškai armuoti modeliai (27 pav.), kurie taip pat buvo gaminami su pirmojo pogrupio modeliais.



27 pav. Sustiprinti gelžbetoniniu apvalkalu SP–T1, SP–T2 ir ST–T3 modeliai

Šie modeliai, taip pat po 28 – ių parų kietėjimo buvo lygiai taip pat sustiprinti kaip ir antrojo pogrupio modeliai SP–R1, SP–R2 ir SP–R3, tik gaminant rištinį armatūros strypyną, skersinė armatūra ties atramomis buvo sutankinama. Šių modelių geometrija ir armatūros srypynų padėtis pateikta 28 paveiksle.

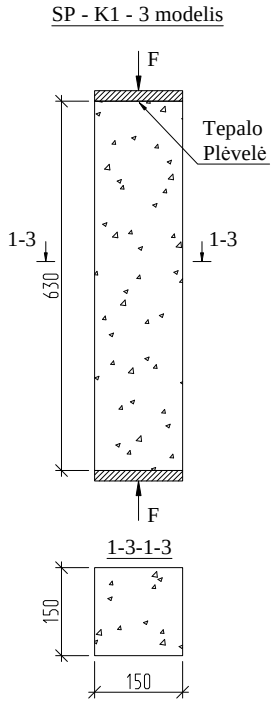


28 pav. Sustiprintų modelių SP–T1, SP–T2 ir SP–T3 geometrija ir armatūros padėtis

Klojinių geometrija pateikta 26 paveiksle.

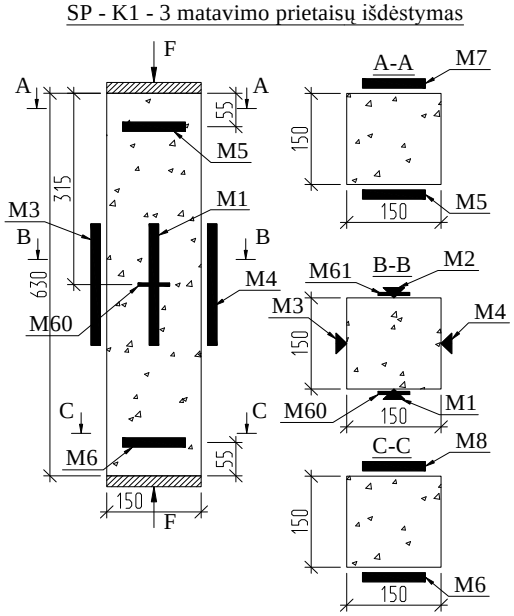
Svarbu paminėti, kad eksperimentinių modelių ruošimas, betonavimas ir sutankinimas vibruojant buvo vykdomas vertikalioje padėtyje.

Po daugiau kaip 28 parų kietėjimo, iš devynių pirmieji trys modeliai SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 buvo apkraunami apkrova ir gniuždomi iki jų suirimo. Modelio viršutinėje dalyje apkrova buvo perduodama per du 1mm storio polietileno sluoksnius, tarp kurių buvo sudaryta tepalo plevelė tam, kad būtų panaikintas trinties efektas (29 pav.).



29 pav. SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 modelių apkrovimo schema

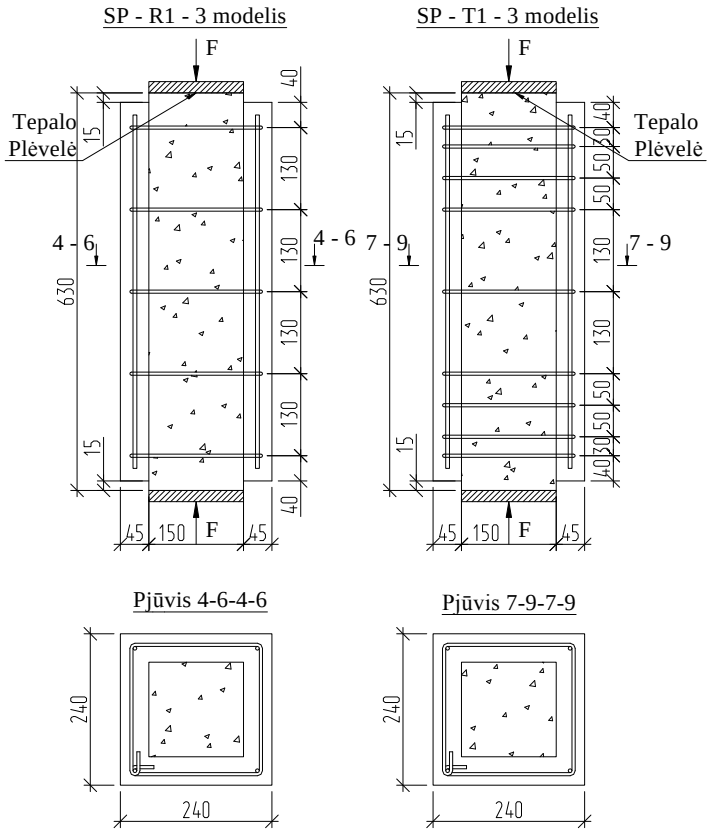
Atliekant nesustiprintų modelių gniuždymo eksperimentinius tyrimus, pirmiausia bandiniai buvo centruojami naudojant 200 mm bazės vertikaliuosius indikatorius ir tik tada gniuždomi iki jų suirimo. Modelių be apvalkalo SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 bandymo metu buvo matuojamos skersinės bei išilginės deformacijos. Prietaisų išdėstymo schema pateikiama 30 paveiksle.



30 pav. SP–K1, SP–K2 ir SP–K3 modelių matavimo prietaisų išdėstymo schema

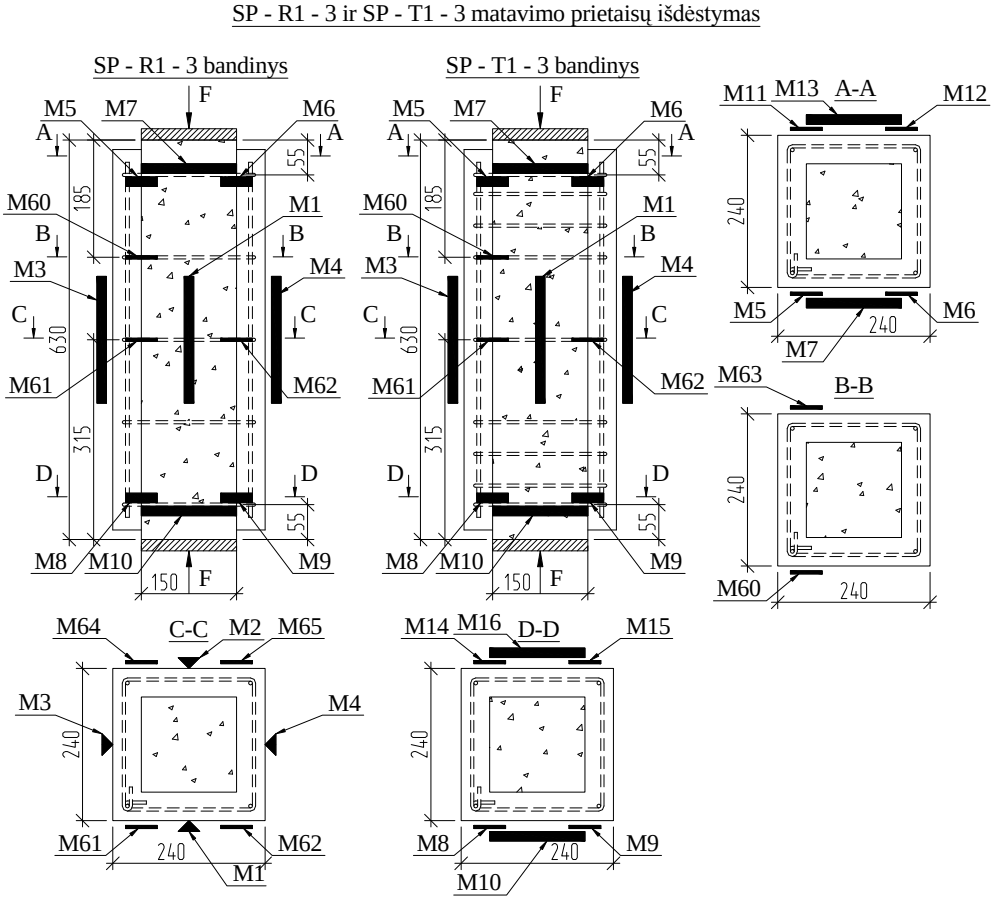
30 paveiksle sužymėti matavimo prietaisai skirti matuoti išilgines bei skersines gniuždomų modelių deformacijas. Matavimo rezultatai buvo fiksuojami kompiuterio pagalba ir vėliau apdorojami. M1–M4 - tai vertikalūs elektromechaniniai indikatoriai, kurie buvo skirti gniuždomų modelių centravimui, bei vertikalių deformacijų matavimui. Šių indikatorių matavimo bazė yra 200 mm. M5–M8 - horizontalūs elektromechaniniai indikatoriai, kurie buvo skirti horizontalių deformacijų, atsiradusių dėl skėtimo jėgų, matavimui ties atramomis. Šių indikatorių matavimo bazė yra 100 mm. Horizontalių deformacijų matavimui ties gniuždomo modelio viduriu, buvo klijuojami elektroniniai tenzodavikliai M60 ir M61. Šie davikliai buvo klijuojami naudojant БФ-2 klijus.

Po nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių bandymų, toliau buvo bandomi sustiprinti gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuoti SP–R1, SP–R2, SP–R3, SP–T1, SP–T2, SP–T3 modeliai. Gniuždanti apkrova buvo perduodama tik pačiam branduoliui, o apvalkalui tiesioginio poveikio neturėjo. Bandiniai buvo bandomi iki jų ribinės apkrovos ir suirimo. Sustiprintų modelių viršutinėje dalyje apkrova buvo perduodama per du 1 mm storio polietileno sluoksnius, tarp kurių buvo sudaryta tepalo plėvelė, tam, kad būtų panaikintas trinties efektas (31 pav.).



31 pav. SP–R1–3 ir SP–T1–3 modelių apkrovimo schema

Atliekant sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių eksperimentinius tyrimus, pirmiausia modeliai buvo centruojami naudojant 200 mm bazės vertikaliuosius indikatorius ir tik tada gniuždomi iki suirimo. Modelių SP–R1, SP–R2, SP–R3 ir SP–T1, SP–T2, SP–T3 bandymo metu buvo matuojamos skersinės bei išilginės deformacijos. Prietaisų išdėstymo schemos pateikiamos 32 paveiksle.



32 pav. SP–R1, SP–R2, SP–R3 ir SP–T1, SP–T2, SP–T3 modelių matavimo prietaisų išdėstymo schema

32 paveiksle sužymėti matavimo prietaisai skirti matuoti išilgines bei skersines gniuždomų modelių deformacijas. Matavimo rezultatai buvo fiksuojami kompiuterio pagalba ir vėliau apdorojami. M1–M4 - tai vertikalūs elektromechaniniai indikatoriai, kurie buvo skirti gniuždomų modelių centravimui, bei vertikalių deformacijų matavimui. Šių indikatorių matavimo bazė yra 200 mm. M5–M16 - horizontalūs elektromechaniniai indikatoriai, kurie buvo skirti horizontalių deformacijų, atsiradusių dėl skėtimo jėgų, matavimui ties atramomis. Šių indikatorių matavimo bazė yra 100 mm. Taip pat horizontalių deformacijų matavimui ties gniuždomo kolonos modelio viduryje ir aukščiau esančia skersine armatūra buvo

klijuojami elektroniniai tenzodavikliai M60–M65. Šie davikliai buvo klijuojami naudojant БФ-2 klijus.

Gniuždant modelius, apkrova buvo didinama po 1–5 % nuo laukiamos ardančios apkrovos ir į bandymų pabaigą (kai elementas pradėdavo irti) apkrova buvo mažinama.

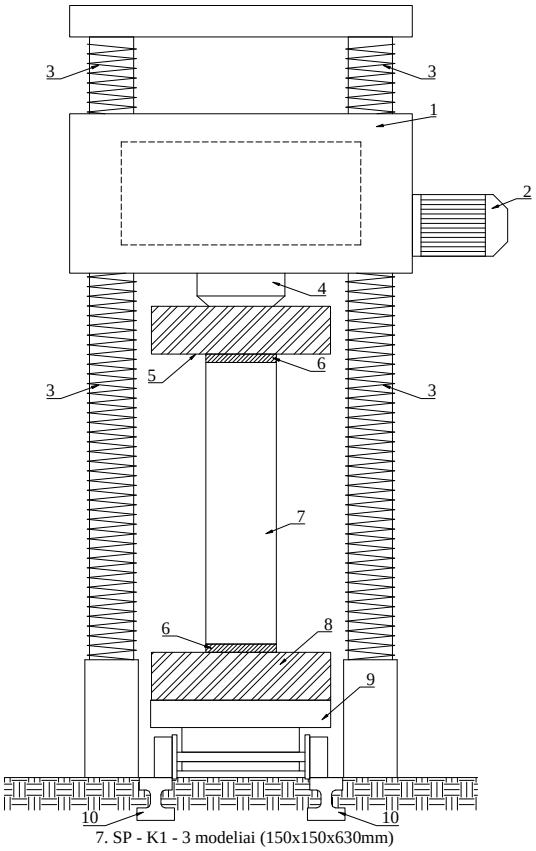
Tenzorezistoriai buvo klijuojami ant nesustiprintų kolonų modelių paviršiaus ties tomis vietomis, kur sustiprintuose kolonų modeliuose buvo išdėstyta skersinė armatūra (žr. 30 ir 32 pav.). Ant sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais kolonų modelių tenzorezistoriai buvo klijuojami ties paskutine skersinės armatūros sankaba (žr. 32 pav.), naudojant БФ – 2 klijus.

Indikatoriai buvo tvirtinami prisukant juos medsraigčiais prieš tai išgręžiant skyles ir į jas įklijuojant medukus epoksidiniais klijais. Tose vietose, kur buvo laukiamos didelės deformacijos ir plyšiai, buvo tvirtinami indikatoriai, kadangi tose vietose tenzorezistoriai deformacijų metu būtų nutrūkę. Be to, išilginės betono deformacijos buvo kontroliuojamos naudojant indikatorius, kurių matavimų bazė yra 200 mm.

Prieš pradedant nesustiprintų bei sustiprintų modelių eksperimentinius bandymus, buvo bandomi kontroliniai (etaloniniai) nesustiprintų ir sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių medžiagų bandiniai tam, kad nustatyti medžiagų charakteristikas. Gautos medžiagų charakteristikos pateiktos A priedo A.1–A.11 lentelėse.

Prieš atliekant nesustiprintų dispersiškai armuotų ir sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių eksperimentinius tyrimus turi būti apžiūrimas, sureguliuojamas ir paruošiamas darbui modelių gniuždymo presas. Modelių gniuždymo procesas atliekamas naudojant hidraulinį presą, kuriuo palaipsniui pridedama atitinkama gniuždymo jėga. Šis procesas valdomas naudojant nešiojamąjį kompiuterį ir preso valdymo pultą, kuriuo ir yra nustatomas norimas ilgalaikės arba trumpalaikės gniuždančios jėgos dydis, jos pridėjimo trukmė bei deformacijų greitis.

Principinė nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių įstatymo ir bandymo gniuždymo staklėse schema pavaizduota 33 paveiksle.

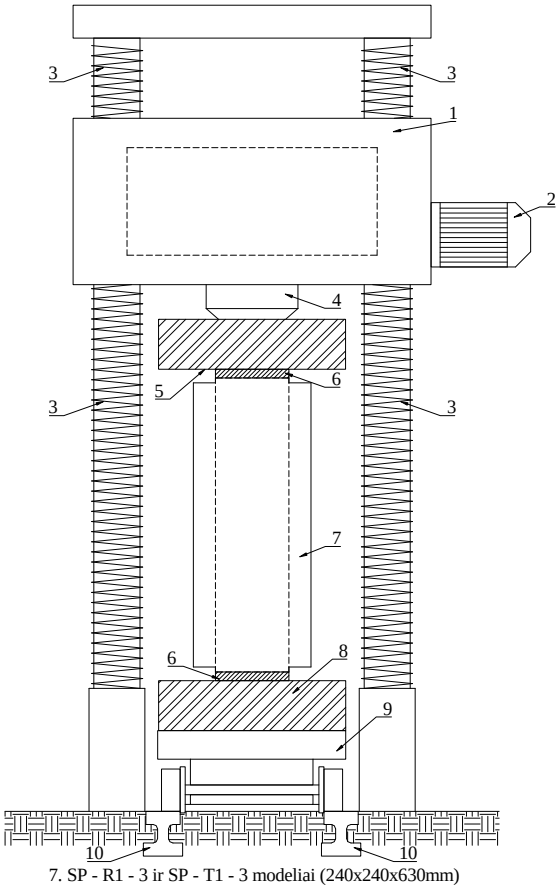


33 pav. Principinė nesustiprintų modelių įstatymo ir bandymo schema

Kad gniuždymo stende pavaizduotame 33 ir 34 paveiksle, 7 numeriu pažymėtas modelis gautų centriškai pridėtą gniuždančią apkrovą, tai jam veikianti gniuždančio domkrato jėga perduodama 8 numeriu pavaizduota metaline preso dalimi per 6 numeriu pažymėtas metalines plokšteles. Kai į hidraulinį domkratą, esantį po 9 – uoju numeriu pažymėta preso dalimi, pradedama tiekti hidraulinė alyva, jis perduoda jėgą gniuždančiam elementui 8 atsispirdamas į modelį, o šis į metalinį preso elementą pažymėtą numeriu 5. Apatinis metalinis preso elementas, pažymėtas numeriu 8 ir esantis virš gniuždančio domkrato, yra apkraunamas gniuždančios jėgos ir yra keliamas į viršų kartu su vežimėliu ant kurio yra modelis. Vežimėlis, pažymėtas numeriu 9, yra skirtas pakrauti modelį išvažiavus bėgiais, pažymėtais numeriu 10, iš po preso. Po reikiamos gniuždančios apkrovos pridėjimo, apgniuždytas elementas gali būti paliekamas ilgesniam laikui apkrautas, pastumiant visą viršutinį mechanizmą, pažymėtą numeriu 1, naudojant numeriu 2 – uoju pažymėtą elektrinį variklį, kuris taip pat yra skirtas judėti viršutinei preso daliai aukštyn ir žemyn, trečiuoju numeriu pažymėtais kreipiančiaisiais stiebais, priklausomai nuo bandinio aukščio.

Lygiai taip pat atliekami ir kitų šešių dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių bandymai. Principinė sustiprintų gelžbetoniais apvalkalais

dispersiškai armuotų modelių įstatymo ir bandymo gniuždymo staklėse schema pavaizduota 34 paveiksle.



34 pav. Principinė sustiprintų modelių įstatymo ir bandymo schema

Normatyviniai dokumentai ir rekomendacijos stiprinančioms konstrukcijoms pateikia vieninteli reikalavimą: kad jų medžiagos stiprumo charakteristikos būtų ne žemesnės negu stiprinamojo elemento. Taip pat ir projektuojant, stiprinamųjų medžiagų charakteristinės savybės turi būti surištos su jų deformatyvumu, kadangi net ir nedidelis skirtumas tarp stiprinamosios medžiagos deformacijų modulio E_1 ir stiprinančiosios medžiagos deformacijų modulio E_2 turi įtakos konstrukcijos laikomajai galiai. Kuo didesnis skirtumas tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo deformacijų modulių, tuo didesni įtempių šuoliai atsiranda tarp sluoksnių ir tai turi įtakos bendrai konstrukcijos laikomajai galiai. Jeigu naudojamos medžiagos apvalkalui deformacijų modulis yra mažesnis nei pačios konstrukcijos deformacijų modulis, t. y.

$$\alpha_E = \frac{E_2}{E_1} < 1, \tag{2.1}$$

didinant elemento apkrovą, apvalkalas turės mažą įtaką sustiprintos konstrukcijos bendrai laikomajai galiai. Tokio stiprinimo efektyvumas bus nereikšmingas, kadangi įsijungti į bendrą darbą tokiam apvalkalui yra reikalingos labai didelės bendros sustiprinto elemento deformacijos, prie kurių konstrukcija paprasčiausiai gali tapti nedarbinga.

Jeigu konstrukciją sustiprintume medžiaga, kurios deformacijų modulis yra žymiai didesnis už stiprinamojo elemento, tai stiprinamoji konstrukcija perimtų daug mažiau apkrovos. Jeigu didžiąją apkrovos dalį perimtų apvalkalas būtų galima pasiekti efektyvesnį konstrukcijos darbo būvį iki jos suirimo.

Šie eksperimentiniai tyrimai mažiau atitinka realias eksploatavimo sąlygas, kadangi modeliai stiprinami visiškai jų neapkrovus. Tačiau šiuo atveju tai nėra labai svarbu, kadangi tiriama ir nagrinėjama skersinės armatūros apkabų skirtingo išdėstymo ties atramomis įtaka bendram stiprinamojo elemento ir apvalkalo darbui.

2.2. Tyrimų rezultatai ir analizė

2.2.1. Betono ir armatūros charakteristinių bei projektinių rodiklių nustatymas

Kaip buvo minėta 2.1 poskyryje, prieš bandant nesustiprintus bei sustiprintus gelžbetoniniais apvalkalais modelius, buvo bandomi kontroliniai (etaloniniai) nesustiprintų ir sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių medžiagų bandiniai tam, kad būtų galima nustatyti medžiagų charakteristikas.

Betono ir armatūros charakteristinių bei projektinių rodiklių nustatymo metodika bei gauti rezultatai pateikiami A priedo A.1…A.11 lentelėse.

2.2.2. Apvalkalų pleišėjimas ir deformacijos

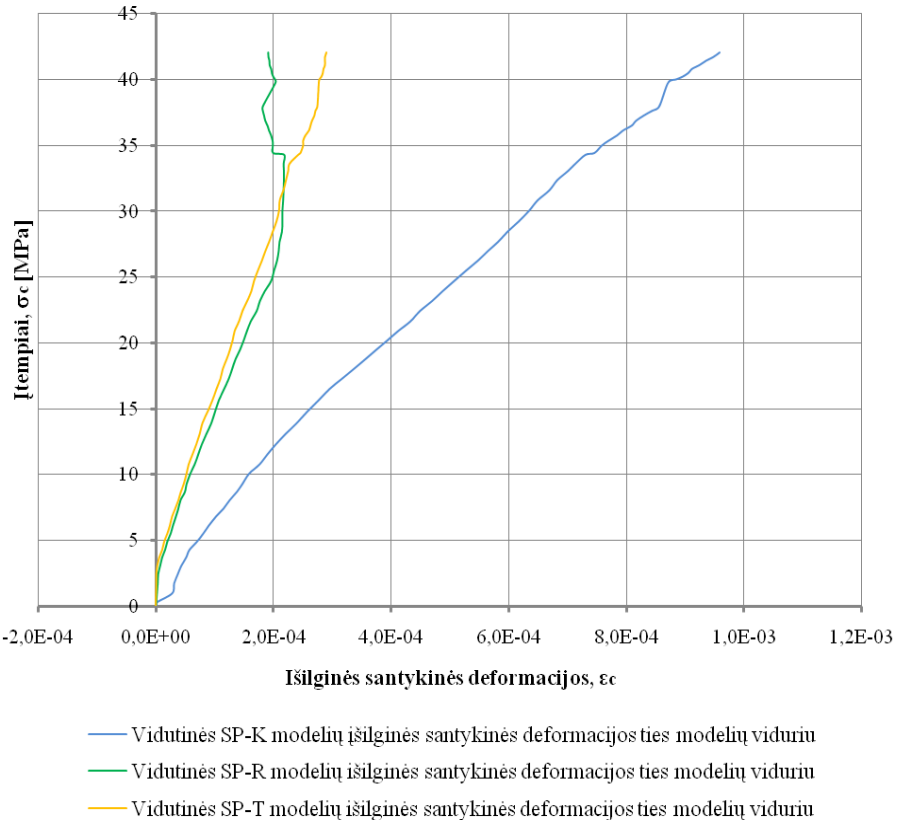
Eksperimentiniai nesustiprintų dispersiškai armuotų, bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių tyrimai buvo atlikti remiantis 2.1. poskyryje aprašyta tyrimų programa ir metodika.

„Microsoft Excel“ programos pagalba sugrupavus gautus daviklių parodymus bei apskaičiavus atskirų modelių pailgėjimą ir santykines deformacijas, B ir C prieduose grafiškai pateikiami pradiniai bandymų rezultatai ir eksperimentinių tyrimų nuotraukos.

Iš B ir C prieduose pateiktų suirimo nuotraukų galima pastebėti, kad bandomi

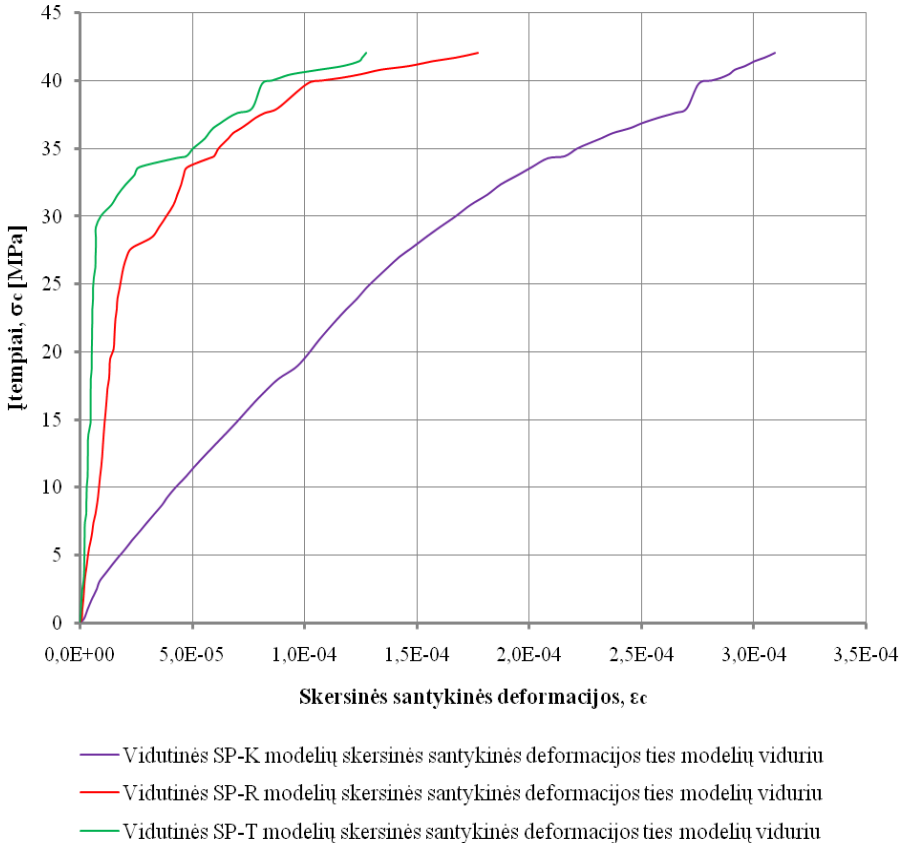
modeliai suirdavo nevienodai. Nesustiprinti dispersiškai armuoti modeliai pradėdavo pleišėti ir trukinėti pasiekus apie 60 % suardančios apkrovos. Dėl modelių dispersinio armavimo suirimas buvo gana lėtas ir staigių apkrovos kritimų nebuvo. Dispersiškai armuoti modeliai sustiprinti gelžbetoniniu apvalkalu suirdavo taip pat gana lėtai, tik jie, kur apvalkalo skersinės armatūros sankabos ties atramomis buvo sutankintos (SP-T), pradėdavo irti ir pleišėti pasiekus daugiau kaip 80 % suardančios apkrovos. Tuo tarpu modeliai SP-R, su rečiau ties atramomis išdėstyta skersine armatūra, pradėdavo irti pasiekus apie 65 % suardančios apkrovos.

Kadangi modeliams gniuždanti apkrova buvo perduodama tik per dispersiškai armuotą branduolį, o apvalkalas viršuje ir apačioje niekur nesirėmė, galime teigti, jog gniuždanti apkrova modelio apvalkalui buvo perduodama tik per trinties jėgas tarp „senojo“ ir „naujojo“ betonų. Didinant gniuždančią apkrovą, išilginės modelių apvalkalų deformacijos ties jų viduriu didėjo (35 pav.).



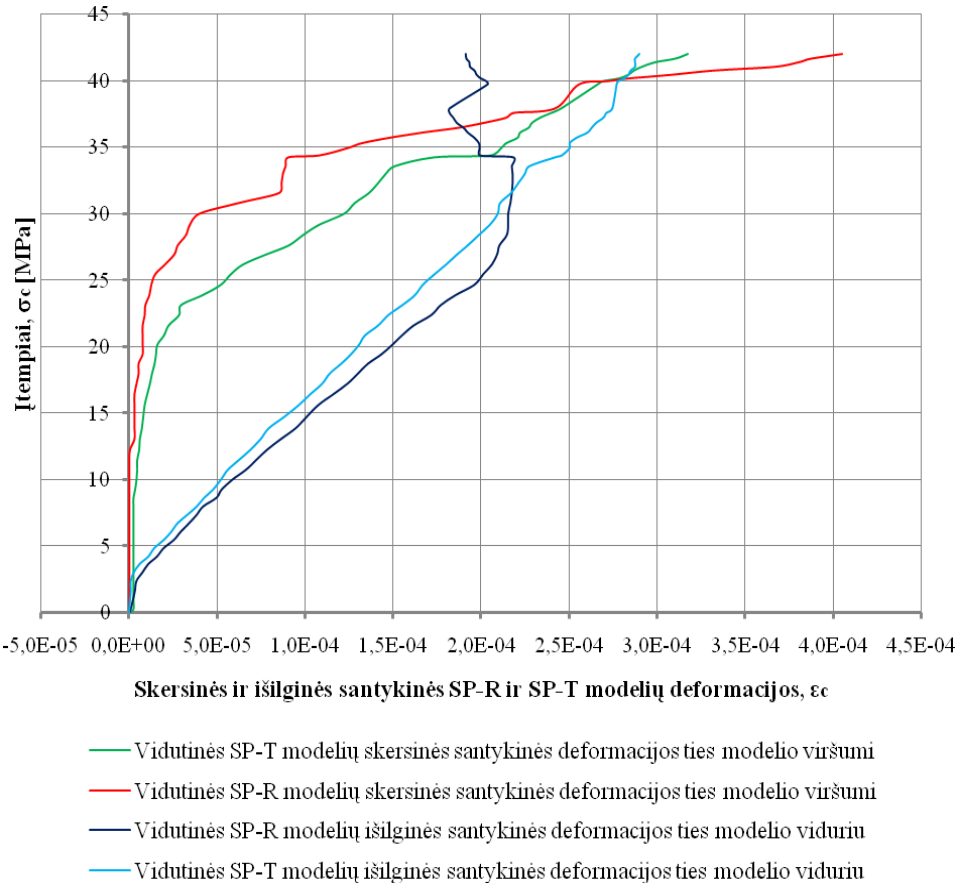
35 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių išilginių santykinių deformacijų ties jų viduriu priklausomybė nuo įtempių

Išilginės santykinės deformacijos didėja tol, kol prie tam tikros apkrovos toje pačioje vietoje nepradeda staigiai augti modelių apvalkalų skersinės deformacijos (36 pav).



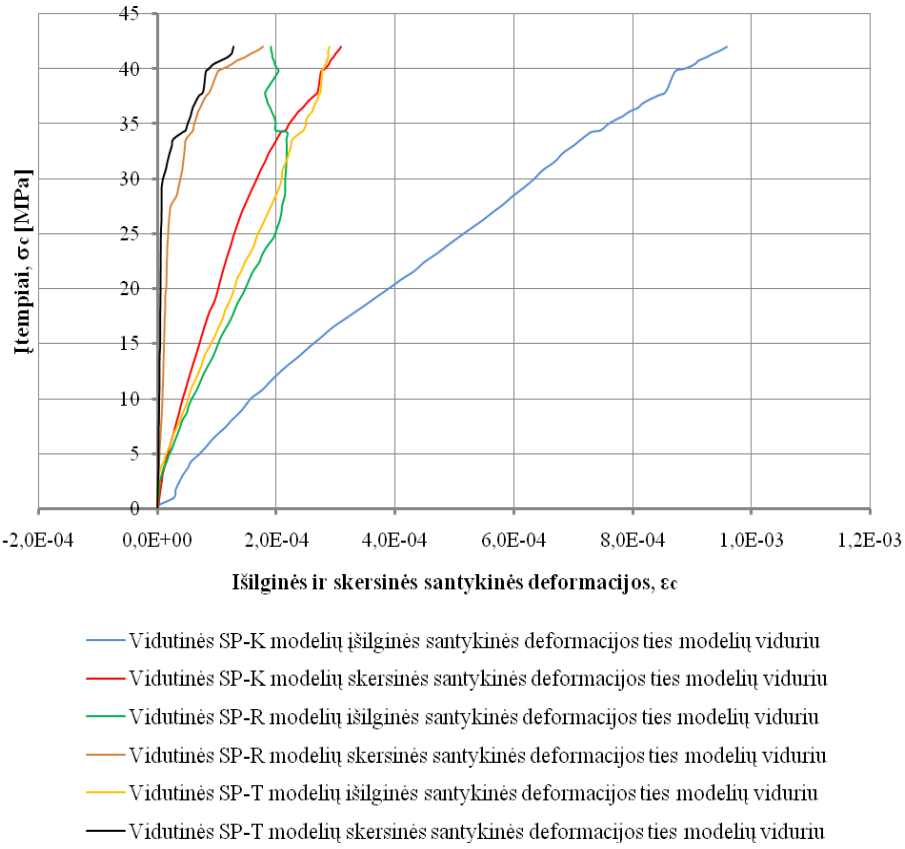
36 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties jų viduriu priklausomybė nuo įtempių

Kaip matyti iš 35 paveikslo, išilginės deformacijos ties modelių viduriu sustoja augusios prie 27 – 30 MPa, o 36 paveiksle matyti, jog skersinės deformacijos ties modelių viduriu prie šių įtempių ima staigiai didėti. Kad būtų aiškiau, skersinių ir išilginių deformacijų augimą galima pavaizduoti viename grafike (37 pav.).



37 pav. SP-T ir SP-R modelių vidutinių skersinių bei išilginių santykinių deformacijų ties jų viršutine atrama ir viduriu priklausomybė nuo įtempių

Iš 37 – ame paveiksle pateiktų deformacijų matyti, kad prieš pat pasiekiant 27 – 30 MPa įtempius atsiranda pirmieji mikroplyšiai, kurie auga ir modelis ima daug greičiau plėstis ir irti skersine kryptimi nei išilgine. Iš 35 paveikslo matyti, kad modelio stiprinamasis elementas ir apvalkalas buvo patikimai įsitraukę į bendrą darbą, kadangi nesustiprinto dispersiškai armuoto elemento vertikalios deformacijos didėja žymiai greičiau, nei modelių su gelžbetoniniu apvalkalu. Tą patį rodo ir 36 paveikslas, nes, lyginant nesustiprintus modelius su sustiprintais, matyti, kad apvalkalas smarkiai varžė ir skersines (horizontalias) sustiprinto elemento deformacijas ir dirbo kaip vientisa apkaba. Atvaizdavus modelių vidutines santykines skersines ir išilgines deformacijas ties jų viduriu viename grafike aiškiai matyti, kad modelių išilginės deformacijos yra didesnės už jų skersines deformacijas (38 pav.).

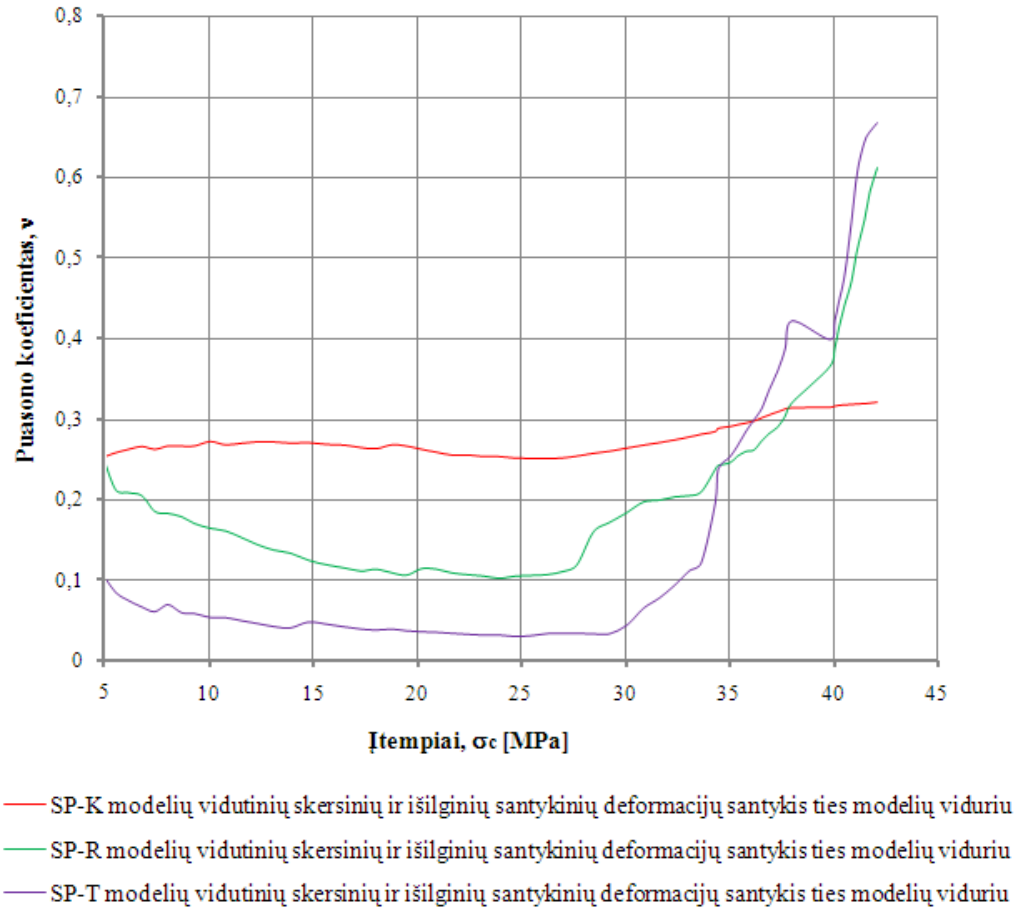


38 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių santykinių skersinių ir išilginių deformacijų ties jų viduriu priklausomybė nuo įtempių

Taip yra todėl, kad modelis yra gniuždomas jo išilginės ašies linkme ir didėjant gniuždančiai apkrovai jis deformuojasi tol, kol atsiradus mikroplyšiams pasireiškia ryškios skersinės deformacijos. Pasireiškus skersinėms deformacijoms, modelis pradeda greičiau irti skersine linkme, nes paprasčiausiai apkrova ardo branduolį, kuris apgaubtas apvalkalu neturi kur plėstis ir atplėšia patį apvalkalą nuo branduolio.

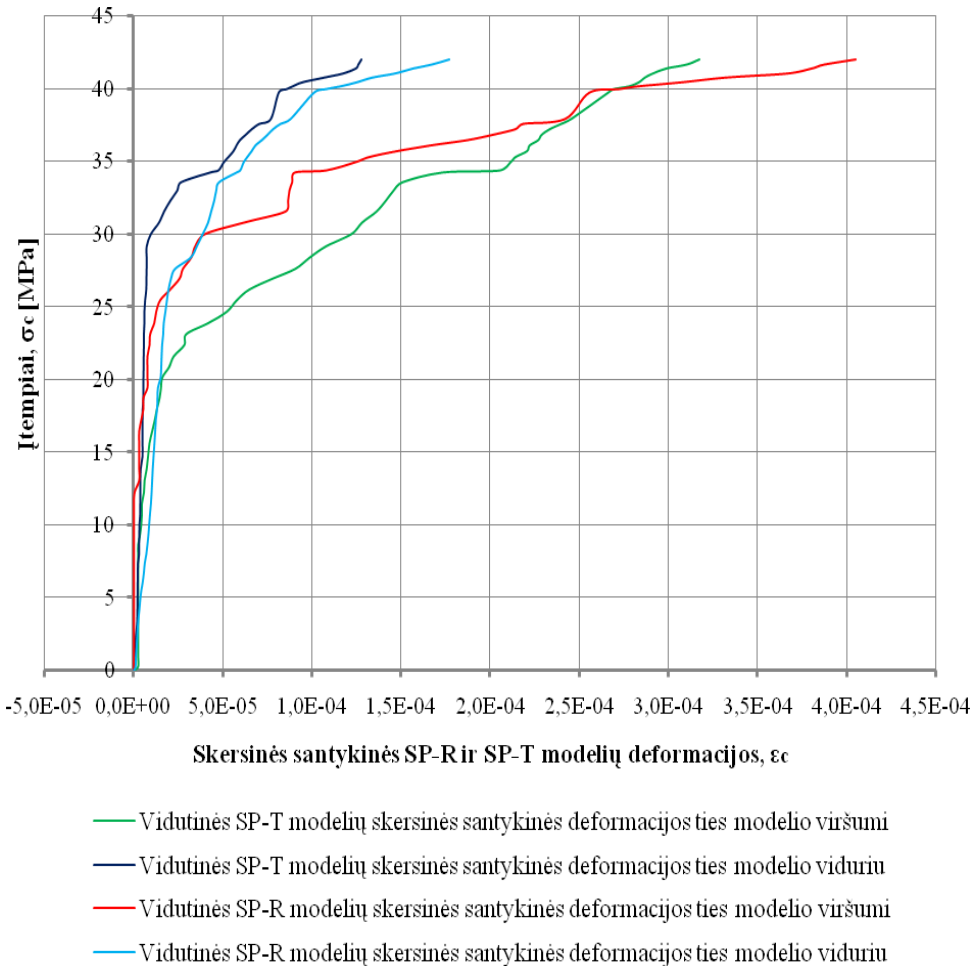
Taip pat iš 38 paveikslo matyti, kad mažiausios vidutinės santykinės skersinės deformacijos ties modelių viduriu yra SP-T modelių. Galime teigti, kad tam įtakos turėjo tik skersinės armatūros sutankinimas apvalkale ties atramomis, nes visa kita modeliuose buvo identiška.

Skersinių ir išilginių deformacijų priklausomybė nuo itempimų gali būti pateikiama ir Puasono koeficiento priklausomybe nuo įtempių (39 pav.).



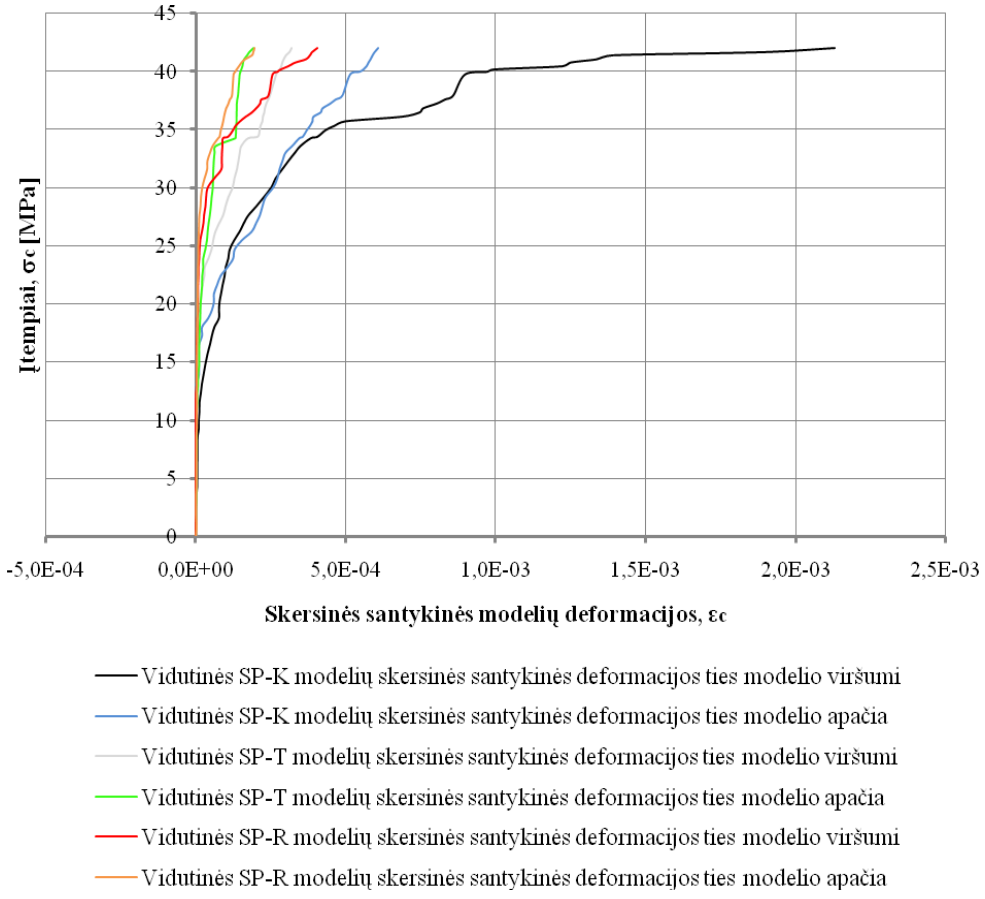
39 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių Puasono koeficiento priklausomybė nuo įtempių ties modelių viduriu

Iš 39 paveikslo matyti, kad didžiausias vidutinių santykinių skersinių ir išilginių deformacijų santykis (Puasono koeficientas) yra nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių. Mažiausias skersinių ir išilginių deformacijų santykis yra SP-T modelių, todėl galima pagrįstai teigti, kad skersinės armatūros apkabų sutankinimas apvalkale ties atramomis turi gana didelę įtaką apvalkalų pleišėjimui ir deformacijoms. Skersinės armatūros įtaką apvalkale ties atramomis sustiprintiems modeliams taip pat galime matyti atidėję skersines bei išilgines elementų deformacijas ties jų viduriu ir ties jėgos perdavimo zona (40 pav.).



40 pav. SP-R ir SP-T modelių skersinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių ties jų viduriu ir viršutine atrama

Kadangi viršutinėje nesustiprintų ir sustiprintų modelių atramoje buvo panaikintas trinties efektas, tai pirmieji išilginiai plyšiai nuo atsiradusių skersinių jėgų, palaipsniui ardydami gelžbetoninį apvalkalą, atsirasdavo butent ten, kurie vėliau susijungdavo su modelio apvalkalo plyšiais apačioje, atsiradusiais prie didesnės apkrovos. Vidutinių skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių ties modelių viršumi ir apačia pavaizduoti 41 paveiksle.



41 pav. SP-K, SP-T ir SP-R modelių vidutinių santykinių skersinių deformacijų ties jų viršumi ir apačia priklausomybė nuo įtempių

Iš 41 paveikslo matyti, kad panaikinus trinties efektą nesustiprintiems dispersiškai armuotiems modeliams viršutinėje atramoje, deformacijos ties viršutine atrama yra apie 4 – 5 kartus didesnės nei apatinėje atramoje. Panaikinus trinties efektą sustiprintiems gelžbetoniniais apvalkalais modeliams SP-R, deformacijos viršuje yra didesnė apie 2,5 karto, o modelių SP-T - tik apie du kartus. Tai rodo, kad trinties panaikinimas atramoje smarkiai padidina skersines modelio deformacijas ties jo atrama, tačiau galime pastebėti ir tai, kad skersinės armatūros apvalkale ties atramomis sutankinimas sumažina tose zonose skersines deformacijas ir neleidžia taip greitai atsirasti pirmiesiems plyšiams. Taip pat neleidžia apvalkalui pradėti irti atramose nuo skersinių jėgų poveikio.

Taip pat būtina pažymėti, kad apkrovos perdavimas tik į stiprinamąjį elementą gali daug greičiau suardyti atramines zonas. Šiuo atveju greičiau suyra ta atrama, kurioje yra panaikinta trintis. Tokiu atveju pasireiškia elemento nuokrovos (grafike matomi „pikai“), kitaip tariant, turinčios mažesnį sukibimą su paviršiumi, atramos ardymas (C priedas C.4 paveikslas).

2.2.3. Bandomųjų modelių suirimo pobūdis ir laikomoji galia

Atlikus nesustiprintų SP-K1, SP-K2, SP-K3 (21 ir 22 pav.) bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais SP-R1, SP-R2, SP-R3, SP-T1, SP-T2, SP-T3 (24, 25, 27 ir 28 pav.) dispersiškai armuotų modelių eksperimentinius tyrimus, buvo gauti tokie rezultatai (2.1 lentelė):

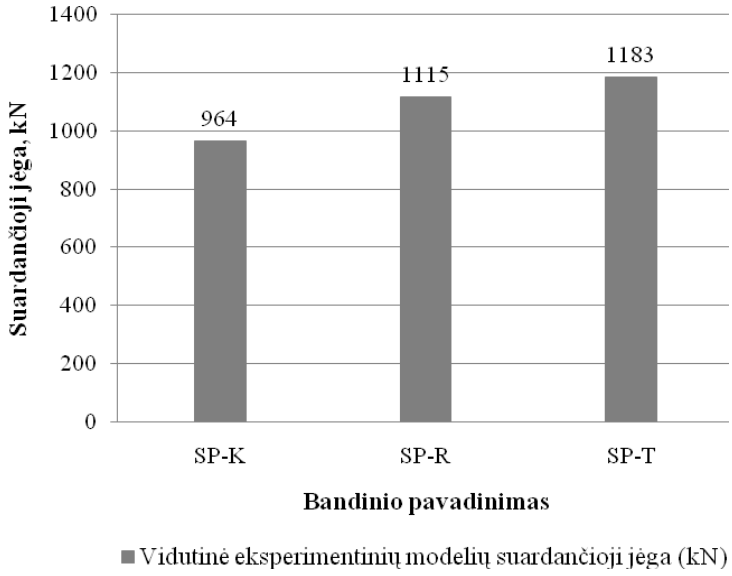
2.1 lentelė. Eksperimentinių tyrimų rezultatai.

Modelis	**SP-K1**	**SP-K2**	**SP-K3**	**SP-R1**	**SP-R2**	**SP-R3**	**SP-T1**	**SP-T2**	**SP-T3**
Pirmasis Plyšys (kN)	612	601	623	678	689	709	1000	998	1003
Irimo pjūvis*	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2
Suardančioji jėga (kN)	992	925	974	1111	1122	1113	1169	1200	1181
Vidutinė Suardančioji jėga (kN)	**964**			**1115**			**1183**		

* žr. 15 pav.

Kadangi nesustiprinti dispersiškai armuoti modeliai ir sustiprinti gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuoti modeliai yra artimai vienodų matmenų, tai eksperimentinių tyrimų rezultatai gali būti aprašyti vidutinėmis suardančios jėgos reikšmėmis, kurios pateiktos 2.1 lentelėje, penktoje eilutėje.

Kaip matyti iš 2.1 lentelėje pateiktų rezultatų, pirmojo pogrupio nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K1, SP-K2 ir SP-K3 suardančioji jėga yra labai panaši. Tačiau akivaizdu, kad ji yra mažesnė negu antrojo ir trečiojo pogrupių modelių, kurie buvo sustiprinti gelžbetoniniais apvalkalais. Todėl galime pagrįstai teigti, kad dispersiškai armuotų betonių modelių stiprinimas gelžbetoniniais apvalkalais turi teigiamą poveikį modelių laikomajai galiai. Galime pastebėti, kad vidutinių suardančiųjų jėgų skirtumas tarp nesusitiprintų ir sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių nėra toks didelis kaip buvo tikėtasi (42 pav.). Tai galėjo nulemti labai daug faktorių, susijusių su bandiniams naudojamomis medžiagomis, jų gamybos technologija, kietėjimo sąlygomis, bandymų metodika ir pan.



42 pav. Vidutinė eksperimentinė nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių suardančioji jėga

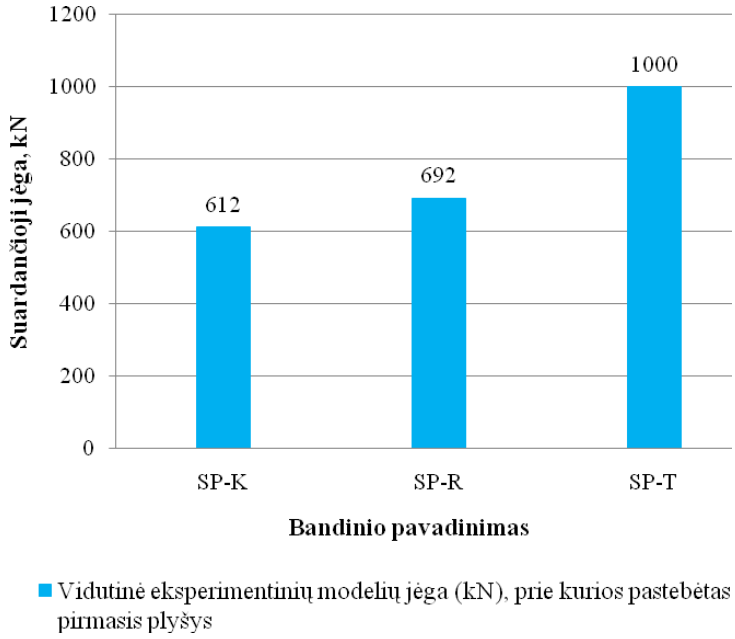
Kadangi sustiprinti gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuoti modeliai yra ne kas kita kaip sluoksniuotos konstrukcijos, tai paprasčiausias bendro darbo tarp sluoksnių neužtikrinimas galėjo labai smarkiai nulemti skirtingus laikomosios galios padidėjimus, tačiau tai gali būti tik vienas iš daugelio faktorių, kuris galėjo nulemti nedidelį laikomosios galios padidėjimą.

Iš B priede pateiktų eksperimentinių tyrimų pradinių rezultatų grafiškai B.3, B.7 ir B.11 paveiksluose galime pastebėti, kad bandant nesustiprintus dispersiškai armuotus modelius SP-K1, SP-K2 ir SP-K3, matoma M1, M2, M3 bei M4 indikatorių parodymų sklaida. Tai rodo, kad ir atlikus modelių centravimą, prieš juos bandant, jie buvo išbandyti kaip ekscentriškai gniuždomi elementai, nes centravimo netikslumų yra labai sunku išvengti.

B priedo paveikslų B.4, B.8 ir B.12 grafikuose matyti, kad vidutinės skersinės santykinės nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K1, SP-K2 ir SP-K3 deformacijos ties jų atramomis skiriasi ir viršuje yra didesnės, kadangi ties viršutine atrama buvo panaikinta trintis tarp bandinio ir preso plokštės. Trinties panaikinimas tarp minėtų paviršių leido panaikinti trinties efektą viršutinėje modelių dalyje ties atrama, o tai leido suprasti pirmųjų plyšių atsivėrimo tendencijas.

Kaip žinome, antrojo ir trečiojo pogrupio modeliai skiriasi tik skersinės apvalkalo armatūros išdėstymu ties atramomis. Kaip matyti iš 2.1 lentelėje, 5 – oje eilutėje pateiktų rezultatų, antrojo ir trečiojo pogrupio sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais

dispersiškai armuotų modelių, kai yra retesnis ir tankesnis apvalkalo skersinės armatūros išdėstymas ties atramomis, vidutinė suardančioji jėga padidėja nežymiai (42 pav.). Tačiau eksperimentiniai tyrimai rodo, kad skersinio armavimo sutankinimas ties atramomis turėjo gana didelę įtaką pirmųjų plyšių atsiradimui (43 pav.).



43 pav. Vidutinė eksperimentinė nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių perimama jėga, prie kurios pastebėtas pirmasis plyšys

Kalbant apie sustiprintus gelžbetoniniais apvalkalais antrojo ir trečiojo pogrupio modelius SP-R1, SP-R2, SP-R3, SP-T1, SP-T2 ir SP-T3, galime taip pat paminėti tuos pačius faktorius įtakojusius sustiprintų modelių stiprumą. Iš C priede aprašytų eksperimentinių tyrimų bei pateiktų pradinių rezultatų grafiškai C.3, C.9, C.15, C.21, C.27 ir C.33 paveiksluose, galime taip pat pastebėti, kad bandant sustiprintus gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotus modelius SP-R1, SP-R2, SP-R3, SP-T1, SP-T2 ir SP-T3, matoma M1, M2, M3 bei M4 indikatorių rodmenų tarpusavio sklaida. Tai rodo, kad nors ir modeliai buvo centruojami prieš juos bandant, vistiek buvo išbandyti kaip ekscentriškai gniuždomi elementai, nes panaikinti ekscentricitetą centruojant yra labai sudėtinga ir praktiškai neįmanoma. Tą pastebėti yra labai svarbu, nes ekscentrinis gniuždymas yra pavojingesnis atvejis nei centrinis gniuždymas, dėl atsirandančių tempiamo betono zonų.

C.4, C.10, C.16, C.22, C.28 ir C.34 paveikslų grafikuose matyti, kad vidutinės skersinės santykinės sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių SP-R1, SP-R2, SP-R3, SP-T1, SP-T2 ir SP-T3 deformacijos ties jų atramomis skiriasi ir viršuje yra didesnės, kadangi ties viršutine atrama, taip pat kaip ir pirmojo pogrūpio modeliuose,

buvo panaikinta trintis tarp modelio atramos ir preso plokštelės. Tuomet sustiprinti gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuoti modeliai suirdavo kitaip. Kaip žinome, gniuždanti apkrova buvo perduodama tik modelio branduoliui, o apvalkalas niekur nesirėmė, todėl apvalkalo skersinės armatūros sutankinimas ties atramomis leido pasiekti didesnę jėgą, prie kurios atsirasdavo pirmieji plyšiai (43 pav.) ir šiek tiek padidinti modelius suardančią jėgą. Taip pat skersinės armatūros sutankinimas apvalkale ties atramomis neleido susidaryt pagrindiniams vertikaliems plyšiams.

Apibendrintai galima pasakyti, kad dispersiškai armuotų modelių sustiprinimas gelžbetoniniais apvalkalais padarė nedidelę įtaką jų laikomajai galiai - apie 14 %. Apvalkalo skersinės armatūros sutankinimas ties atramomis modelių laikomają galią papildomai padidino dar apie 6 %. Tuomet galime teigti, kad bedras modelių suardančios jėgos padidėjimas yra apie 20 %. Apvalkalo skersinės armatūros sutankinimas ties atramomis daug didesnę įtaką turėjo pirmųjų plyšių atsiradimui ir jėgą iki pirmųjų plyšių atsiradimo padidino net iki 40 %. Tai reiškia, kad elementą suardanti jėga ir jėga, kuriai esant atsiranda pirmieji plyšiai, didėja nevienodai, tankinant skersinės armatūros sankabas apvalkale ties atramomis.

2.3. Išvados

Kai į modelio gelžbetoninį apvalkalą gniuždomoji apkrova perduodama per trintį tarp dispersiškai armuoto betono ir apvalkalo betono sluoksnių, tai didinant gniuždančią apkrovą, pirmiausia pažeidžiama šių sluoksnių sankiba atraminiuose ruožuose. Šiuose ruožuose anksčiausiai pradeda dominuoti skersinės apvalkalo betono deformacijos, kurios atplėšia apvalkalą nuo stiprinamojo elemento (žr. 40 pav.).

Intensyvus skersinių deformacijų prieaugis ir ženklus išilginių deformacijų sumažėjimas (žr. 35, 36 ir 37 pav.) rodo, kad dar daugiau didinant apkrovą, apvalkalas atplyšo ir viduriniuose ruožuose, nes minėtų sluoksnių sankybos ruožo ilgis bandiniuose yra per mažas, kad būtų sustabdytas plyšių, atsiverusių atrminėse zonose, plytimas.

Didėjant modelio apvalkalo skersinėms deformacijoms į darbą įsijungia apvalkalo skersinė armatūra, kuri varžo šias deformacijas. Pirmieji išilginiai plyšiai atraminėse zonose, dėl skersinių apvalkalo betono deformacijų, atsivėrė ženkliai anksčiau esant mažesnio intensyvumo skersiniam apvalkalo armavimui ties atramomis (43 pav.). Atlikti tyrimai parodė, kad apvalkalas su rečiau išdėstytomis skersinės armatūros sankabomis ties atramomis (SP-R modeliai) atplyšo nuo stiprinamojo elemento prie mažesnės apkrovos, sudarančios apie

62 % suardančios apkrovos, o su tankiau išdėstytomis sankabomis (SP-T modeliai) – esant 85 % suardančios apkrovos.

Sustiprintų modelių, kai jų liaunis λ=2,6 ir netiesiogiai apkraunamo apvalkalo skersinio armavimo atraminiame ruože intensyvumas ρ siekai iki 0,105 %, konstrukcija irimo metu dirba ne kaip vientiso skerspjūvio elementas ir jos suirimą sąlygoja skersinė apvalkalo armatūra apkrovos perdavimo zonose.

Atsižvelgus į anksčiau pateiktas išvadas, pagrįstai galima teigti, kad neužtenka tokiomis sąlygomis gniuždomų elementų laikomąją galią patikrinti viename pjūvyje, kuriame veikia pavojingiausios įrąžos, nes daug greičiau gali atitrūkti apvalkalas nuo stiprinamojo elemento ties atrama nei suirti skerspjūvis ties elemento viduriu.

3. GELŽBETONINIAIS APVALKALAIS SUSTIPRINTŲ DISPERSIŠKAI ARMUOTŲ GNIUŽDOMŲJŲ ELEMENTŲ LAIKOMOSIOS GALIOS SKAIČIUOTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

Prieš nesustiprintų ir sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių eksperimentinius tyrimus buvo atliekami etaloninių bandinių (kubelių, prizmių, cilindrų, armatūrinio plieno) tyrimai, pagal kuriuos buvo nustatytos reikiamos medžiagų charakteristikos bei stipriai (2.2.1 skirsnis). Turint visas reikiamas medžiagų charakteristikas ir stiprius, nesutiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių laikomoji galia gali būti apskaičiuojama remiantis teorinėje dalyje, 1.3 poskyryje aprašyta metodika.

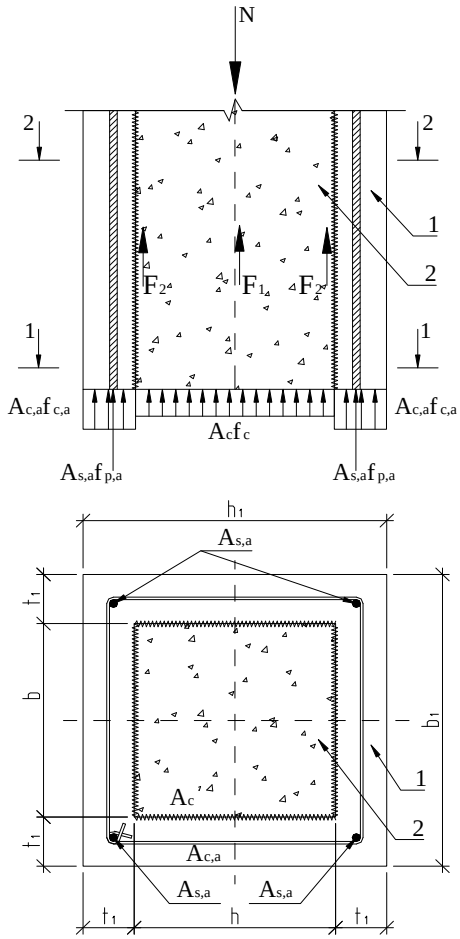
3.1. Siūlomos teorinės prielaidos sustiprintų elementų stiprumui skaičiuoti, kai apvalkalas netiesiogiai apkraunamas

Teorinėje dalyje, 1.3 poskyryje, aprašytos gniuždomų gelžbetoninių elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais skaičiavimo Malganovo ir kt. (1990) bei Krause (1993) metodikos neįvertina dažnai praktikoje pasitaikančio bei eksperimentiniuose tyrimuose nagrinėto atvejo, kai apvalkalas tiesiogiai neapkraunamas, o įjungiamas į darbą per trinties jėgas tarp apvalkalo ir stiprinamojo elemento betonų. Todėl skaičiuojant tokių elementų laikomąją galią turi būti įvedami tam tikri patikslinimai. Be to, šiose metodikose, nagrinėjant vidurinį elemento pjūvį, neatsižvelgiama į stiprinamojo elemento bei apvalkalo skersinės armatūros darbą, suvaržant stiprinamojo elemento skersines deformacijas, todėl, kaip rodo atlikti eksperimentiniai tyrimai ir siūlo Krause (1993) metodika, tikslinga skaičiavimus atlikti ir pjūvyje ties atramomis, įvertinant tiek stiprinamojo elemento, tiek apvalkalo skersinės armatūros darbą.

Kadangi elementą veikianti apkrova apvalkalui perduodama per trintį, tai laikomosios galios apskaičiavimo patikslinimui galime pritaikyti „Eurocode 2: Design of concrete structures", 10.9.6.2 skyriuje pateiktą prielaidą, jog koloną veikianti jėga į lizdinio pamato sieneles perduodama per betono trintį. Pritaikius šią prielaidą galime teigti, kad centriškai gniuždomo stiprinamojo elemento branduolio perimama gniuždanti jėga perduodama apvalkalui per trintį tarp kolonos ir apvalkalo betonų (44 pav.).

Tuomet centriškai gniuždomų dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais elementų laikomoji galia turi būti tikrinama dviejuose pjūviuose. Pjūvyje 1 – 1,

viduriniajame elemento pjūvyje, kuriame dirba visas sustiprinto elemento skerspjūvis, tačiau gniuždančioji jėga veikianti tik branduolį, apvalkalui perduodama per trinties jėgas tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betonų. Pjūvyje 2 – 2, kraštiniame elemento pjūvyje ties atrama, kuriame į darbą įsitraukia skersinė stiprinamojo elemento bei apvalkalo armatūra.



44 pav. Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema įvertinant trintį: 1 – gelžbetoninis apvalkalas, 2 – stiprinamas elementas

Galima užrašyti, kad pjūvyje 1–1 (ties elemento viduriu) apvalkalo perimama jėga yra lygi:

$$F_2 \approx \mu \cdot \left(f_{c,a} \cdot A_{c,a} + f_{p,a} \cdot A_{s,a} \right), \tag{3.1}$$

čia:

μ - trinties koeficientas, kuris pagal EC–2, 10.9.6.2 (2) yra lygus 0,3,

$f_{c,a}$ – gelžbetoninio apvalkalo betono faktinis gniuždomasis stipris,

$f_{p,a}$ – gelžbetoninio apvalkalo pagrindinės armatūros faktinis gniuždomasis stipris,

$A_{c,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje.

Tuomet centriškai gniuždomo sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 1–1 (ties elemento viduriu) skaičiuojama pagal 3.2 išraišką:

$$N_{u,1-1} = F_1 + F_2 = 0,7 \cdot \left(f_c \cdot A_c \right) + 0,3 \cdot \left(f_{c,a} \cdot A_{c,a} + f_{p,a} \cdot A_{s,a} \right), \tag{3.2}$$

čia:

f_c – stiprinamojo elemento betono faktinis gniuždomasis stipris įvertinant fibras, kuris imamas lygus vidutiniam dispersiškai armuotų bandinių betono gniuždomajam stipriui (A priedo A.1 lentelė),

$f_{c,a}, f_{p,a}$ – dydžiai aprašyti 3.1 išraiškoje,

$A_c, A_{c,a}, A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 1.3 išraiškoje.

Centriškai gniuždomo sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 2–2 (ties elemento atrama), kur elemento laikomoji galia priklauso nuo skersinės armatūros stiprio bei išdėstymo žingsnio tiek stiprinamajame elemente, tiek gelžbetoniniame apvalkale, skaičiuojama remiantis 1.3.2 skirsnyje aprašyta metodika, pritaikant reikiamus 1.11 išraiškos narius stiprinamojo elemento dispersiniam armavimui.

Atlikus skaičiavimus abiejuose pjūviuose, gaunama kad:

$$N_u = \min\left[N_{u,1-1}; N_{u,2-2} \right] \geq N_{Ed}. \tag{3.3}$$

Tą pačią prielaidą galime pritaikyti ir ekscentrinio gniuždymo atvejui. Kai yra mažų ekscentricitetų atvejis, armatūros $A_{st,a}$ tempiamasis stiprumas $\sigma_{p,a}$ išnaudojamas ne visiškai, arba ji yra gniuždoma. Tuomet elemento laikomoji galia pjūvyje 1–1 (ties elemento viduriu) gali būti apskaičiuojama užrašant išorinių ir vidinių jėgų projekcijų lygtį į vertikalią ašį (45

pav.), kai $A_{st,a} = A_{sc,a}$:

$$N_{u,1-1,e} = 0,7 \cdot f_c \cdot (h \cdot b) + 0,3 \cdot f_{c,a} \cdot \left(\left(x_{eff} \cdot b_1 \right) - (h \cdot b) \right) + \\ +0,3 \cdot \left(f_{p,a} \cdot A_{sc,a} \right) + 0,3 \cdot \left(\sigma_{p,a} \cdot A_{st,a} \right). \tag{3.4}$$

Gniuždomos zonos aukštis x_{eff} apskaičiuojamas užrašant ir prilyginant nuliui vidinių jėgų momentų lygtį apie veikiančios gniuždančios jėgos pridėties tašką (45 pav.):

$$-0,7 \cdot f_c \cdot (b \cdot h) \cdot e_0 - 0,3 \cdot f_{c,a} \cdot (2 \cdot h \cdot t_1) \cdot e_0 - \\ -0,3 \cdot f_{c,a} \cdot \left(\left(x_{eff} - t_1 - h \right) \cdot b_1 \right) \cdot \left(\frac{\left(x_{eff} - t_1 - h \right)}{2} + \frac{h}{2} + e_0 \right) + \\ +0,3 \cdot f_{c,a} \cdot (b_1 \cdot t_1) \cdot \left(\frac{t_1}{2} + \frac{h}{2} - e_0 \right) + 0,3 \cdot f_{p,a} \cdot A_{sc,a} \cdot \left(\frac{h_1}{2} - a_{s,a} - e_0 \right) - \\ -0,3 \cdot \sigma_{p,a} \cdot A_{st,a} \cdot \left(\frac{h_1}{2} - a_{s,a} + e_0 \right) = 0, \tag{3.5}$$

čia:

f_c – dydis aprašytas 3.2 išraiškoje, $b, h, h_1, b_1, t_1, a_{s,a}$ – dydžiai pateikti 45 paveiksle,

$f_{c,a}, f_{p,a}$ – dydžiai aprašyti 3.1 išraiškoje, x_{eff} – gniuždomos zonos aukštis,

$A_{sc,a}, A_{st,a}$ – gniuždomos ir tempiamos apvalkalo pagrindinės armatūros skerspjūvio plotai,

e_0 – gniuždomų gelžbetoninių dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių vidutinis gniuždančios jėgos pridėjimo ekscentricitetas, kuris buvo apskaičiuotas iš gautų bandymo metu matuotų vertikalių bandinių kraštinių betono deformacijų.

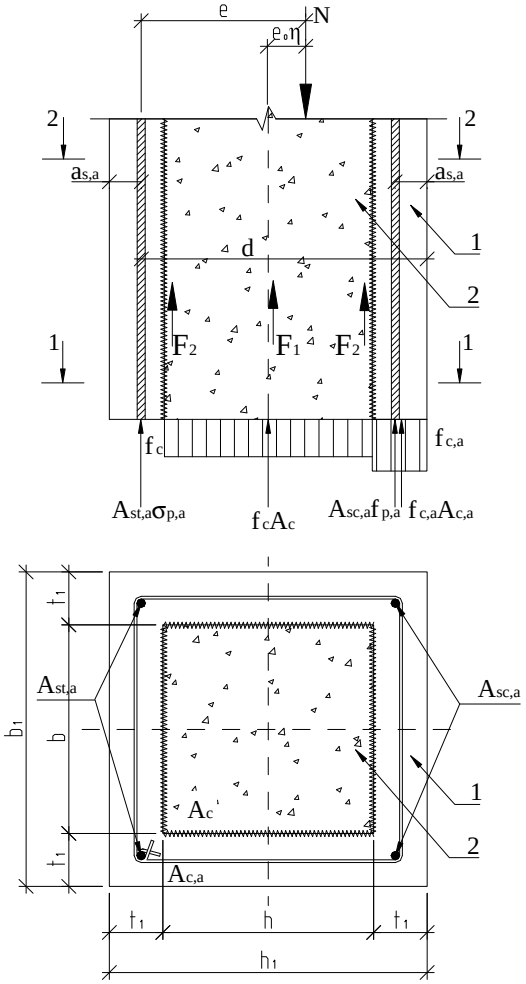
Tačiau 3.4 lygtyje yra 2 nežinomieji: x_{eff} ir $\sigma_{p,a}$. Todėl norint gauti gniuždomos zonos aukštį x_{eff} turime parašyti antrąją įtempių $\sigma_{p,a}$ lygtį, kai veikia trumpalaikė apkrova, ir ją įstatyti į 3.5 momentų lygtį.

$$\sigma_{p,a} = \frac{400}{\left(1 - \frac{\omega}{1,1} \right)} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi_{eff}} - 1 \right), \tag{3.6}$$

čia:

$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d}$ – efektyvusis santykinis gniuždomosios zonos aukštis,

$\omega = \alpha - 0,008 \cdot f_c$.



45 pav. Eksentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, gelžbetoninio elemento skaičiuojamoji schema įvertinant trintį: 1 – gelžbetoninis apvalkalas, 2 – stiprinamas elementas

Ekscentriškai gniuždomo sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 2–2 (ties elemento atrama), kur elemento laikomoji galia priklauso nuo skersinės armatūros stiprio bei išdėstymo žingsnio tiek stiprinamajame elemente, tiek gelžbetoniniame apvalkale, skaičiuojama remiantis 1.3.2 skirsnyje aprašyta metodika, pritaikant reikiamus 1.25 išraiškos narius stiprinamojo elemento dispersiniam armavimui.

Atlikus skaičiavimus abiejuose pjūviuose, gaunama, kad:

$$N_u = \min\left[N_{u,1-1,e}; N_{u,2-2,e} \right] \geq N_{Ed}. \quad (3.7)$$

Centriškai arba ekscentriškai gniuždomų dispersiškai armuotų elementų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais stiprumo skaičiavimo pavyzdys, pagal siūlomas teorines prielaidas sustiprintų elementų stiprumui skaičiuoti, kai apvalkalas netiesiogiai apkraunamas, pateiktas D priede.

3.2. Sustiprintų elementų laikomosios galios skaičiuotinių reikšmių palyginimas pagal pateiktas skaičiavimo metodikas ir pasiūlytas prielaidas

Atlikus nesustiprintų SP-K (21 ir 22 pav.) bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais SP-R ir SP-T (24, 25, 27 ir 28 pav.) dispersiškai armuotų modelių teorinius laikomosios galios skaičiavimus remiantis 1.3.1 ir 1.3.2 skirsniuose aprašytomis metodikomis bei pagal 3.1 poskyryje pateiktą siūlomą metodiką, buvo gauti tokie rezultatai (3.1 lentelė):

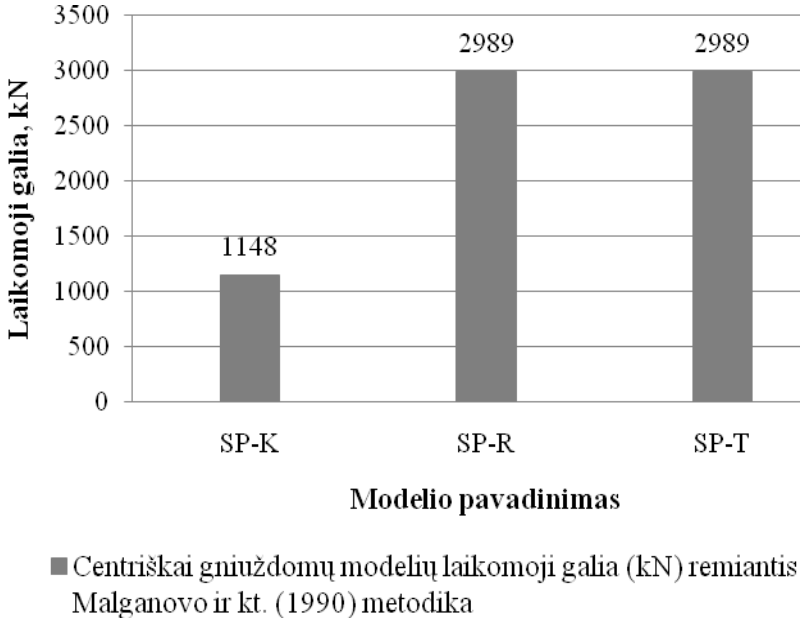
3.1 lentelė. Teorinių skaičiavimų rezultatai

Eil.	**Modelis**	**SP-K**	**SP-R**	**SP-T**
Nr.	**Skaičiavimo metodika**	1	2	3
1	**Centrinis gniuždymas remiantis* Malganovo ir kt. (1990) metodika** $N_u[kN]$	1148	2989	2989
2	**Ekscentrinis gniuždymas remiantis* Malganovo ir kt. (1990) metodika** $N_{u,e}[kN]$	1066	2885	2885
3	**Centrinis gniuždymas remiantis* Krause (1993) metodika** $N_u[kN]$	1148	**Pjūvis 1 – 1**	**Pjūvis 1 – 1**
			2920	2920
			Pjūvis 2 – 2	**Pjūvis 2 – 2**
			1221	1246
4	**Centrinio gniuždymo galutiniai rezultatai remiantis* Krause (1993) metodika** $N_{u,\min}[kN]$	**1148**	**1221**	**1246**

5	**Ekscentrinis gniuždymas remiantis* Krause (1993) metodika** $N_{u,e}[kN]$	1066	**Pjūvis 1 – 1**	**Pjūvis 1 – 1**
			1673	1673
			Pjūvis 2 – 2	**Pjūvis 2 – 2**
			1190	1204
6	**Ekscentrinio gniuždymo galutiniai rezultatai remiantis* Krause (1993) metodika** $N_{u,e,\min}[kN]$	**1066**	**1190**	**1204**
7	**Centrinis gniuždymas įvertinus trintį tarp sluoksnių** $N_u[kN]$	1148	**Pjūvis 1 – 1**	**Pjūvis 1 – 1**
			1390	1390
			Pjūvis 2 – 2	**Pjūvis 2 – 2**
			1221	1246
8	**Centrinio gniuždymo galutiniai rezultatai įvertinus trintį tarp sluoksnių** $N_{u,\min}[kN]$	**1148**	**1221**	**1246**
9	**Ekscentrinis gniuždymas įvertinus trintį tarp sluoksnių** $N_{u,e}[kN]$	**1066**	**Pjūvis 1 – 1**	**Pjūvis 1 – 1**
			1278	1278
			Pjūvis 2 – 2	**Pjūvis 2 – 2**
			1190	1204
10	**Ekscentrinio gniuždymo galutiniai rezultatai įvertinus trintį tarp sluoksnių** $N_{u,e,\min}[kN]$	**1066**	**1190**	**1204**

* Centrinio ir ekscentrinio gniuždymo skaičiavimai buvo atlikti tik remiantis nurodytomis metodikomis ir įvedus jose reikiamus pataisymus atsižvelgiant į stiprinamojo elemento dispersinį armavimą.

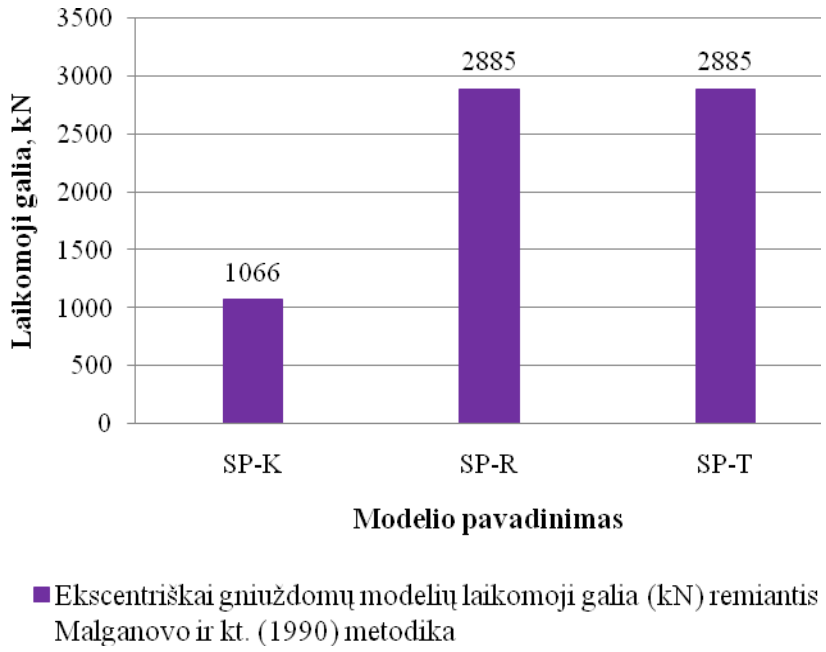
Kaip matyti iš 3.1 lentelėje, pirmoje eilutėje pateiktų centrinio gniuždymo skaičiavimo rezultatų, kurie gauti remiantis Malganovo ir kt. (1990) skaičiavimo metodika, pirmojo pogrupio nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K vidutinė laikomoji galia yra apie 60 % mažesnė nei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių SP-R ir SP-T laikomoji galia (46 pav.).



46 pav. Centriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Malganovo ir kt. (1990) metodika

Taip yra todėl, kad remiantis šia skaičiavimo metodika neįvertinamas dažnai praktikoje pasitaikantis bei šiuose eksperimentiniuose tyrimuose atliktas atvejis, kai apvalkalas tiesiogiai neapkraunamas, o įtraukiamas į darbą per trinties jėgas tarp apvalkalo ir stiprinamojo elemento betonų. Kadangi remiantis šia skaičiavimo metodika apvalkalas priimamas kaip papildomas skerspjūvis, kuris taip pat perima gniuždančia apkrovą kaip ir elemento branduolys, gaunama gana didelė sustiprinto elemento laikomoji galia. Taip pat iš 46 pav. matyti, kad SP-R ir SP-T modelių laikomoji galia yra visiškai vienoda, kadangi remiantis šia skaičiavimo metodika yra neįvertinamas nei stiprinamojo elemento, nei apvalkalo skersinio armavimo darbas bei jo skirtingos geometrinės sąlygos, kai sustiprintų modelių geometrija, apvalkalo betono stipriai, pagrindinės armatūros diametras bei stipris yra vienodi.

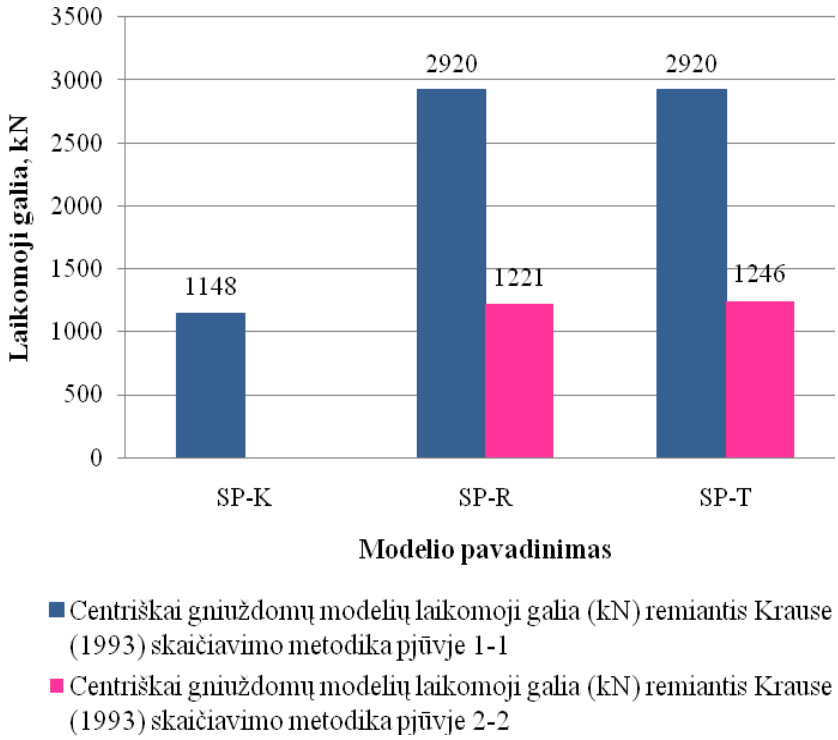
Analizuojant 3.1 lentelės antroje eilutėje pateiktus ekscentrinio gniuždymo skaičiavimo rezultatus, kurie gauti remiantis taip pat Malganovo ir kt. (1990) skaičiavimo metodika, matyti, kad pirmojo pogrupio nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K laikomoji galia yra taip pat apie 60 % mažesnė nei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių SP-R ir SP-T laikomoji galia. Šis skirtumas yra toks didelis dėl tos pačios priežasties kaip ir centrinio gniuždymo atveju. O dėl skersinio armavimo neįvertinimo tiek stiprinamajame elemente tiek apvalkale, laikomoji galia yra visiškai vienoda tarp SP-R ir SP-T modelių (47 pav.).



47 pav. Ekscentriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Malganovo ir kt. (1990) metodika

Lyginant centrinio ir ekscentrinio skaičiavimo rezultatus, remiantis Malganovo ir kt. (1990) skaičiavimo metodika, matyti, kad SP-K modelių laikomoji galia skiriasi apie 7 %, o SP-R ir SP-T modelių tik apie – 3,5 %. Toks nedidelis laikomųjų galių skirtumas tarp centrinio ir ekscentrinio skaičiavimo rezultatų yra todėl, kad veikiančios jėgos pridėties vidutinis ekscentricitetas bandymo metu buvo tik 11,2 mm. Esant tokiam ekscentricitetui, betono gniuždomos zonos aukštis, atliekant skaičiavimus, pasikeitė labai nežymiai.

Atlikus centriškai gniuždomų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių laikomosios galios skaičiavimus remiantis Krause (1993) metodika, gauti rezultatai pateikti 3.1 lentelės 3, 4 eilutėse ir 48 paveiksle.



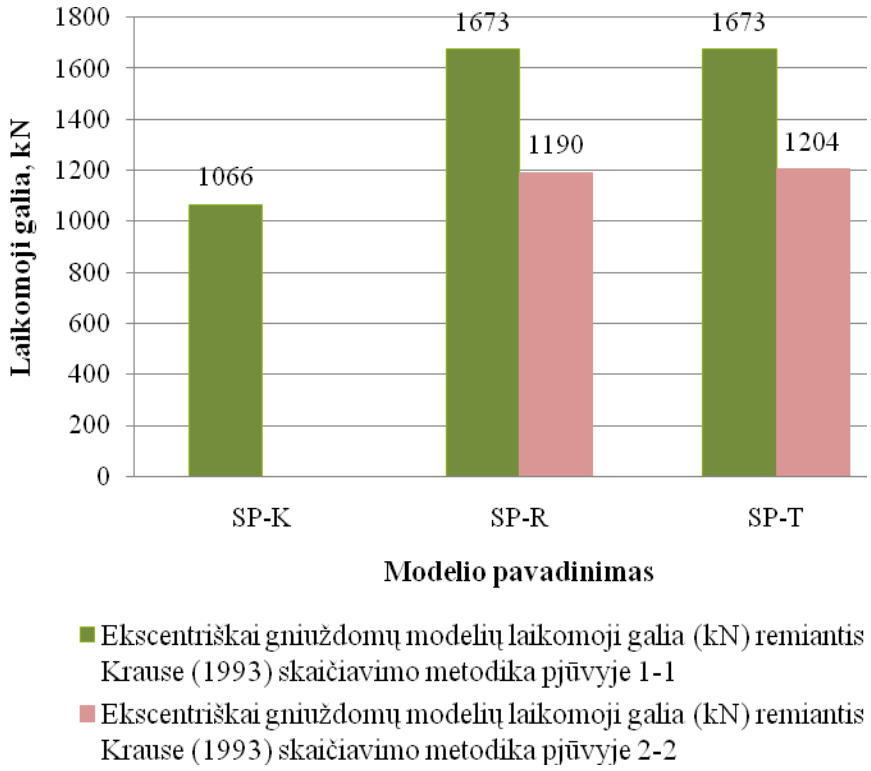
48 pav. Centriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Krause (1993) skaičiavimo metodika

Gauti centrinio gniuždymo skaičiavimų rezultatai, remiantis Krause (1993) metodika, rodo, kad SP-R ir SP-T modelių laikomoji galia pjūviuose 1–1 ir 2–2 skiriasi apie 58 %. Taip yra todėl, kad pjūvyje 1–1 taip pat neįvertinamas netiesioginis gniuždančios apkrovos perdavimas apvalkalui, o priimama, kad apvalkalas yra kaip papildomas skerspjūvis, kuris perima gniuždančią apkrovą kaip ir elemento branduolys.

Pagal 1.23 sąlygą gniuždomo sustiprinto elemento laikomoji galia turi būti priimama mažesnė iš gautų abiejuose pjūviuose, tai rodo 3.1 lentelės 3 – oji ir 4 – oji eilutės. Taip pat galime pastebėti, kad modeliams SP-R ir SP-T atliktų skaičiavimų rezultatai pjūvyje 2–2 (ties atramomis), kurie pagal 1.23 išraišką nusako elemento laikomąją galią, yra skirtingi. Taip yra todėl, kad remiantis Krause (1993) skaičiavimo metodika, skaičiuojant sustiprinto elemento laikomąją galią pjūvyje 2–2 (ties elemento atrama) įvertinamas stiprinamojo elemento ir apvalkalo skersinis armavimas bei jo skirtingos sąlygos. Todėl esant skirtingam skersiniam armavimui apvalkale ties atramomis, centriškai gniuždomų, sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais, dispersiškai armuotų modelių SP-R ir SP-T laikomoji galia skiriasi apie 2 % ir yra didesnė SP-T modelių, kurių apvalkalo skersinė armatūra ties atramomis buvo sutankinta. Tačiau esant tokioms apkrovimo sąlygoms,

gelžbetoninio apvalkalo įtaka modelių laikomajai galiai nėra labai didelė kaip buvo tikėtasi ir siekia tik apie 6 %.

Atlikus ekscentriškai gniuždomų sustiprintų modelių laikomosios galios skaičiavimus remiantis Krause (1993) metodika (49 pav.), 1–1 pjūvyje buvo gauta mažesnė laikomoji galia nei centriškai gniuždomų modelių, nes tam įtakos turėjo gniuždančios jėgos pridėties ekscentricitetas.

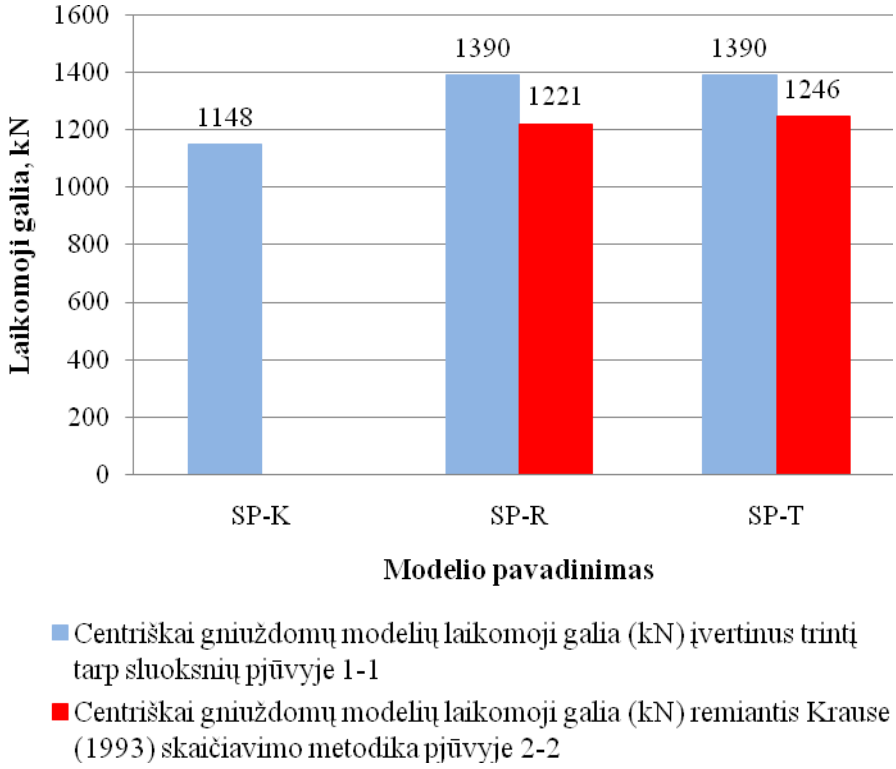


49 pav. Eksentriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia remiantis Krause (1993) skaičiavimo metodika

Lyginant modelių SP-R ir SP-T ekscentrinio gniuždymo skaičiavimo rezultatus, kurie pateikti 3.1 lentelės 5 – oje ir 6 – oje eilutėse bei 49 pav., matyti, kad skirtumas tarp pjūvyje 1–1 ir pjūvyje 2–2 gautų rezultatų yra mažesnis nei centrinio gniuždymo atveju ir siekia apie 28 %. Galutiniai ekscentrinio gniuždymo rezultatai, kurie pateikti 3.1 lentelės 6 – oje eilutėje rodo, kad gelžbetoninio apvalkalo įtaka stiprinamąjam dispersiškai armuotam elementui yra apie 10 %, o apvalkalo skersinės armatūros sutankinimas ties atramomis, laikomąją galią dar padidino apie 2 %.

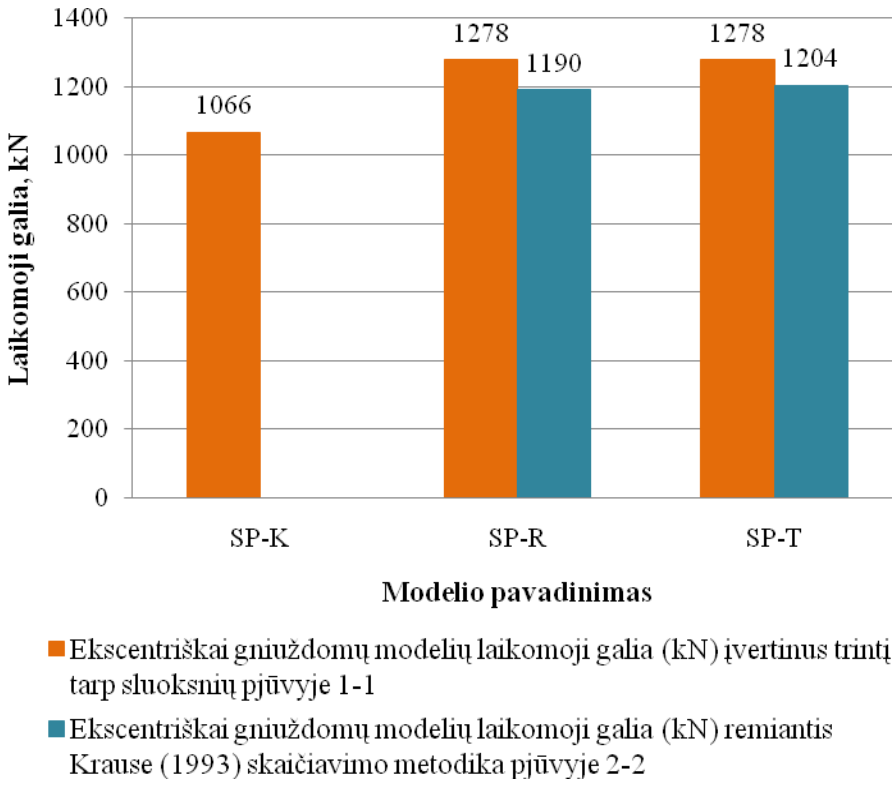
Kadangi gniuždanti apkrova buvo perduodama tik dispersiškai armuotam sustiprinto elemento branduoliui, o pats apvalkalas viršuje ir apačioje niekur nesirėmė, tai apvalkalas dalį apkrovos perimdavo per trinties bei sukibimo jėgas tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo

betonų ir varžė didesnę dalį skersinių stiprinamojo elemento deformacijų. Remiantis tokiomis prielaidomis, 3.1 poskyryje buvo pateikta elementų laikomosios galios skaičiavimo metodika, įvertinanti trintį tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betonų. Pagal šią metodiką atliktų centrinio gniuždymo skaičiavimų rezultatai pateikti 3.1 lentelės septintoje ir aštuntoje eilutėse bei 50 pav.



50 pav. Centriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia įvertinus trintį tarp sluoksnių

Lyginant modelių SP-R ir SP-T centrinio gniuždymo skaičiavimo rezultatus, kurie pateikti 50 pav., kai apkrova apvalkalui perduodama per trintį, matyti, kad skirtumas tarp pjūvyje 1–1 ir pjūvyje 2–2 gautų rezultatų yra žymiai mažesnis nei centrinio gniuždymo atveju, kai apvalkalas vertinamas kaip papildomas gniuždomas skerspjūvio plotas. Šiuo atveju skirtumas siekia tik apie 12 %.



51 pav. Ekscentriškai gniuždomų nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia įvertinus trintį tarp sluoksnių

Atlikus ekscentrinio gniuždymo laikomosios galios skaičiavimus, kai įvertinama trintis tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betonų, iš 3.1 lentelės devintos eilutės ir 51 paveikslo matyti, kad skirtumas tarp pjūvyje 1–1 ir pjūvyje 2–2 gautų rezultatų taip pat yra mažesnis nei ekscentrinio gniuždymo atveju, kai apvalkalas vertinamas kaip papildomas skerspjūvio plotas. Šiuo atveju skirtumas siekia tik apie 7 %.

3.3. Sustiprintų elementų laikomosios galios skaičiuotinių ir eksperimentinių reikšmių palyginimas

Atlikus nesustiprintų ir sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių eksperimentinius tyrimus buvo nustatytas jų suirimo charakteris ir eksperimentinė laikomoji galia (2.2.3 skirsnis, 2.1 lentelė), bei 2.2.2 skirsnyje aprašytas modelių pleišėjimas ir deformacijos.

Atlikus nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais dispersiškai armuotų modelių teorinius laikomosios galios skaičiavimus remiantis 1.3 poskyryje aprašytomis metodikomis ir pagal 3.1. poskyryje aprašytą laikomosios galios skaičiavimo metodiką,

įvertinant trintį tarp sluoksnių, buvo gauta modelių teorinė laikomoji galia (3.2 poskyris, 3.1 lentelė).

Gauti eksperimentinių tyrimų bei teorinių skaičiavimų rezultatai pateikiami 4.1 lentelėje.

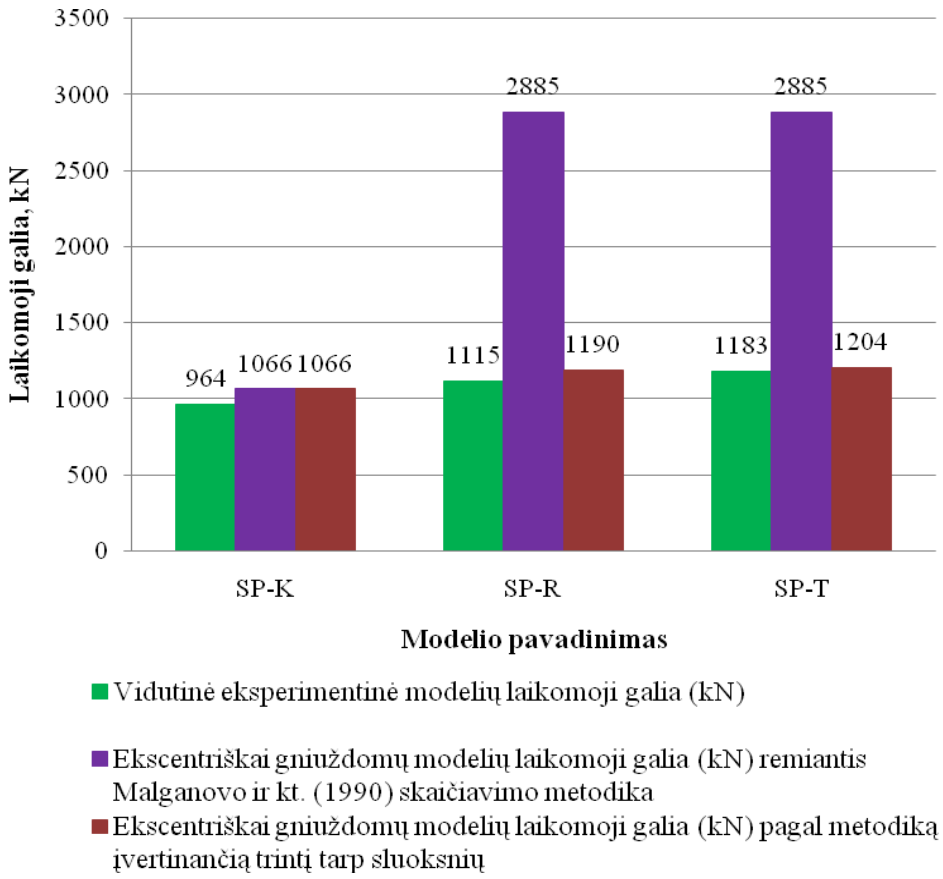
4.1 lentelė. Teorinių duomenų atitiktis eksperimentinių tyrimų rezultatams

Eil. Nr.	**Bandinys**	**SP-K**	**SP-R**	**SP-T**
1	**Vidutinė eksperimentinė modelių laikomoji galia (kN)**	964	1115	1183
2	**Vidutinė eksperimentinė modelių jėga (kN), prie kurios pastebėtas pirmasis plyšys**	612	692	1000
3	**Ekscentriškai gniuždomų modelių laikomoji galia remiantis Malganovo ir kt. (1990) metodika,** $N_{u,e}[kN]$	1066	2885	2885
4	**Ekscentriškai gniuždomų modelių laikomoji galia įvertinus trintį tarp sluoksnių,** $N_{u,e,\min}[kN]$	1066	1190	1204

PASTABA: šioje lentelėje pateikiami tik ekscentriškai gniuždomų elementų laikomosios galios skaičiavimo rezultatai, nes ekscentrinio gniuždymo atvejis daug tiksliau atspindi eksperimentinius tyrimus.

Kaip matyti iš 4.1 lentelėje pirmoje eilutėje pateiktų eksperimentinio tyrimo rezultatų, nesustiprintų bei sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių laikomoji galia didėja priklausomai nuo gelžbetoninio apvalkalo ir skersinės armatūros jame ties atramomis. Atlikus nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K1–3 eksperimentinius tyrimus, jų vidutinė laikomoji galia buvo gauta 964 kN. Sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais SP-R1–3 modelių, bei SP-T1–3 modelių laikomoji galia buvo gauta 1115 kN ir 1183 kN. Tai rodo, kad apvalkalo įrengimas ir skersinės armatūros sutankinimas ties atramomis, didina modelių bendrą laikomąją galią, bet laikomosios galios didėjimas nėra tiesiogiai priklausantis nuo paminėtų parametrų.

Lyginant laikomosios galios eksperimentinių tyrimų rezultatus su teorinių skaičiavimų rezultatais pagal skirtingas skaičiavimo metodikas (4.1 lentelė, 3 ir 4 eilutės) matyti, kad artimiausi eksperimentinių tyrimų rezultatams yra teorinių skaičiavimų rezultatai gauti pagal metodiką, kuri įvertina trintį tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betonų (52 pav.).



52 pav. Eksperimentinių tyrimų laikomosios galios rezultatų palyginimas su teorinių laikomosios galios skaičiavimų rezultatais

Taip yra todėl, kad remiantis Malganovo ir kt. (1990) skaičiavimo metodika, skaičiavimai atliekami tik viduriniajame elemento pjūvyje, kur neįvertinamas dažnai praktikoje pasitaikantis bei šiuose eksperimentiniuose tyrimuose atliktas atvejis, kai apvalkalas tiesiogiai neapkraunamas, o įtraukiamas į darbą per trinties jėgas tarp apvalkalo ir stiprinamojo elemento betonų. Taip pat iš gautų skaičiavimo rezultatų (52 pav.) matyti, kad remiantis Malganovo ir kt. (1990) skaičiavimo metodika, SP-R ir SP-T modelių laikomoji galia yra visiškai vienoda, kadangi yra neįvertinamas nei stiprinamojo elemento, nei apvalkalo skersinis armavimas.

Atlikus sustiprintų elementų skaičiavimus viduriniajame pjūvyje, kur skerspjūvis laikomas vientisu, pagal 3.1 poskyryje aprašytą laikomosios galios skaičiavimo metodiką, gautieji rezultatai yra mažesni apie 24 % nei remiantis Krause (1993) skaičiavimo metodika tame pačiame pjūvyje (3.1 lentelė, 5 – oji ir 9 – oji eilutės), tačiau atlikus sustiprintų elementų skaičiavimus pjūvyje ties atamomis, gaunama dar mažesnė laikomoji galia, kuri pagal 1.26 sąlygą yra tikroji sustiprintų elementų laikomoji galia. Todėl pagrįstai galime teigti, kad esant dispersiniam branduolio armavimui ir netiesioginiam apvalkalo apkrovimui, silpnesnis elemento pjūvis yra ties elemento atramomis, kadangi ten atsiranda daug didesnės skersinės deformacijos, o betonas nesugeba perimti didelių tempimo įtempių. Sutankinus skersinės armatūros apkabas apvalkale ties atramomis, elementų laikomoji galia pagal eksperimentinių tyrimu rezultatus padidėja apie 6 %, o pagal teorinių skaičiavimų rezultatus tik apie 1 %. Tačiau ir sutankinus skersinės armatūros apkabas apvalkale ties atramomis, laikomoji galia atraminiame pjūvyje neviršija laikomosios galios pjūvyje, kur elemento skerspjūvis laikomas vientisu.

Laikomųjų galių skirtumas tarp eksperimentinių tyrimų rezultatų bei teorinių skaičiavimo rezultatų pagal skaičiavimo metodiką, kai priimama, kad apvalkalui gniuždanti apkrova perduodama per trintį tarp branduolio ir apvalkalo betonų, yra nedidelis. Nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių apie 10 %, sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių SP-R apie 6 %, o sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių SP-T tik apie 2 %. Tai rodo, kad tiksliausiai sustiprintų elementų laikomąją galią, kai elementas apkraunamas tokiomis sąlygomis, galima įvertinti pagal pasiūlytą 3.1. poskyryje skaičiavimo metodiką.

3.4. Išvados ir rekomendacijos

Teorinių laikomosios galios skaičiavimo rezultatų palyginimas su eksperimentinėmis bandomųjų modelių reikšmėmis rodo, kad pavojingiausia įrimo požiūriu vieta yra apkrovos perdavimo zonoje, kai apvalkalas į darbą įtraukiamas per trintį tarp stiprinamojo elemento ir apvalkalo betono sluoksnių. Kai buvo atsižvelgiama į gniuždančios apkrovos pridėjimo ekscentriškumą, šiose atraminėse zonose teorinės laikomosios galios reikšmės pagal siūlomą metodiką (3.1. poskyris) vidutiniškai tik 4 % viršijo eksperimentines reikšmes (žr. 4.1 lentelė), o modelių viduryje – 10 %.

Remiantis Malganovo ir kt. (1990) ir Krause (1993) skaičiavimo metodikomis, apskaičiuota modelių laikomoji galia, kai laikoma, kad stiprinamasis elementas ir apvalkalas sudaro vientisą skerspjūvį ir nėra tarp jų jokių sankabos pažaidų dėl skersinių deformacijų,

ženkliai (atitinkamai 2,5 ir 1,5 karto) viršija bandinių stiprumo reikšmes, nes irimo metu apvalkalas atplyšta per visą bandinio ilgį.

Atlikti dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniai apvalkalais modelių teoriniai ir eksperimentiniai laikomosios galios tyrimai parodė, kad skaičiuojant tokių elementų laikomąją galią labai svarbu teisingai įvertinti apvalkalo įjungimo į darbą sąlygas. Esant realioms gniuždomoms sustiprintoms gelžbetoniniais apvalkalais konstrukcijoms kai apvalkalai tiesiogiai yra neapkraunami, reikia būtinai jų laikomąją galia tikrinti atraminėse zonose, o esant tam tikroms apvalkalo įjungimo į darbą sąlygoms, geometriniams parametrams, stiprinamosios konstrukcijos ir apvalkalo armavimui, ir konstrukcijos viduriniajame pjūvyje.

4. BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Gniuždomųjų gelžbetoninių, betoninių ar mūrinių konstrukcijų stiprinimas gelžbetoniniais kontūriniais apvalkalais yra labiausiai paplitęs stiprinimo būdas Lietuvoje. Tačiau taip sustiprintų konstrukcijų laikomosios galios skaičiavimo metodikos yra skirtingos ir apvalkalo įtaka konstrukcijų laikomosios galios padidėjimui vertinama nevienareikšmiškai. Laikomosios galios skaičiavimo metodikų skirtumus sąlygojo eksperimentiniai tyrimai, kurių rezultatus lėmė nevienodos apvalkalo įtraukimo į darbą sąlygos (nuokrovos dydis stiprinimo metu, apkrovos perdavimo į apvalkalą pobūdis), konstrukcijos geometriniai parametrai, armavimo intensyvumas ir pan.

Vokiečių tyrimai parodė, kad sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais gniuždomųjų elementų stiprumui įtakos turi skersinės stiprinamojo elemento ir apvalkalo betono deformacijos. Ši įtaka, ypač apkrovos perdavimo (atraminėse) zonose, gali būti lemiama vertinant sustiprintos konstrukcijos laikomąją galią. Priešingai tradiciniam požiūriui, kad sustiprinta gelžbetoninė konstrukcija dirba kaip vientiso skerspjūvio elementas ir užtenka jos laikomąją galią patikrinti pavojingiausiame klupumo požiūriu pjūvyje (elemento vidurinėje zonoje), vokiečių mokslininkai siūlo sustiprintos konstrukcijos laikomąją galią tikrinti atraminėje ir vidurinėje zonose.

Atlikti dispersiškai armuotų modelių, susitiprintų kontūriniu gelžbetoniniu apvalkalu, tyrimai parodė, kad reikšmingos skersinės apvalkalo betono deformacijos panaikina sankibą tarp dispersiškai armuoto branduolio ir apvalkalo betonų. Sankiba pirmiausiai pažeidžiama apkrovos perdavimo į bandinį zonose. Didinant apkrovą ši pažaida išplinta per visą bandinio ilgį, nes šis ilgis irimo mechanikos požiūriu yra per trumpas sankibos pažaidai (plyšio plitimui) sustabdyti. Taigi bandomųjų modelių laikomosios galios skaičiavime užtenka patikrinti jų stiprumą tik apkrovos perdavimo zonose, t.y. šiuo konkrečiu atveju laikomosios galios tikrinimas modelių vidurinėje zonoje remiantis tradicinėmis Malganovo ir kt. (1990) ir Krause (1993) metodikomis netenka prasmės. Todėl apskaičiuotos pagal šias metodikas elementų laikomosios galios ženkliai viršijo jų eksperimentines reikšmes.

Remiantis Krause (1993) pasiūlyta skersinio armavimo tiek branduolyje, tiek apvalkale ties atramomis įvertinimo metodika laikomajai galiai skaičiuoti apkrovos perdavimo zonose ir atsižvelgus į perduodamą apkrovą apvalkalui per trintį modelio vidurinėje zonoje, modelių laikomosios galios skaičiavimo rezultatai pagal pasiūlytą skaičiavimo metodiką beveik sutampa su eksperimentinių tyrimų rezultatais. Apkrovos perdavimo zonose apvalkalo skersinis armavimas varžo skersines deformacijas ir

jo intensyvumas turi lemiamos įtakos sustiprintų elementų laikomajai galiai.

Atlikti dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniai apvalkalais modelių teoriniai ir eksperimentiniai laikomosios galios tyrimai parodė, kad skaičiuojant tokių elementų laikomąją galią labai svarbu teisingai įvertinti apvalkalo įtraukimo į darbą sąlygas. Esant realioms gniuždomoms sustiprintoms gelžbetoniniais apvalkalais konstrukcijoms, kai apvalkalai tiesiogiai yra neapkraunami, reikia būtinai jų laikomąją galia tikrinti atraminėse zonose, o esant tam tikroms apvalkalo įtraukimo į darbą sąlygoms, geometriniams parametrams, stiprinamosios konstrukcijos ir apvalkalo armavimui, ir konstrukcijos viduriniajame pjūvyje.

Atliekant tyrimus, dispersinis modelių branduolių armavimas naudojant plieno skaidulas buvo pasirinktas tam, kad skaičiavimo metodikų patobulinimai ir siūloma skaičiavimo metodika būtų lengviau pritaikoma ir ktiems konstrukcijų stipinimo atvejams: kai yra stiprinami betoniniai, mūriniai stulpai ar tarpuangiai, tačiau tokiu atveju skaičiavimo metodikos gali būti dar tiksliniamos remiantis papildomais eksperimentiniais gniuždomų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais elementų tyrimais.

Teoriniai elementų laikomosios galios skaičiavimai pagal 1 skyriuje išanalizuotas skaičiavimo metodikas bei siūlomą skaičiavimo metodiką buvo atliekami neįvertinant patikimumo bei atsargos koeficientų, todėl teorinių laikomosios galios skaičiavimų rezultatai yra didesni už eksperimentinių tyrimų metu gautus rezultatus.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. 2003. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Жилищное строительство, № 3. стр. 15-16.

Emmons P. H., Vaysburd A. M., Thomas J. 1998. Strengthening Concrete Structures. Part I. Concrete International. vol. 20, № 3, pgs. 53-58.

Emmons P. H., Vaysburd A. M., Thomas J. 1998. Strengthening Concrete Structures. Part II. Concrete International. vol. 20, № 4, pgs. 56-60.

EN 206-1. Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures.

Huei-Jeng Lin, Chin-I Liao. 2003. Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University. Compressive strength of reinforced concrete column confined by composite material.

Indelicato F. 2002. Steel fibre reinforced concrete: a contribution to the evaluation of the limit of proportionality. Magazine of Concrete Research.

Jokūbaitis, V. 2007. Statinių gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų techninės būklės tyrimai ir vertinimas. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 80 p.

Julio E., S., Branco F., Silva V., D. 2003. Structural rehabilitation of columns with reinforced concrete jacketing. Prog. Struct. Engng Mater. 5: 29–37.

Kamaitis Z., Jokūbaitis V., 1986. Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų atstatymas ir stiprinimas. Mokomoji knygelė. Vilnius: VISI. 91p.

Kay, T. 1992. Assessment and Renovation of Concrete Structures: Copublished in the United States with John Wiley & Sons, Inc., New York. Longman Scientific & Technical. 119 pgs.

Konstantinos G. Vandoros and Stephanos E. Dritsos. 2007. Prog. Struct. Engng Mater.: Axial preloading effects when reinforced concrete columns are strengthened by concrete jackets.

Konstantinos G. Vandoros, Stephanos E. Dritsos. 2006. Construction and Building Materials: Concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns.

Krause H., J. 1993. Zum tragverhalten und zur bemessung nachträglich verstärkter stahlbetonstützen unter zentrischer belastung. Doktor-Ingenieurs. Verlag shaker. Aachen. 201 seiten.

Kwak Yoon-Keun, Eberhard Marc O., Kim Woo-Suk and Kim Jubum. 2002. ACI

STRUCTURAL JOURNAL: Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups.

Kwan A. K. H. and Ng I. Y. T. 2007. Magazine of Concrete Research: Adding steel fibres to improve shock vibration resistance of concrete.

Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Томск 1990. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей.

НИИЖБ, Госстроя СССР. 1992. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий Надземные конструкции и сооружения. Москва Стройиздат.

Pilakoutas K. PhD, DSc, Neocleous K. PhD, Tlemat H. Dipl-Ing. 2004. Reuse of tyre steel fibres as concrete reinforcement. Proceedings of the Institution of Civil Engineers.

Shin S.-W., Bahn B.-Y. and Yoo S.-H. 2006. Magazine of Concrete Research: Effect of concrete strength on biaxial bending moment.

Shannag M. J. and Al-Rousan R. 2004. Magazine of Concrete Research: Shear strengthening of high-strength reinforcedconcrete beams using fibrous composites.

STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.

STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Praktinio taikymo vadovas. I ir II dalys.

Takeuti Adilson Roberto, de Hanai Joao Bento, Mirmiran Amir. 2008. Materials and Structures: Preloaded RC columns strengthened with high-strength concrete jackets under uniaxial compression.

Thomée B., Schikora K., Bletzinger K.-U. 2005. Material modeling of steel fiber reinforced concrete, Innsbruck, Austria,

Zabulėnas, A. 1992. Влияние напряженно-деформированного состояния на несущую способность усиливаемых железобетонных элементов при осевом сжатии. Вильнюс : Техника,. стр. 112.

PRIEDAI

A PRIEDAS. Betono ir armatūros charakteristinių bei projektinių rodiklių nustatymas

Kolonų modelių dispersinio ir apvalkalo betono kubinio, prizminio ir tempiamojo stiprumo rodikliai pateikti A.1, A.2, A.3 ir A.4 lentelėse.

A.1 lentelė. Dispersinio kolonų modelių betono kubinio, prizminio ir tempiamojo stiprumo rodiklių bandymo žurnalas

Bandinio eil.Nr.	**Kubo kraštinių matmenys a x b x h**	**Kubo skerspjūvio plotas A_{net}**	**Ribinė jėga $F_{u,i}$**	**Etaloninio kubo stiprumas $f_{c,cube,15}$**	**Vidutinės betono stiprumo reikšmės**		
					Kubinis stiprumas f_{cm}	**Prizminis stiprumas f_{bm}**	**Stiprumas Tempiant f_{ctm}**
	mm	mm^2	kN	MPa	MPa	MPa	MPa
1.	152,4x150,3x151,5	22905	1175,3	51,3	51,0	36,7	3,16
2.	151,8x151,8x149,9	23043	1163,4	50,5			
3.	152,2x150,7x151,0	22936	1171,5	51,1			

Pastaba: Prizminis ir tempiamasis stiprumas, gautas pagal empirines A.4 ir A.5 išraiškas.

A.2 lentelė. Kolonų modelių apvalkalo betono kubinio, prizminio ir tempiamojo stiprumo rodiklių bandymo žurnalas

Bandinio eil.Nr.	**Kubo kraštinių matmenys a x b x h**	**Kubo skerspjūvio plotas A_{net}**	**Ribinė jėga $F_{u,i}$**	**Redukuotas etaloninio kubo stiprumas $f_{c,cube,15}$**	**Vidutinės betono stiprumo reikšmės**		
					Kubinis stiprumas f_{cm}	**Prizminis stiprumas f_{bm}**	**Stiprumas Tempiant f_{ctm}**
	mm	mm^2	kN	MPa	MPa	MPa	MPa
1.	101,1x100,9x99,6	10201	565,4	52,7	52,4	37,6	3,22
2.	101,6x101,2x98,6	10282	530,8	49,0			
3.	101,0x100,6x97,7	10171	600,5	56,1			
4.	101,6x101,4x98,7	10302	554,7	51,2			
5.	101,1x100,9x97,8	10201	573,4	53,4			
6.	101,5x101,4x98,5	10292	563,4	52,0			

Pastaba: Prizminis ir tempiamasis stiprumas, gautas pagal empirines A.4 ir A.5 išraiškas.

A.3 lentelė. Kolonų modelių apvalkalo betono prizminio stiprumo rodiklių bandymo žurnalas

Bandinio eil.Nr.	**Prizmės kraštinių matmenys** **a x b x h**	**Prizmės skerspjūvio plotas** $\mathbf{A_{net}}$	**Ribinė jėga** $\mathbf{F_{u,i}}$	**Prizmės stiprumas** $\mathbf{f_{bm,i}}$	**Vidutinis betono prizminis stiprumas** $\mathbf{f_{bm}}$
	mm	mm^2	kN	MPa	MPa
1.	100,0x98,8x399	9880	392	39,7	38,1
2.	99,3x100,3x399	9960	338	33,9	
3.	97,4x99,9x400	9730	396	40,7	

Pastaba: Prizminis stiprumas nustatytas bandymais.

A.4 lentelė. Kolonų modelių apvalkalo betono tempiamojo stiprumo rodiklių bandymo žurnalas

Bandinio eil.Nr.	**Pirzmės kraštinių matmenys** $\mathbf{d_1 \times d_2 \times L}$	**Prizmės skerspjūvio plotas** $\mathbf{A_{net}}$	**Ribinė jėga** $\mathbf{F_{u,i}}$	**Betono stiprumas lenkiant** $\mathbf{f_{ctl,i}}$	**Betono stiprumas tempiant** $\mathbf{f_{ct,i}}$	**Vidutinis betono stiprumas tempiant** $\mathbf{f_{ctm}}$
	mm	mm^2	kN	MPa	MPa	MPa
1.	99,5x100,9x399	10040	15,70	6,97	4,19	4,1
2.	99,6x100,5x399	10010	15,19	6,80	4,08	
3.	99,5x100,0x399	9950	14,88	6,73	4,04	

Pastaba: Tempiamasis stiprumas nustatytas bandymais.

Skaičiavimas:

Nustatant redukuotą etaloninių kubų stiprumą, kai kubo matmenys yra 150x150x150 mm, naudojama formulė:

$$f_{c,cube,15} = F_{u,i} / A_{net}, \tag{A.1}$$

kai kubo matmenys yra 100x100x100 mm, naudojama ta pati formulė tik įvedamas mastelio faktorius χ_{mc}:

$$f_{c,cube,10} = \chi_{mc} \cdot (F_{u,i} / A_{net}), \tag{A.2}$$

čia:

χ_{mc} – mastelio faktorius (0,95),

$F_{u,i}$ – i-tojo kubo suirimo jėga,

A_{net} – paties kubo vidutinis darbo plotas.

Nustatant betono vidutinį kubinį stiprumą naudojama formulė:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \cdot \sum f_{c,cube,10,i}, \tag{A.3}$$

čia:

$f_{c,cube,10,i}$ – dydis aprašytas A.2 išraiškoje.

Nustatant apytiksliai betono prizminį stiprumą, naudojama formulė:

$$f_{bm} = f_{cm} \cdot (0,77 - 0,001 \cdot f_{cm}) \geq 0,72 \cdot f_{cm}, \tag{A.4}$$

čia:

f_{cm} – vidutinis betono kubinis stiprumas.

Nustatant apytiksliai betono stiprumą tempiant, naudojama formulė:

$$f_{ctm} = 0,23 \cdot \sqrt[3]{f_{cm}^2}, \tag{A.5}$$

čia:

f_{cm} – dydis aprašytas A.4 išraiškoje.

Nustatant betono stiprumą tempiant iš bandymų, naudojama formulė:

$$f_{ct,i} = f_{ctl,i} \cdot \frac{1,5 \cdot \left(\frac{h_b}{h_0}\right)^{0,7}}{1+1,5 \cdot \left(\frac{h_b}{h_0}\right)^{0,7}}, \quad \text{(A.6)}$$

čia:

$f_{ctl,i}$ – lenkiamasis betono stipris, kuris apskaičiuojamas taip:

$$f_{ctl,i} = \frac{3 \cdot F_{u,i} \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^{\,2}}, \quad \text{(A.7)}$$

h_b – sijos aukštis,

h_0 – 100mm,

$F_{u,i}$ – i-tosios sijos suirimo jėga,

l – 300 mm, d_1 - sijos plotis, d_2 - sijos aukštis.

Kolonų modelių dispersinio betono cilindrinio stiprumo rodikliai pateikti A.5 lentelėje.

A.5 lentelė. Dispersinio kolonų modelių betono cilindrinio stiprumo rodiklių bandymo žurnalas

Bandinio eil.Nr.	**Cilindro matmenys d**	**Cilindro skerspjūvio plotas A_{net}**	**Ribinė jėga $F_{u,i}$**	**Etaloninio cilindro stiprumas $f_{c,i}$**	**Kvadratinis nuokrypis σ**	**Betono stiprumo reikšmės**	
						Cilindrinis betono stiprumas $f_{ck,i}$	**Vidutinis cilindrinis betono stiprumas f_{ck}**
	mm	mm^2	kN	MPa		MPa	MPa
1.	149,4	17536	810,5	46,2	6,01	36,4	35,5
2.	149,3	17495	734,6	42,0	5,46	33,1	
3.	149,3	17507	821,1	46,9	6,10	36,9	

Variacijos koeficientas δ=0,13.

Cilindro plotas:

$$A_{net} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad \text{(A.8)}$$

Etaloninis cilindro stiprumas:

$$f_{ci} = \frac{F_{u,i}}{A_{net}}. \quad \text{(A.9)}$$

Vidutinis kvadratinis nuokrypis:

$$\sigma = \delta \cdot f_{ci}. \quad \text{(A.10)}$$

Bandomo centriškai gniuždomo betono stipris, gaunamas pagal etaloninį cilindro stiprį:

$$f_{ck,i} = f_{ci} \cdot (1 - 1,64 \cdot \delta). \quad \text{(A.11)}$$

Išvada:

Nesustiprintų dispersinio ir apvalkalo sunkiojo betono modelių stiprio nustatymo metu buvo nustatytos ir apskaičiuotos vidutinės betono stiprumo reikšmės: kolonų modelių betono kubinis stiprumas $f_{cm} = 51,0MPa$, prizminis stiprumas $f_{bm} = 36,7MPa$, stiprumas tempiant $f_{ctm} = 3,16MPa$, vidutinis cilindrinis stiprumas $f_{ck} = 35,5MPa$, o apvalkalo betono kubinis stiprumas $f_{cm} = 52,4MPa$, prizminis stiprumas pagal empirines išraiškas $f_{bm} = 37,6MPa$, pagal bandymo duomenis - $f_{bm} = 38,1MPa$, stiprumas tempiant pagal empirines išraiškas $f_{ctm} = 3,22MPa$, pagal bandymo duomenis - $f_{ctm} = 4,1MPa$.

Kolonų modelių apvalkalo betono tamprumo modulio bandymo ir nustatymo duomenys pateikti A.6, A.7, A.8 ir A.9 lentelėse.

A.6 lentelė. Prizmės P-1 bandymo duomenys

Eilės Nr.	Apkrovos F dydis, kN	Indikatorių arba tenzometrų parodymai									Betono įtempiai $\sigma_{u,MPa}$	Betono deformacijos ε_c
		T_1		T_2		T_3		T_4		T_m		
		n_{1i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{2i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{3i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{4i}	$\Sigma\Delta n_i$			
1.	0	10,039		5,0830		18,4440		3,6090		0,0000	0	0
			0,0000		0,0000		0,0000		0,0000			
2.	20	10,039		5,0830		18,4630		3,6090		0,0190	2,02	$9{,}50 \cdot 10^{-5}$
			0,0000		0,0000		0,0190		0,0000			
3.	40	10,039		5,0940		18,4830		3,6090		0,0390	4,05	$1{,}95 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0110		0,0390		0,0000			
4.	60	10,039		5,1020		18,4980		3,6110		0,0540	6,07	$2{,}70 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0190		0,0540		0,0020			
5.	80	10,039		5,1030		18,5110		3,6140		0,0670	8,10	$3{,}35 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0200		0,0670		0,0050			
6.	100	10,039		5,1020		18,5150		3,6160		0,0710	10,12	$3{,}55 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0190		0,0710		0,0070			
7.	120	10,039		5,1020		18,5230		3,6180		0,0790	12,15	$3{,}95 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0190		0,0790		0,0090			
8.	140	10,039		5,1020		18,5260		3,6210		0,0820	14,17	$4{,}10 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0190		0,0820		0,0120			
9.	160	10,039		5,1020		18,5310		3,6250		0,0870	16,19	$4{,}35 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0190		0,0870		0,0160			
10.	180	10,039		5,1040		18,5380		3,6290		0,0940	18,22	$4{,}70 \cdot 10^{-4}$
			0,0000		0,0210		0,0940		0,0200			
11.	200	10,041		5,1150		18,5420		3,6330		0,0980	20,24	$4{,}90 \cdot 10^{-4}$
			0,0020		0,0320		0,0980		0,0240			
12.	220	10,060		5,1280		18,5460		3,6410		0,1020	22,27	$5{,}10 \cdot 10^{-4}$
			0,0210		0,0450		0,1020		0,0320			
13.	240	10,075		5,1360		18,5480		3,6480		0,1050	24,29	$5{,}25 \cdot 10^{-4}$
			0,0360		0,0530		0,1040		0,0390			
14.	260	10,092		5,1550		18,5480		3,6560		0,1060	26,32	$5{,}30 \cdot 10^{-4}$
			0,0530		0,0720		0,1040		0,0470			
15.	280	10,109		5,1660		18,5480		3,6600		0,1360	28,34	$6{,}80 \cdot 10^{-4}$
			0,0700		0,0830		0,1040		0,0510			
16.	300	10,125		5,1820		18,5480		3,6660		0,1560	30,36	$7{,}80 \cdot 10^{-4}$
			0,0860		0,0990		0,1040		0,0570			

A.7 lentelė. Prizmės P-2 bandymo duomenys

Eilės Nr.	Apkrovos F dydis, kN	Indikatorių arba tenzometrų parodymai									Betono įtempiai $\sigma_{u,\,MPa}$	Betono deformacijos ε_c
		T_1		T_2		T_3		T_4		T_m		
		n_{1i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{2i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{3i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{4i}	$\Sigma\Delta n_i$			
1.	0	9,8230		3,9620		18,4560		3,3700		0,0000	0	0
			0,0000		0,0000		0,0000		0,0000			
2.	20	9,8240		3,9620		18,4620		3,3710		0,0023	2,01	$1{,}20\cdot10^{-5}$
			0,0010		0,0000		0,0060		0,0010			
3.	40	9,8250		3,9630		18,4680		3,3730		0,0053	4,02	$2{,}70\cdot10^{-5}$
			0,0020		0,0010		0,0120		0,0030			
4.	60	9,8270		3,9800		18,4780		3,3750		0,0150	6,02	$7{,}50\cdot10^{-5}$
			0,0040		0,0180		0,0220		0,0050			
5.	80	9,8280		3,9930		18,5020		3,3840		0,0303	8,03	$1{,}52\cdot10^{-4}$
			0,0050		0,0310		0,0460		0,0140			
6.	100	9,8280		4,0020		18,5170		3,3950		0,0420	10,04	$2{,}10\cdot10^{-4}$
			0,0050		0,0400		0,0610		0,0250			
7.	120	9,8280		4,0120		18,5210		3,4040		0,0497	12,05	$2{,}48\cdot10^{-5}$
			0,0050		0,0500		0,0650		0,0340			
8.	140	9,8290		4,0210		18,5240		3,4130		0,0567	14,06	$2{,}83\cdot10^{-4}$
			0,0060		0,0590		0,0680		0,0430			
9.	160	9,8280		4,0280		18,5260		3,4240		0,0633	16,06	$3{,}17\cdot10^{-4}$
			0,0050		0,0660		0,0700		0,0540			
10.	180	9,8280		4,0380		18,5290		3,4410		0,0733	18,07	$3{,}67\cdot10^{-4}$
			0,0050		0,0760		0,0730		0,0710			
11.	200	9,8290		4,0560		18,5300		3,4540		0,0840	20,08	$4{,}20\cdot10^{-4}$
			0,0060		0,0940		0,0740		0,0840			
12.	220	9,8290		4,0750		18,5300		3,4690		0,0953	22,09	$4{,}77\cdot10^{-4}$
			0,0060		0,1130		0,0740		0,0990			
13.	240	9,8290		4,0810		18,5300		3,4820		0,1017	24,10	$5{,}08\cdot10^{-4}$
			0,0060		0,1190		0,0740		0,1120			
14.	260	9,8290		4,0800		18,5300		3,4970		0,1063	26,10	$5{,}32\cdot10^{-4}$
			0,0060		0,1180		0,0740		0,1270			
15.	280	9,8310		4,0830		18,5300		3,5090		0,1113	28,11	$5{,}57\cdot10^{-4}$
			0,0080		0,1210		0,0740		0,1390			
16.	300	9,8380		4,1000		18,5300		3,5180		0,1200	30,12	$6{,}00\cdot10^{-4}$
			0,0150		0,1380		0,0740		0,1480			

A.8 lentelė. Prizmės P-3 bandymo duomenys

Eilės Nr.	Apkrovos F dydis, kN	Indikatorių arba tenzometrų parodymai									Betono įtempiai $\sigma_{u,\,MPa}$	Betono deformacijos ε_c
		T_1		T_2		T_3		T_4		T_m		
		n_{1i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{2i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{3i}	$\Sigma\Delta n_i$	n_{4i}	$\Sigma\Delta n_i$			
1.	0	9,7560		3,5010		18,3070		3,6250		0,0000	0	0
			0,0000		0,0000		0,0000		0,0000			
2.	20	9,7610		3,5010		18,3290		3,6270		0,0097	2,06	$4{,}80\cdot10^{-5}$
			0,0050		0,0000		0,0220		0,0020			
3.	40	9,7730		3,5010		18,3450		3,6380		0,0227	4,11	$1{,}13\cdot10^{-4}$
			0,0170		0,0000		0,0380		0,0130			
4.	60	9,7790		3,5010		18,3580		3,6520		0,0337	6,17	$1{,}68\cdot10^{-5}$
			0,0230		0,0000		0,0510		0,0270			
5.	80	9,7840		3,5030		18,3750		3,6700		0,0470	8,22	$2{,}35\cdot10^{-5}$
			0,0280		0,0020		0,0680		0,0450			
6.	100	9,7880		3,5080		18,3920		3,6840		0,0587	10,28	$2{,}93\cdot10^{-5}$
			0,0320		0,0070		0,0850		0,0590			
7.	120	9,7950		3,5190		18,4050		3,6890		0,0670	12,33	$3{,}35\cdot10^{-4}$
			0,0390		0,0180		0,0980		0,0640			
8.	140	9,8020		3,5260		18,4140		3,6930		0,0737	14,39	$3{,}68\cdot10^{-4}$
			0,0460		0,0250		0,1070		0,0680			
9.	160	9,8050		3,5320		18,4200		3,7010		0,0793	16,44	$3{,}97\cdot10^{-4}$
			0,0490		0,0310		0,1130		0,0760			
10.	180	9,8110		3,5380		18,4260		3,7120		0,0870	18,50	$4{,}35\cdot10^{-4}$
			0,0550		0,0370		0,1190		0,0870			
11.	200	9,8150		3,5380		18,4320		3,7240		0,0943	20,55	$4{,}72\cdot10^{-4}$
			0,0590		0,0370		0,1250		0,0990			
12.	220	9,8200		3,5380		18,4390		3,7330		0,1013	22,61	$5{,}07\cdot10^{-4}$
			0,0640		0,0370		0,1320		0,1080			
13.	240	9,8270		3,5380		18,4500		3,7420		0,1103	24,67	$5{,}52\cdot10^{-4}$
			0,0710		0,0370		0,1430		0,1170			
14.	260	9,8330		3,5380		18,4620		3,7500		0,1190	26,72	$5{,}95\cdot10^{-4}$
			0,0770		0,0370		0,1550		0,1250			
15.	280	9,8440		3,5380		18,4720		3,7580		0,1287	28,78	$6{,}43\cdot10^{-4}$
			0,0880		0,0370		0,1650		0,1330			
16.	300	9,8530		3,5460		18,4830		3,7670		0,1383	30,83	$6{,}92\cdot10^{-4}$
			0,0970		0,0450		0,1760		0,1420			

Skaičiavimas:

$$T_m = \left(\sum_{i=1}^{4} \Delta n_i \right) / 4, \qquad \text{(A.19)}$$

$$\varepsilon_c = T_m / l_m, \qquad \text{(A.20)}$$

$$\sigma_u = F_i / A_{net}, \qquad \text{(A.21)}$$

čia:

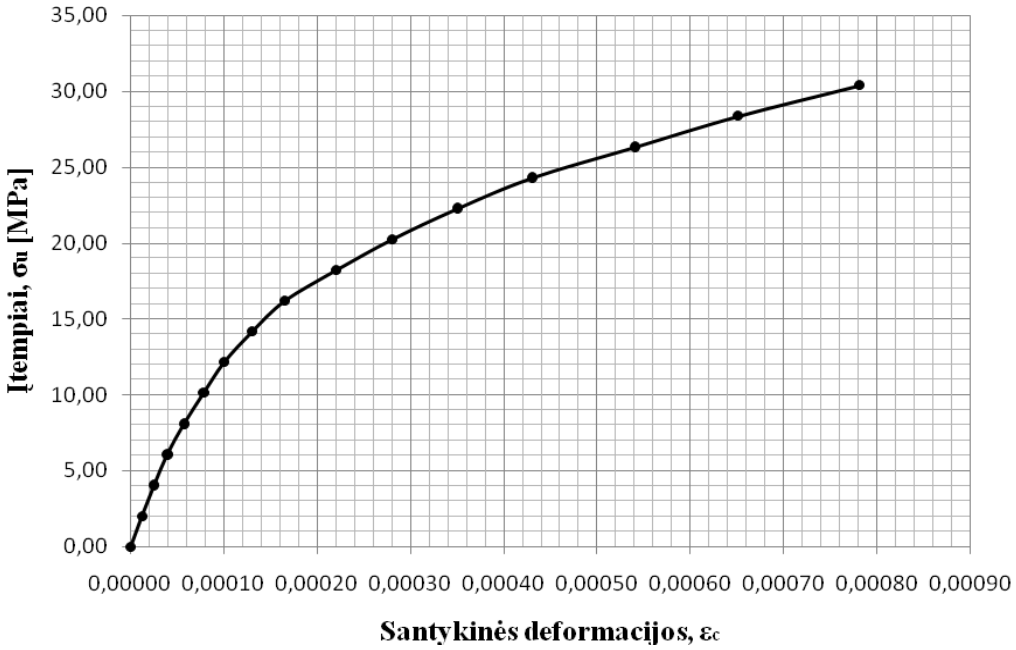
F_i – apkrova i-ojo tarpo,

l_m – matavimo bazė,

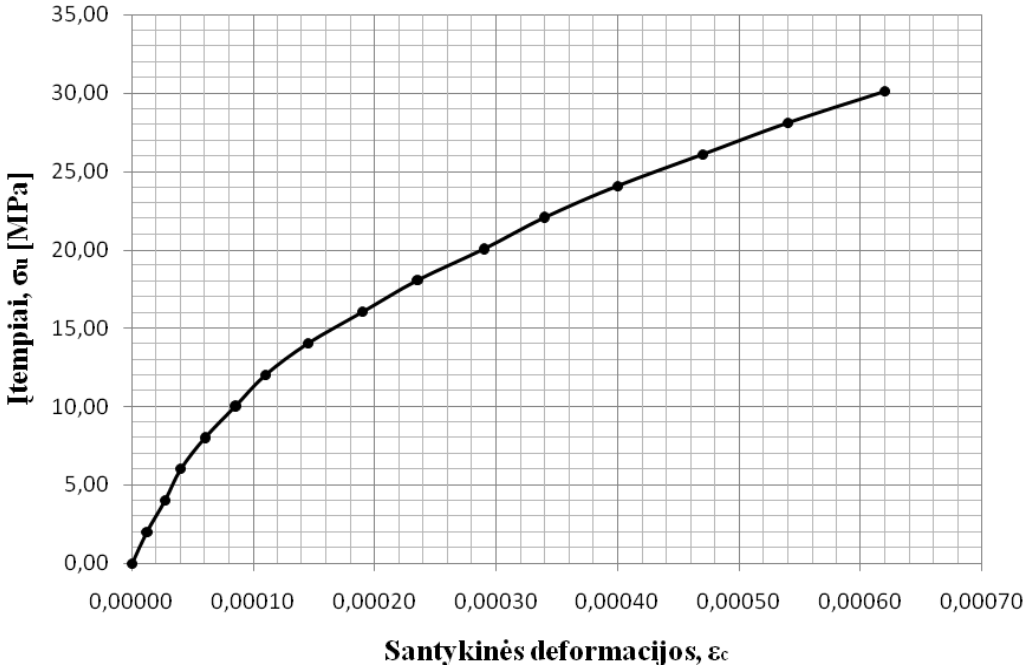
A_{net} – prizmės plotas.

Kadangi kai kurie matavimo prietaisai (elektromechaniniai indikatoriai) rodo neteisingai, tai yra atmetami ir skaičiavimai atliekami pagal tris arba du matavimo prietaisus.

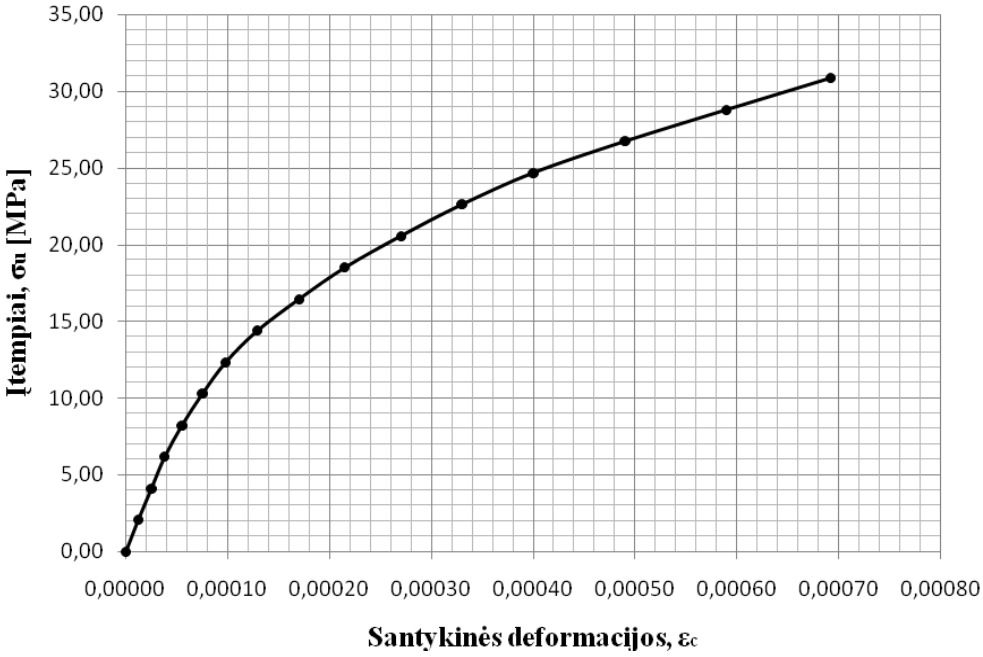
Gniuždomo betono įtempių ir deformacijų diagramas A.1, A.2 ir A.3 braižome remiantis gautais bandymo rezultatais.



A.1 pav. Gniuždomos prizmės P-1 betono įtempių ir deformacijų diagrama



A.2 pav. Gniuždomos prizmės P-2 betono įtempių ir deformacijų diagrama



A.3 pav. Gniuždomos prizmės P-3 betono įtempių ir deformacijų diagrama

Pagal atliktų tyrimų gautus rezultatus, prizmę P-1 suardantys įtempiai yra $\sigma_{u,P-1} = 39,7MPa$, prizmę P-2 suardantys įtempiai $\sigma_{u,P-2} = 33,9MPa$ ir prizmę P-3 suardantys įtempiai $\sigma_{u,P-3} = 40,7MPa$.

Atidėjus kiekvienos prizmės diagramoje $\sigma_{0,1} = 0,1 \cdot \sigma_u$ ir $\sigma_{0,3} = 0,3 \cdot \sigma_u$ įtempius, galime grafiškai nustatyti kiekvienos prizmės santykines deformacijas ε_1 ir ε_2. Tuomet iš Huko dėsnio galime apskaičiuoti kiekvienos prizmės tamprumo modulį:

$$E_{c,i} = \frac{\sigma_{0,3} - \sigma_{0,1}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}. \qquad \text{(A.22)}$$

Sijų P-1, P-2 ir P-3 tamprumo modulių reikšmės pateiktos A.9 lentelėje.

A.9 lentelė. Prizmių P-1, P-2 ir P-3 charakteristikos

Prizmės Nr.	**Prizmės kraštinių matmenys axb**	**Prizmės skerspjūvio plotas A_{net}**	**Matavimų bazė l_m**	**Laukiama ribinė apkrova F_u**	**Sąlyginės jėgos F_o**	**Jėgos prieaugis ΔF**	**Betono tamprumo modulis $E_{c,i}$**	**Vidutinis betono tamprumo modulis E_{cm}**
	mm	mm^2	mm	kN	kN	kN	GPa	GPa
P-1	100,0x98,8	9880	200	-	0	20	33,8	35,7
P-2	99,3x100,3	9960	200	-	0	20	36,2	
P-3	97,4x99,9	9730	200	-	0	20	37,1	

Tempiamos apvalkalo išilginės pagrindinės armatūros stiprumo bandymų rezultatai pateikiami A.10 lentelėje:

A.10 lentelė. Kolonų modelių apvalkalo išilginės pagrindinės armatūros stiprumo projektinių rodiklių nustatymo žurnalas

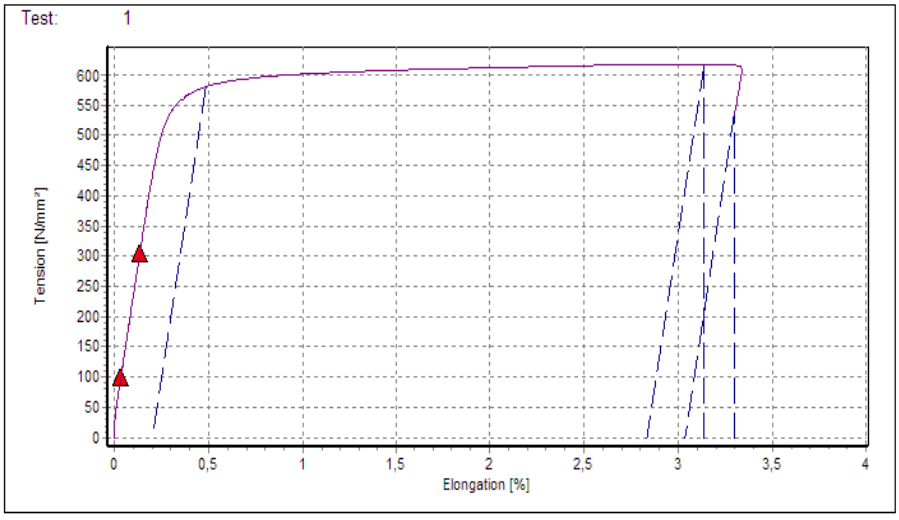
Eil. Nr.	**Armatūros diametras**	**Skerspjūvio plotas**	**Ribinė jėga**	**Plastiškumas (0,2 %)**	**Tempiamasis atsparumas**	**Tamprumo modulis**
	d	**A_{net}**	**F_u**	**R_p**	**R_m**	**E_s**
	[mm]	[mm^2]	[kN]	[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]
1.	∅8	50,27	31,02	580,88	617,09	204433
2.	∅8	50,27	31,30	583,57	622,66	197897
3.	∅8	50,27	31,09	579,19	618,42	203603

Eil. Nr.	**Santykinis pailgėjimas pasiekus F_u**	**Maksimalus santykinis pailgėjimas**	**Vidutinis santykinis pailgėjimas**	**Viso strypo santykinis pailgėjimas plyštant**
	A_g	**A_{gt}**	**A**	**A_t**
	[%]	[%]	[%]	[%]
1.	2,83	3,13	3,04	3,30
2.	2,57	2,89	2,73	3,01
3.	2,67	2,98	2,81	3,08

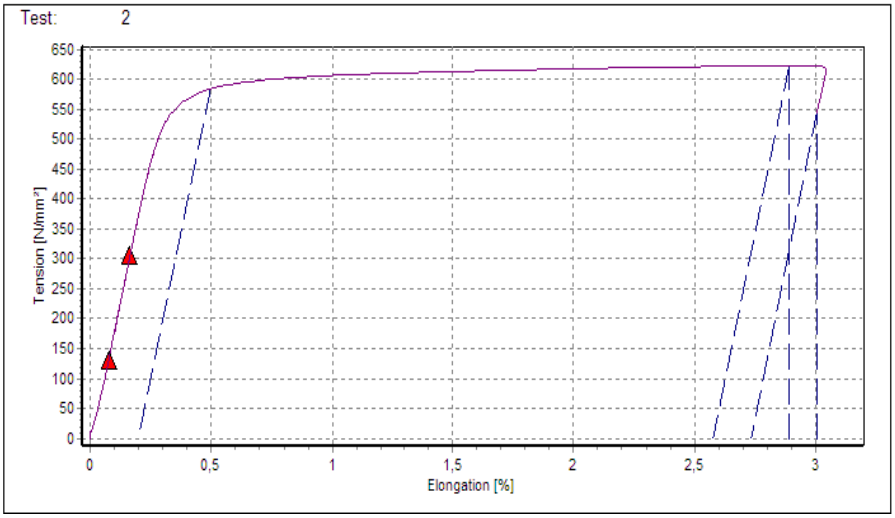
Apvalkalo išilginės pagrindinės armatūros stiprumo projektinių rodiklių nustatymo bandiniai ir bandymų grafikai pateikiami A.4, A.5, A.6 ir A.7 paveiksluose.



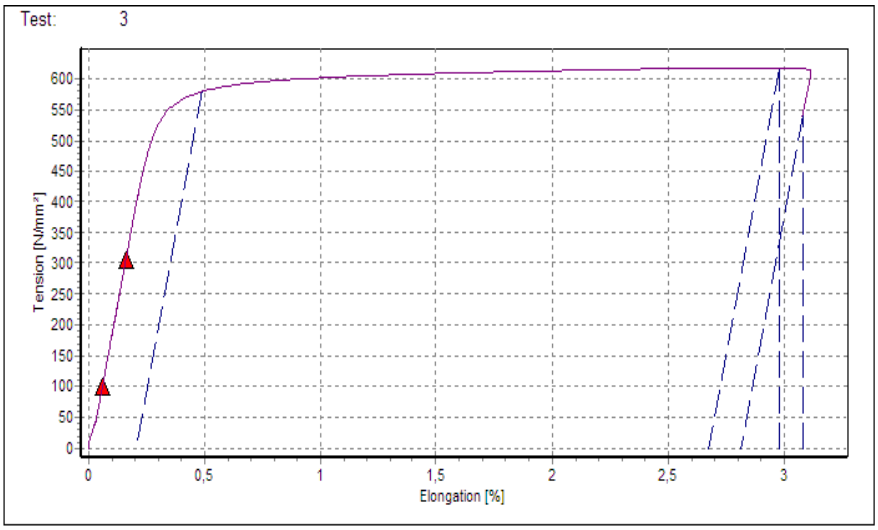
A.4 pav. Apvalkalo išilginės pagrindinės armatūros stiprumo nustatymo bandiniai



A.5 pav. Apvalkalo išilginio pagrindinio strypo ST-1 bandymo grafikas



A.6 pav. Apvalkalo išilginio pagrindinio strypo ST-2 bandymo grafikas



A.7 pav. Apvalkalo išilginio pagrindinio strypo ST-3 bandymo grafikas

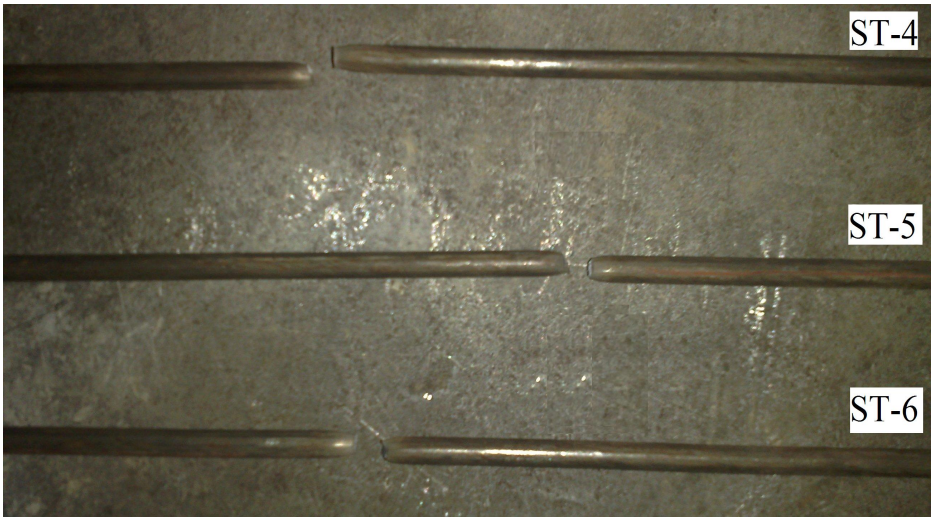
Tempiamos apvalkalo skersinės armatūros stiprumo bandymo rezultatai pateikiami A.11 lentelėje:

A.11 lentelė. Kolonų modelių apvalkalo skersinės armatūros stiprumo projektinių rodiklių nustatymo žurnalas

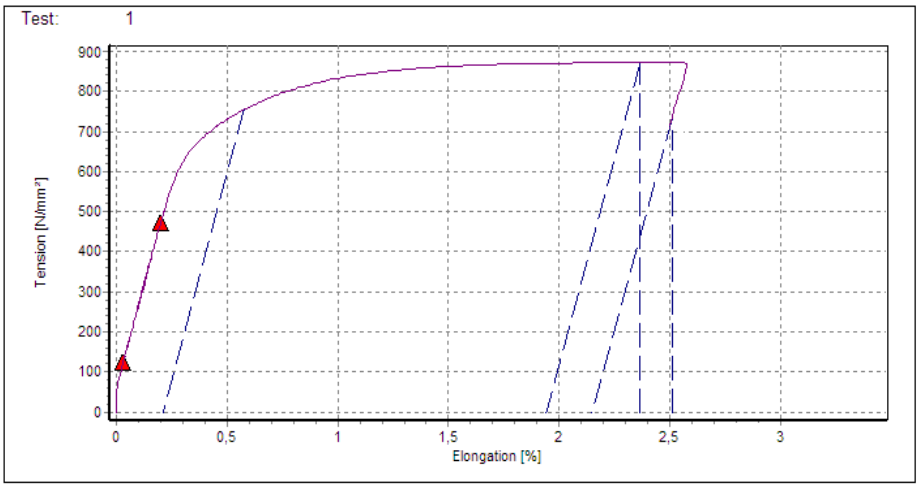
Eil. Nr.	**Armatūros diametras**	**Skerspjūvio plotas**	**Ribinė jėga**	**Plastiškumas (0,2 %)**	**Tempiamasis atsparumas**	**Tamprumo modulis**
	d	**A_{net}**	**F_u**	**R_p**	**R_m**	**E**
	[mm]	[mm^2]	[kN]	[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]
1.	∅4	12,57	10,98	755,46	873,23	197364
2.	∅4	12,57	10,92	748,56	868,99	195265
3.	∅4	12,57	11,00	762,09	875,48	196856

Eil. Nr.	**Santykinis pailgėjimas pasiekus F_u**	**Maksimalus santykinis pailgėjimas**	**Vidutinis santykinis pailgėjimas**	**Viso strypo santykinis pailgėjimas plyštant**
	A_g	**A_{gt}**	**A**	**A_t**
	[%]	[%]	[%]	[%]
1.	2,21	2,67	3,97	4,23
2.	2,30	2,74	4,39	4,75
3.	2,16	2,60	3,52	3,88

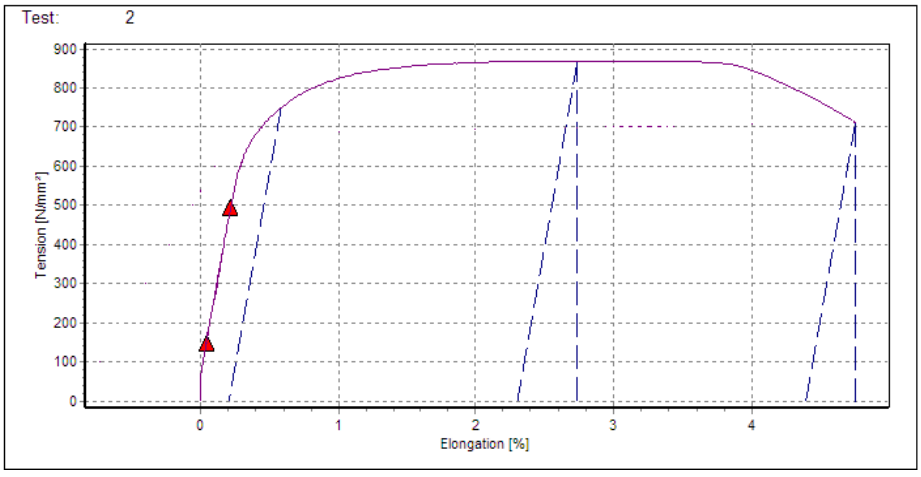
Apvalkalo skersinės armatūros stiprumo projektinių rodiklių nustatymo bandiniai ir bandymų grafikai pateikiami A.8, A.9, A.10 ir A.11 paveiksluose.



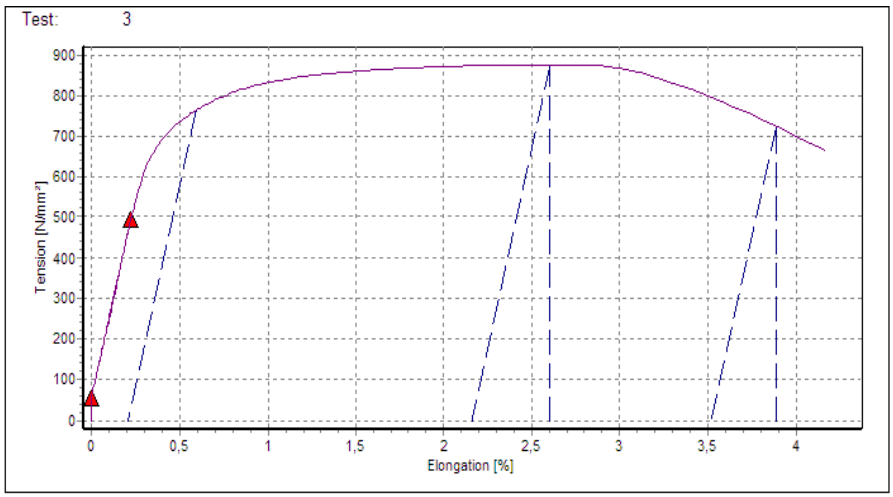
A.8 pav. Apvalkalo skersinės armatūros stiprumo nustatymo bandiniai



A.9 pav. Apvalkalo skersinė armatūros strypo ST-4 bandymo grafikas



A.10 pav. Apvalkalo skersinė armatūros strypo ST-5 bandymo grafikas



A.11 pav. Apvalkalo skersinė armatūros strypo ST-6 bandymo grafikas

Išvada:

Kolonų modelių apvalkalų pagrindinės išilginės bei skersinės armatūros stiprumo bandymo metu buvo gauti tokie rezultatai:

- pagrindinės išilginės armatūros vidutinis tempiamasis stipris R_p=581,21 MPa, kai deformacijos yra 0,2 %, vidutinis tempiamasis atsparumas R_m=619,39 MPa ir vidutinis deformacijų modulis E=201,98 GPa.
- Skersinės armatūros vidutinis tempiamasis stipris R_p=755,37 MPa, kai deformacijos yra 0,2 %, vidutinis tempiamasis atsparumas R_m=872,57 MPa ir vidutinis deformacijų modulis E=196,50 GPa.

B PRIEDAS. Dispersiškai armuotų nesustiprintų modelių SP-K1, SP-K2 ir SP-K3 pradiniai eksperimentinių tyrimų rezultatai

Bandant SP-K1, SP-K2 ir SP-K3 modelius, apkrova buvo pridedama be apkrovos pakopų, nes programiškai buvo užduotas deformacijų nuskaitymo greitis kas 1 sekundę. To pasėkoje, po bandymo buvo nuskaityta be galo daug duomenų. Atrinkus tik reikiamus duomenis buvo atliekami santykinių deformacijų skaičiavimai „Microsoft Exel“ programa pagal sekančias išraiškas:

Pirmiausia buvo nustatomi įtempiai nuo tuo metu veikiančios apkrovos:

$$\sigma_{i,SP-K1-3} = \frac{F_i}{A_{net,SP-K1-3}}, \tag{B.1}$$

čia:

$\sigma_{i,SP-K1-3}$ – įtempiai nesustiprintame dispersiškai armuotame modelyje SP-K1, SP-K2 ar SP-K3, daviklių nuskaitymo metu,

F_i – nesustiprintą modelį SP-K1, SP-K2 ar SP-K3 veikianti jėga, daviklių nuskaitymo metu,

$A_{net,SP-K1-3}$ – nesustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-K1, SP-K2 ar SP-K3 skerspjūvio plotas.

Nustatomas bendras modelių santykinis pailgėjimas bei santykinės deformacijos daviklių nuskaitymo metu:

$$\Delta l_{i,M1-8} = l_{i,M1-8} - l_{i-1,M1-8} + \Delta l_{i-1,M1-8}, \tag{B.2}$$

čia:

$\Delta l_{i,M1-8}$ – santykinis modelio pailgėjimas ties indikatoriumi M1–M8 jų nuskaitymo metu,

$l_{i,M1-8}$ – modelio pailgėjimas pirmuoju nuskaitymu ties indikatoriumi M1–M8 jų nuskaitymo metu,

$l_{i-1,M1-8}$ – modelio pailgėjimas prieš tai buvusiu nuskaitymu ties indikatoriumi M1–M8 jų nuskaitymo metu,

$\Delta l_{i-1,M1-8}$ – santykinis modelio pailgėjimas, gautas anksčiau atlikus tuos

pačius veiksmus, ties indikatoriumi M1–M8 jų nuskaitymo metu.

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l_{i,M1-8}}{l_p}, \qquad \text{(B.3)}$$

l_p – atitinkamo prietaiso M1–M8 matavimų bazė.

Skaičiuojant santykines deformacijas iš tenzodaviklių parodymų, santykinis pailgėjimas $\Delta l_{i,M60-61}$ turi būti dauginamas iš koeficiento k_t=1,78·10^{-5}, kuris buvo nustatytas bandant du tempiamus armatūros strypus lygiu paviršiumi (d=11,5 mm) ir matuojant deformacijas toje pačioje bazėje ir tenzodavikliais ir deformometru.

Tuomet:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l_{i,M60-61} \cdot k_t}{l_p}, \qquad \text{(B.4)}$$

l_p – atitinkamo prietaiso M60–M61 matavimų bazė.

Toliau pateikiamos bandymų nuotraukos ir pradiniai tyrimų rezultatai grafiškai, kurie apdoroti pagal aukščiau aprašytą metodiką.

Nesustiprinto, dispersiškai armuoto modelio SP-K1 bandymo nuotraukos pateikiamos B.1 ir B.2 paveiksluose.

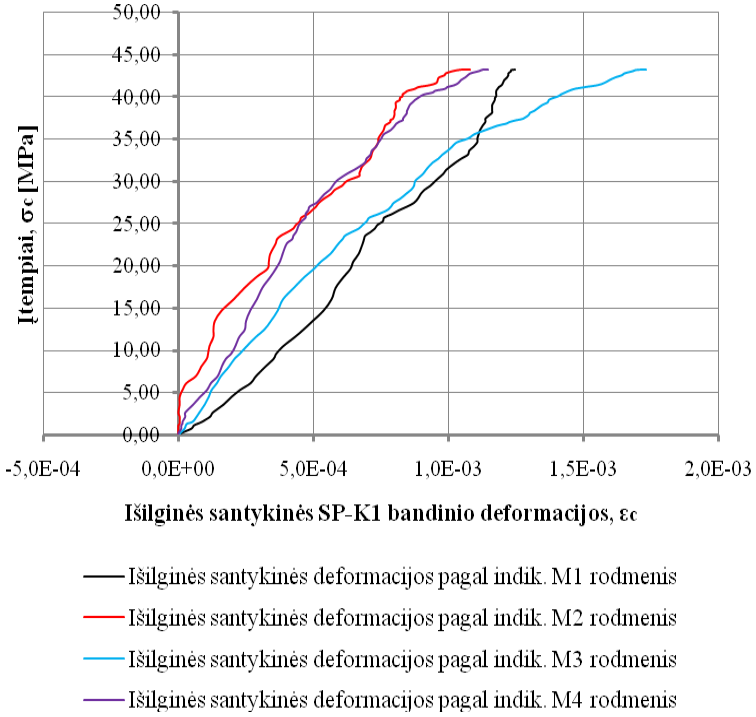


B.1 pav. SP-K1 modelio įstatymas į gniuždymo stendą ir bandymas



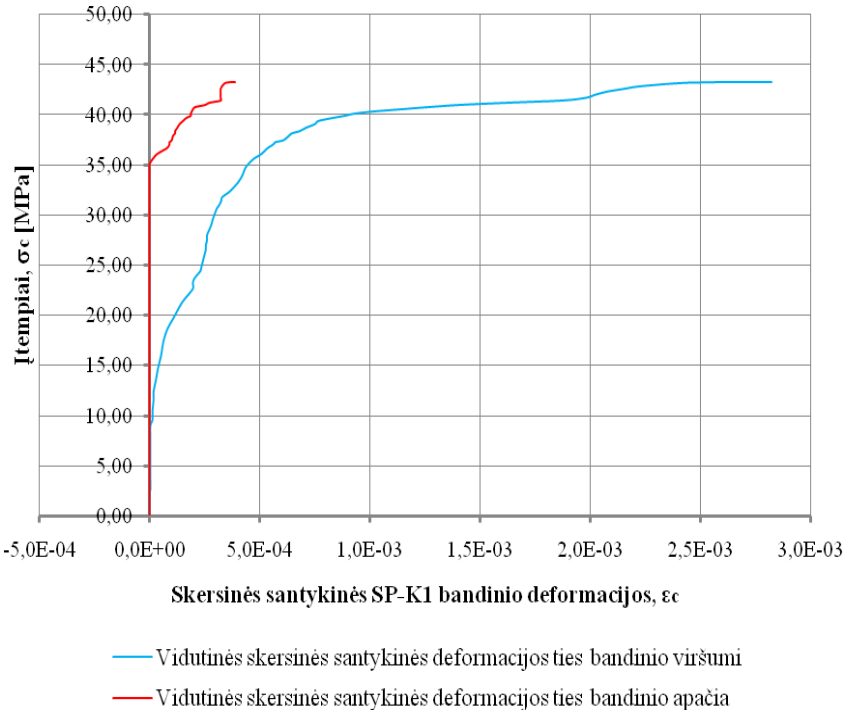
B.2 pav. SP-K1 modelio suirimo charakteris

Dispersiškai armuoto modelio SP-K1 rezultatai pateikiami grafiškai B.3, B.4 ir B.5 paveiksluose.

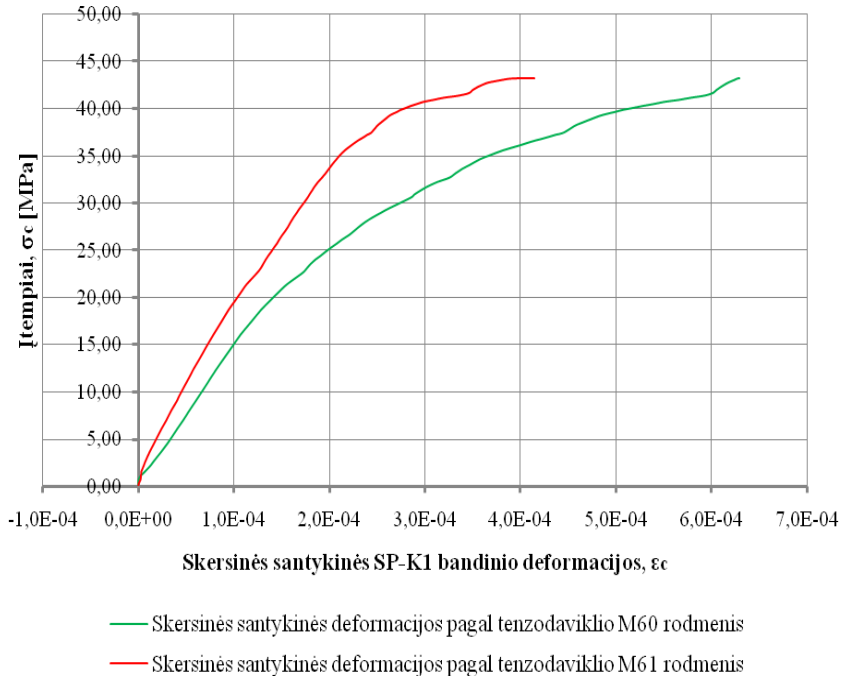


B.3 pav. SP-K1 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal

indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



B.4 pav. SP-K1 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



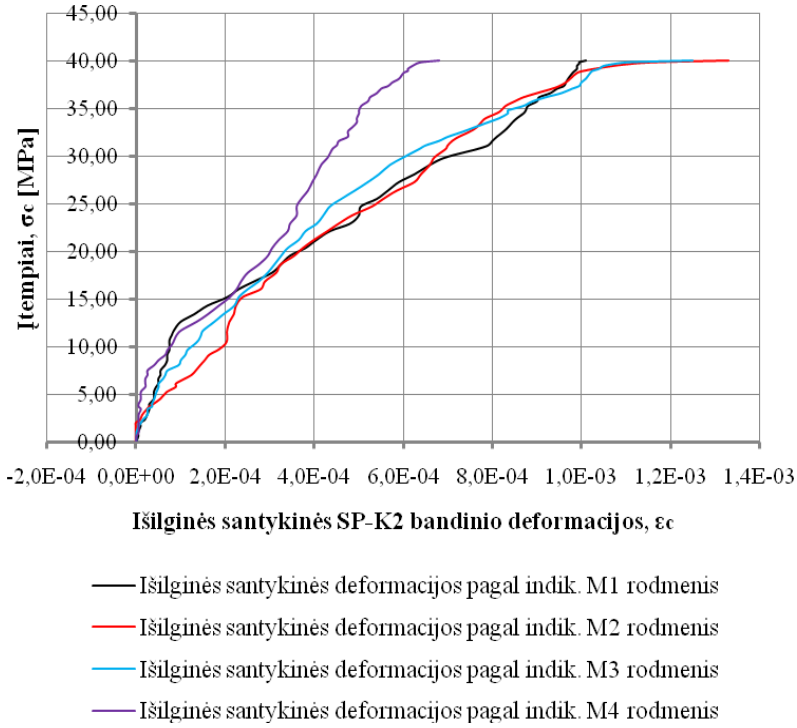
B.5 pav. SP-K1 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M61 rodmenis

Nesustiprinto, dispersiškai armuoto modelio SP-K2 bandymo nuotraukos pateiktos B.6 paveiksle.

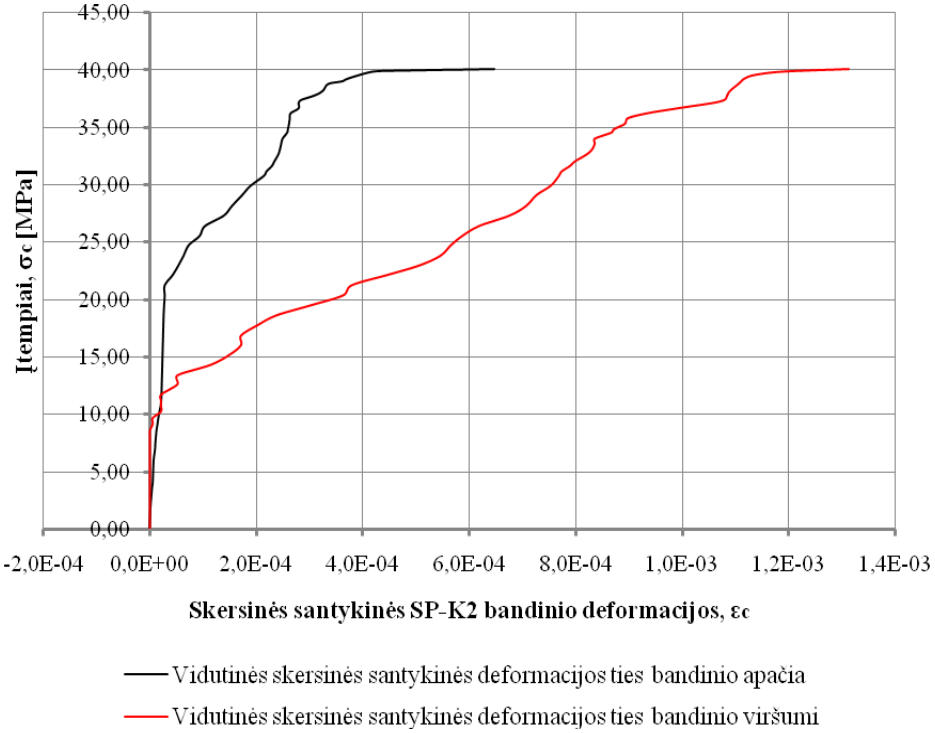


B.6 pav. SP-K2 modelio suirimo charakteris

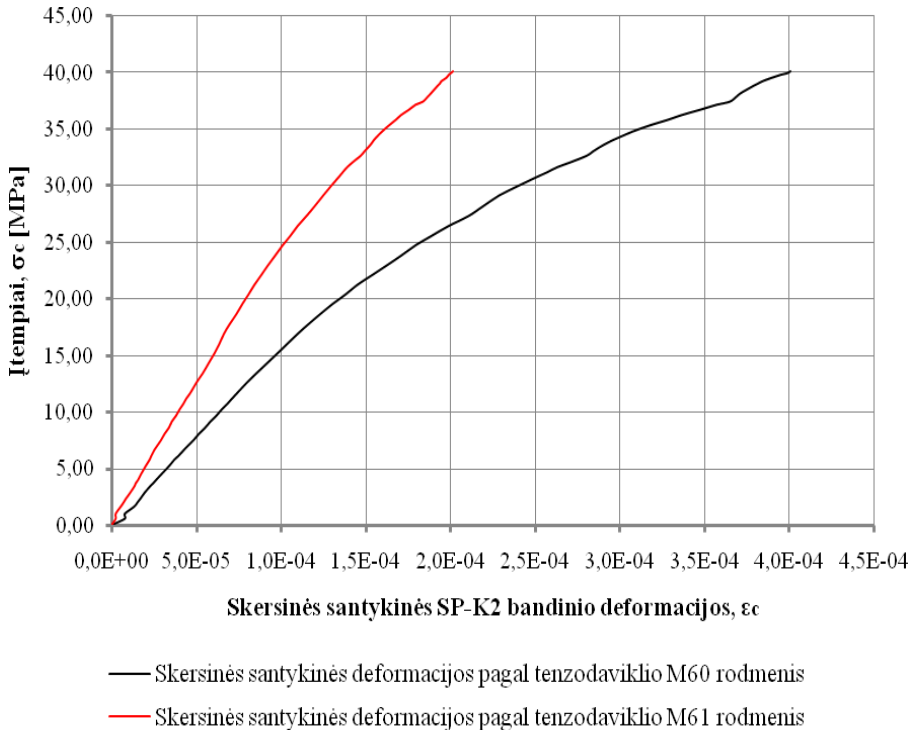
Dispersiškai armuoto modelio SP-K2 rezultatai pateikiami grafiškai B.7, B.8 ir B.9 paveiksluose.



B.7 pav. SP-K2 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



B.8 pav. SP-K2 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



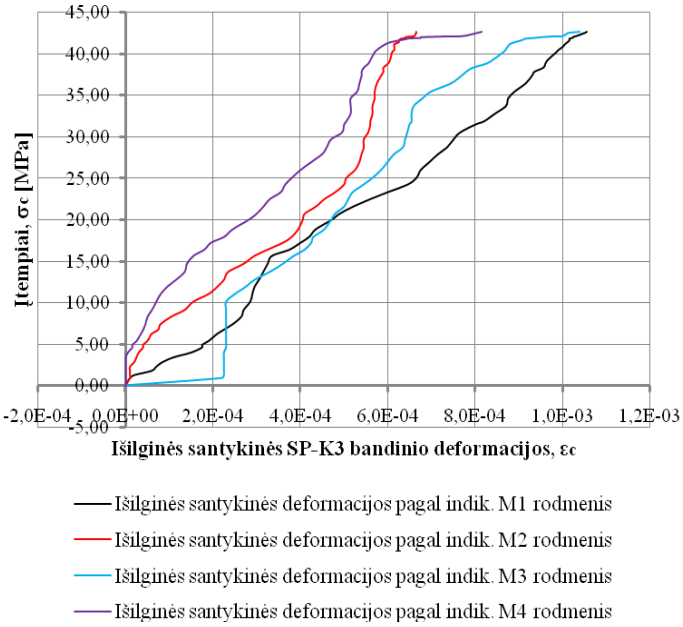
B.9 pav. SP-K2 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M61 rodmenis

Nesustiprinto, dispersiškai armuoto modelio SP-K3 bandymo nuotraukos pateiktos B.10 paveiksle.

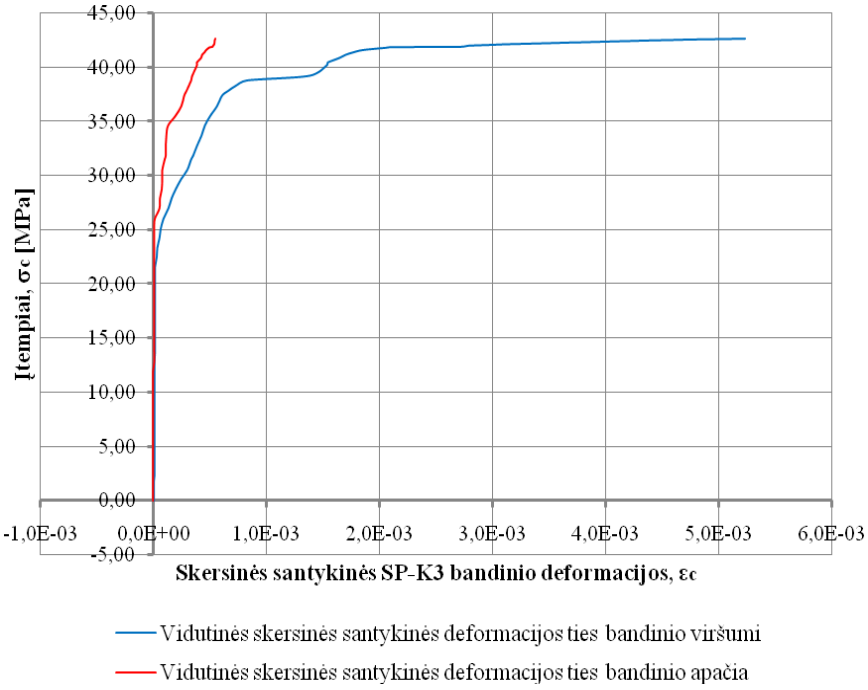


B.10 pav. SP-K3 modelio suirimo charakteris

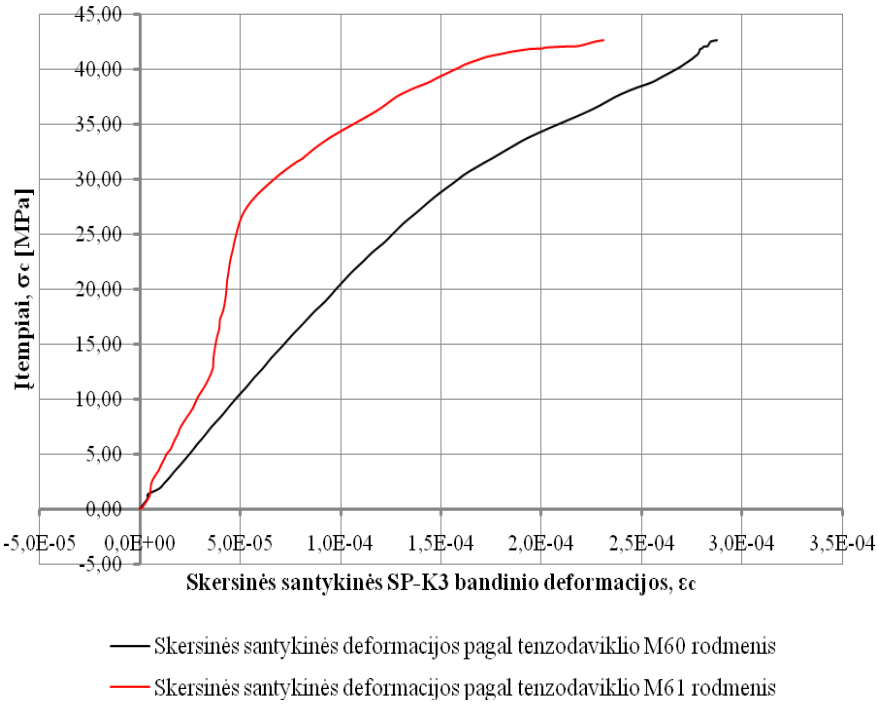
Dispersiškai armuoto modelio SP-K3 rezultatai pateikiami grafiškai B.11, B.12 ir B.13 paveiksluose.



B.11 pav. SP-K3 modelio išilginių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis

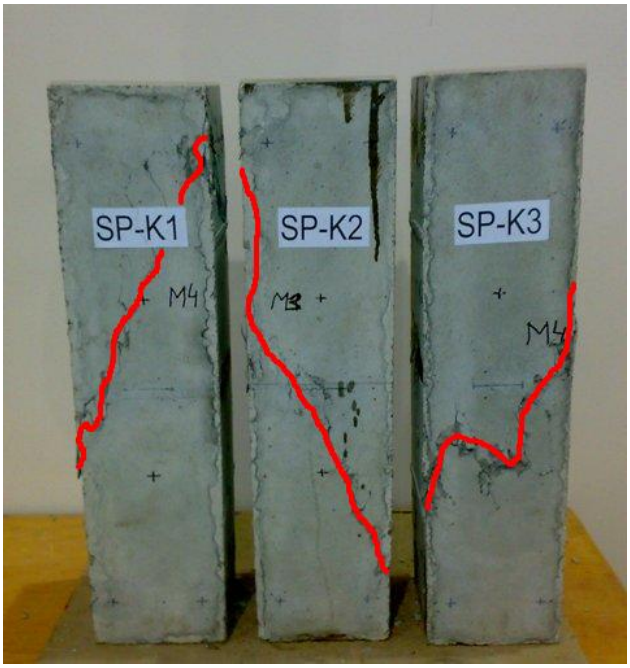


B.12 pav. SP-K3 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



B.13 pav. SP-K3 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M61 rodmenis

Bendras išbandytų nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K1, SP-K2 ir SP-K3 suirimo charakteris pavaizduotas B.14 paveiksle.



B.14 pav. Nesustiprintų dispersiškai armuotų modelių SP-K1, SP-K2 ir SP-K3 bendras suirimo charakteris

C PRIEDAS. Dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais modelių SP-R1, SP-R2, SP-R3 bei SP-T1, SP-T2 ir SP-T3 pradiniai eksperimentinių tyrimų rezultatai

Bandant SP-R1, SP-R2, SP-R3 bei SP-T1, SP-T2 ir SP-T3 modelius, apkrova buvo pridedama be apkrovos pakopų, nes programiškai buvo užduotas deformacijų nuskaitymo greitis kas 1 sekundę. To pasėkoje, po bandymo buvo nuskaityta be galo daug duomenų. Atrinkus tik reikiamus duomenis buvo atliekami santykinių deformacijų skaičiavimai „Microsoft Exel“ programa pagal sekančias išraiškas:

Pirmiausia buvo nustatomi įtempiai nuo tuo metu veikiančios apkrovos:

$$\sigma_{i,SP-R(T)1-3} = \frac{F_i}{A_{net,SP-R(T)1-3}}, \qquad \text{(C.1)}$$

čia:

$\sigma_{i,SP-R(T)1-3}$ – įtempiai, sustiprintame gelžbetoniniu apvalkalu, dispersiškai armuotame modelyje SP-R1, SP-R2, SP-R3 bei SP-T1, SP-T2 ir SP-T3, daviklių nuskaitymo metu,

F_i – sustiprintą gelžbetoniniu apvalkalu modelį SP-R1, SP-R2, SP-R3 bei SP-T1, SP-T2 ir SP-T3 veikianti jėga, daviklių nuskaitymo metu,

$A_{net,SP-R(T)1-3}$ – sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, dispersiškai armuoto modelio SP-R1, SP-R2, SP-R3 bei SP-T1, SP-T2 ir SP-T3 skerspjūvio plotas.

Nustatomas bendras modelių santykinis pailgėjimas bei santykinės deformacijos daviklių nuskaitymo metu:

$$\Delta l_{i,M1-16} = l_{i,M1-16} - l_{i-1,M1-16} + \Delta l_{i-1,M1-16}, \qquad \text{(C.2)}$$

čia:

$\Delta l_{i,M1-16}$ – santykinis modelio pailgėjimas ties indikatoriumi M1–M16 jų nuskaitymo metu,

$l_{i,M1-16}$ – modelio pailgėjimas pirmuoju nuskaitymu ties indikatoriumi M1–M16 jų nuskaitymo metu,

$l_{i-1,M1-16}$ – modelio pailgėjimas prieš tai buvusiu nuskaitymu ties indikatoriumi M1–

M16 jų nuskaitymo metu,

$\Delta l_{i-1,M1-16}$ – santykinis modelio pailgėjimas gautas anksčiau atlikus tuos pačius veiksmus ties indikatoriumi M1–M16 jų nuskaitymo metu.

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l_{i,M1-16}}{l_p}, \tag{C.3}$$

l_p – atitinkamo prietaiso M1–M16 matavimų bazė.

Skaičiuojant santykines deformacijas iš tenzodaviklių parodymų, santykinis pailgėjimas $\Delta l_{i,M60-65}$ turi būti dauginamas iš koeficiento k_t=1,78·10^{-5}, kuris buvo nustatytas bandant du tempiamus armatūros strypus lygiu paviršiumi (d=11,5 mm) ir matuojant deformacijas toje pačioje bazėje ir tenzodavikliais ir deformometru.

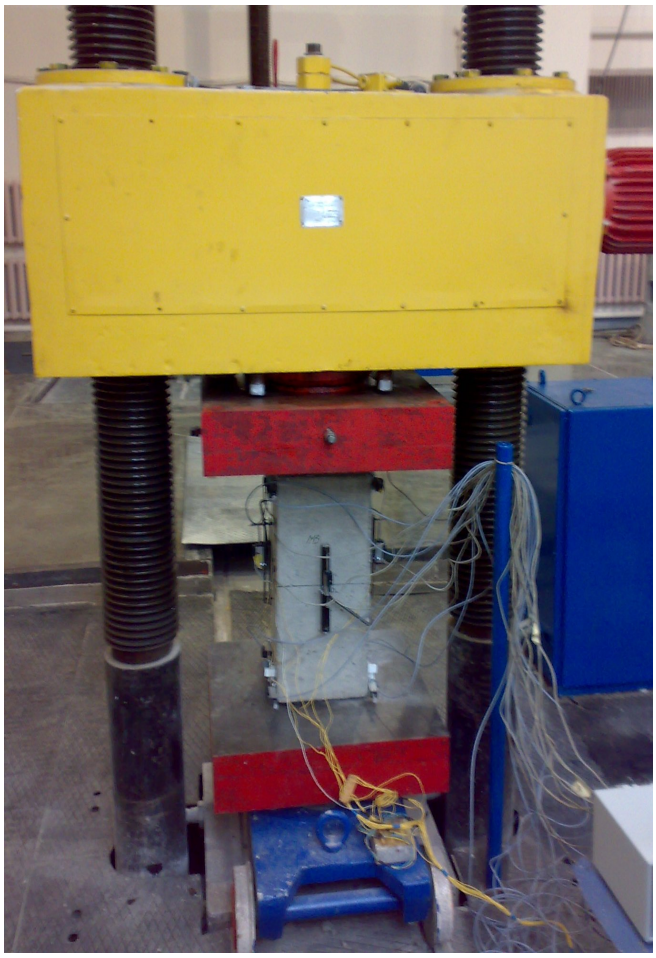
Tuomet:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l_{i,M60-65} \cdot k_t}{l_p}, \tag{C.4}$$

l_p – atitinkamo prietaiso M60–M65 matavimų bazė.

Toliau pateikiamos bandymų nuotraukos ir pradiniai tyrimų rezultatai grafiškai, kurie apdoroti pagal aukščiau aprašytą metodiką.

Sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto modelio SP-R1 bandymo ir suirimo nuotraukos pateiktos C.1 ir C.2 paveiksluose.

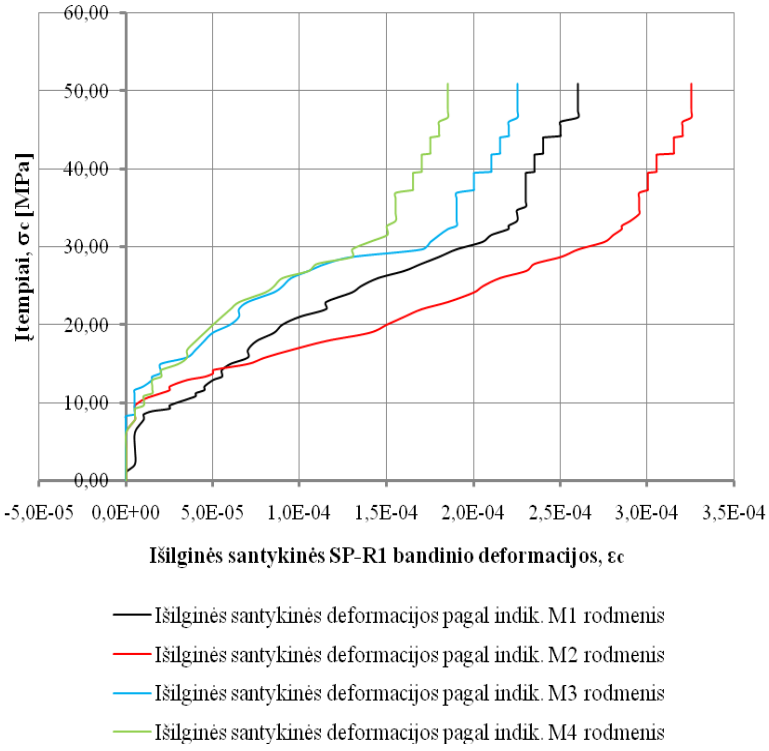


C.1 pav. SP-R1 modelio įstatymas į gniuždymo stendą ir bandymas

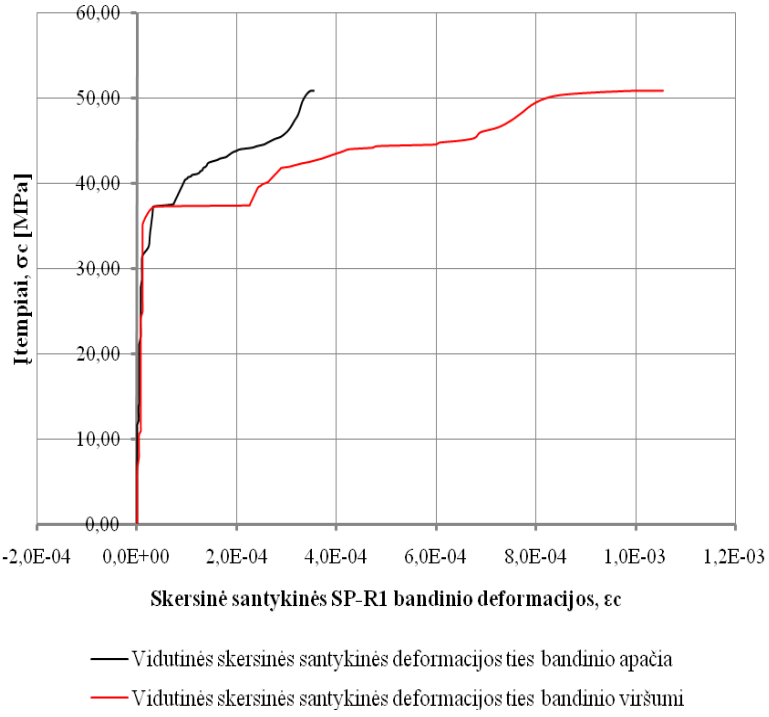


C.2 pav. SP-R1 modelio suirimo charakteris

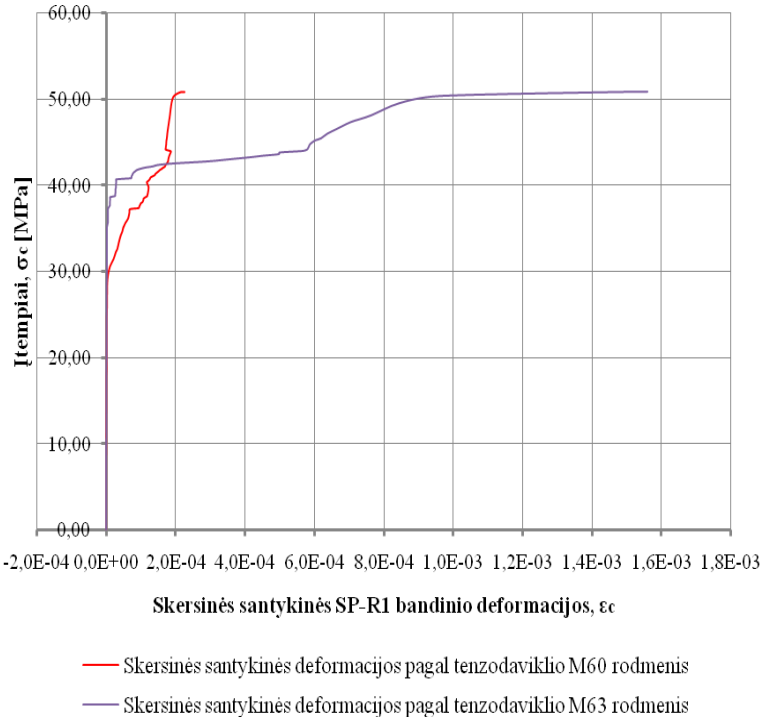
Sustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-R1 rezultatai pateikiami grafiškai C.3, C.4, C.5 ir C.6 paveiksluose.



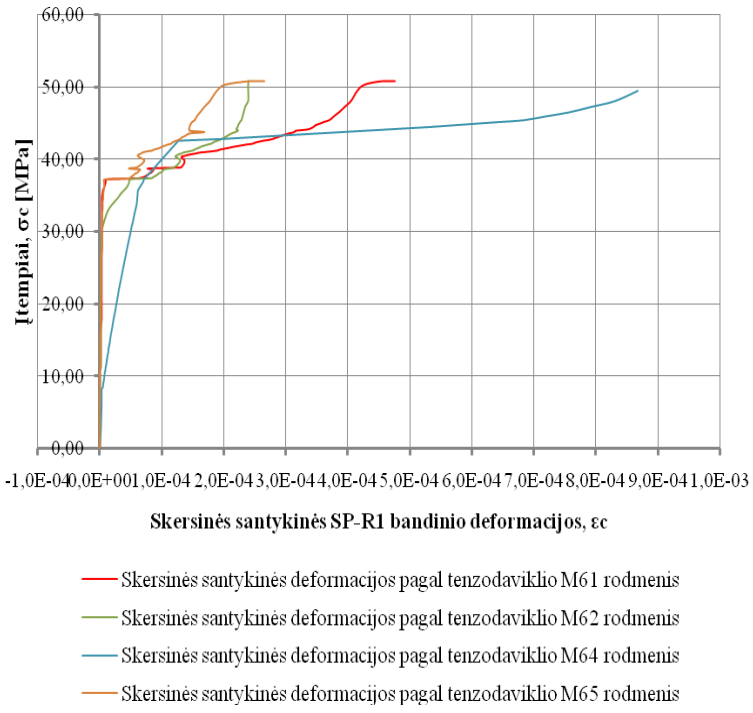
C.3 pav. SP-R1 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



C.4 pav. SP-R1 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



C.5 pav. SP-R1 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M63 rodmenis



C.6 pav. SP-R1 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M61, M62, M64 ir M65 rodmenis

Sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto modelio SP-R2 suirimo nuotraukos pateiktos C.7 ir C.8 paveiksluose.

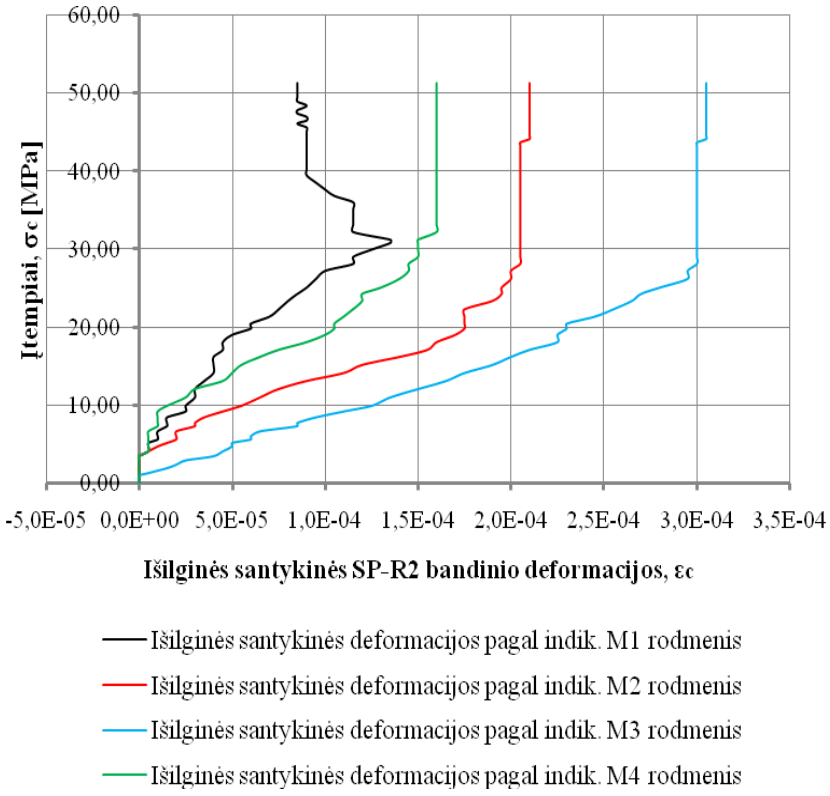


C.7 pav. SP-R2 modelio suirimo charakteris po presu

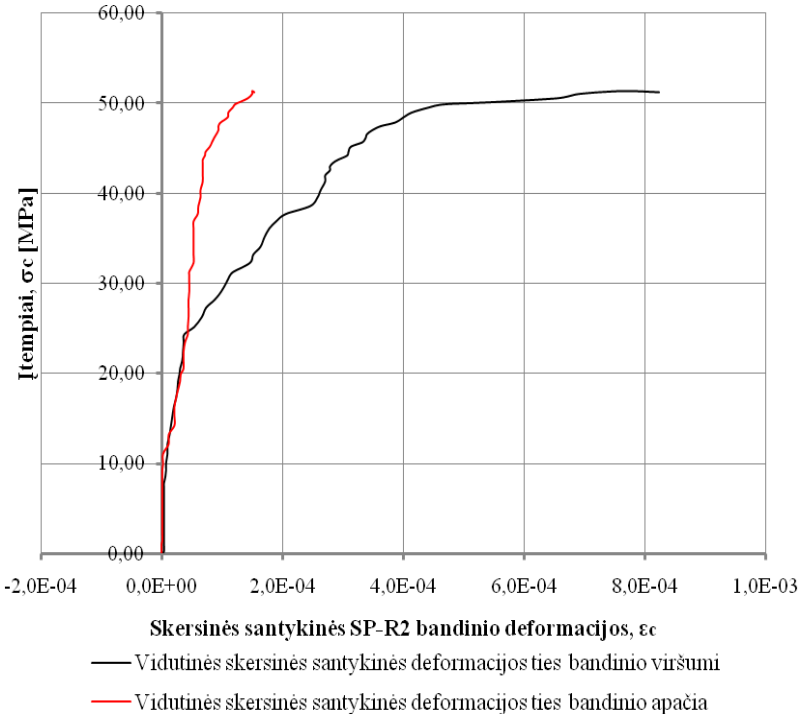


C.8 pav. SP-R2 modelio suirimo charakteris

Sustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-R2 rezultatai pateikiami grafiškai C.9, C.10, C.11 ir C.12 paveiksluose.

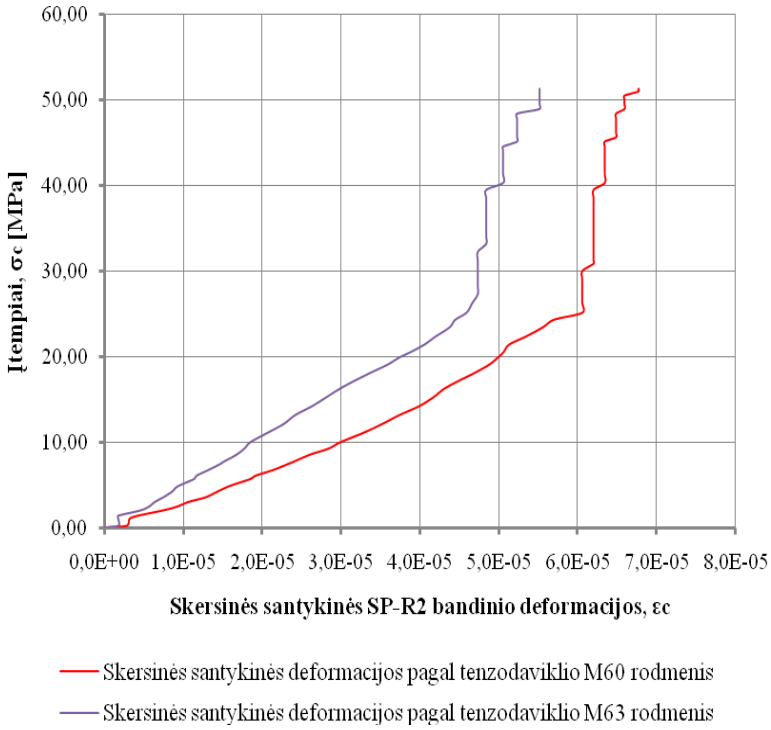


C.9 pav. SP-R2 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis

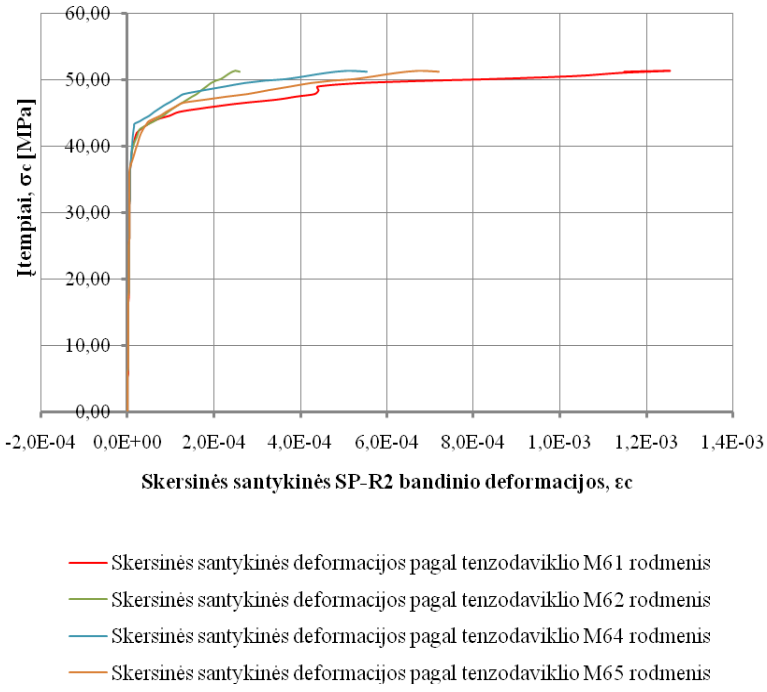


C.10 pav. SP-R2 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis

priklausomybė nuo įtempių



C.11 pav. SP-R2 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M63 rodmenis



C.12 pav. SP-R2 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M61, M62, M64 ir M65 rodmenis

Sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto modelio SP-R3 suirimo nuotraukos pateiktos C.13 ir C.14 paveiksluose.

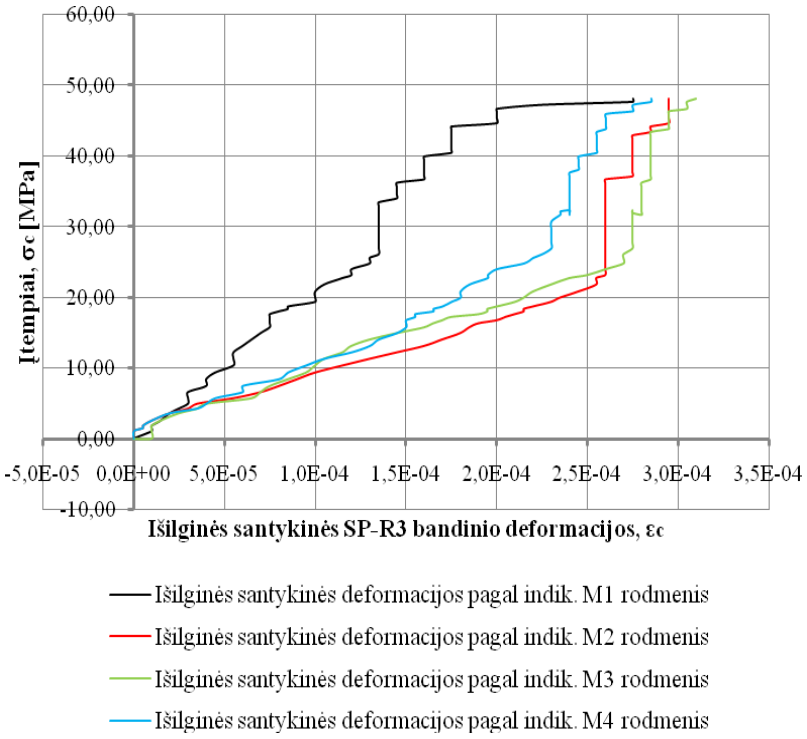


C.13 pav. SP-R3 modelio suirimo charakteris 1

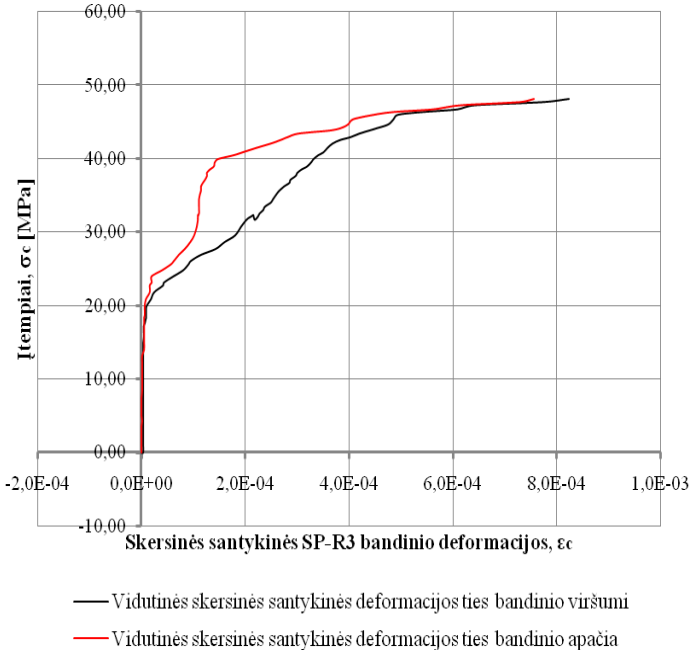


C.14 pav. SP-R3 modelio suirimo charakteris 2

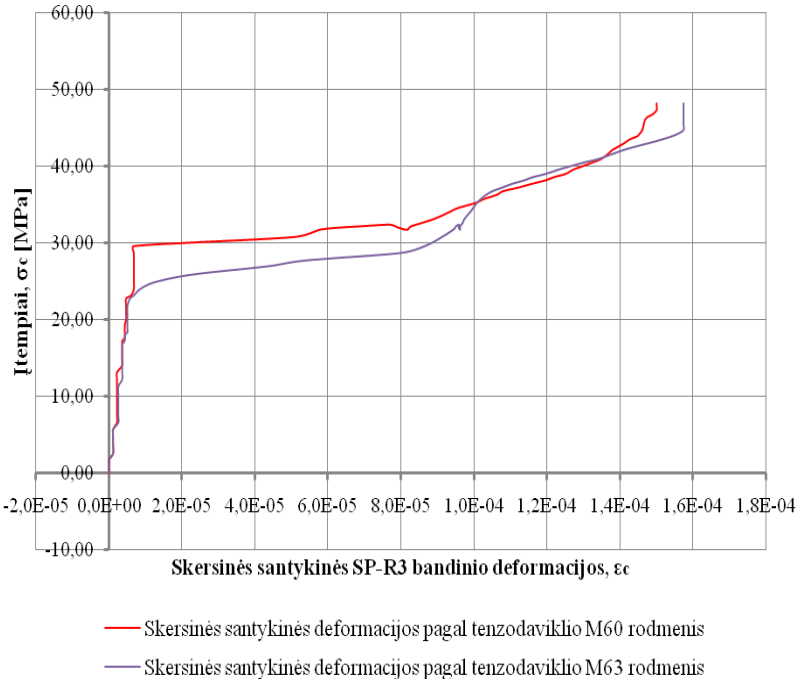
Sustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-R3 rezultatai pateikiami grafiškai C.15, C.16, C.17 ir C.18 paveiksluose.



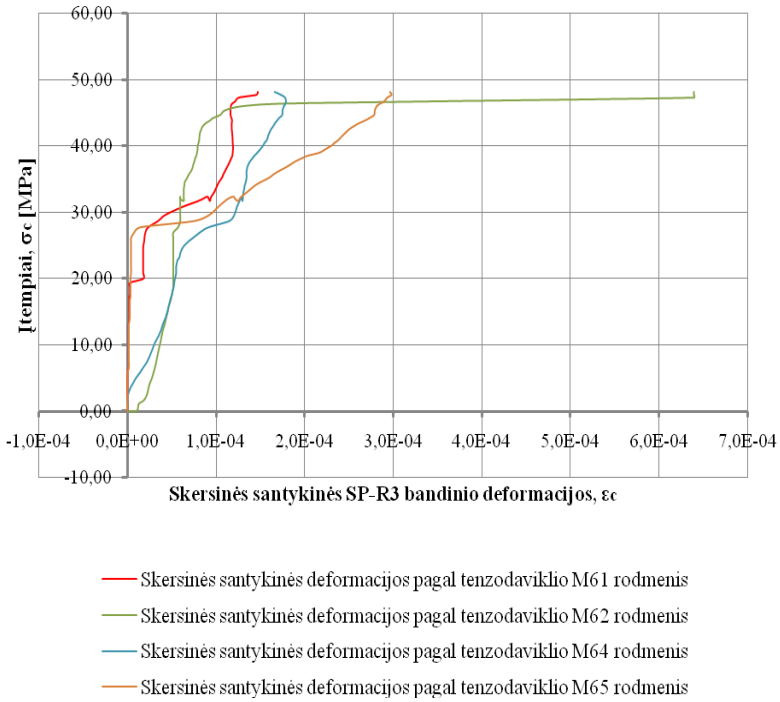
C.15 pav. SP-R3 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



C.16 pav. SP-R3 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių

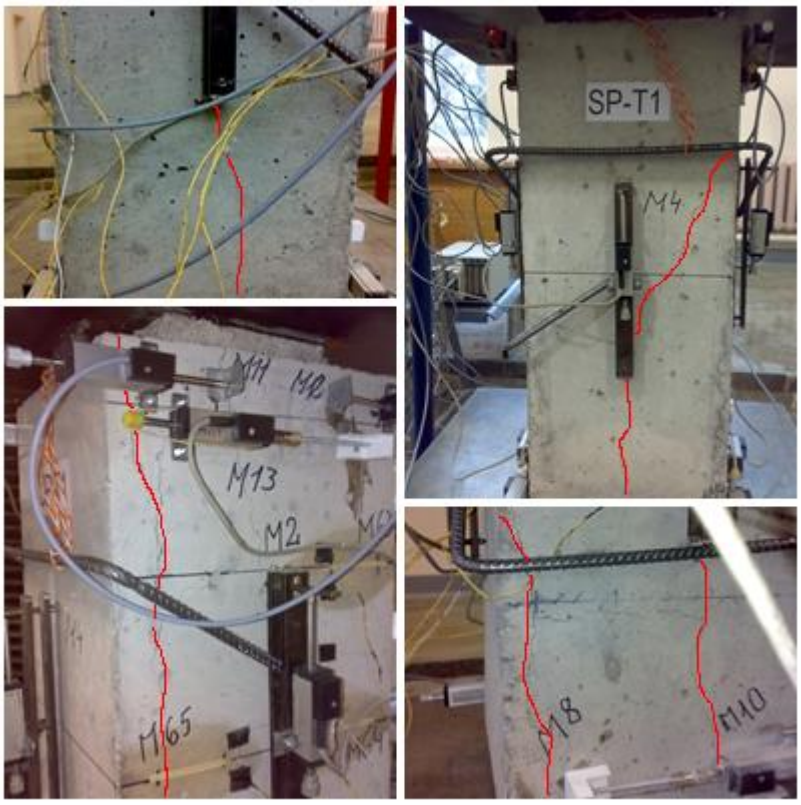


C.17 pav. SP-R3 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M63 rodmenis

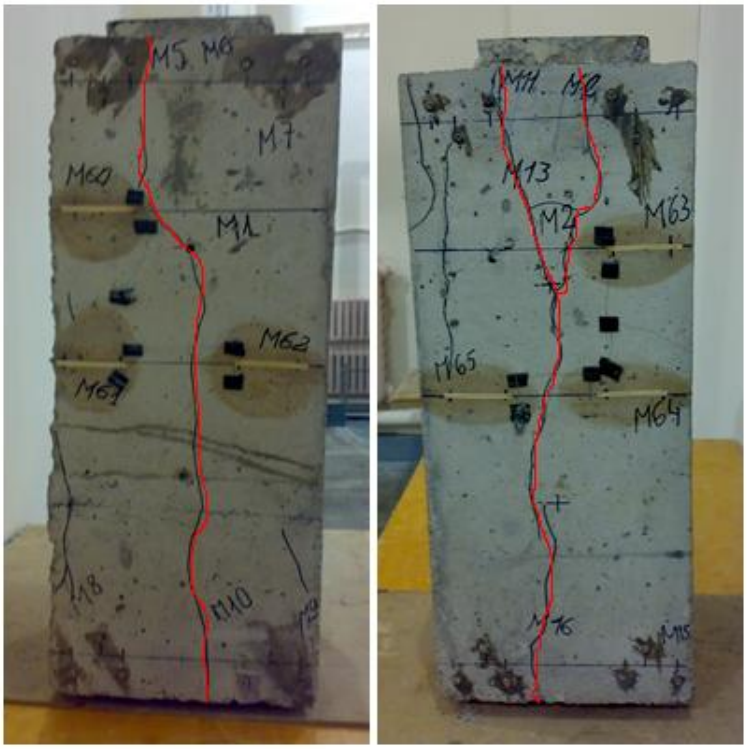


C.18 pav. SP-R3 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M61, M62, M64 ir M65 rodmenis

Sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto modelio SP-T1 suirimo nuotraukos pateiktos C.19 ir C.20 paveiksluose.

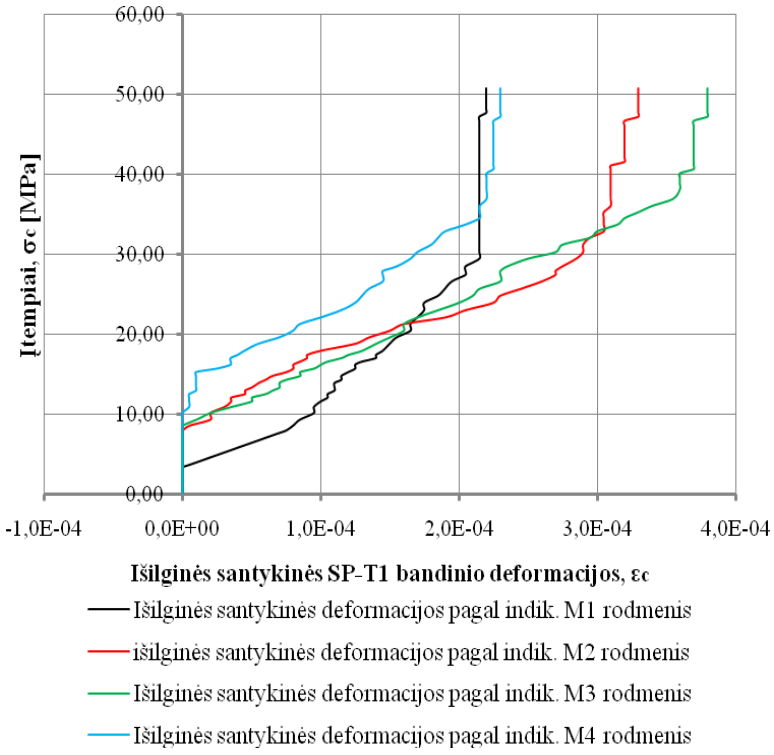


C.19 pav. SP-T1 modelio suirimo charakteris po presu

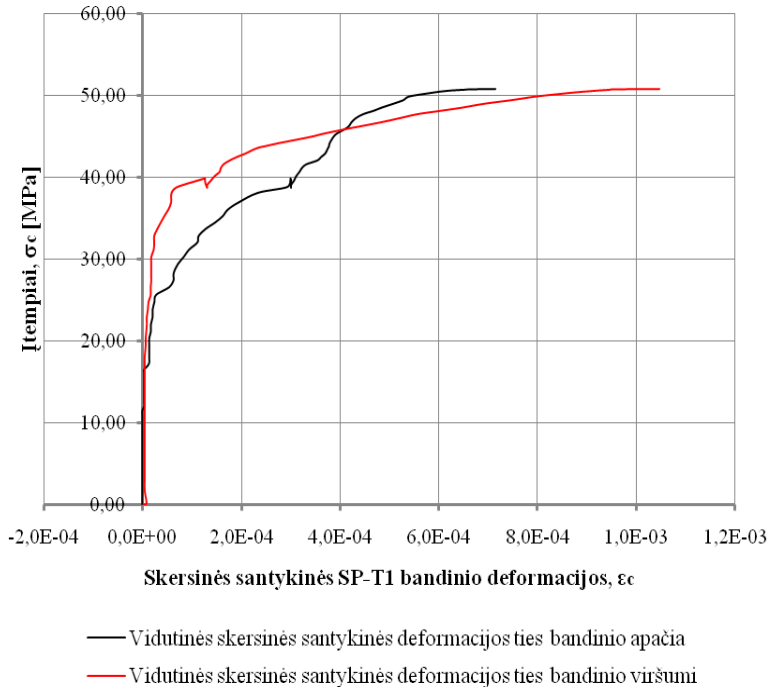


C.20 pav. SP-T1 modelio suirimo charakteris

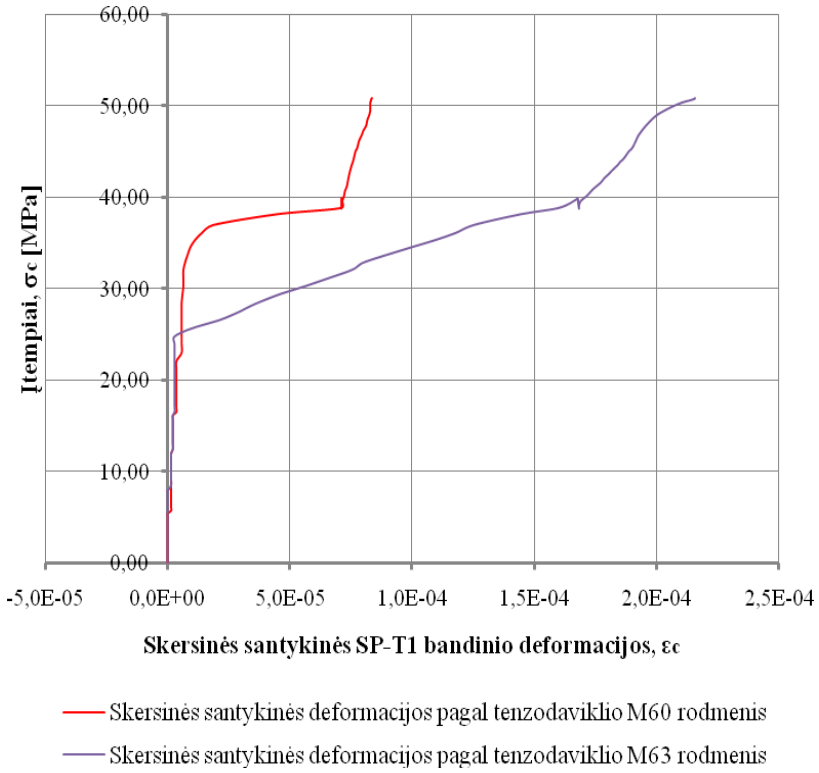
Sustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-T1 rezultatai pateikiami grafiškai C.21, C.22, C.23 ir C.24 paveiksluose.



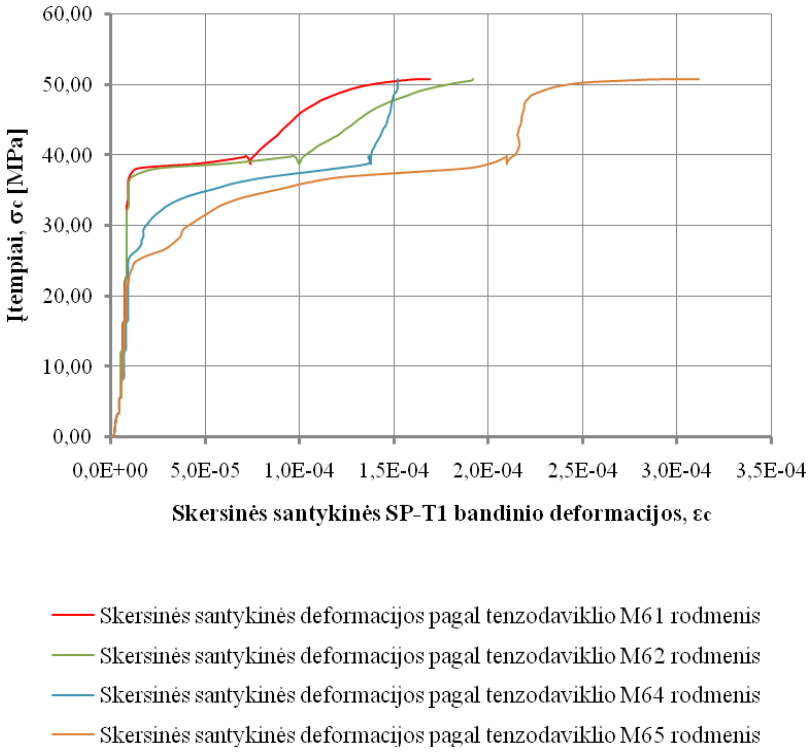
C.21 pav. SP-T1 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



C.22 pav. SP-T1 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



C.23 pav. SP-T1 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M63 rodmenis



C.24 pav. SP-T1 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M61, M62, M64 ir M65 rodmenis

Sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto modelio SP-T2 suirimo nuotraukos pateiktos C.25 ir C.26 paveiksluose.

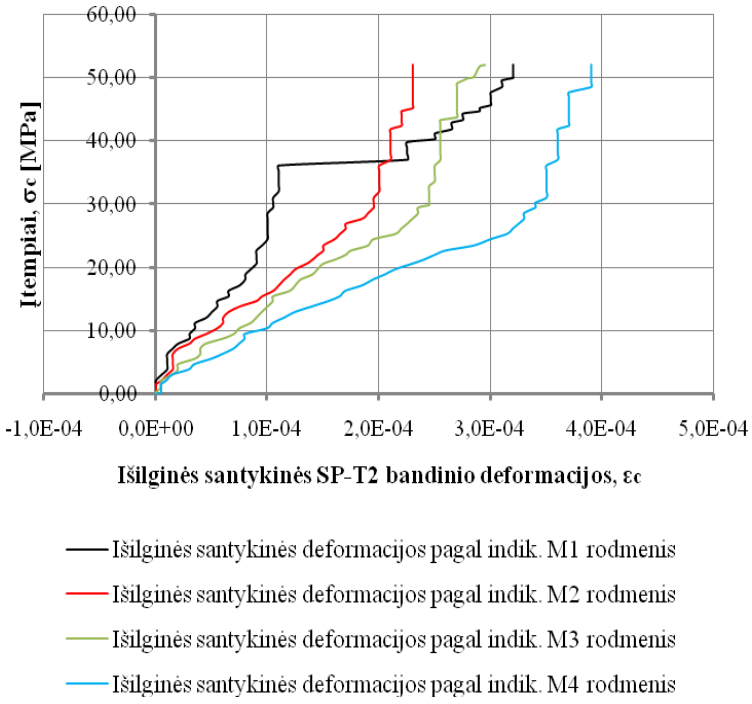


C.25 pav. SP-T2 modelio suirimo charakteris 1

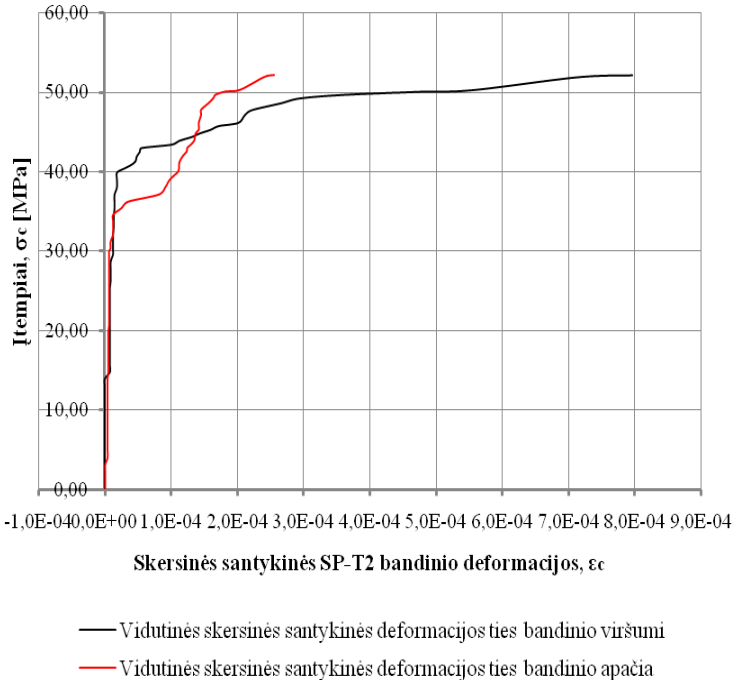


C.26 pav. SP-T2 modelio suirimo charakteris 2

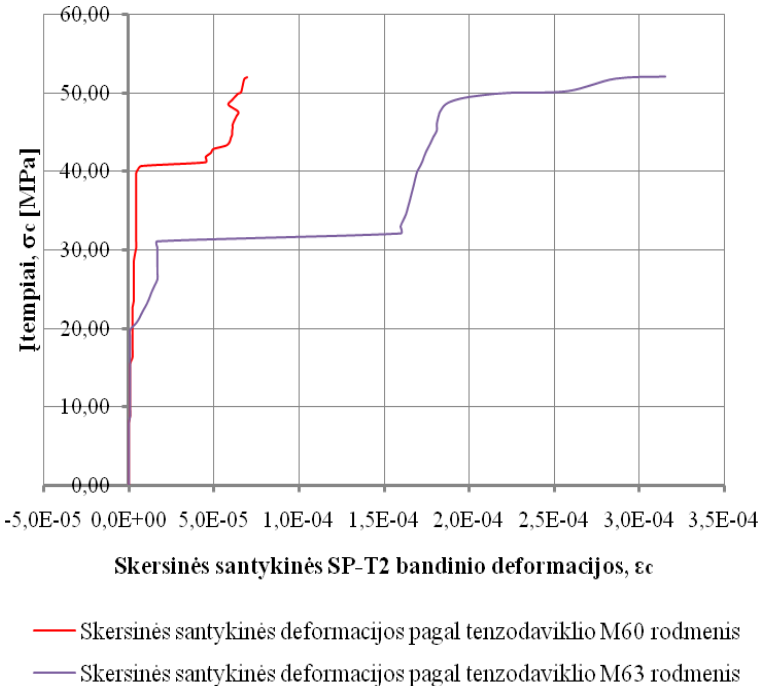
Sustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-T2 rezultatai pateikiami grafiškai C.27, C.28, C.29 ir C.30 paveiksluose.



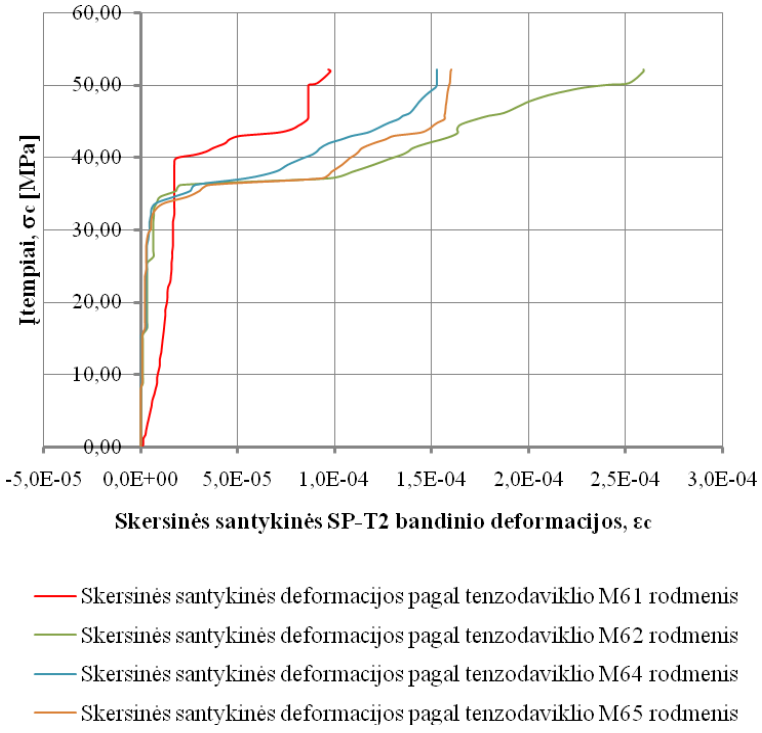
C.27 pav. SP-T2 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



C.28 pav. SP-T2 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



C.29 pav. SP-T2 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M63 rodmenis



C.30 pav. SP-T2 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M61, M62, M64 ir M65 rodmenis

Sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu dispersiškai armuoto modelio SP-T3 suirimo nuotraukos pateiktos C.31 ir C.32 paveiksluose.

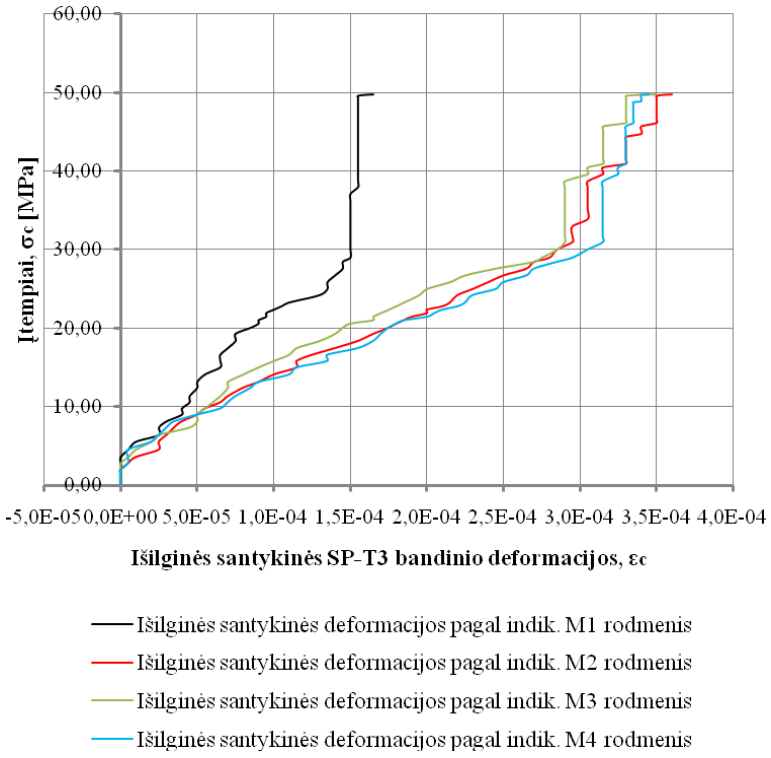


C.31 pav. SP-T3 modelio suirimo charakteris 1

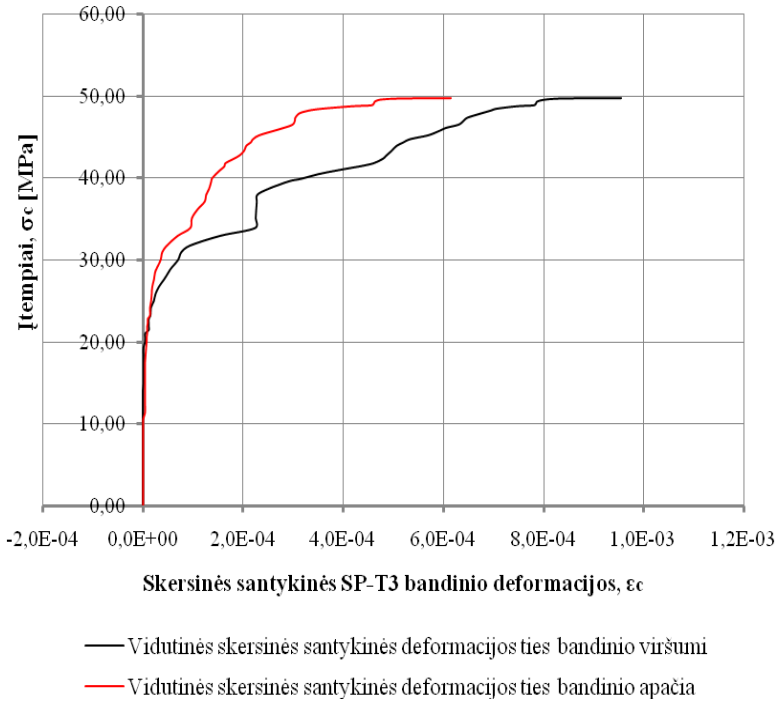


C.32 pav. SP-T3 modelio suirimo charakteris 2

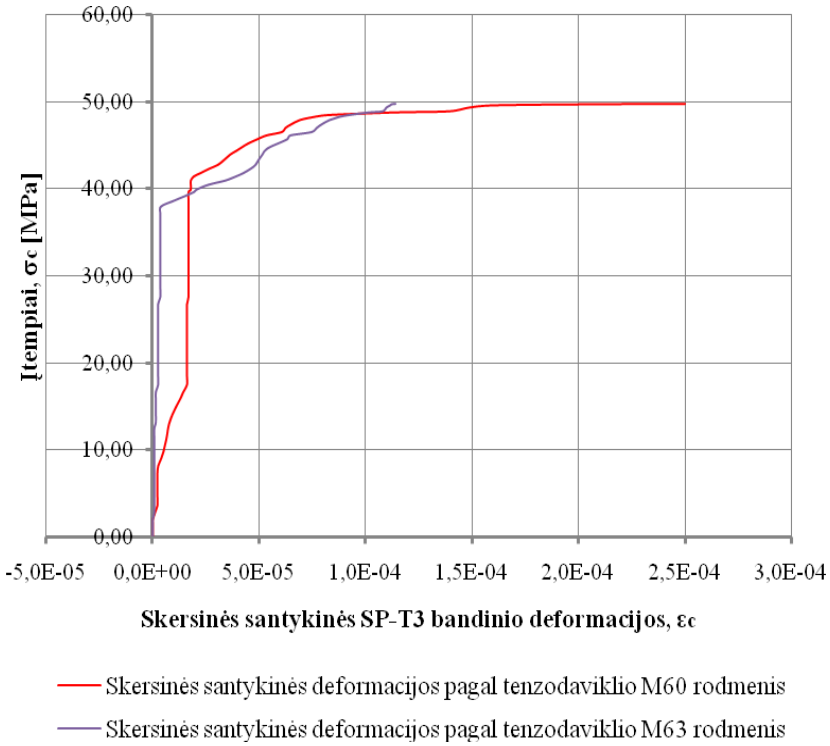
Sustiprinto dispersiškai armuoto modelio SP-T3 rezultatai pateikiami grafiškai C.33, C.34, C.35 ir C.36 paveiksluose.



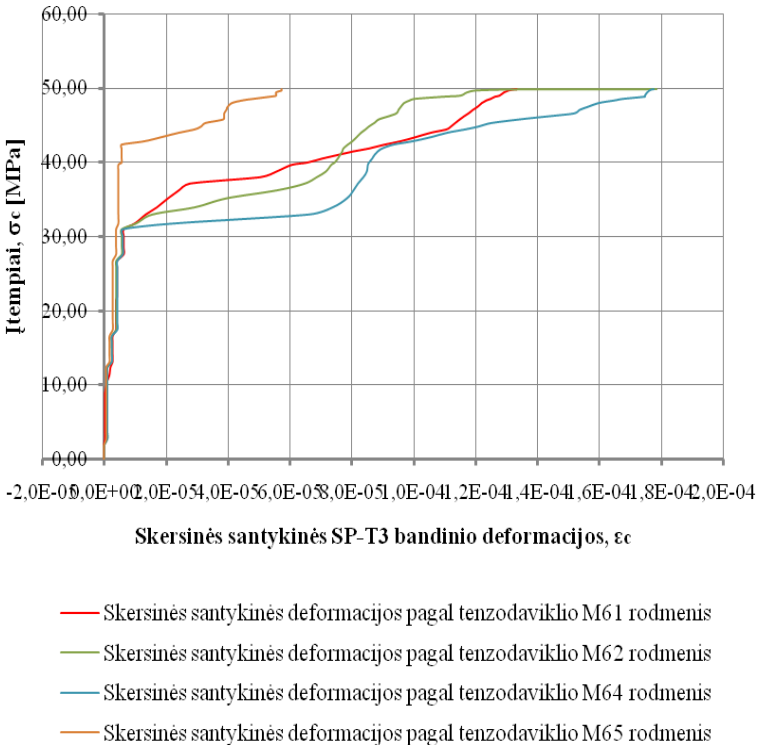
C.33 pav. SP-T3 modelio išilginių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal indikatorių M1, M2, M3 ir M4 rodmenis



C.34 pav. SP-T3 modelio vidutinių skersinių santykinių deformacijų ties atramomis priklausomybė nuo įtempių



C.35 pav. SP-T3 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M60 ir M63 rodmenis



C.36 pav. SP-T3 modelio skersinių santykinių deformacijų priklausomybė nuo įtempių pagal tenzodaviklių M61, M62, M64 ir M65 rodmenis

D PRIEDAS. Centriškai arba ekscentriškai gniuždomų dispersiškai armuotų sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais elementų stiprumo skaičiavimo pavyzdys, pagal siūlomas teorines prielaidas, kai apvalkalas netiesiogiai apkraunamas

Centriškai gniuždomų dispersiškai armuotų gelžbetoninių elementų, sustiprintų gelžbetoniniais apvalkalais, laikomoji galia skaičiuojama dviejuose pjūviuose (44 pav.).

Pjūvyje 1–1 (ties elemento viduriu) apvalkalo perimama jėga pagal 3.1 išraišką yra lygi:

$$F_2 \approx \mu \cdot \left(f_{c,a} \cdot A_{c,a} + f_{p,a} \cdot A_{s,a} \right) = 0,3 \cdot \left(52,4 \cdot 10^3 \cdot 0,0351 + 581,21 \cdot 10^3 \cdot 2,0106 \cdot 10^{-4} \right) =$$
$$= 587 kN,$$

čia:

μ, $f_{c,a}$, $f_{p,a}$, $A_{c,a}$, $A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 3.1 išraiškoje,

$f_{c,a} = f_{cm,a} = 52,4 MPa$, (A priedo A.2 lentelė),

$f_{p,a} = 581,21 MPa$, (A priedo A.10 lentelė).

Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 1–1 (ties elemento viduriu) pagal 3.2 išraišką yra lygi:

$$N_{u,1-1} = F_1 + F_2 = 0,7 \cdot \left(f_c \cdot A_c \right) + 0,3 \cdot \left(f_{c,a} \cdot A_{c,a} + f_{p,a} \cdot A_{s,a} \right) =$$
$$= 0,7 \cdot \left(51,0 \cdot 10^3 \cdot 0,0225 \right) + 0,3 \cdot \left(52,4 \cdot 10^3 \cdot 0,0351 + 581,21 \cdot 10^3 \cdot 2,0106 \cdot 10^{-4} \right) =$$
$$= 803 + 587 = 1390 kN,$$

čia:

f_c, $f_{c,a}$, $f_{p,a}$, A_c, $A_{c,a}$, $A_{s,a}$ – dydžiai aprašyti 3.2 išraiškoje,

$f_c = f_{cm} = 51,0 MPa$, (A priedo A.1 lentelė),

$$A_{s,a} = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 2,0106 \cdot 10^{-4} m^2.$$

Centriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 2–2 (ties elemento atrama) skaičiuojama pagal 1.3.2 skirsnyje pateiktą 1.11 išraišką (atvejis, kai skersinė armatūra apvalkale ties atramomis

sutankinama):

$$N_{u,2-2} = (f_c \cdot A_c) + \left(\nu \cdot \lambda^* \cdot A_w \cdot f_{sw} \cdot (1+k)\right) = \left(51,0 \cdot 10^3 \cdot 0,0225\right) +$$
$$+\left(2,66 \cdot 0,818 \cdot 2,34 \cdot 10^{-5} \cdot 1016,0 \cdot 10^3 \cdot (1+0,898)\right) = (1147,5) + (98,18) = 1246kN.$$

čia:

$$\nu = 2,3 \cdot \left(1 + \frac{f_{ck} - 20}{100}\right) = 2,3 \cdot \left(1 + \frac{35,5 - 20}{100}\right) = 2,66,$$

Koeficientas k:

$$k = \frac{\lambda_a^*}{\lambda^*} \cdot \frac{A_{ef,a}}{A_{ef}} \cdot \frac{\rho_{sw,a}}{\rho_{sw}} \cdot \frac{f_{sw,a}}{f_{sw}} = \frac{0,295}{0,818} \cdot \frac{0,0130}{0,0184} \cdot \frac{4,8 \cdot 10^{-3}}{1,013 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{755,37}{1016,0} = 0,898,$$

$$A_c^* = b_c \cdot h_c = 0,15 \cdot 0,15 = 0,0225m^2,$$

$$A_{c,a}{}^* = b_{c,a} \cdot h_{c,a} = 0,210 \cdot 0,210 = 0,0441m^2,$$

$$\lambda = 1 - \frac{\sum \left(b_c^*\right)^2}{5,5 \cdot A_c^*} = 1 - \frac{0,15^2}{5,5 \cdot 0,0225} = 0,818,$$

$$\lambda_a = 1 - \frac{\sum \left(b_{c,a}{}^*\right)^2}{5,5 \cdot A_{c,a}{}^*} = 1 - \frac{4 \cdot 0,194^2}{5,5 \cdot 0,0441} = 0,379,$$

$$A_{ef} = \lambda \cdot \left(b_c - 0,5 \cdot S_w\right) \cdot \left(h_c - 0,5 \cdot S_w\right) =$$
$$= 0,818 \cdot \left(0,15 - 0,5 \cdot 0\right) \cdot \left(0,15 - 0,5 \cdot 0\right) = 0,0184m^2,$$
$$A_{ef,a} = \lambda_a \cdot \left(b_{c,a} - 0,5 \cdot S_{w,a}\right) \cdot \left(h_{c,a} - 0,5 \cdot S_{w,a}\right) =$$
$$= 0,379 \cdot \left(0,210 - 0,5 \cdot 0,05\right) \cdot \left(0,210 - 0,5 \cdot 0,05\right) = 0,0130m^2,$$

$$\lambda^* = \frac{A_{ef}}{A_c^*} = \frac{0,0184}{0,0225} \approx 0,818, \quad \lambda_a{}^* = \frac{A_{ef,a}}{A_{c,a}{}^*} = \frac{0,0130}{0,0441} \approx 0,295,$$

$$\rho_{sw} = 0,045 \cdot A_c^* = 0,045 \cdot 0,0225 = 1,013 \cdot 10^{-3},$$

$$\rho_{sw,a} = \frac{A_{w,a}}{A_{c,a}{}^*} = \frac{2,117 \cdot 10^{-4}}{0,0441} = 4,8 \cdot 10^{-3},$$

Gelžbetoninio dispersiškai armuoto elemento skersinės armatūros skerspjūvio plotas priskiriamas visam bandinio branduolio skerspjūvio plotui:

$$A_w = 0,045 \cdot \left(2 \cdot b_c + 2 \cdot h_c\right) \cdot A_{sw} = 0,045 \cdot \left(2 \cdot 0,150 + 2 \cdot 0,150\right) \cdot 8,66 \cdot 10^{-7} = 2,34 \cdot 10^{-8} m^2,$$

Gelžbetoninio apvalkalo skersinės armatūros skerspjūvio plotas:

$$A_{w,a} = \left(2 \cdot b_{c,a} + 2 \cdot h_{c,a}\right) \cdot \frac{A_{sw,a}}{S_{w,a}} = \left(2 \cdot 0,210 + 2 \cdot 0,210\right) \cdot \frac{1,26 \cdot 10^{-5}}{0,05} = 2,117 \cdot 10^{-4} m^2.$$

Atlikus abiejų pjūvių skaičiavimus gauname, kad:

$$N_u = \min\left[N_{u,1-1}; N_{u,2-2}\right] \rightarrow N_{u,\min} = \left[1390kN; 1246kN\right] = 1246kN.$$

PASTABA: visi 2–2 pjūvyje skaičiavimams naudoti dydžiai aprašyti 1.3.2 skirsnyje.

Taikant mažų ekscentricitetų atvejį, armatūros $A_{st,a}$ tempiamasis stiprumas $\sigma_{p,a}$ išnaudojamas ne visiškai arba ji yra gniuždoma.

Kadangi parašius 3.3 lygtį yra du nežinomieji, tai gniuždomos zonos aukštis x_{eff} apskaičiuojamas užrašant ir prilyginant nuliui vidinių jėgų momentų lygtį 3.4 apie veikiančios gniuždančios jėgos pridėties tašką.

Tačiau 3.4 lygtyje yra tie patys 2 nežinomieji: x_{eff} ir $\sigma_{p,a}$. Tuomet norint gauti gniuždomos zonos aukštį x_{eff} turime parašyti antrąją įtempių $\sigma_{p,a}$ lygtį 3.5 ir ją įstatyti į 3.4 momentų lygtį.

Įstačius turimas skaitines reikšmes į 3.5 išraišką, ją pertvarkius ir gautą išraišką įstačius į 3.4 lygtį, gaunama kubinė lygtis. Išsprendus gautą kubinę lygtį, gaunamas gniuždomos zonos aukštis x_{eff}, kuris lygus 0,212m, tuomet:

$$\sigma_{p,a} = \frac{400}{\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi_{eff}} - 1\right) = \frac{400}{\left(1 - \frac{0,442}{1,1}\right)} \cdot \left(\frac{0,442}{\frac{0,212}{0,217}} - 1\right) = -366,15MPa,$$

čia:

$$\omega = \alpha - 0,008 \cdot f_c = 0,85 - 0,008 \cdot 51,0 = 0,442,$$

Gauname, kad armatūra $A_{st,a}$ yra gniuždoma.

Tuomet ekscentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu,

dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 1–1 (ties elemento viduriu) apskaičiuojama pagal 3.3 išraišką:

$$N_{u,1-1,e} = 0,7 \cdot f_c \cdot (h \cdot b) + 0,3 \cdot f_{c,a} \cdot \left((x_{eff} \cdot b_1) - (h \cdot b) \right) + 0,3 \cdot \left(f_{p,a} \cdot A_{sc,a} \right) + 0,3 \cdot \left(\sigma_{p,a} \cdot A_{st,a} \right) =$$
$$= 0,7 \cdot 51,0 \cdot 10^3 (0,15 \cdot 0,15) + 0,3 \cdot 52,4 \cdot 10^3 \left((0,212 \cdot 0,24) - (0,15 \cdot 0,15) \right) +$$
$$+0,3 \cdot \left(581,21 \cdot 10^3 \cdot 1,005 \cdot 10^{-4} \right) + 0,3 \cdot \left(366,15 \cdot 10^3 \cdot 1,005 \cdot 10^{-4} \right) =$$
$$= 803,25 + 446,13 + 17,52 + 11,04 = 1278 kN.$$

Ekscentriškai gniuždomo, sustiprinto gelžbetoniniu apvalkalu, dispersiškai armuoto elemento laikomoji galia pjūvyje 2–2 (ties elemento atrama) skaičiuojama pagal 1.3.2 skirsnyje pateiktą 1.25 išraišką (atvejis, kai skersinė armatūra apvalkale ties atramomis sutankinama):

$$N_{u,e,T,2-2} = (f_c \cdot A_c) + \left(\nu \cdot \lambda^* \cdot A_w \cdot f_{sw} \cdot (1+k) \right) \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot e_0}{h_{c,a}} \right) =$$
$$= (1147,5) + (98,18) \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot 0,011212}{0,210} \right) = 1204 kN.$$

Atlikus abiejų pjūvių skaičiavimus gauname, kad:

$$N_u = \min \left[N_{u,1-1,e}; N_{u,2-2,e} \right] \rightarrow N_{u,e,\min} = [1278 kN; 1204 kN] = 1204 kN.$$

PASTABA: visi 2–2 pjūvyje skaičiavimams naudoti dydžiai aprašyti 1.3.2 skirsnyje.