



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Marius Nevecka

**TERMIŠKAI PERTVARKYTOSIOS MEDIENOS TINKAMUMO
LAIKANČIOSIOMS KONSTRUKCIJOMS VERTINIMAS**

**THERMALLY REFORMED TIMBER SUITABILITY EVALUATION FOR
BEARING STRUCTURES**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Lengvųjų šiuolaikinių konstrukcijų specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

A. Šapalas

(Vardas, pavardė)

2015 06 02

(Data)

Marius Nevecka

**TERMIŠKAI PERTVARKYTOSIOS MEDIENOS TINKAMUMO
LAIKANČIOSIOMS KONSTRUKCIJOMS VERTINIMAS**

**THERMALLY REFORMED TIMBER SUITABILITY EVALUATION FOR
BEARING STRUCTURES**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Lengvųjų šiuolaikinių konstrukcijų specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Saulius Kavaliauskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

doc. dr. Gintas Šaučiuvėnas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Lina Rutkienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Statybos inžinerija

studijų kryptis

TVIRTINU

Katedros vedėjas

Statinių konstrukcijų studijų programa,

valstybinis kodas 621H21001

Lengvosios šiuolaikinės konstrukcijos

specializacija

(Parašas)

Antanas Šapalas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2014 10 17 Nr.

Vilnius

Studentui (ei)

Mariui Neveckai.....

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *Termiškai pertvarkytosios medienos tinkamumo laikinčiosioms konstrukcijoms vertinimas*.....

patvirtinta 2014 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 509st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. *geguosės 29* d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti literatūros šaltinių analizę apie termiškai pertvarkytą medieną ir jos pritaikymą laikinųjų konstrukcijų jungtims

Sukonstruoti dvišlytes vinines jungtis iš kaitintosios bei paprastosios medienos ir išbandyti jas gniuždant

Nustatyti jungčių laikomąsias galias, deformacijų modulius, ir atstumo tarp jungčių centrų įtaką šiems rodikliams.

Remiantis gautais rezultatais pateikti rekomendacijos termiškai apdorotų elementų ar jų jungčių elgsenos vertinimui

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

doc. dr. Gintas Šaučiuvėnas.....

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

doc. dr. Saulius Kavaliauskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Marius Neveckas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012 m. m.
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Marinus Nevecka 200733 95
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas
(Fakultetas)

Statinių konstrukcijų stud. programa, LKf-13
(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15m. geguosės 27 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema Terminiškai pertvar-
kytosios medienos tinkamumo laikotarpio
konstrukcijoms vertinimas
patvirtintas 20 14 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 509 st, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Gintas Samuėnas,
lekt. Lina Rutkienė

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Saulius Kavaliauskas

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų
piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parašas)

Marinus Nevecka
(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Metalinių ir medinių konstrukcijų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-....-....

Statinių konstrukcijų studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Terminiškai pertvarkytosios medienos tinkamumo laikančiosioms konstrukcijoms vertinimas**

Autorius **Marius Nevecka**

Vadovas doc. dr. **Saulius Kavaliauskas**

Kalba

☒ X

Lietuvių

☐ Užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas terminiškai pertvarkytosios medienos tinkamumas laikančiosioms konstrukcijoms. Atliekami bandymai su latviškosios eglės mediena. Darbe pateikiamas užsienyje atliktų bandymų ir skirtingų modifikavimo metodų palyginimas. Pagrindinis tyrimų objektas - dvišlytės vininės jungtys. Jungtims parinkti skirtingi atstumai tarp vinių išilgai pluošto. Palyginama terminiškai pertvarkytosios ir paprastosios C24 klasės medienos elgsena. Taip pat nustatomos bandymams naudojamos medienos fizinės savybės – drėgnis ir tankis. Ankstesniais tyrimais nustatyta, kad terminiškai apdorotos medienos mechaninės savybės pablogėja, tačiau pagerėja fizinės savybės, atsparumas mikroorganizmams, aplinkos poveikiams. Dėl mechaninių savybių pablogėjimo tokia mediena kol kas nenaudojama laikančiosioms konstrukcijoms. Atlikus eksperimentinę analizę, susistemintus rezultatus ir įvertinus visus teigiamus bei neigiamus faktorius, suformuojamos išvados dėl tokios medienos tinkamumo laikančiosioms konstrukcijoms.

Gauti rezultatai rodo, kad terminiškai pertvarkytą medieną galima būtų naudoti laikančiųjų konstrukcijų vininėms jungtims. Kai kuriais aspektais ji turi pranašumų lyginant su paprastąja mediena, tačiau turi ir trūkumų, į kuriuos būtina atsižvelgti.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, metodinė dalis, eksperimentinė dalis, išvados ir siūlymai.

Darbo apimtis – 98 p. teksto be priedų, 99 iliustr., 2 lentelės, 26 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: terminiškai pertvarkytoji mediena (kaitintoji mediena), vininės dvišlytės jungtys, bandymai, laikančiosios medinės konstrukcijos, savybės.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Steel and Timber Structures

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Structural Engineering study programme master degree final thesis.

Title: **Thermally reformed timber suitability evaluation for bearing structures**

Author **Marius Nevecka**

Academic supervisor **Dr Saulius Kavaliauskas**

Thesis language

☒ Lithuanian

☐ Foreign (English)

Annotation

In the final thesis of master degree load-bearing structures of thermally reformed timber are examined. Tests are made with latvian spruce (picea abies) wood. In final master work tests that are done in foreign countries are described as well as different modification methods. The main research object – nailed connections. Distances between the nails along the wood fiber are chosen different. Behavior of ordinary and thermally modified timber are being compared. Humidity and density are also determined. Previous studies have shown that mechanical properties of thermally modified timber become worse. However, physical properties are improved, as same as resistance to microorganisms, environmental impacts. Because of worsening of mechanical properties this timber is not used for bearing structures so far. After experimental analysis all results are systemized, all positive and negative factors are evaluated and conclusions are presented.

Results show that thermally reformed timber could be used for connections of load-bearing structures such as nailed connections. In some ways this timber is even better than usual timber, in some – not.

Structure: introduction, overview of literature sources, experimental part, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 96 p. text without appendixes, 99 pictures, 2 tables, 26 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: thermally reformed timber, double-shear nails connections, experiments, bearing timber structures, properties.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	9
LENTELIŲ SĄRAŠAS	12
ĮVADAS.....	13
1. KAITINTOSIOS MEDIENOS APDOROJIMO PROCESAI, ISTORIJA, PRIVALUMAI IR TRŪKUMAI, PANAUDOJIMO GALIMYBĖS	15
1.1. Terminio apdorojimo metodai ir atlikti bandymai.....	16
1.2. Terminio medienos modifikavimo metodai.....	17
1.2.1. „Plato“ metodas.....	17
1.2.2. Suomiškasis „Thermo Wood“ metodas.....	18
1.2.3. „Perdure“ ir ratifikavimo metodas.....	19
1.2.4. Medienos modifikavimas karštame aliejuje.....	19
1.3. Terminiškai modifikuotos medienos panaudojimas.....	20
2. VININIŲ JUNGČIŲ KONSTRAVIMAS, BANDYMAI, DETALI BANDINIŲ ANALIZĖ	23
2.1. Bandymams naudojama mediena.....	23
2.2. Tiriamiems bandiniams naudotos medienos terminio apdorojimo technologija	24
2.3. Pasiruošimas bandymams, metodo parinkimas, bandinių konstravimas ir medienos atranka.....	26
2.4. Bandiniai, jų defektai, bandymų eiga ir rezultatai	34
2.4.1. Kaitintieji bandiniai iš 275 mm ilgio elementų.....	35
2.4.2. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 275 mm ilgio elementų rezultatai	40
2.4.3. Nekaitintieji bandiniai iš 275 mm ilgio elementų	41
2.4.4. Bendri nekaitintų bandinių, sukonstruotų iš 275 mm ilgio elementų rezultatai	46
2.4.5. Kaitintieji bandiniai iš 260 mm ilgio elementų.....	48
2.4.6. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 260 mm ilgio elementų rezultatai	53
2.4.7. Nekaitintieji bandiniai iš 260 mm ilgio elementų	54

2.4.8. Bendri nekaitintų bandinių, sukonstruotų iš 260 mm ilgio elementų rezultatai	60
2.4.9. Kaitintieji bandiniai iš 250 mm ilgio elementų.....	61
2.4.10. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 250 mm ilgio elementų rezultatai	66
2.4.11. Nekaitintieji bandiniai iš 250 mm ilgio elementų	67
2.4.12. Bendri nekaitintųjų bandinių, sukonstruotų iš 250 mm ilgio elementų rezultatai.	72
2.4.13. Kaitintieji bandiniai iš 235 mm ilgio elementų.....	74
2.4.14. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 235 mm ilgio elementų rezultatai	78
2.4.15. Nekaitintieji bandiniai iš 235 mm ilgio elementų	79
2.4.16. Bendri nekaitintų bandinių, sukonstruotų iš 235 mm ilgio elementų rezultatai....	84
2.5. Bandinių drėgnio ir tankio nustatymas.....	85
3. KAITINTOS IR PAPRASTOS MEDIENOS BANDYMŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS	87
3.1. Bendrosios kreivės ir maksimalių rodiklių palyginimas	87
3.2. Kaitintų ir nekaitintų bandinių, su skirtingais atstumais a/l , rezultatų palyginimas	91
3.3. Eksperimentiškai nustatytos simetrinės medinių elementų vininės jungties laikomosios galios palyginimas su analitiškai apskaičiuotomis jų reikšmėmis	92
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	95
LITERATŪROS SĄRAŠAS	97
PRIEDAI	99

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Medienos terminio apdorojimo proceso diagrama (ThermoWood Handbook, 2003)	15
1.2 pav. „ThermoWood“ proceso temperatūrų pasiskirstymas laiko atžvilgiu esant skirtingoms fazėms	18
1.3 pav. Teigiamų ir neigiamų medienos savybių kitimas augant temperatūrai	22
2.1 pav. Medienos klasę įrodantys žymenys	23
2.2 pav. Medienos laikymas laboratorijoje visą bandymų laikotarpį	24
2.3 pav. 173 °C temperatūroje apdorojamos medienos kaitinimo grafikas	25
2.4 pav. 173 °C temperatūroje termiškai apdorojamos medienos temperatūrų pokyčių kreivės laiko atžvilgiu	25
2.5 pav. Simetrinė dvišlytė jungtis su 6 vinimis	26
2.6 pav. Vietų su defektais pašalinamas iš medinių tašų	27
2.7 pav. Tarpai ir atstumai nuo krašto: a) tarpai su pluoštu lygiagrečioje eilėje, statmeni pluoštui tarp eilių, b) atstumai nuo krašto iki galo	28
2.8 pav. Jungtims naudotos vinys	29
2.9 pav. Bandinio eskizas	29
2.10 pav. Sukonstruoti bandiniai	30
2.11 pav. Bandinys šablone	31
2.12 pav. Suformuotas lygus šablono dugnas	31
2.13 pav. Bandiniai, išimti iš šablono	32
2.14 pav. Preliminari bandymų schema (LST EN 26891:2000)	33
2.15 pav. Jungčių deformacijų moduliai (LST EN 26891:2000)	33
2.16 pav. Bandinys nr. 3 bandymo metu ir po bandymo	35
2.17 pav. Bandinys nr. 6 bandymo metu ir po bandymo	36
2.18 pav. Bandinys nr. 5 bandymo metu ir po bandymo	37
2.19 pav. Bandinio nr. 5 laikinė galios kreivė	38
2.20 pav. Bandinio nr. 5 deformacinės jėgos kreivė	39
2.21 pav. Bandinio nr. 5 deformacijų moduliai	40
2.22 pav. Bandinių nr. 3, 5 ir 6 laikinės galios kreivės	40
2.23 pav. Bandinių nr. 3, 5 ir 6 vidutinių reikšmių deformacinės jėgos kreivė	41
2.24 pav. Bandinių nr. 3, 5 ir 6 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	41
2.25 pav. Bandinys nr. 8 po bandymo	42
2.26 pav. Bandinys nr. 9 bandymo metu ir po bandymo	43

2.27 pav. Bandinys nr. 7 po bandymo	44
2.28 pav. Bandinio nr. 7 laikinė galios kreivė	45
2.29 pav. Bandinio nr. 7 deformacinės jėgos kreivė	45
2.30 pav. Bandinio nr. 7 deformacijų moduliai	46
2.31 pav. Bandinių nr. 7, 8 ir 9 laikinės galios kreivės	46
2.32 pav. Bandinių nr. 7, 8 ir 9 vidutinių reikšmių deformacinė jėgos kreivė	47
2.33 pav. Bandinių nr. 7, 8 ir 9 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	47
2.34a pav. Bandinys nr. 18 po bandymo	48
2.34b pav. Bandinys nr. 18 po bandymo	49
2.35 pav. Bandinys nr. 21 po bandymo	50
2.36 pav. Bandinys nr. 17 bandymo metu ir po bandymo	51
2.37 pav. Bandinio nr. 17 laikinė galios kreivė.....	52
2.38 pav. Bandinio nr. 17 deformacinė jėgos kreivė.....	52
2.39 pav. Bandinio nr. 17 deformacijų moduliai.....	53
2.40 pav. Bandinių nr. 17, 18 ir 21 laikinės galios kreivės.....	53
2.41 pav. Bandinių nr. 17, 18 ir 21 vidutinių reikšmių deformacinė jėgos kreivė.....	54
2.42 pav. Bandinių nr. 17, 18 ir 21 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	54
2.43 pav. Bandinys nr. 23 bandymo metu ir po bandymo	55
2.44a pav. Bandinys nr. 24 bandymo metu ir po bandymo	57
2.44b pav. Bandinys nr. 24 bandymo metu ir po bandymo.....	57
2.45a pav. Bandinys nr. 22 bandymo metu ir po bandymo	58
2.45b pav. Bandinys nr. 22 bandymo metu ir po bandymo.....	58
2.46 pav. Bandinio nr. 22 laikinė galios kreivė.....	58
2.47 pav. Bandinio nr. 22 deformacinė jėgos kreivė.....	59
2.48 pav. Bandinio nr. 22 deformacijų moduliai.....	59
2.49 pav. Bandinių nr. 22, 23 ir 24 laikinės galios kreivės.....	60
2.50 pav. Bandinių nr. 22, 23, 24 deformacinės jėgos vidurkių kreivė.....	61
2.51 pav. Bandinių nr. 22, 23 ir 24 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	61
2.52 pav. Bandinys nr. 19 bandymo metu ir po bandymo	62
2.53 pav. Bandinys nr. 20 bandymo metu ir po bandymo	63
2.54 pav. Bandinys nr. 4 bandymo metu ir po bandymo	64
2.55 pav. Bandinio nr. 4 laikinė galios kreivė	65
2.56 pav. Bandinio nr. 4 deformacinė jėgos kreivė.....	65
2.57 pav. Bandinio nr. 4 deformacijų moduliai	66
2.58 pav. Bandinių nr. 4, 19 ir 20 laikinės galios kreivės.....	66

2.59 pav. Bandinių nr. 4, 19, 20 deformacinės jėgos vidurkių kreivė.....	67
2.60 pav. Bandinių nr. 4, 19 ir 20 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	67
2.61 pav. Bandinys nr. 26 bandymo metu ir po bandymo	67
2.62 pav. Bandinys nr. 27 bandymo metu ir po bandymo	68
2.63 pav. Bandinys nr. 25 bandymo metu ir po bandymo	69
2.64 pav. Bandinio nr. 25 laikinė galios kreivė.....	71
2.65 pav. Bandinio nr. 25 deformacinė jėgos kreivė.....	71
2.66 pav. Bandinio nr. 25 deformacijų moduliai.....	72
2.67 pav. Bandinių nr. 25, 26 ir 27 laikinės galios kreivės.....	72
2.68 pav. Bandinių nr. 25, 26, 27 deformacinės jėgos vidurkių kreivė.....	73
2.69 pav. Bandinių nr. 25, 26 ir 27 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	73
2.70 pav. Bandinys nr. 29 bandymo metu ir po bandymo	74
2.71 pav. Bandinys nr. 30 bandymo metu ir po bandymo	75
2.72 pav. Bandinys nr. 28 bandymo metu ir po bandymo	76
2.73 pav. Bandinio nr. 28 laikinė galios kreivė.....	77
2.74 pav. Bandinio nr. 28 deformacinė jėgos kreivė.....	77
2.75 pav. Bandinio nr. 28 deformacijų moduliai.....	77
2.76 pav. Bandinių nr. 28, 29 ir 30 laikinės galios kreivės.....	78
2.77 pav. Bandinių nr. 28, 29, 30 deformacinės jėgos vidurkių kreivė.....	78
2.78 pav. Bandinių nr. 28, 29 ir 30 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	79
2.79 pav. Bandinys nr. 32 bandymo metu ir po bandymo	79
2.80 pav. Bandinys nr. 33 bandymo metu ir po bandymo	81
2.81 pav. Bandinys nr. 31 bandymo metu ir po bandymo	82
2.82 pav. Bandinio nr. 31 laikinė galios kreivė.....	83
2.83 pav. Bandinio nr. 31 deformacinė jėgos kreivė.....	83
2.84 pav. Bandinio nr. 31 deformacijų moduliai.....	84
2.85 pav. Bandinių nr. 31, 32 ir 33 laikinės galios kreivės.....	84
2.86 pav. Bandinių nr. 31, 32, 33 deformacinės jėgos vidurkių kreivė.....	85
2.87 pav. Bandinių nr. 31, 32 ir 33 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai	85
2.88 pav. Prizmelės pasvėrimas medienos drėgnio ir tankio nustatymui.....	86
3.1 pav. Visų kaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių ir maksimalių slinkčių diagramos.....	87
3.2 pav. Visų kaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama	87

3.3 pav. Visų kaitintų bandinių maksimalių slinkčių absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama.....	88
3.4 pav. Visų nekaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių ir maksimalių slinkčių diagramos.....	89
3.5 pav. Visų nekaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama	89
3.6 pav. Visų nekaitintų bandinių maksimalių slinkčių absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama.....	90
3.7 pav. Kaitintų bandinių su skirtingais atstumais tarp vinių išilgai pluošto maksimalios laikomosios galios ir slinkčių kreivės.....	91
3.8 pav. Kaitintų bandinių su skirtingais atstumais tarp vinių išilgai pluošto maksimalios laikomosios galios ir slinkčių kreivės.....	91

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Mažiausieji tarpai tarp vinių ir atstumai nuo krašto bei galo (pagal LST EN 1995-1-1:2005).....	27
2 lentelė. Bandymų rezultatai.....	92

IVADAS

Dėl tam tikrų savo teigiamų savybių, termiškai pertvarkyta mediena yra jau pakankamai gerai žinoma statybinė ir apdailinė medžiaga. Jos populiarumas nuolat auga. Panaudojimo galimybės yra labai didelės. Yra atlikta nemažai bandymų nustatant termiškai apdorotos medienos fizikines ir mechanines savybes. Tačiau ši mediena nėra naudojama laikančiosioms konstrukcijoms. Taip yra todėl, kad bandymais nustatant mechanines savybes gauti rezultatai kelia abejonių dėl medienos stiprumo ir kitų rodiklių. Apskritai tyrimų šioje srityje yra atlikta mažai, rezultatai nesusisteminti, neaiškūs. Vien tai, kad sumažėja tokios medienos lenkiamasis stipris ir tamprumo modulis neleidžia mums vienareikšmiškai tvirtinti, kad ji negali būti panaudota laikančiosioms konstrukcijoms.

Šio baigiamojo magistrinio darbo tikslas – išnagrinėti termiškai pertvarkytą medieną kaip laikančiųjų konstrukcijų medžiagą, jos elgseną konstruojant.

Darbo uždaviniai:

- 1) atlikti literatūros šaltinių analizę apie termiškai pertvarkytą medieną ir jos pritaikymą laikančiosioms konstrukcijoms;
- 2) remiantis standartais LST EN 1380:2009, LST EN 26891:2000, LST EN 1995-1-1:2005 ir laboratorinių darbų metodika sukonstruoti dvišlytes vinines jungtis iš termiškai pertvarkytosios medienos, jas išbandyti gniuždant;
- 3) nustatyti jungčių deformacijų modulius, nubraižyti laikines ir deformacines jėgos kreives, deformacijų modulių kreives;
- 4) palyginti rezultatus su analogiškais paprastosios medienos bandymais;
- 5) įvertinti galimybę naudoti termiškai pertvarkytą medieną laikančiosioms konstrukcijoms;
- 6) pateikti siūlymus tolesniems bandymams.

Magistro darbo metodinėje dalyje, remiantis literatūra, apžvelgiami medienos terminio apdorojimo metodai, jų trumpa istorija, privalumai ir trūkumai, aprašomos termomedienos panaudojimo galimybės, kokie yra atlikti bandymai ir kokie jų rezultatai.

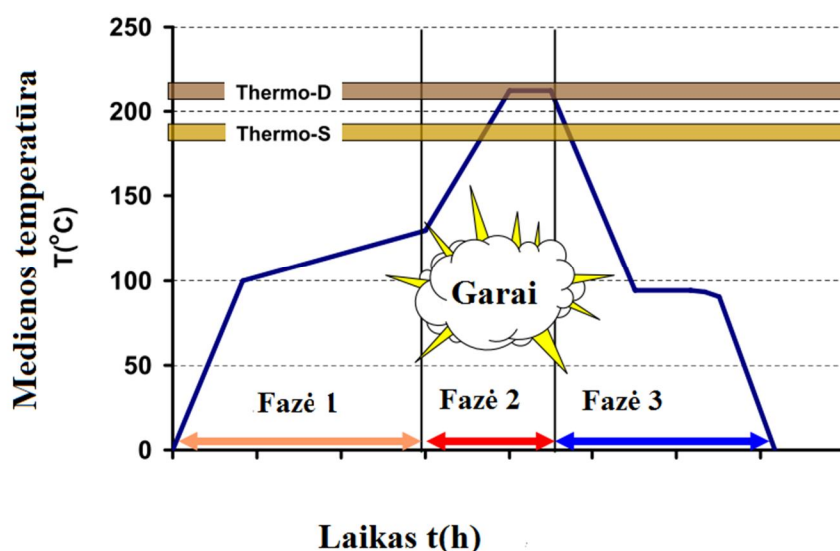
Pagrindinė darbo dalis yra eksperimentinė. Joje detalčiai aprašoma, kokia mediena naudojama bandymams, kaip ji buvo paruošta, kaip atrenkama, apibūdinamas pats konstravimo procesas, įvardijami defektai ir pažaidos prieš bandymą. Pateikiama, kokiai temperatūrai ir santykinui oro drėgnumui esant buvo vykdomi bandymai, kiek šie parametrai procentiškai skyrėsi nuo standartinių. Taip pat pateikiamas nustatytas kiekvieno bandinio elementų drėgnis ir tankis. Toliau yra aprašoma, kaip elgėsi bandiniai bandymų metu, koks irties pobūdis, kokios užfiksuotos maksimalios laikomosios galios ir slinktys. Pateikiami jungčių poveikslai prieš bandymą ir po. Apdorojus rezultatus yra nubraižomos kreivės, kurios geriausiai atspindi gautus rezultatus vizualiai.

Paskutiniame skyriuje suformuojamos darbo išvados ir siūlymai.

1. KAITINTOSIOS MEDIENOS APDOROJIMO PROCESAI, ISTORIJA, PRIVALUMAI IR TRŪKUMAI, PANAUDOJIMO GALIMYBĖS

Terminis medienos apdorojimo metodas žinomas gana seniai ir įvairiuose šaltiniuose jo taikymo pradžios laikas minimas skirtingai. Pirmieji eksperimentai pradėti apie 1915 m. Tačiau intensyvūs bandymai ir aktyvus šio metodo plėtojimas pradėtas apie 2000 m. ir ypač plėtojamas pastaruosius du dešimtmečius. Šis metodas yra alternatyva cheminiam medienos apdorojimui. Nenaudojant jokių kenksmingų medžiagų yra pakeičiama cheminė sudėtis, fizikinės bei mechaninės savybės. Pagrindinis skirtumas nuo cheminio modifikavimo yra tas, kad, termiškai apdorojant, medienos savybės pasikeičia negrįžtamai, pvz., lyginant su impregnavimu konservatais, kurie laikui bėgant praranda savo veikiančiąsias savybes.

Medienos terminis apdirbimas skiriasi nuo įprasto džiovinimo džiovyklose. Paprastai jį sudaro 3 fazės: temperatūros kėlimas, šiluminis modifikavimas, vėsinimas (1.1 pav.).



1.1 pav. Medienos terminio apdorojimo proceso diagrama (ThermoWood Handbook, 2003)

Pirmame etape temperatūra keliama iki 100°C, šioje temperatūroje prasideda vandens garinimas iš medienos. Nuo šio taško temperatūra keliama gana iš lėto, leidžiant išgaruoti vandeniui. Antrojo etapo metu temperatūra gana greitai keliama iki labai aukštos temperatūros 200-230°C ir kurį laiką išlaikoma pastovi. Šiuo periodu pasikeičia beveik visos medienos savybės. Nuo 200°C prasideda pirolizės zona (skaidymasis į dujas). Siekiant apsaugoti nuo užsiliepsnojimo, mediena yra laikoma garų aplinkoje. Trečio etapo metu mediena aušinama, priklausomai nuo terminio modifikavimo metodo, iki 3 parų. Taikant kai kuriuos metodus, atvėsinta mediena yra dar kartą kaitinama ir vėl vėsinama.

Bandymams naudojami bandiniai be defektų, nedidelių skerspjūvių, dažniausiai iki 100x100 mm bei skirtingo amžiaus medienos.

Lietuvoje termiškai modifikuotos medienos vartojimas auga. Tačiau reikia pastebėti, kad mūsų šalyje tyrimų atlikta labai mažai. Lietuviai labiau pasikliauna užsieniečių pateiktomis charakteristikomis. Iki tol yra atliktas termiškai pertvarkytosios medienos mechaninių savybių tyrimas, lyginant jas su užsienio literatūroje pateiktais rezultatais. Tačiau bandymai siekiant nustatyti tokios medienos tinkamumą laikančiosioms konstrukcijoms neatlikti.

1.1. Terminio apdorojimo metodai ir atlikti bandymai

Užsienio šalyse yra atlikta daug ir skirtingų bandymų termiškai modifikuojant medieną. Skirtingų bandymų gaunami ir skirtingi rezultatai, kuriuos bandoma susisteminti.

B. Tjeerdsma (2001) ir kiti atliko spindulinės pušies, škotiškos pušies, didžiosios pocūgės ir melsvosios eglės atsparumo tyrimus. Buvo naudojamas vadinamasis „Plato“ metodas medieną veikiant 160-190°C temperatūra ir siekiant sunaikinti papėdgrybius, minkštuosius puvinius bei bakterijas ir pagerinti medienos patvarumą. Yra keletas straipsnių apie padidintą medienos patvarumą naudojant šiluminį modifikavimą pagal ratifikavimo proceso principus azoto aplinkoje (M. Hakkou *et al.* 2006; F. Mburu *et al.* 2006, 2007; S. Lekounougou *et al.* 2009; Z. Šušteršič *et al.* 2010) ir apie apdorojimą karštą aliejaus aplinkoje (OHT), kaitinant aliejaus voniose (Sailer *et al.* 2000).

Ankstesni tyrimai įrodė škotiškosios pušies ir norvegiškosios melsvosios eglės balanos ir brandžiosios medienos atsparumą puvimui termiškai modifikuojant 170-230°C temperatūroje naudojant „ThermoWood“ metodą prieš minkštėjimą ir rudojo puvinio grybus. Tyrimais nustatyta priklausomybė tarp temperatūros ir atsparumo puvimui (Metsa-Kortelainen, Viitanen 2009). „ThermoWood“ metodas paremtas medienos kaitinimu kelias valandas aukštoje temperatūroje veikiant normaliam slėgiui ir aušinant vandens garais. Teigiami skirtingo terminio medienos modifikavimo poveikiai tiriant skirtingas medienos rūšis laboratorijoje taip pat aprašyti H. Viitaneno (Viitanen *et al.* 1994), P. Viitaniemi (1997), B. Tjeerdsma *et al.* (1998), D. Kamdemo (Kandem *et al.* 2002), R. Gosselinko (Gosselink *et al.* 2004), A. Boonstra *et al.* (2007), C. Welzbacherio (Welzbacher *et al.* 2007).

Visi šie mokslininkai savo bandymais nustatė, kad biologinio atsparumo didinimas visiškai priklauso nuo medienos rūšies, medžio dalies (šerdis, balana), iš kurios mediena išpjauta, medieną veikiančių kenkėjų, terminio modifikavimo metodo ir ypač temperatūros bei kaitinimo laiko. Atlikus tyrimus nustatytas biologinis atsparumas, tačiau atsparumas grybeliui ir puvimui esant kontaktui su gruntu ir ypač antžeminiam kontaktui tyrinėtas kur kas mažiau. Tokių tyrimų atliko mokslininkai C. Welzbacheris ir A. Rappas (Welzbacher, Rapp 2005, 2007). Jie tyrinėjo įvairių Europos tiekėjų

terminiškai pertvarkytą medieną pagal EN 252 testą (esant kontaktui su gruntu). Jie nustatė, kad terminiškai modifikuotos medienos natūralus patvarumas padidėja, lyginant su paprastosios škotiškosios pušies balanos, tačiau irimo koeficientas pradeda staigiai augti po 3 metų bandinių išlaikymo veikiant baltajam puvinii. Mokslininkai suskirstė bandinius į klases: mažai patikima mediena (DC 4) ir nepatikima (DC 5) ir priėjo išvadą, kad esant kontaktui su gruntu terminė mediena puvimui yra neatspari.

Nemažai atlikta tyrimų nustatant neigiamas medienos savybes po terminio modifikavimo. W. Davidsas ir W. Thompsonas (Davids, Thompson 1964) nustatė ir aprašė medienos kietumo sumažėjimą atlikus skirtingus modifikavimo metodus. E. Giebeleris (Giebeler 1983) nustatė medienos lenkiamojo stiprio sumažėjimą 20–50 % po terminio pertvarkymo kaitinant 180–200°C temperatūroje.

Pastaruoju metu populiariausi ir labiausiai plėtojami yra keli terminio modifikavimo metodai: „Plato“, suomiškasis „ThermoWood“, apdorojimas karšto aliejaus voniose.

1.2. Terminio medienos modifikavimo metodai

1.2.1. „Plato“ metodas

„Plato“ metodą išrado H. Ruyteris (Ruyter 1989) ir iki šiol metodas plėtojamas „Plato“ kompanijos Nyderlanduose. „Plato“ skiriasi nuo kitų metodų. Šiam metodui galima priskirti 3 žingsnius, o kiti procesai dažniausiai turi tik vieną kaitinimo etapą ir aušinimą. „Plato“ metode hidrotermolizės (medienos kaitinimas drėgnomis sąlygomis garų slėgyje esant mažam deguonies kiekiui aplinkoje) žingsnis yra kombinuojamas su sauso kietinimo žingsniu (modifikuotos medienos kaitinimas). Termolizės įtaka „Plato“ metode yra daugybės cheminių transformacijų rezultatas. Didelis vandens išsiskyrimas yra termolizės pasekmė dėl išaugusių medienos komponentų reakcijų. Kad būtų pasiektas norimas lignino ir hemiceliuliozės depolimerizacijos laipsnis, turi būti taikomos santykinai švelnios sąlygos ir nepageidaujamos termomedienos savybės minimizuojamos. Tai labai svarbu siekiant panaudoti terminiškai pertvarkytą medieną laikančiosioms konstrukcijoms (Homan, Jorissen 2004).

„Plato“ metodo žingsniai:

- hidrotermolizė (medienos kaitinimas drėgnomis sąlygomis garų slėgyje esant mažo deguonies kiekio aplinkai);
- paprastas medienos džiovinimas;
- modifikuotos medienos kaitinimas.

Taikant „Plato“ metodą pirmuoju etapu žalia arba natūraliomis sąlygomis džiovinta mediena 4–5 valandas kaitinama drėgnomis sąlygomis 160–190°C temperatūroje esant 6–8 barų slėgiui. Šiame etape aldehidai ir fenoliai yra atskiriami nuo hemiceliuliozės ir lignino. Antruoju etapu mediena 3–5 paras džiovinama įprastomis sąlygomis, kol pasiekia žemesnę nei 10 % drėgnį. Tada mediena vėl 14–16 valandų kaitinama 170–190°C temperatūroje ir galiausiai atvėsinama. Vėsinimas trunka 2–3 paras. Trečiame etape aldehidai ir fenoliai reguoja vieni su kitais ir suformuoja naujus polimerus apie jau egzistuojančias ląstelių sienelių struktūras. Nustatyta, kad po „Plato“ medienos modifikavimo lenkiamasis medienos stipris sumažėja nuo 5 iki 18 %, tangentinis išbrinkimo ir susitraukimo mažėjimas svyruoja nuo 15 iki 40 %.

1.2.2. Suomiškasis „ThermoWood“ metodas

2000 m. Suomijoje atidaryti 8 medienos terminio modifikavimo fabrikai, o 2004 m. dar dvylika. Šie fabrikai modifikuoja 50000 m³ medienos per metus. Didžiosios užsienio kompanijos dažniausiai modifikuoja medieną būtent šiuo – „ThermoWood“ metodu. Naudojant šį metodą mediena kaitinama vandens garų aplinkoje. Oro sudėtyje yra ne daugiau kaip 3,5 % deguonies. Tai apsaugo medieną nuo užsilepsnojimo esant aukštai temperatūrai. Kaitinimo temperatūra svyruoja nuo 150 iki 240°C temperatūros ir ją pasiekus kaitinama nuo 0,5 iki 4 valandų ir atvėsinama. Jei reikia, prieš tai mediena džiovinama ~100°C, kartais iki 130°C temperatūroje, kol praktiškai pašalinama visa drėgmė (Jamsa, Viitaniemi 2001).

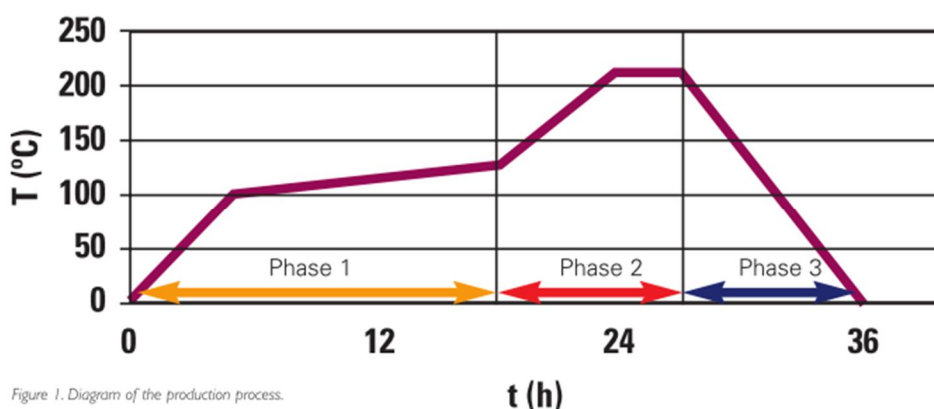


Figure 1. Diagram of the production process.

1.2 pav. „ThermoWood“ proceso temperatūrų pasiskirstymas laiko atžvilgiu esant skirtingoms fazėms

Pradedant nuo neilgaamžių (5 klasė) spygliuočių rūšių, netgi 1–3 ilgaamžiškumo klasės gali būti pasiektos priklausomai nuo kaitinimo proceso. Tačiau lenkiamasis stipris sumažinamas iki 30 % dėl aukštos temperatūros. Skerspjūvio susitraukimas ir išbrinkimas sumažinamas 50–90 %. Dėl riboto medienos atsparumo dėl pūvančių dirvožemio organizmų, medienos nerekomenduojama eksploatuoti

esant kontaktui su gruntu (Jamsa, Viitaniemi 2001). Rekomenduojama modifikuoti medieną be defektų ir ne per drėgną, tai padeda išgauti tolygią bandinių spalvą. „ThermoWood“ metodo metu sumažinamas medienos tankis ~10 %, mediena dėl įvykstančių cheminių reakcijų įgauna specifinį kvapą, tačiau jį junta ne visi, be to tyrimais nustatyta, jog šis kvapas yra nepavojingas. Mediena įgauna D atsparumo ugniai klasę pagal I350I, šiluminis laidumas sumažinamas 20–25 % lyginant su nemodifikuotų spygliuočių. Tyrimais nustatyta, kad pušies šilumos laidumo koeficientas λ sumažėjo nuo 0,12 W/(m K) iki 0,099 W/(m K). Tai yra gana reikšmingas rezultatas. Termiškai apdorotoji mediena po modifikavimo įgauna tamsią spalvą ir kuo aukštesnė temperatūra, tuo spalva tamsesnė. Tačiau, paveikus UV spinduliais spalva, prarandama ir tampa pilkšvai sidabrinė, jeigu nėra padengiama specialia pigmentine paviršiaus apsauga. Kaitintosios medienos drėgnis siekia maksimaliai 5–7 % jeigu eksplotuojama lauko sąlygomis (Ala-Viikari 2008).

1.2.3. „Perdure“ ir ratifikavimo metodas

Prancūzijoje šis metodas pavadintas ratifikavimo (ratifikuoto medžio) metodu. Ratifikavimo procesą sudaro medienos kaitinimas iš lėto keliant temperatūrą iki 210–240°C azoto aplinkoje su ne didesniu kaip 2 % deguonies kiekiu aplinkoje. Prieš tai mediena išdžiovinama iki ne didesnio kaip 12 % drėgnio (Vernous 2001). Antras prancūziškasis metodas vadinamas „Perdure“. Procesas pradedamas su šviežia mediena. Pirmasis etapas yra dirbtinis medienos džiovinimas džiovykloje. Tada mediena kaitinama iki 230°C temperatūroje vandens garų aplinkoje su sumažintu deguonies kiekiu. Vandens garai yra sukuriama iš žalios medienos vandens. Abu procesai lemia medienos patvarumą ir stiprumą. Kuo aukštesnė yra temperatūra, tuo patvaresnė tampa mediena, tačiau kartu ir praranda vis daugiau stiprio. Lenkiamasis stipris sumažėja apie 40 %. Abu procesai yra labai jautrūs net ir nežymiems temperatūros pokyčiams, todėl tai turi būti labai kontroliuojama. Šie procesai labai pablogina dažų sukibimą su mediena. Manoma, kad tai atsitinka dėl dervų sunkimosi. Medienos patvarumas ir ilgaamžiškumas labai priklauso nuo medienos rūšies, temperatūros, proceso trukmės ir tikslumo. Išbrinkimas ir susitraukimas sumažinamas du kartus. Taip pat pasiekiamas 4–5 % medienos drėgnis (Homan, Jorissen 2004).

1.2.4. Medienos modifikavimas karštame aliejuje

Dauguma terminio modifikavimo metodų paremti medienos kaitinimu 180°C–260°C temperatūros poveikiu ir sumažintu deguonies kiekiu aplinkoje. Kitais būdais mediena aukštoje temperatūroje nekaitinta. Dėl to buvo sugalvotas būdas medieną kaitinti karšto aliejaus voniose. Šį metodą taikyti pradėjo vokiečių kompanija Menz Holz (Vernois 2004). Tokiu būdu tapo įmanoma

kaitinti medienos šerdį, pvz., 220°C temperatūroje 2–4 valandas, nesant galimybės jai užsiliepsnoti (Rapp, Sailer 2001). Gali būti naudojamas rapsų sėklų aliejus, sėmenų arba saulėgrąžų aliejus. Norimas medienos patvarumas, kaip ir taikant kitus metodus, labai priklauso nuo temperatūros ir medienos rūšies. Melsvajai eglei geriausiai tinka 220°C temperatūra ir pasiekama 2 patvarumo klasė, pušiai - 200°C. Taikant šį metodą medienos standumo pokyčių nepastebėta, bet stiprumas sumažėja ~30 % esant 220°C temperatūrai. Dažomumas akriliniais dažais vandens pagrindu žymiai geresnis nei modifikuojant medieną kitais metodais. Matmenų stabilumas padidinamas apie 40 %.

Visi iki šiol atlikti tyrimai užsienyje termiškai pertvarkant medieną atskleidžia daugybę šio metodo privalumų. Visuose šaltiniuose pažymimi tie patys privalumai. Taigi kokie jie ir kodėl yra tikslinga medieną termiškai modifikuoti?

Pagrindinis terminio medienos pertvarkymo tikslas yra padidinti medienos patvarumą ir matmenų stabilumą. Be to, padidinamas atsparumas kenksmingiems grybams, puvimui. Sumažinamas medienos drėgnis bei vandens įgertis, padidinamas atsparumas puvimui ir pleišėjumui, sumažinamas šiluminis laidumas, pašalinamos dervos, padidinamas matmenų stabilumas, suteikiamas spalvos ryškumas pastovumas ir kt.

1.3 Termiškai modifikuotos medienos panaudojimas

Kadangi medienos terminis modifikavimas atrastas ir pradėtas plėtoti Suomijoje, tai ši šalis yra labiausiai pažengusi šioje medienos apdirbimo srityje. Suomiška kaitintoji mediena yra laikoma sąlyginai patikimiausia. Didžioji dalis tokios medienos kitas Europos šalis pasiekia būtent iš Suomijos. Suomija aprūpina ~62 % visos Europos poreikio. Ypač daug medienos iš Suomijos importuoja Centrinės Europos šalys, kadangi jos turi didelį kietmedžio deficitą. Taigi galima daryti prielaidą, jog ši mediena yra kokybiškiausia ir patikimiausia. 85 % kaitintosios medienos yra eglė ir pušis.

Iš pradžių pradėta modifikuoti spygliuočių medieną ir naudoti grindims ir denginiams. Vėliau imta modifikuoti įvairias medienos rūšis, netgi kaučiuką ir tikmedį.

Dėl teigiamų savybių termiškai pertvarkytoji mediena imta intensyviai naudoti fasadinėms bei vidaus dailylentėms, pirtims, stalių dirbiniais, baldams, grindiniams, sienų ir lubų plokštėms. Ypač naudinga tokią medieną naudoti lauke, nes ji yra labai atspari aplinkos poveikiams. Vėliau dėl tamsių spalvų termiškai pertvarkytoji mediena intensyviai pradėta naudoti interjerui, ypač grindų dangoms. Be to, padidėjęs matmenų stabilumas yra labai naudingas, pvz., parketlenčių montavimui.

Medžiagų gamyba naudojant termiškai modifikuotą medieną plėtojasi labai sparčiai. Augant vartojimui buvo būtina parengti termiškai modifikuotos medienos standartą. CEN TC 175 iniciavo ir vystė termiškai modifikuotos medienos Europos techninio standarto kūrimą. Šis standartas pasirodė 2007 m. Tuo pat metu buvo steigiamos ir savo veiklą plėtė ir kai kurių šalių nacionalinės

terminiškai pertvarkytosios medienos kokybės kontrolės asociacijos. Tokios asociacijos įkurtos Suomijoje, Olandijoje, Vokietijoje.

Deja, nepaisant daugybės tokios medienos privalumų atlikti bandymai atskleidė, jog terminiškai pertvarkytosios medienos sumažėja lenkimo stipris, lenkiamasis tamprumo modulis, gniuždomasis stipris išilgai medienos pluošto. Konstruktoriams tai yra svarbiausi konstrukcijų parametrai. Ir nors padidėja gniuždomasis radialinis stipris skersai medienos pluošto bei tempiamasis stipris, tačiau kol kas vengiama tokią medieną naudoti laikančiosioms konstrukcijoms. Kol nėra iki galo ištirtos visos savybės, rezultatai nesusisteminti ir neprieita bendros išvados.

Pagrindinės šios medienos laikančioms konstrukcijoms nenaudojimo priežastys yra tokios:

- Dėl dažniausiai sumažėjusios lenkiamosios galios, atsparumo apkrovų perėmimui, kintančios elgsenos dėl įtūkimų ši mediena traktuojama kaip nepatikima;
- Trūksta statinių ir dinaminių bandymų;
- Nėra projektavimo normų: terminiškai pertvarkyta mediena negali būti traktuojama kaip normali konstrukcinė medžiaga, kol jos savybės iš esmės skiriasi nuo reguliarių konstrukcinių medžiagų¹.

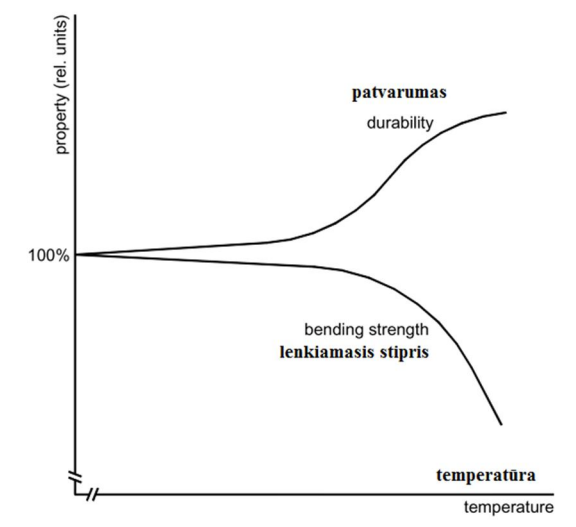
Kadangi terminiškai pertvarkytosios medienos stiprumo savybių pasikeitimas, lyginant su paprastosios medienos, pasikeičia į blogąją pusę, turi būti peržiūrėti atitinkami Europos standartų reikalavimai, taip pat nacionalinių standartų reikalavimai. Turi būti aiškiai apibrėžta, kokiai medienos rūšiai, kokį modifikavimo metodą taikant ir kokios konkrečios savybės pasikeičia. Tada galima būtų pereiti prie terminės medienos panaudojimo laikančiosioms konstrukcijoms. Kol kas tai nėra padaryta.

Tačiau augant terminiškai modifikuotos medienos naudojimui, stipriai didėja ir susidomėjimas šios medienos panaudojimu laikančiosioms konstrukcijoms. Tokia mediena laikančiosioms konstrukcijoms būtų labai puiki medžiaga, ji nereikalauja jokio papildomo cheminio apdorojimo, atspari aplinkos poveikiams. Tyrimai atliekami su įvairių rūšių mediena. Atlikus tyrimus su buko mediena, remiantis Euronormomis EN 338 „Statybinės medienos stiprumo klasės“, buvo nustatyta, kad, nepaisant to, jog kai kurios medienos stipruminės savybės sumažėja, tačiau ne taip stipriai, kad būtų galima tokią medieną kategoriškai atmesti kaip netinkamą laikančiosioms konstrukcijoms. Didžiausia tyrimo metu pastebėta problema - didelė stiprumo reikšmių sklaida. Reikalingi tyrimai ir analizė siekiant nustatyti, kodėl taip yra. Vis dėlto, remiantis atliktų tyrimų duomenimis, prieita išvada, kad kol kas nerekomenduojama naudoti terminiškai pertvarkytąją buko medieną kaip konstrukcinę. Ji gali būti naudojama nedideles apkrovas laikantiems fasado elementams ar centriškai gniuždomoms kolonomis.

¹ Europiniu lygiu, terminiškai pertvarkytosios medienos naudojimas kaip apkrovas laikančios medžiagos kol kas nėra leistinas oficialioms konstrukcijoms projektuoti, kol nėra apibrėžtas įtempių ir kitų rodiklių skaičiavimas. Stiprumo skaičiavimas EN 338 normose apibrėžia tik natūralios medienos skaičiavimo ypatumus.

Vokiečiai W. Scheidingas, J. Geckas ir B. Weibas (Scheiding *et al.* 2007) atlikę medienos terminę modifikaciją ir susisteminę gautus rezultatus, rekomenduoja kaitintąją medieną naudoti ne pagrindinėms, o ne tokioms svarbioms laikančioms konstrukcijoms, pvz., pastogėms, laiptams, save laikantiems balkonams. Tai irgi iš esmės yra atlaikančios nemažas statines ir dinamines apkrovas konstrukcijos.

Susistemintai teigiamos ir neigiamos termiškai pertvarkytosios medienos savybės atsispindi grafike, pateiktame 1.3 paveiksle.



1.3 pav. Teigiamų ir neigiamų medienos savybių kitimas augant temperatūrai

Patvarumo didėjimas ir stiprumo mažėjimas keliant temperatūrą praktiškai pasiskirsto pagal vienodą dėsnį. 1.3 paveiksle pateiktas grafikas aiškiai parodo, kad kuo labiau keliame temperatūrą, tuo labiau didėja medienos patvarumas ir atsparumas aplinkoms poveikiams, tačiau mažėja stiprumas.

2. VININIŲ JUNGČIŲ KONSTRAVIMAS, BANDYMAI, DETALI BANDINIŲ ANALIZĖ

2.1. Bandymams naudojama mediena

Norint įvertinti ar galima naudoti temiškai pertvarkytą medieną laikančiosioms konstrukcijoms bei nustatyti jos privalumus ir trūkumus, lyginant su įprastąja mediena, reikalingi labai tikslūs bandymai bei aukštos kokybės mediena. Todėl buvo nupirkta C24 klasės latviškoji (lietuviškosios atitinkamos kokybės sertifikuotos medienos nepavyko gauti) graduota, džiovinta, obliuota eglės mediena. Gautas ir klasę patvirtinantis sertifikatas. Sertifikate atsispindi klasė pagal šiuos kriterijus:

- stiprumo klasė: C24 (LST EN 338);
- atsparumo ugniai klasė: D-s2, d0 (LST EN 13501-1);
- biologinio patvarumo klasė: 4;
- specialus apdirbimas: džiovinimas, obliavimas, mašininis stiprio gradavimas;
- drėgnumas: $16 \pm 2\%$ (deklaruotas drėgnis, vėliau bandymais bus nustatytas tikrasis).

Medienos klasę įrodo ir specialūs žymenys ant kiekvieno tašo (2.1 pav.).



2.1 pav. Medienos klasę įrodantys žymenys

Bandymus atlikti buvo nuspręsta su didesnio skerspjūvio mediena, kad bandiniai kuo labiau atitiktų realių konstrukcijų jungtis. Medienos tiekėjas galėjo pasiūlyti 45x195 mm skerspjūvio ir 3600 mm ilgio tašus, tad jie ir buvo pasirinkti.

Pusė medienos buvo išvežta terminiam apdorojimui, o kita pusė atkeliavo tiesiai į laboratoriją ir 4 savaites stovėjo laboratorinėmis sąlygomis. Mediena buvo užkrauta specialiais svarmenimis tam, kad mažiau galėtų deformuotis vykstant natūraliam medienos džiovimo procesui. Net ir atvežus iškaitintą medieną, ji visą bandymų laiką buvo laikoma uždengta ir apkrauta svarmenimis, siekiant gauti kuo mažesnę atmosferos poveikį (2.2 pav.).



2.2 pav. Medienos laikymas laboratorijoje visą bandymų laikotarpį

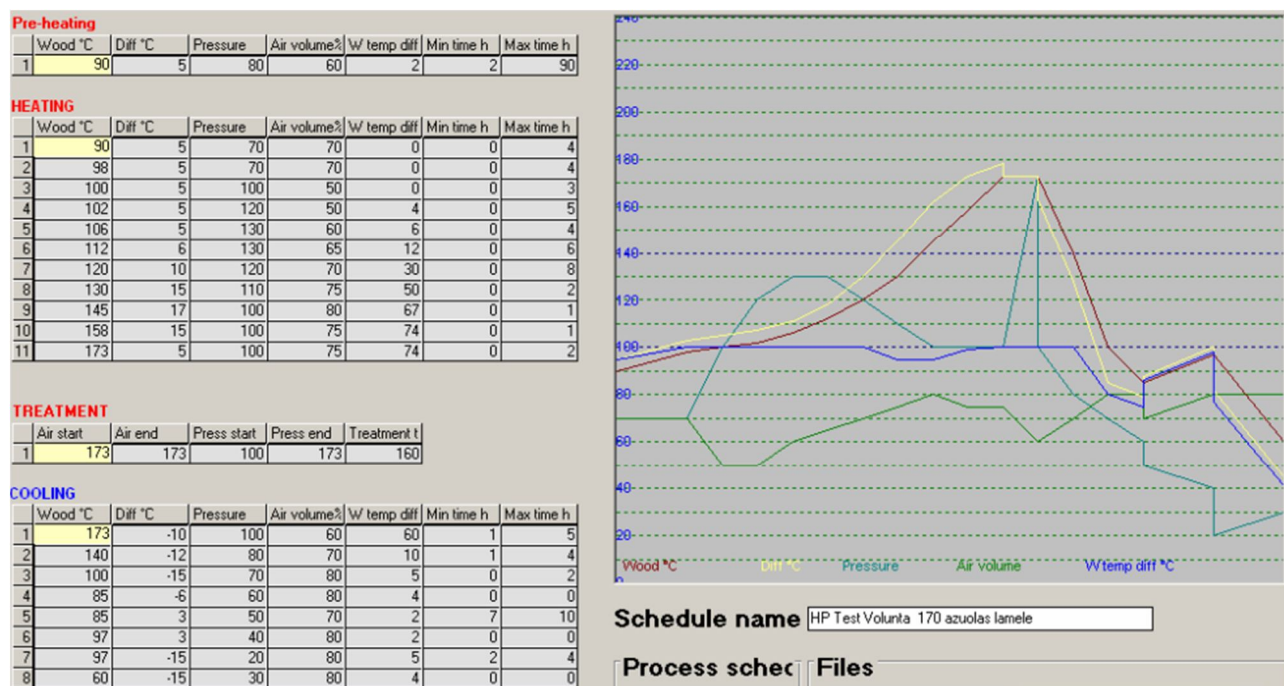
2.2. Tiriamiems bandiniams naudotos medienos terminio apdorojimo technologija

Lietuvoje yra vos viena įmonė, kuri termiškai modifikuoja medieną. Paprastai visos įmonės įsiveža jau iškaitintą medieną kaip žaliavą tam tikriems gaminiams iš Skandinavijos. Ši įmonė medieną termiškai apdoroja pati. Įmonė geranoriškai sutiko mokslo tikslams iškaitinti ir bandymams reikalingą medieną. Kaitinimui naudojama skandinaviška terminio apdorojimo technologija – „ThermoWood“. Įmonė didelio skerspjūvio medieną kaitina 173 °C temperatūroje. Todėl tokioje temperatūroje buvo apdorota ir mūsų mediena.

„ThermoWood“ technologija yra aprašyta 1 skyriuje. Mediena modifikuojama naudojant aukšto slėgio vandens garus, taip apsaugant ją nuo užsiliepsnojimo.

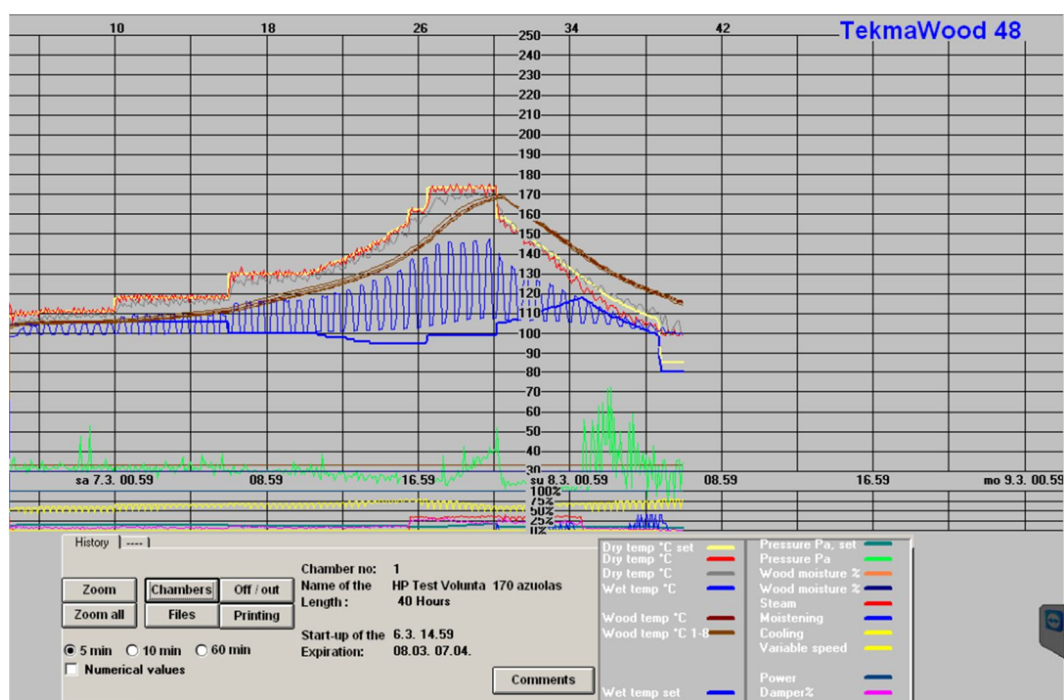
Įmonėje mediena apdorojama keliais etapais:

- 1) Pirminis medienos džiovinimas – šiame etape mediena džiovinama apie 90 valandų ir paruošiama kaitinimui aukšta temperatūra;
- 2) Įkaitinimas – šiame etape vykdomas temperatūros kėlimas iki projektinės;
- 3) Terminis apdorojimas – mediena tam tikrą laiką išlaikoma projektinėje temperatūroje;
- 4) Aušinimas – mediena atvėsinama ir terminio apdorojimo procesas baigiamas (2.3 pav.).



2.3 pav. 173 °C temperatūroje apdorojamos medienos kaitinimo grafikas

Kadangi mūsų mediena jau buvo nupirkta išdžiovinta, tai pirmą etapą (pirminis medienos džiovinimas) praleidome. Procesas pradėtas nuo antrojo etapo (įkaitinimas). 2.3 paveiksle kairėje matyti visų procesų temperatūra ir jos pokytis (Wood °C), kaip keliame temperatūra kameroje (Diff °C), slėgis (Pressure), oro kiekis kameroje (Air volume, %), aušinimo garų temperatūros pokytis (W temp diff) ir laikas (Min time h/Max time h). Dešinėje 2.3 paveikslo pusėje pateiktoje diagramoje matyti išvardintų rodiklių temperatūros pokyčio kreivės laiko atžvilgiu.

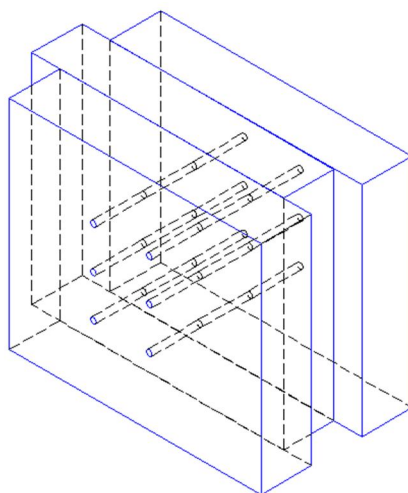


2.4 pav. 173 °C temperatūroje termiškai apdorojamos medienos temperatūrų pokyčių kreivės laiko atžvilgiu

Kaip matyti 2.4 paveiksle, visas terminio apdorojimo procesas užtruko 40 valandų. Po apdorojimo mediena buvo įvyniota į pakavimo plėvelę, kad būtų apsaugota nuo tiesioginio atmosferos poveikio, ir vežama į laboratoriją.

2.3. Pasiruošimas bandymams, metodo parinkimas, bandinių konstravimas ir medienos atranka

Kaip pagrindinis tyrimų objektas pasirinktos bene seniausios statybinės medienės konstrukcijos naudojamos vininės jungtys. Bandymai atliekami remiantis standartais LST EN 1380:2009 (pagrindiniai reikalavimai jungtims konstruoti, apkrovos pridėjimo pobūdžio parinkimas) ir LST EN 26891:2000 (apkrovos pridėjimo pobūdis, apkrovos trukmė ir pagrindinių rodiklių skaičiavimo principai) bei laboratorinių darbų metodika (Gurkšnys, Kavaliauskas 2011). Tyrimams pasirinktos simetrinės dvišlytės jungtys su 6 vinimis (2.5 pav.).



2.5 pav. Simetrinė dvišlytė jungtis su 6 vinimis

Šešios vinys ir didelis medienos skerspjūvis (45x195 mm) pasirinkta siekiant labiau įvertinti medienos elgseną jungtyje ir kuo labiau imituoti realių statybinių konstrukcijų jungčių darbą. Bandymams pasirinkta po 15 jungčių su termiškai modifikuota mediena ir 15 – su paprastąja mediena. Nepaisant to, jog bandymams naudota aukštos klasės mediena, ji dar buvo kruopščiai atrenkama ir bandinių elementai išpjaujami iš kiek įmanoma mažiau defektuotų vietų (2.6 pav.).



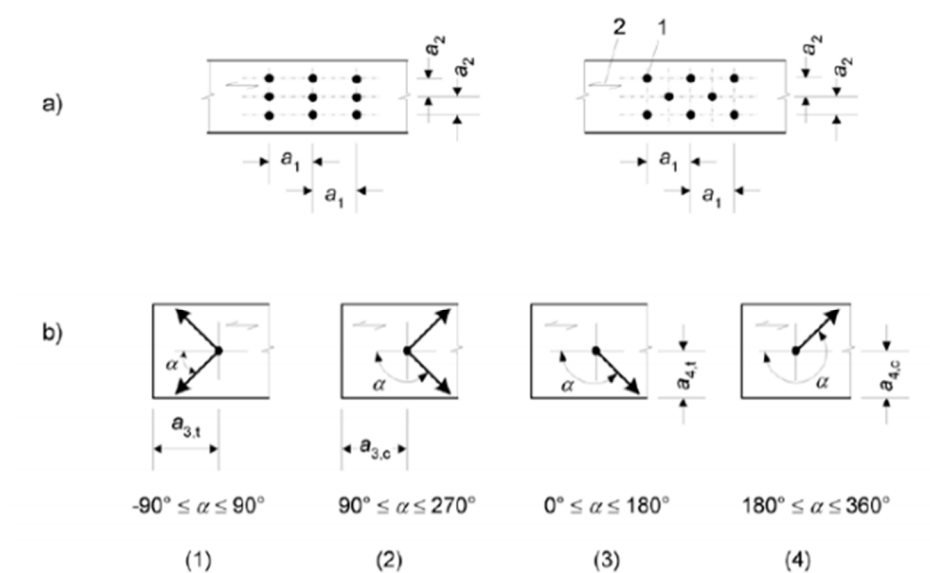
2.6 pav. Vietų su defektais pašalinamas iš medinių tašų

Pagrindinis jungčių konstravimo kriterijus buvo mažiausieji tarpai tarp vinių ir atstumai nuo medinių elementų kraštų ir galų (1 lentelė ir 2.7 pav.).

1 lentelė. Mažiausieji tarpai tarp vinių ir atstumai nuo krašto bei galo (pagal LST EN 1995-1-1:2005)

Tarpas arba atstumas (žr. 1.4 pav.)	Kampas α	Mažiausias tarpas arba atstumas nuo krašto (galo)		
		Skylės neišgręžtos		Skylės išgręžtos
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg / m}^3$	$420 \text{ kg / m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg / m}^3$	
Tarpas a_1 (lygiaigretus su pluoštu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm};$ $(5 + 5 \cos \alpha)d;$ $d \geq 5 \text{ mm};$ $(5 + 7 \cos \alpha)d$	$(7 + 8 \cos \alpha)d;$	$(4 + \cos \alpha)d;$
Tarpas a_2 (statmenas pluoštui)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3 + \sin \alpha)d;$
Atstumas $a_{3,1}$ (iki apkrauto)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha)d;$	$(15 + 5 \cos \alpha)d;$	$(7 + 5 \cos \alpha)d;$

galo)				
Atstumas $a_{3,c}$ (iki neapkrauto galo)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Atstumas $a_{4,1}$ (iki apkrauto galo)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5mm;$ $(5 + 2 \sin \alpha)d;$ $d \geq 5mm;$ $(5 + 5 \sin \alpha)d$	$d < 5mm;$ $(7 + 2 \sin \alpha)d;$ $d \geq 5mm;$ $(7 + 5 \sin \alpha)d$	$d < 5mm;$ $(3 + 2 \sin \alpha)d;$ $d \geq 5mm;$ $(3 + 4 \sin \alpha)d$
Atstumas $a_{4,c}$ (iki neapkrauto galo)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$



2.7 pav. Tarpai ir atstumai nuo krašto: a) tarpai su pluoštu lygiagrečioje eilėje, statmeni pluoštui tarp eilių, b) atstumai nuo krašto iki galo

Jungtims naudotos 5x150 mm sertifikuotos vinys (LST EN 10230-1) (2.8 pav.)

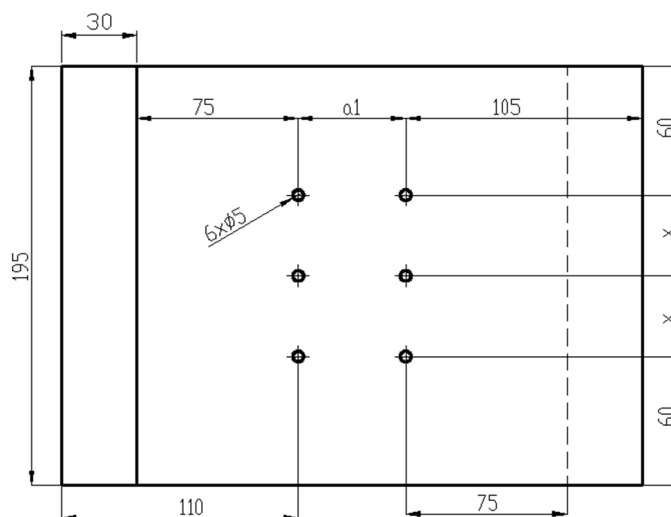


2.8 pav. Jungtims naudotos vinys

Konstruojant jungtis buvo išlaikyti minimalūs atstumai nuo kraštų ir galų:

- iki apkrauto krašto $a_{4,t} \geq 12d = 60mm$,
- iki apkrauto galo $a_{3,t} \geq 20d = 105mm$,
- iki neapkrauto galo $a_{3,c} \geq 15d = 75mm$.

Kraštinės vinys kalto laikantis atstumo $a_{4,t}$, o trečioji per vidurį. Jungtims pasirinktas kintamas matmuo a_1 , priimant jį $9d = 45mm$, $11d = 55mm$, $14d = 70mm$, $16d = 80mm$, $19d = 95mm$ (2.9 pav.).



2.9 pav. Bandinio eskizas

Nors vinys kaltos prieš tai prasigrėžus, tačiau atsižvelgiant į tai, jog termiškai pertvarkytoji mediena yra daug trapesnė ir jautresnė dinaminiams poveikiams, vadovautasi tais LST EN 1995-1-1:2005 reikalavimais, kurie skirti kalti neprasigrėžus.

Kiekvienam matmeniui pasirinkta po 3 bandinius tiek termiškai pertvarkytosios medienos, tiek ir paprastosios. Viso 30 bandinių.

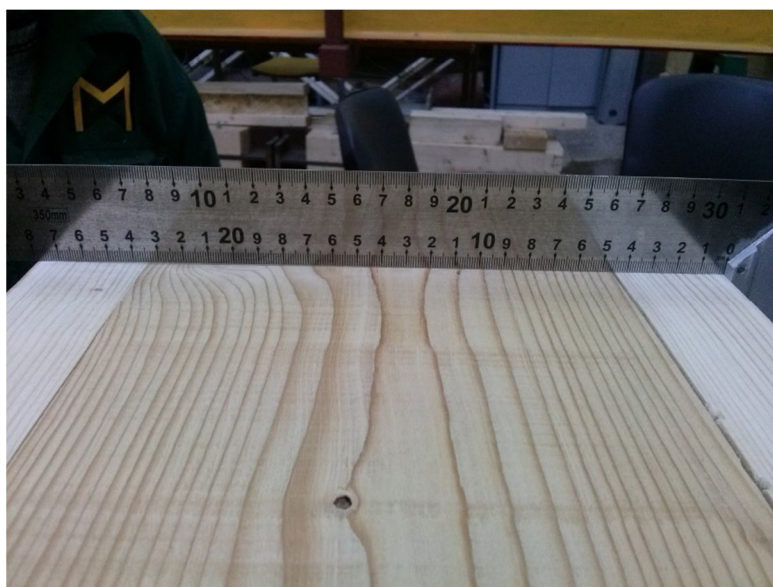


2.10 pav. Sukonstruoti bandiniai

Prieš tai buvo nustatyta, kad kai vinys kalamos į termiškai modifikuotą medieną, ji skyla. Todėl buvo pasirinkta metodika kalti vinis prieš tai pragrėžus kiaurymes. Dėl kaitinimo proceso ir, manoma, dėl netinkamo eksploatavimo mediniai tašai šiek tiek išlinko išilgai ir skerspjūvis tapo ne idealiai stačiakampis, o arkos formos. Kadangi kaitintoji mediena yra labai jautri dinaminiam poveikiui, tai esant nelygiam skerspjūviui ir kalant vinis ji žymiai greičiau skyla. Todėl bandiniai buvo statomi į specialiai sukonstruotą šabloną (2.11 pav.). Šablonas sukurtas dar ir dėl to, kad bandiniai būtų kuo tikslesni ir elementai kalant neprasislinktų vienas kito atžvilgiu. Šablono dugnas suformuotas visiškai lygus, kad kalant bandiniai būtų stabilūs ir dėl dinaminės apkrovos neatsirastų įtrūkių ir mediena neskiltų (2.12 pav.).

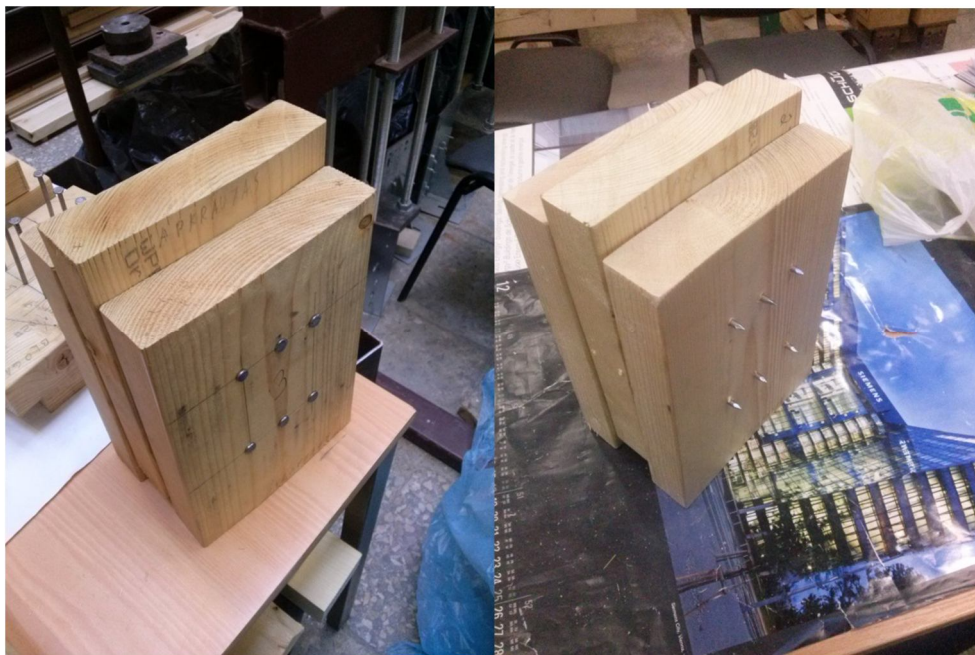


2.11 pav. Bandinys šablone



2.12 pav. Suformuotas lygus šablono dugnas

Ištačius bandinius į šablona, plienui skirtu gražtu buvo gręžiamos 4 mm skersmens kiaurymės. Pragręžus kiaurymę per visus tris elementus, buvo kalama 5 mm skersmens vinis, paliekant iškištą vinies galvutę. Tada gręžiama antra kiaurymė ir vėl kalama vinis. Taip kartojama, kol jungtis visiškai sukonstruojama. Visos vinys buvo kalamos iš vienos pusės (2.13 pav.). Sukalus vinis, jungtis išimama iš šablono ir apžiūrima, ar vinys išlaiko reikiamus atstumus iki kraštų ir galų, įvertinimi atsiradę defektai ir ruošiamasi bandymui. Visi bandiniai sunumeruojami. Numeruojama iš eilės didėjančia tvarka, pradedant nuo vieneto. Numeruoti ir blogi bandiniai, kurie nenaudoti bandymams (pvz., kai kalant trūko elementai ar sukalus nebuvo išlaikyti reikiami atstumai).



2.13 pav. Bandiniai, išimti iš šablono

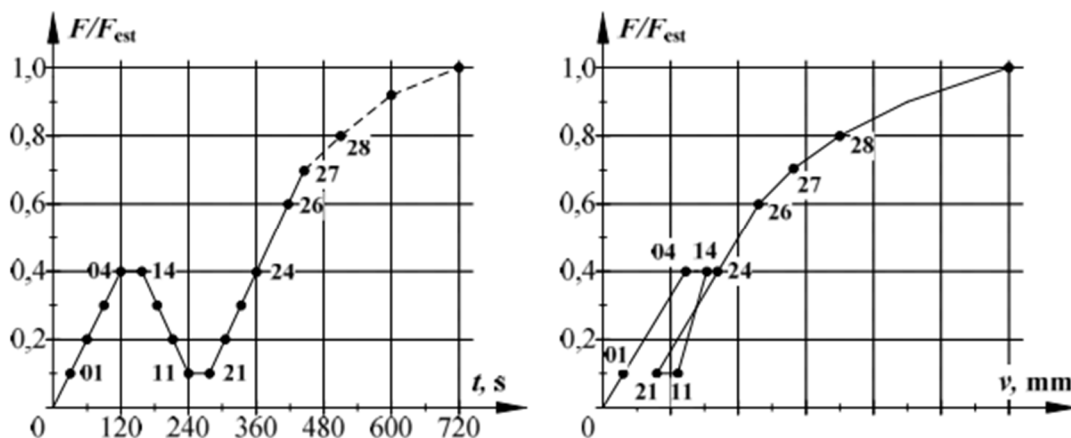
Apžiūrėjus bandinį ir nustačius, kad jis tinkamas bandyti, prie jo abiejų šonų prijungiami poslinkių matuokliai. Bandinys statomas į programiškai valdomą gniuždymo mašiną, kuri prijungta prie kompiuterio su programine įranga. Įranga viso bandymu metu fiksuoja, kaip kinta apkrova, poslinkiai, kokia aplinkos temperatūra ir santykinė oro drėgmė.

Ištačius į mašiną, bandinys sureguliuojamas ir išcentruojamas. Tai pasiekama panaudojus bandinio atrėmimo apatinėje dalyje esančius varžtus. Tada bandinys apkraunamas nedidele apkrova (iki 200 N) siekiant užfiksuoti jo padėtį. Visa tai atlikus pradedamas bandymas. Laikas fiksuojamas chronometru.

Bandymo tikslas yra nustatyti maksimalią jėgą (jungties laikomąją galią) $F_{\max}$, kurią pasiekęs bandinys suyra, arba jėgą esant ribinei 15 mm slinkčiai. Bandymas vykdomas keliant apkrovą pastoviu greičiu t . Pasiekus 40 % prognozuojamosios apkrovos $0,4F_{est}$, mašina stabdoma ir bandinys išlaikomas 30 s esant pastoviai apkrovai. Tada apkrova yra mažinama iki pasiekiamo 10 % prognozuojamosios apkrovos $0,1F_{est}$ ir bandinys vėl išlaikomas 30 s esant pastoviai apkrovai. Nuo šio taško apkrova jau didinama iki $F_{\max}$ arba $v_{\lim} = 15mm$. Tai yra standartinė vininės jungties bandymo procedūra, aprašyta standarte LST EN 26891:2000.

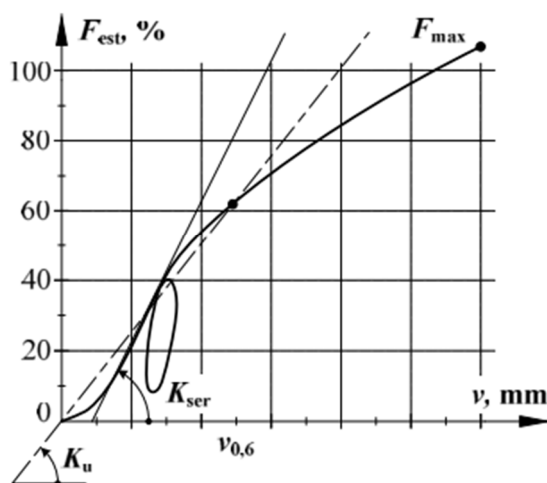
Prognozuojamoji apkrova buvo nustatyta išbandžius 2 kaitintus ir 1 nekaitintą bandinius, sukonstruotus iš 235 mm ilgio elementų. Bandoma buvo apkraunant 2 mm/min greičiu. Nustatyta, kad jų vidutinė prognozuojamoji ardomoji apkrova yra 26,1 kN. Tačiau, kadangi bandinių kiekis nedidelis, ir jų rezultatų sklaida galimai yra didelė. Taip pat siekiama neviršyti 40 % maksimalios laikomosios galios bei nepereiti iš tamprios stadijos į plastinę. Tai prognozuojamoji maksimali apkrova sumažinta

iki $F_{est} \approx 25,0 kN$. Apkrovimo greitis pakoreguotas iki 1,25 mm/min. Tokiu greičiu toliau bus išbandyti visi bandiniai. Esant 1,25 mm/min greičiui, ribinė slinktis $v_{lim} = 15 mm$ turėtų būti pasiekta per maždaug 12 min. Tai yra optimalus bandymo laikas. Bendras rekomenduojamas šio bandymo laikas 10-15 min (LST EN 26891:2000).



2.14 pav. Preliminari bandymų schema (LST EN 26891:2000)

Kai apkrova siekia iki 40 % laikomosios galios, jungties elgsena yra tampriai plastinė. Didėjant apkrovai, jungtis pradeda deformuotis plastiškai, netiesinė deformacinės jėgos kreivės dalis atsispindi diagramoje. Kai jungties elgsena yra tampriai plastinė, ribiniams būviams skaičiuoti išskiriami du deformacijų moduliai - K_{ser} ir K_u (LST EN 26891:2000).



2.15 pav. Jungčių deformacijų moduliai (LST EN 26891:2000)

K_{ser} - deformacijų modulis, taikomas tinkamumo ribiniam būviui, o K_u - saugos ribiniam būviui.

K_{ser} apskaičiuojamas ne pagal faktinę deformacinę jėgos kreivę, bet pagal pakoreguotas pradinės slinkties reikšmes tokiomis formulėmis:

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}), \quad (1.1)$$

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}}, \quad (1.2)$$

čia $v_{i,mod}$ - modifikuota pradinės slinkties reikšmė; v_{01} ir v_{04} - jungties slinktis, mm, kai apkrova yra atitinkamai $0,1F_{est}$ ir $0,4F_{est}$. Šitaip koreguojant pradinės deformacijas yra eliminuojamos puriosios deformacijos. Toks pakoregavimas galutiniam rezultatui įtakos beveik neturi.

Deformacijų modulis saugos ribiniam būviui vertinti nustatomas pagal faktinę deformacinę jėgos kreivę santykiu:

$$K_u = \frac{0,6F_{max}}{v_{0,6}}, \quad (1.3)$$

čia F_{max} - jungties laikomoji galia, kai slinktis neviršija 15 mm, arba jėga, atitinkanti 15 mm slinktį; v_{06} - jungties slinktis, esant apkrovos reikšmei $0,6F_{max}$.

2.4. Bandiniai, jų defektai, bandymų eiga ir rezultatai

Iš kiekvienos bandinių grupės (kaitintieji 275, 260, 250, 235 ir nekaitintieji 275, 260, 250, 235) bus detalai aprošoma po vieną bandinį. Visi bandiniai, konstruojami iš 225 mm ilgio elementų skilo, atstumas $a_1 = 9d = 45mm$ netenkino LST EN 1995-1-1:2005 reikalavimų. Sėkmingai sukonstruotiems bandiniams sudaromas tarsi techninis pasas su visais nustatytais rodikliais. Kiti serijos bandiniai aprašomi trumpiau nurodant svarbiausius bandymo rodiklius, taip išvedamos vidutinės kreivės 3 bandiniams.

Pirmiausiai buvo išbandytos jungtys, sukonstruotos iš 275 mm ilgio elementų. Šiose jungtyse atstumas tarp vinių išilgai medienos pluošto $a_1 = 19d = 95mm$.

Išbandyti kaitintieji bandiniai nr.3, 5, 6 ir paprastosios medienos bandiniai nr. 7, 8 ir 9.

2.4.1. Kaitintieji bandiniai iš 275 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 3 jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai priglundę vienas prie kito (tarpų nėra).

Atliekant 3 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,82 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 29,43 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 4,79 %, tankis – 452,63 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 29,2\text{kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 7,59\text{mm}$.



2.16 pav. Bandinys nr. 3 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 6 jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Vienas bandinio šonas šiek tiek nelygus, nes truputį skyrėsi bandinio elementų pločiai. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai priglundę vienas prie kito (tarpų nėra).

Atliekant 6 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 20,21 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 26,65 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 4,91 %, tankis – 439,75 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 29,54\text{kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 7,07\text{mm}$.



2.17 pav. Bandinys nr. 6 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 5, sukonstruotas iš kaitintos medienos, jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).

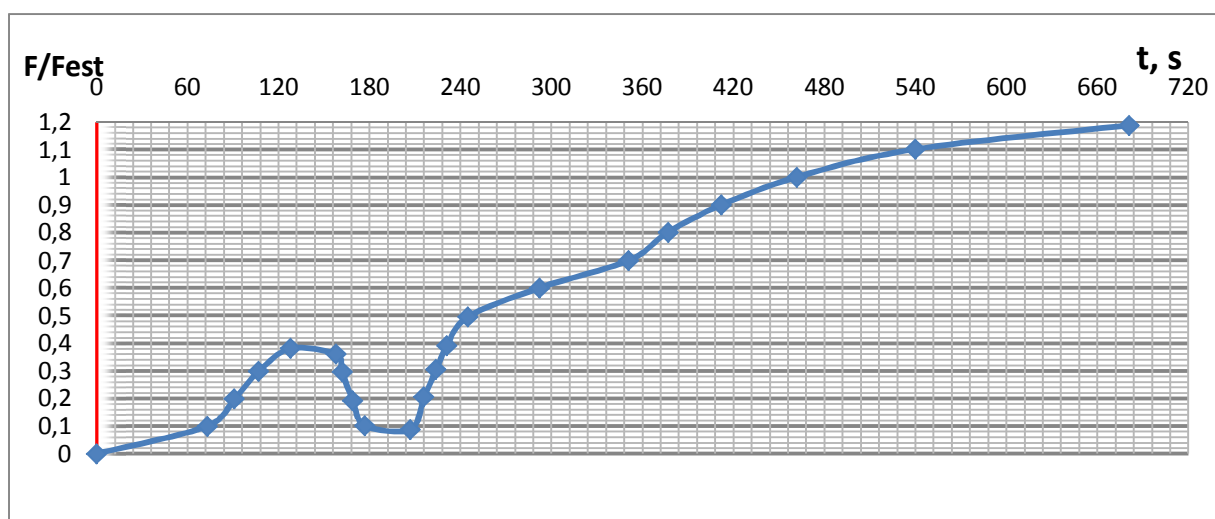


2.18 pav. Bandinys nr. 5 bandymo metu ir po bandymo

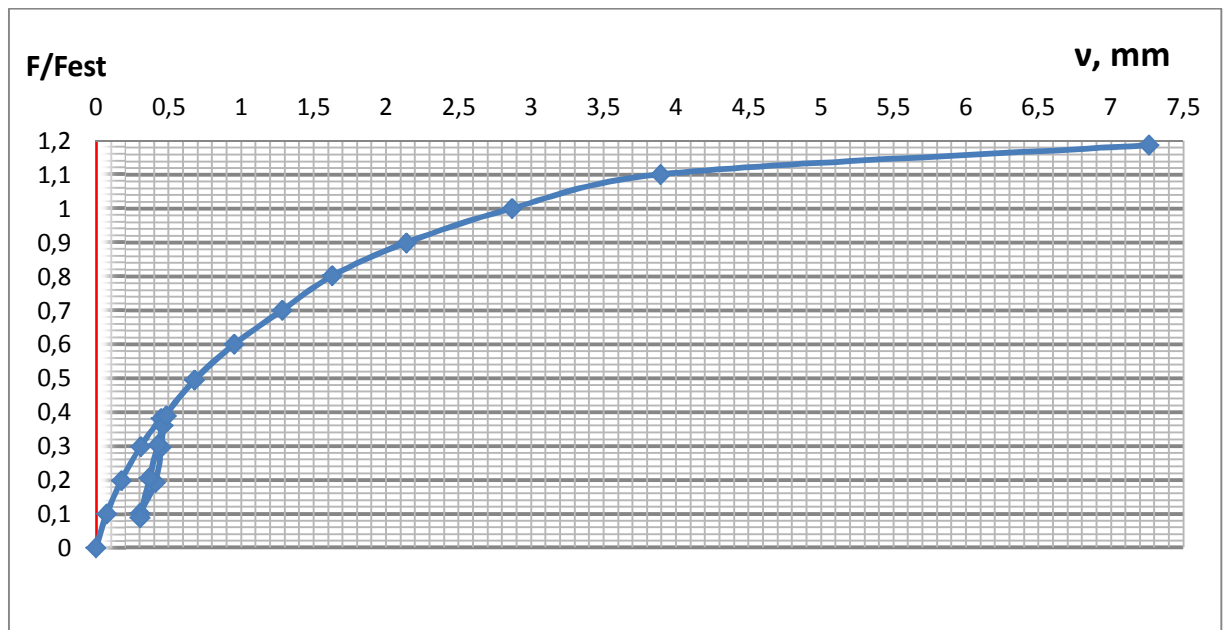
Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje po truputį kilo nuo 19,62 °C iki 19,75 °C. Vidutinė temperatūra 19,68 °C. Temperatūra beveik idealiai atitinka standartinės aplinkos salygų temperatūrą, santykinė oro drėgmė labai skiriasi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu 27,27 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 4,48 %. Tai rodo, kad mediena yra visiškai sausa ir yra beveik 3 kartus sausesnė už norminę 12 % ribą. Bandinio elementų tankis 444,05 kg/m³. Tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 5 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 128 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 30 s. Nors ir apkrovimas buvo sustabdytas, tačiau išlaikant pastovią

apkrovą dėl gniuždymo mašinos techninių parametrų bei grįžtamųjų deformacijų ji sumažėjo nuo 9,53 kN iki 9,01 kN (5,46 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 2,54 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Per šį laiką apkrova sumažėjo iki 2,21 kN (13 %). Tai gana didelis pokytis. Kadangi dirbama tamprioje stadijoje, pasireiškia grįžtamosios deformacijos. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 29,7 \text{ kN}$. Pasiekus maksimalią apkrovą, atsirado plyšys išilgai pluošto viršutiniame elemente ties viduriniąja vinių eile (2.18 pav.). Tikriausiai bandinys turėjo vizualiai nematomą mikrotrūkį. Apkrova pradėjo po truputį kristi, tačiau plyšys nebedidėjo. Galima daryti išvadą, kad plyšio įtaka jungties laikomajai galiai yra nedidelė, kadangi elementai yra sukalti net šešiomis vinimis ir yra tarsi užmonolitinti. Viename elemente atsiradus trūkiui, jungtis toliau laikė apkrovą, prarasdama laikomąją galią iš lėto. Pasiekus maksimalią apkrovą, slinktis buvo santykinai nedidelė – $v_{\max} = 7,26 \text{ mm}$. Atlikus bandymą jungtis buvo praskelta, kad būtų galima pažiūrėti, kas vyko jos viduje. Vinyi veikiant apkrovai buvo lenkiamos, tačiau takumo įtempių nepasiekė, nes mediena suiro greičiau. Vinims lenkiantis ir prasislenkant elementams, vinių vietose atsirado deformacijos (2.18 pav.).



2.19 pav. Bandinio nr. 5 laikinė galios kreivė



2.20 pav. Bandinio nr. 5 deformacinė jėgos kreivė

Kaip matyti iš 2.19 ir 2.20 paveikslų, diagramos yra gana artimos teorinėms. Idealus tiesiškumas kreivėse neatsispindi, nes išlaikant pastovią apkrovą 30 s, ji šiek tiek mažėjo. Išlaikyti nekintančią apkrovą neleido gniuždymo mašinos techniniai parametrai. Pasiiekta maksimali apkrova $F_{\max} = 29,7 \text{ kN}$ yra 4,7 kN (18,8 %) didesnė už prognozuojamąją $F_{\text{est}} = 25,0 \text{ kN}$. Rezultatas yra logiškas, kadangi, lyginant su bandomosiomis jungtimis, kai buvo nustatoma F_{est} , padidėjo jungčių elementų ilgis nuo 235 mm iki 275 mm. Bandinys vizualių defektų neturėjo ir suiro staiga, nuo galimai nematomo mikrotrūkio. Maksimalios apkrovos pasiekimo momentu užfiksuota slinktis $v_{\max} = 7,26 \text{ mm}$ ir ji yra dvigubai mažesnė už ribinę. Tai dar kartą patvirtina, kad tokios jungties elementai yra gerai sukibę ir dalinai dirba kartu.

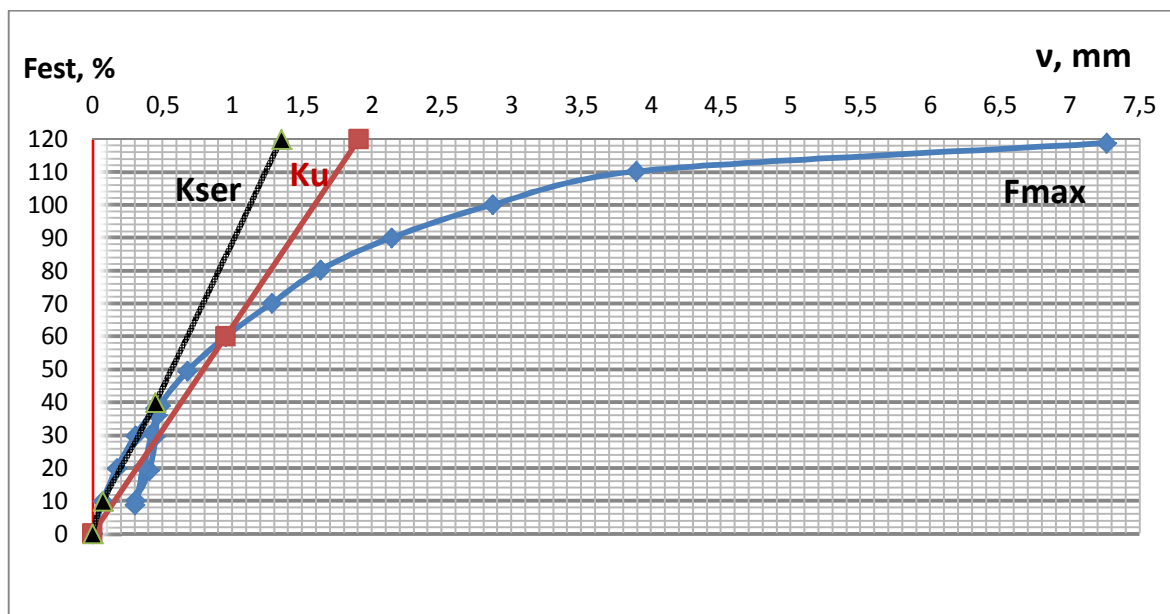
Bandinio nr. 5 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{\text{ser}} = \frac{F_{\text{est}}}{v_{i,\text{mod}}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,503} = 49,71 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

$$v_{i,\text{mod}} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,451 - 0,074) = 0,503 \text{ mm}.$$

Bandinio nr. 5 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

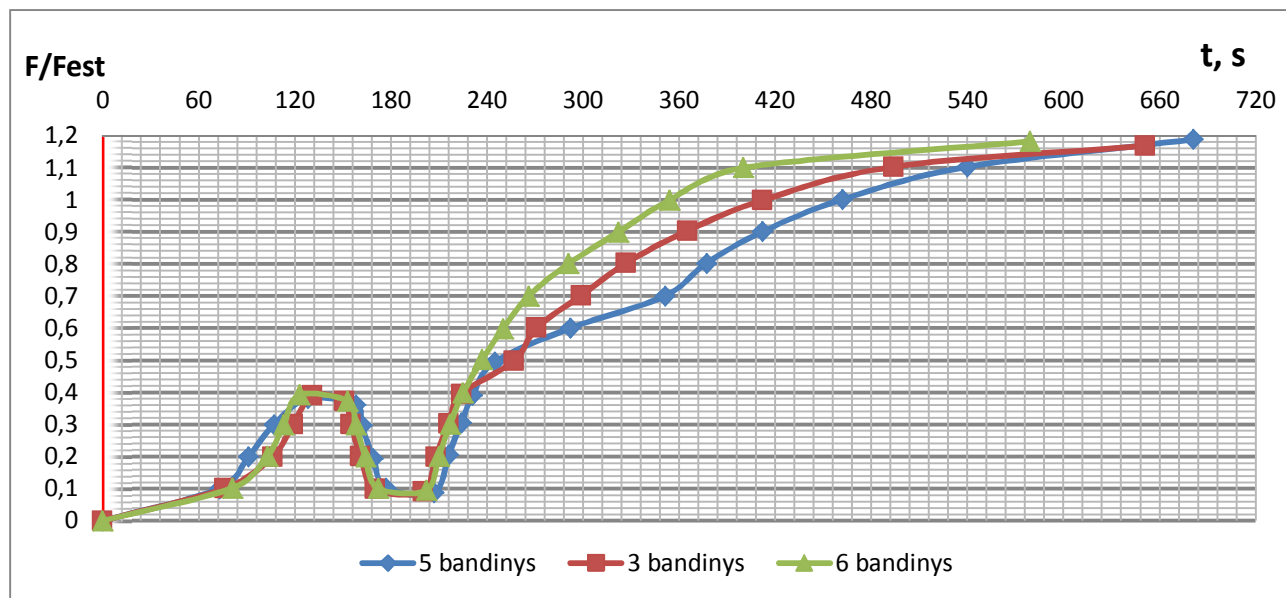
$$K_u = \frac{0,6 F_{\max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 29,7 \cdot 10^3}{0,953} = 18,7 \cdot 10^3 \text{ N / mm}.$$



2.21 pav. Bandinio nr. 5 deformacijų moduliai

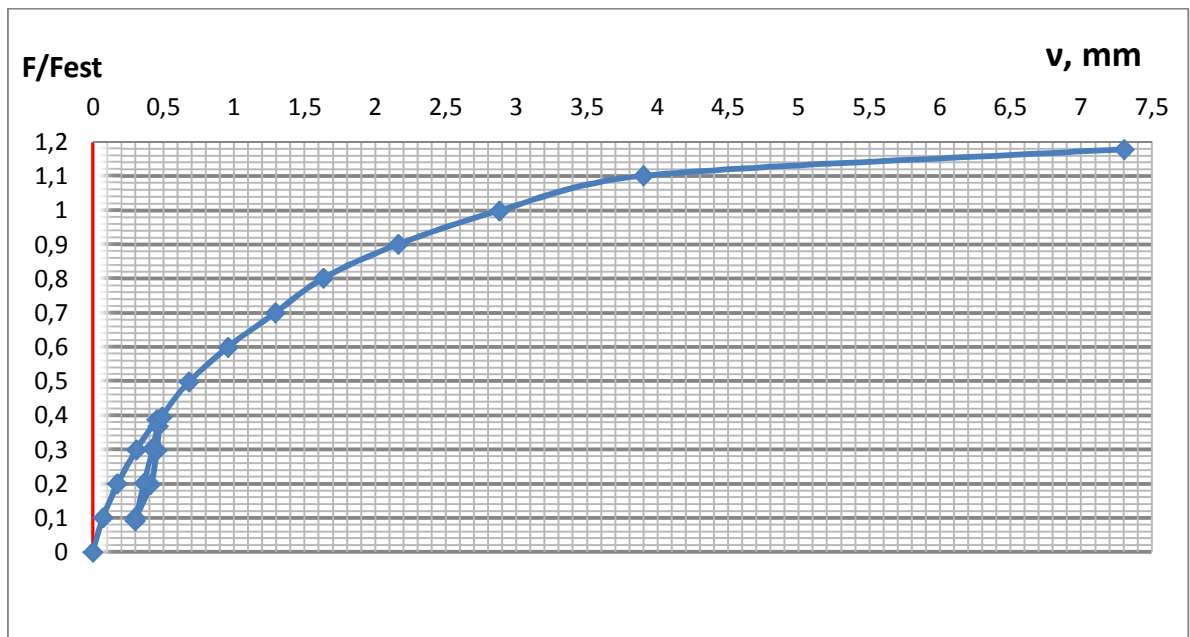
2.4.2. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 275 mm ilgio elementų rezultatai

3, 5 ir 6 bandiniams išvedami rezultatų rodikliai ir sudaromos bendros kreivės visai bandinių grupei.

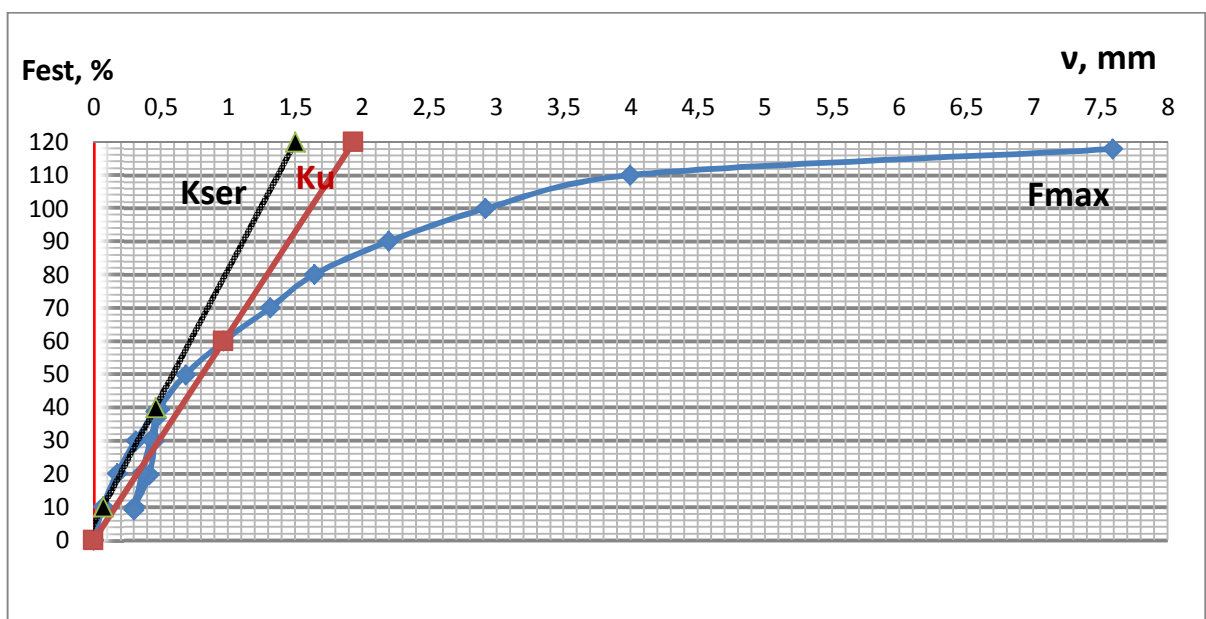


2.22 pav. Bandinių nr. 3, 5 ir 6 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.22 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos yra gana panašios. Pasiektos maksimalios apkrovos yra labai artimos (29,7 kN, 29,54 kN ir 29,2 kN). Tamprioje stadijoje bandinių kreivės praktiškai sutampa. Kreivės išsiskiria tik tada, kai bandiniai pradeda deformuotis plastiškai (viršijus $0,4F_{est}$). Tačiau galiausiai rezultatai sueina į vieną tiesę (maksimali pasiekta apkrova labai panaši).



2.23 pav. Bandinių nr. 3, 5 ir 6 vidutinių reikšmių deformacinė jėgos kreivė



2.24 pav. Bandinių nr. 3, 5 ir 6 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.3. Nekaitintieji bandiniai iš 275 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 8 turėjo ~ 4,5 cm pločio šaką viršutiniame elemente, orientuotą skersai medienos pluošto. Jokių kitų vizualių defektų ir pažeidimų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).

Atliekant 8 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 20,15 °C. Temperatūra beveik idealiai atitinka standartinės aplinkos sąlygų temperatūrą. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis

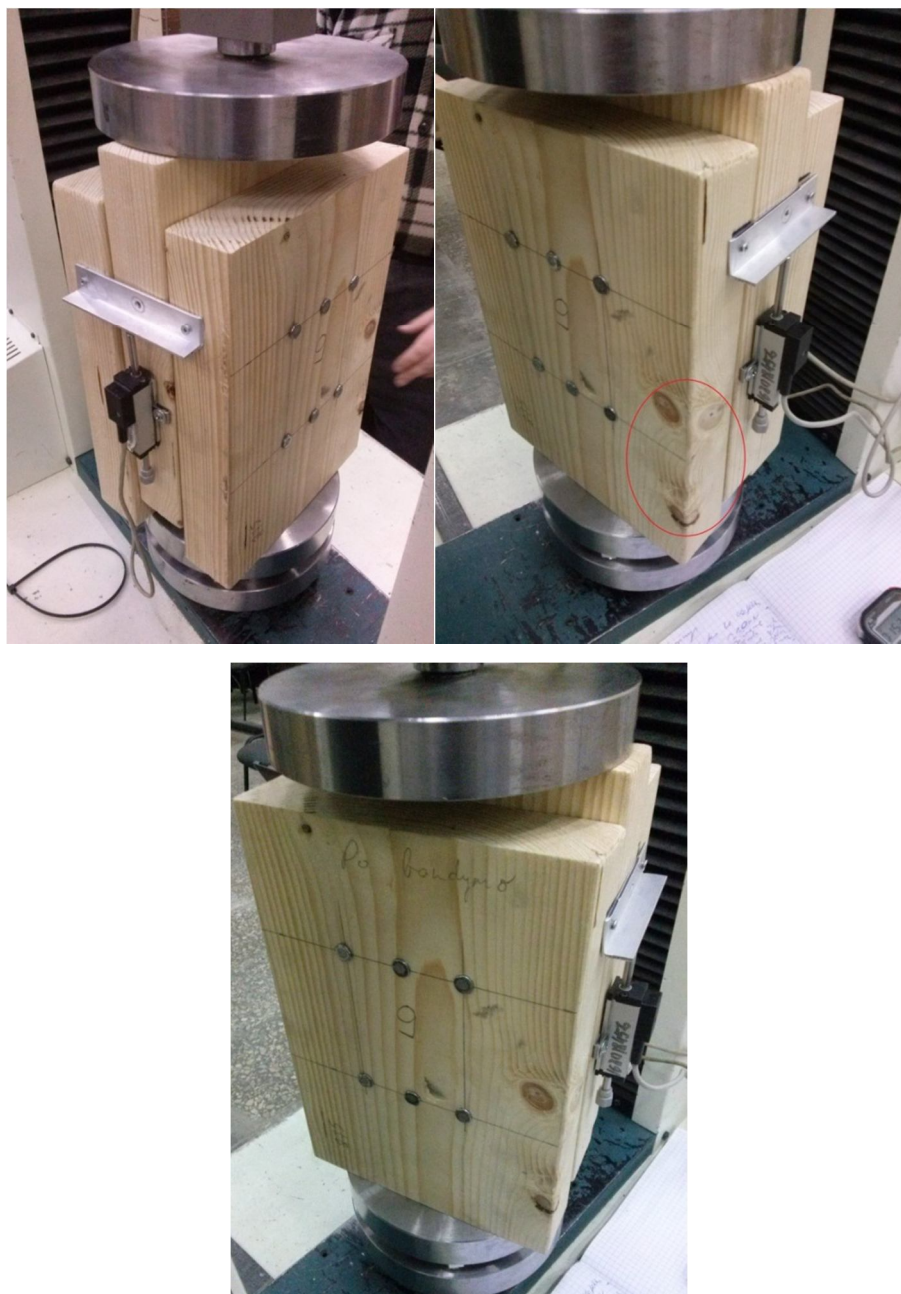
26,5 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 9,86 %, tankis – 464,17 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 26,7kN$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $\nu_{\max} = 8,5mm$.



2.25 pav. Bandinys nr. 8 po bandymo

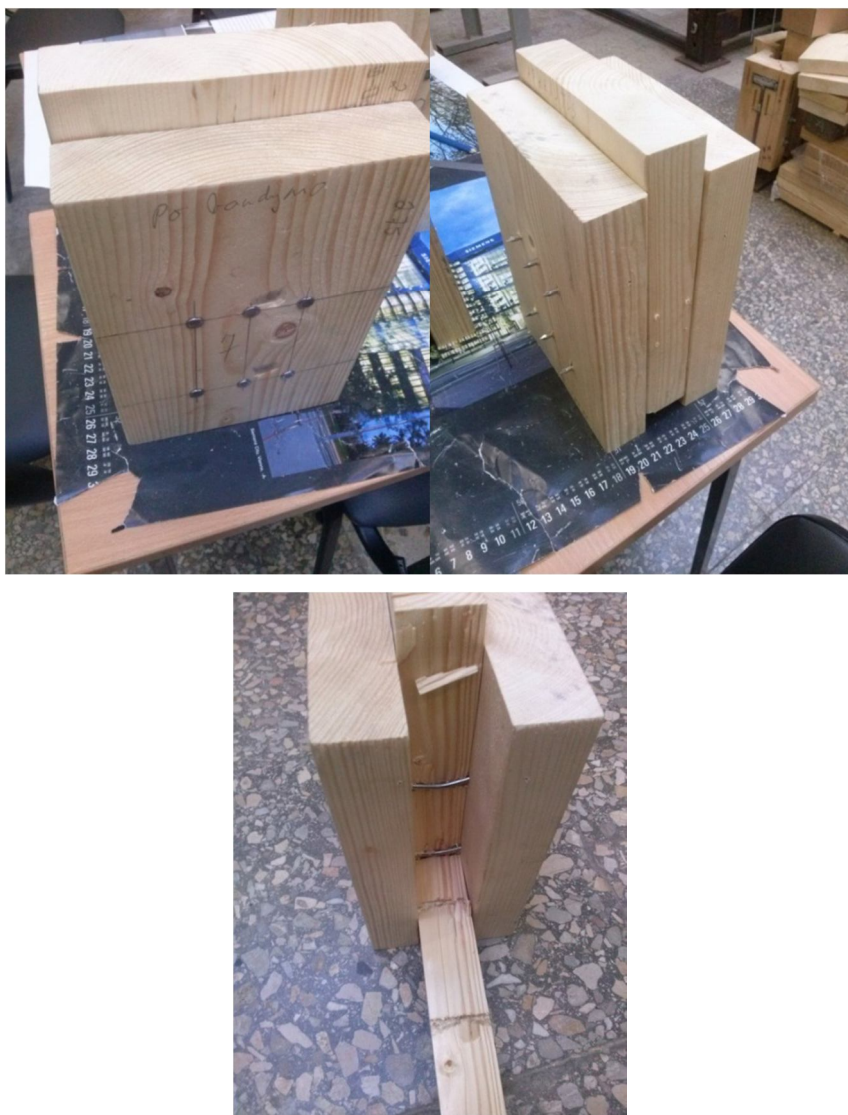
Bandinys nr. 9 turėjo šakų viršutiniame ir apatiniame elementuose (2.26 pav.). Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai priglundę vienas prie kito (tarpų nėra).

Atliekant 9 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,04 °C. Tai viena mažiausiųjų temperatūrų laboratorijoje per visą bandymų laiką. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 32,51 %. Oro drėgnis yra didesnis nei 7 ir 8 bandinių bandymų metu. Temperatūrą ir oro drėgnį įtakojo atidarytas langas ir drėgnas oras lauke. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 9,98 %, tankis – 465,36 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 28,86kN$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $\nu_{\max} = 9,73mm$.



2.26 pav. Bandinys nr. 9 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 7 (nekaitintas). Didelių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšiai neatsivėrė. Du elementai turėjo po nedidelę šaką. Išlaikyti reikiama atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito. Vienas jungties šonas šiek tiek nelygus (nesuformuota lygi plokštuma dėl nevienodų elementų pločių).

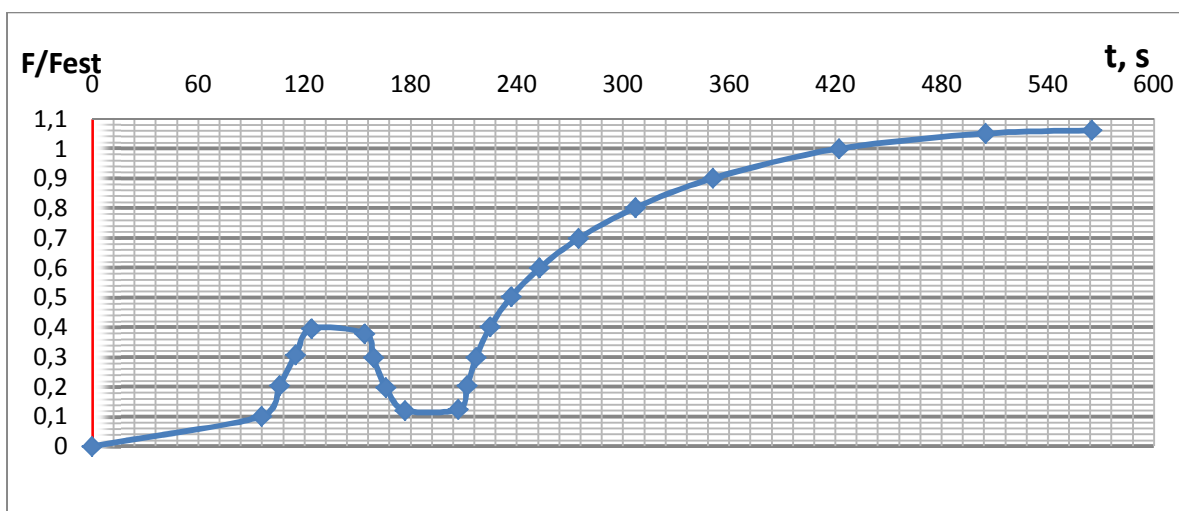


2.27 pav. Bandinys nr. 7 po bandymo

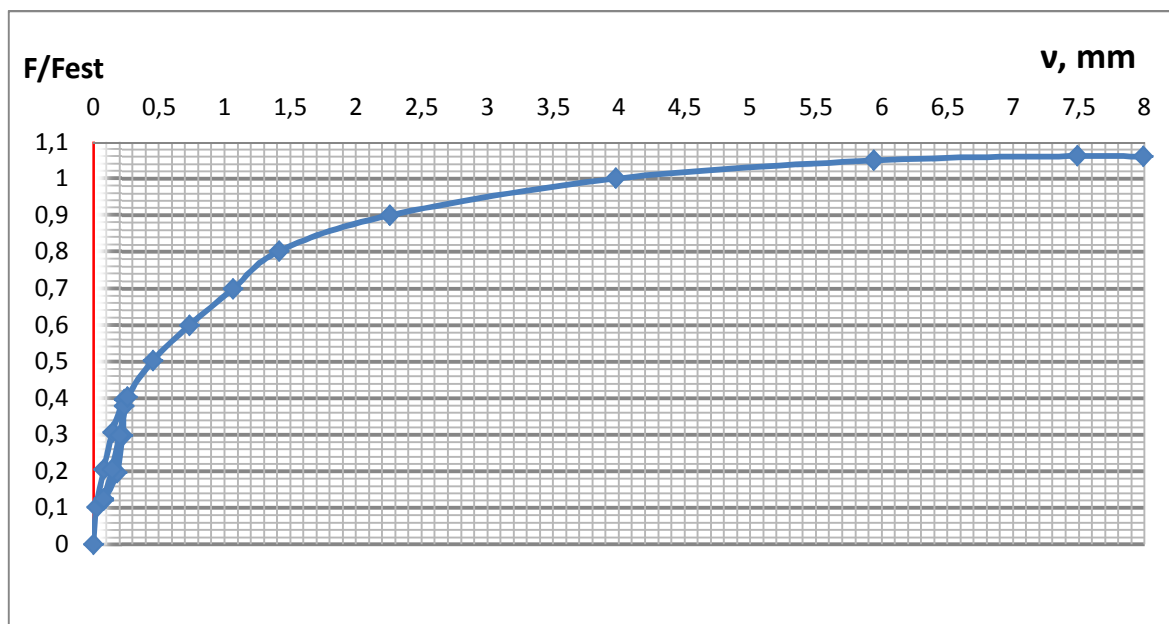
Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 20,17 °C iki 20,20 °C. Taigi visą laiką išliko stabili. Temperatūra beveik idealiai atitinka standartinės aplinkos sąlygų temperatūrą, o santykinė oro drėgmė labai skiriasi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu 26,54 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 9,25 %. Tai rodo, kad mediena yra sausa. Nors jos vidutinis drėgnis yra maždaug 2 kartus didesnis už kaitintos medienos, tačiau mediena ~ 27 % sausesnė už norminę 12 % ribą. Bandinio elementų tankis 469,57kg/m³. Tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420\text{kg} / \text{m}^3 < \rho_k < 500\text{kg} / \text{m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 7 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 124 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 30 s. Nors ir apkrovimas buvo sustabdytas, tačiau išlaikant pastovią apkrovą dėl gniuždymo mašinos techninių parametrų bei grįžtamųjų deformacijų ji sumažėjo nuo 9,9 kN iki 9,47 kN (4,34 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 3,02 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Priešingai negu anksčiau, šįkart išlaikant apkrovą 30 s, ji padidėjo iki 3,11 kN (2,98

%). Apkrovos pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 26,55 \text{ kN}$. Jungtyje plyšiai neatsivėrė ir jokių vizualių irties požymių neužfiksuota. Apkrova pradėjo iš lėto mažėti ir nuo maksimalios apkrovos pasiekimo per 22 s nukrito iki 26,52 kN (0,11 %). Vėlysi pasiekė takumo ribą, kuri laikoma jungties irtimi ir bandymas sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, slinktis buvo santykinai nedidelė – $v_{\max} = 7,49 \text{ mm}$. Atlikus bandymą jungtis buvo praskelta, kad būtų galima pažiūrėti kas vyko jos viduje. Vėlysi veikiant apkrovai buvo lenkiamos ir pasiekė takumo įtempius, mediniai elementai nesuiro (2.28 pav.).



2.28 pav. Bandinio nr. 7 laikinė galios kreivė



2.29 pav. Bandinio nr. 7 deformacinė jėgos kreivė

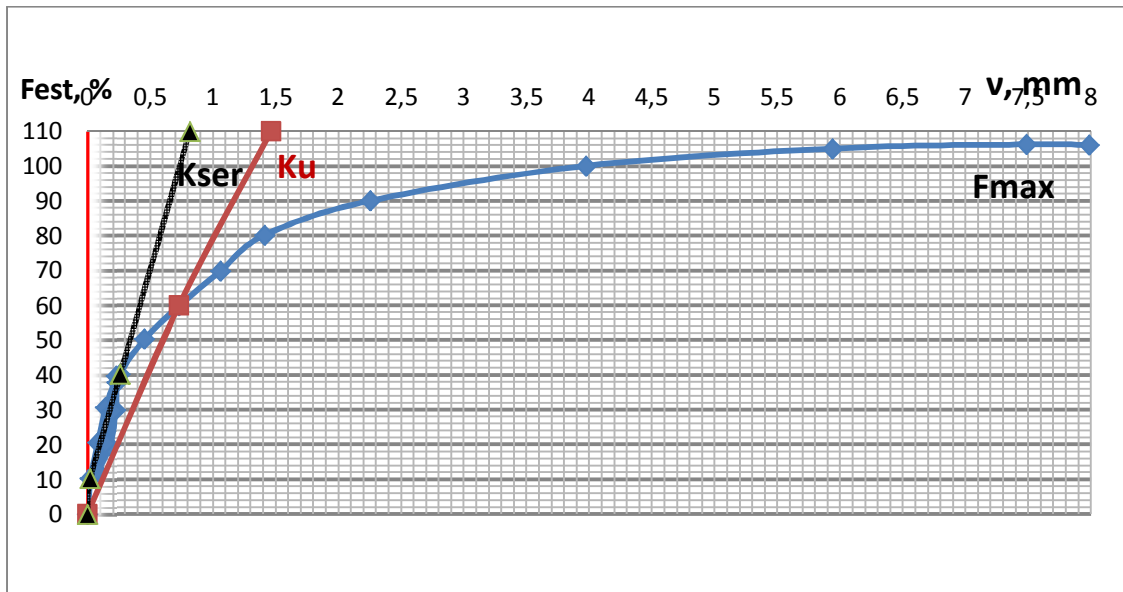
Bandinio nr. 7 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,283} = 88,34 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,236 - 0,024) = 0,283mm.$$

Bandinio nr. 7 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

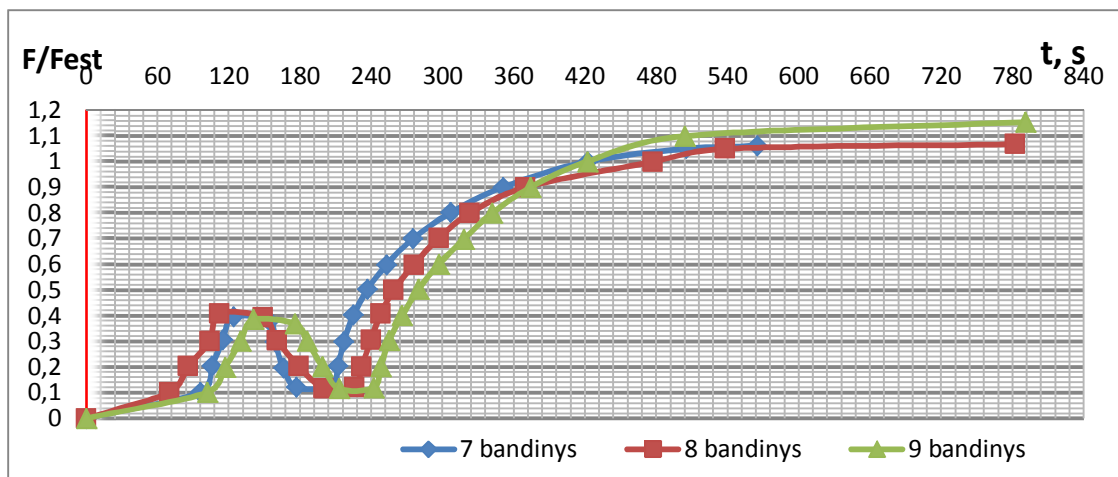
$$K_u = \frac{0,6F_{max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 26,55 \cdot 10^3}{0,731} = 21,79 \cdot 10^3 N/mm.$$



2.30 pav. Bandinio nr. 7 deformacijų moduliai

2.4.4. Bendri nekaitintų bandinių, sukonstruotų iš 275 mm ilgio elementų rezultatai

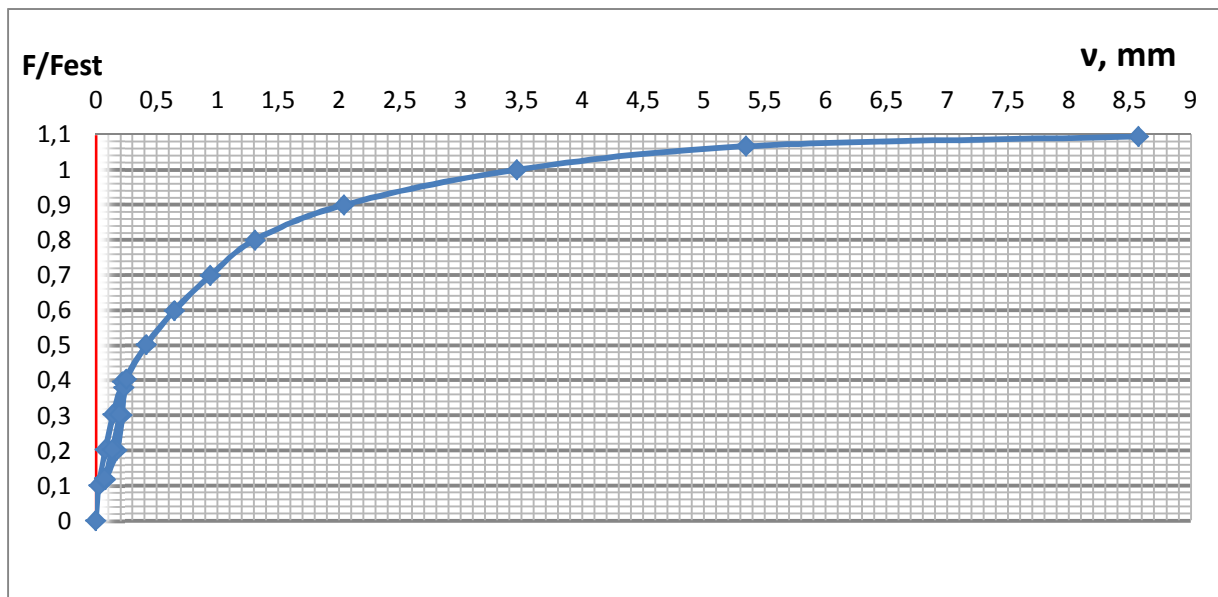
3, 5 ir 6 bandiniams išvedami rezultatų rodikliai ir sudaromos bendros kreivės visai bandinių grupei.



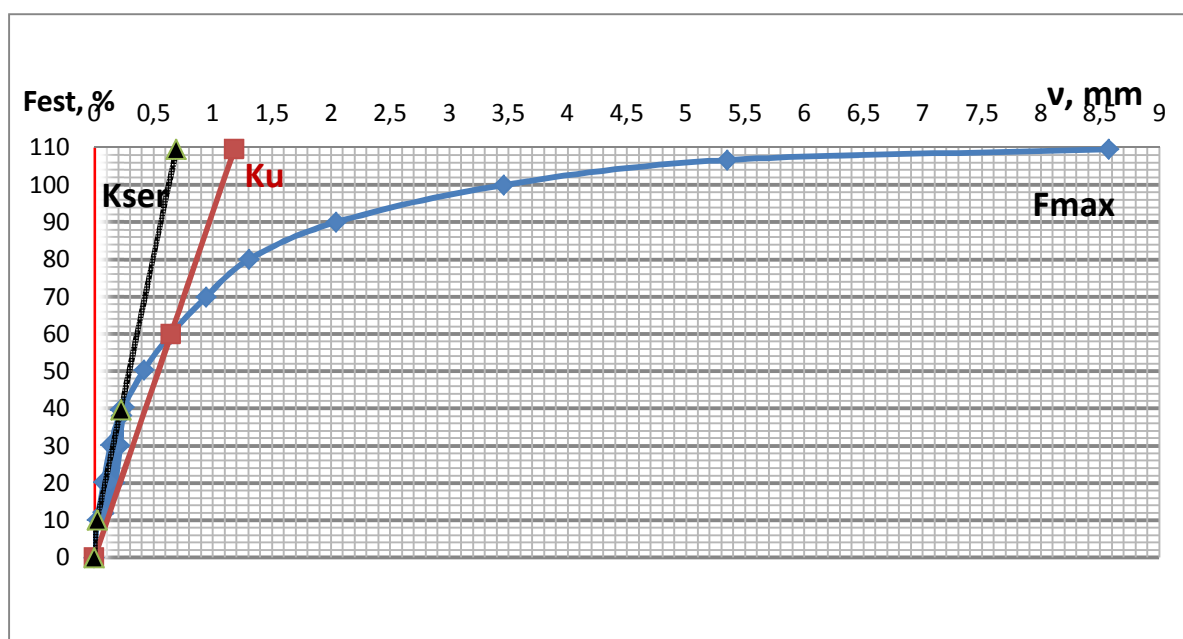
2.31 pav. Bandinių nr. 7, 8 ir 9 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.31 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos yra gana artimos. Pasiektos maksimalios apkrovos yra artimos (26,55 kN, 26,7 kN ir 28,86 kN). Tamprioje stadijoje bandinių

kreivės labai panašios. Kreivės išsiskiria tik tada, kai bandiniai pradeda deformuotis plastiškai (viršijus $0,4F_{est}$). Skiriasi jungčių bandymo laikas. 7 bandinys maksimalią apkrovą pasiekė daug greičiau, nei kiti du bandiniai, nors visi bandinių parametrai yra labai panašūs. Tai rodo, kad paprastosios medienos elgsena yra kur kas mažiau prognozuojama už kaitintosios.



2.32 pav. Bandinių nr. 7, 8 ir 9 vidutinių reikšmių deformacinė jėgos kreivė

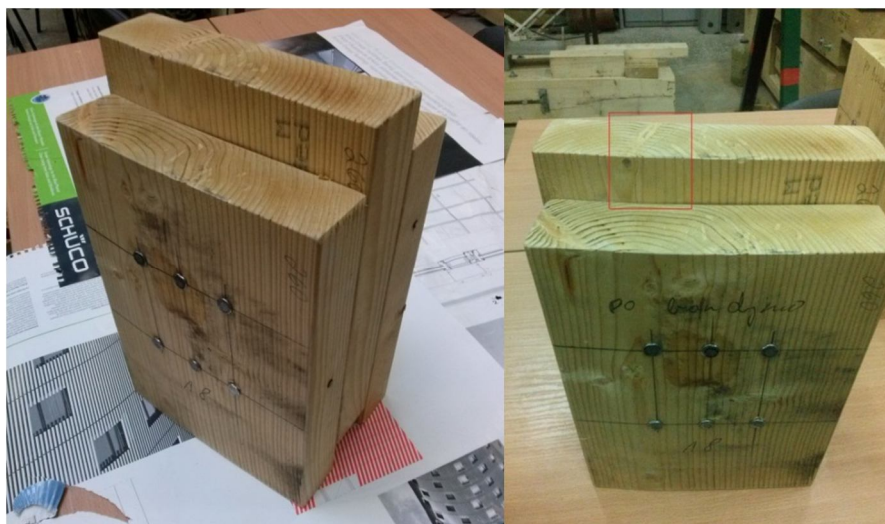


2.33 pav. Bandinių nr. 7, 8 ir 9 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.5. Kaitintieji bandiniai iš 260 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 18 turėjo nedidelį plyšį viduriniajame elemente. Plyšys nebuvo išplitęs per visą skerspjūvį ir nebuvo ilgas. Todėl nuspręsta, kad bandymui jis jokios įtakos neturės arba turės tik nedidelę. Daugiau jokių vizualių defektų ir pažaidų neužfiksuota, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai priglundę vienas prie kito (tarpų nėra).

Atliekant 18 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 18,81 °C. Tai bene mažiausia temperatūra laboratorijoje per visą bandymų laikotarpį. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 38,76 %. Tai vienas didžiausių užfiksuotų aplinkos drėgnių bandymų metu. Kaip ir tiriant 9 bandinį, taip ir šį, temperatūrai ir aplinkos drėgniui didžiausią įtaką turėjo praviras langas ir drėgnas oras lauke. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 5,04 %, tankis – 441,62 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 30,56 \text{ kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Prieš bandymą užfiksuotas jungties plyšys nesiplėtė. Taigi prognozė, jog jis įtakos bandymui neturės, pasitvirtino. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 8,21 \text{ mm}$.



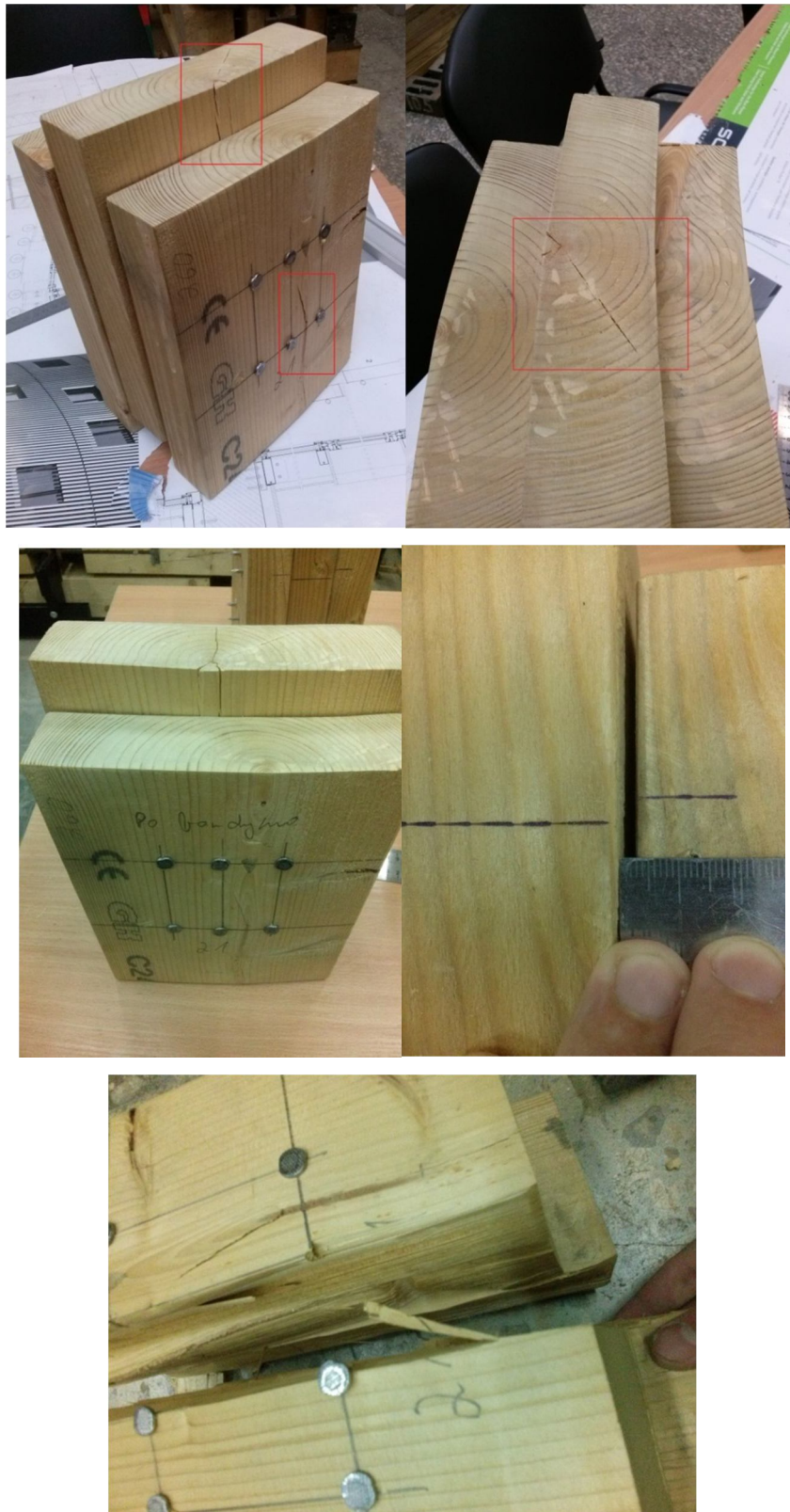
2.34a pav. Bandinys nr. 18 po bandymo



2.34b pav. Bandinys nr. 18 po bandymo

Bandinys nr. 21 turėjo plyšį viduriniajame elemente. Plyšys nebuvo išplitęs per visą skerspjūvį ir priminė medienos džiūvimo proceso padarinį. Nedidelis ir negilus (paviršinis atsisluoksniavimas) plyšys užfiksuotas ir viršutiniame elemente (2.35 pav.). Nuspręsta, kad kaip ir 18 bandinys, šis bandymui yra tinkamas ir plyšiai jokios įtakos rezultatams neturės arba turės tik minimalią. Daugiau jokių vizualių defektų ir pažaidų neužfiksuota, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).

Atliekant 21 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 18,76 °C. Tai mažiausia temperatūra laboratorijoje per visą bandymų laikotarpį ir beveik tokia pati kaip vykdant 18 jungties bandymus (bandymai vykdyti tą pačią dieną). Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 38,40 %. Temperatūrą ir aplinkos drėgnį įtakoję veiksniai aprašyti prie 9 ir 18 bandymų. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 5,02 %, tankis – 421,52 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 27,43 \text{ kN}$. Šiame taške pasigirdo traškėjimas ir apkrova pradėjo staigiai mažėti. Bandinys trūko per pusę ties viduriniąja vinių eile. Tam įtakos tikriausiai turėjo prieš bandymą užfiksuotas plyšys. Taigi spėjimas dėl jo įtakos bandymui nepasitvirtino. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 5,88 \text{ mm}$.



2.35 pav. Bandinys nr. 21 po bandymo

Bandinys nr. 17 (kaitintas) sukontruotas iš 260 mm ilgio elementų. Jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).



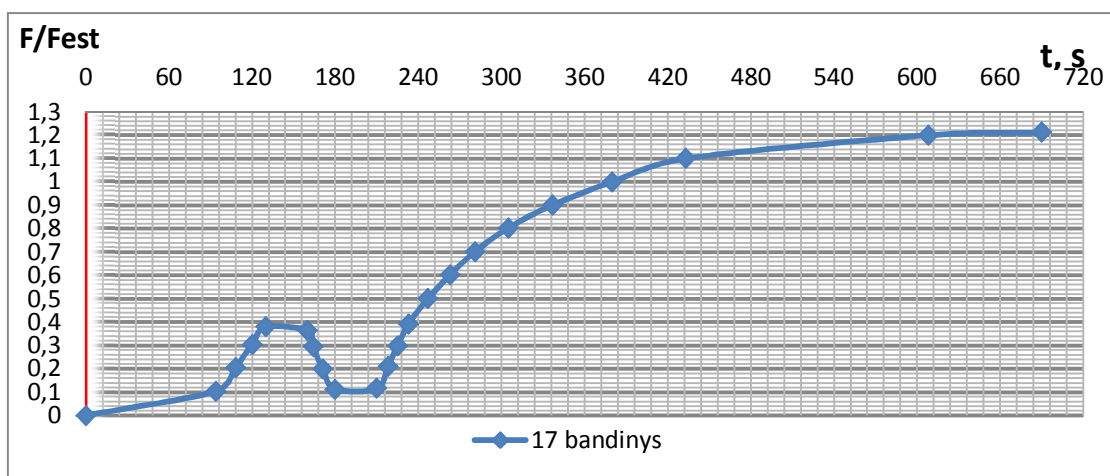
2.36 pav. Bandinys nr. 17 bandymo metu ir po bandymo

Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 18,83 °C iki 18,94 °C. Vidutinė temperatūra 18,87 °C. Temperatūra buvo 5,65 % mažesnė už priskiriamą standartinėms oro sąlygoms (20 °C), o santykinė oro drėgmė akivaizdžiai skyrėsi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu buvo 38,81 %. Tačiau santykinė oro drėgmė jau buvo ženkliai padidėjusi lyginant su pirmaisiai bandymais.

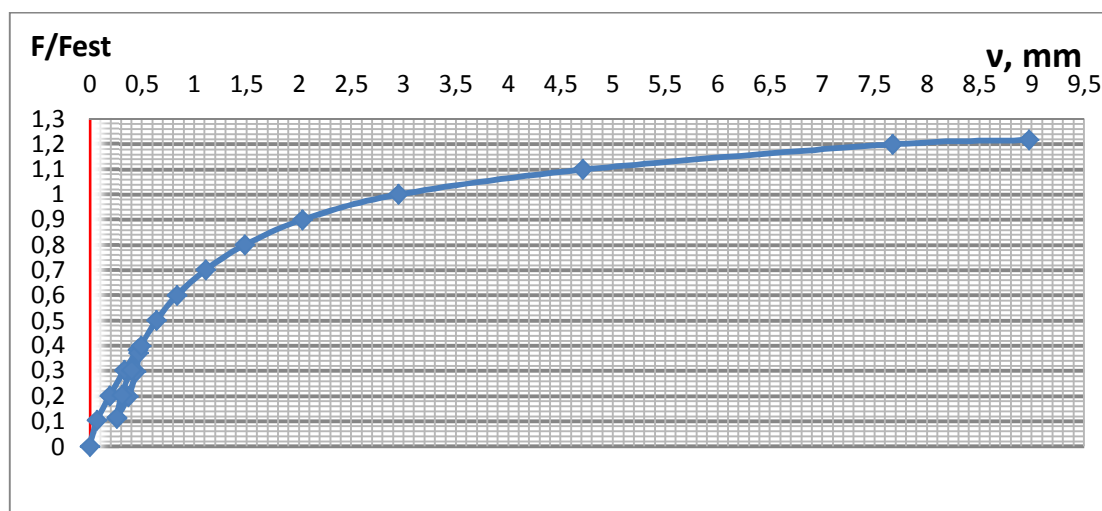
Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 5,26 %. Tai didžiausią drėgnį turėjusi mediena iš visų bandinių. Tai ji vistiek daugiau nei 2 kartus sausesnė už norminę 12 % ribą. Bandinio elementų tankis 434,43 kg/m³. Tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420\text{kg} / \text{m}^3 < \rho_k < 500\text{kg} / \text{m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 17 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 148 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 30 s. Apkrova sumažėjo nuo 9,51 kN iki 9,09 kN (4,42 %). Tada

apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 2,81 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Per šį laiką apkrova padidėjo iki 2,89 kN (2,85 %). Pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 30,3 \text{ kN}$. Pasiekus maksimalią apkrovą, ji tapo pastovia ir ėmė iš lėto mažėti (~0,01 kN/min). Jokių vizualių irties žymių bandinyje neatsirado (2.36 pav.). Rezultatai rodo, kad vinys pasiekė takumo ribą ir tai laikyta jungties irtimi, bandymas sustabdytas. Po bandymo perskėlus jungtį pasimatė tvarkingas vinių išlinkimas, būdingas dvišlytėms jungtims. Pasiekus maksimalią apkrovą, nustatyta slinktis $v_{\max} = 9,74 \text{ mm}$. Taigi mediena nesuiro bei slinkties riba daugiau nei 5 mm mažesnė už ribinę. Teoriškai galima daryti prielaidą, kad padidinus vinių skaičių arba jų skersmenį, jungties laikomoji galia būtų kur kas didesnė.



2.37 pav. Bandinio nr. 17 laikinė galios kreivė



2.38 pav. Bandinio nr. 17 deformacinė jėgos kreivė

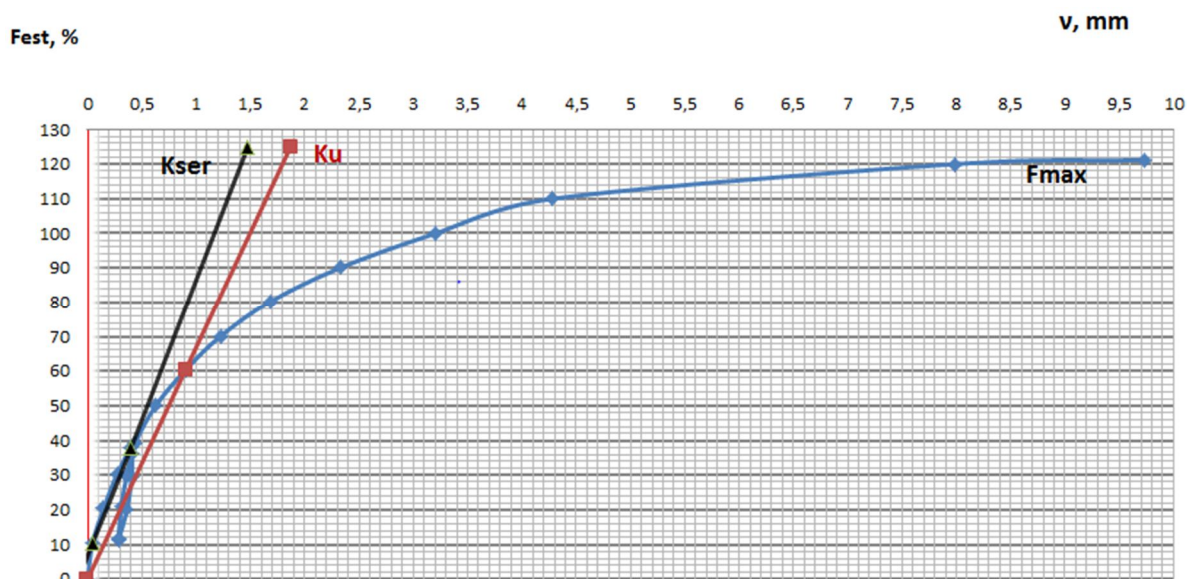
Bandinio nr. 17 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,475} = 52,63 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,403 - 0,047) = 0,475 \text{ mm}.$$

Bandinio nr. 17 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

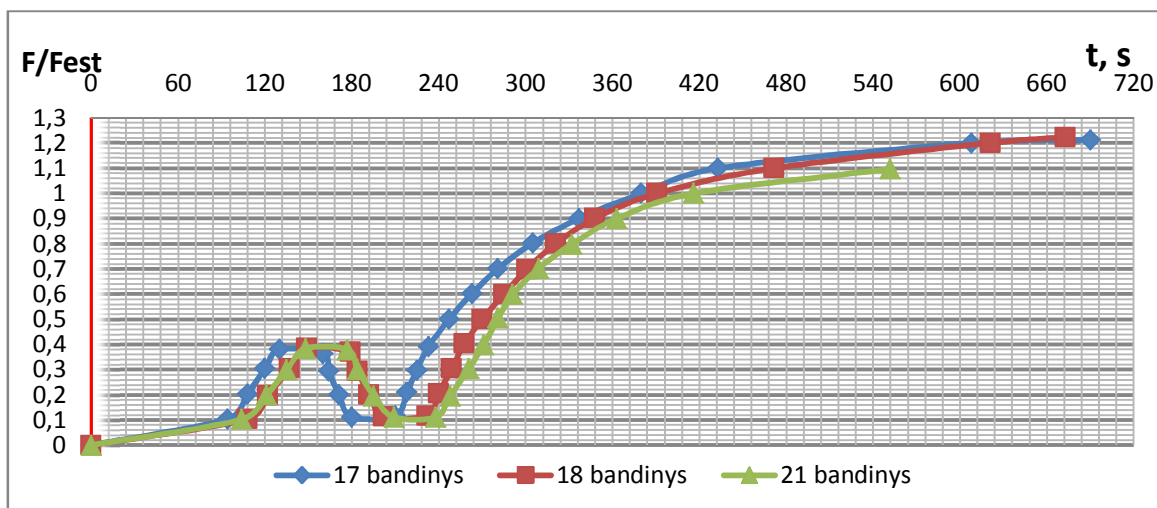
$$K_u = \frac{0,6F_{\max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 30,3 \cdot 10^3}{0,902} = 20,16 \cdot 10^3 \text{ N/mm}.$$



2.39 pav. Bandinio nr. 17 deformacijų moduliai

2.4.6. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 260 mm ilgio elementų rezultatai

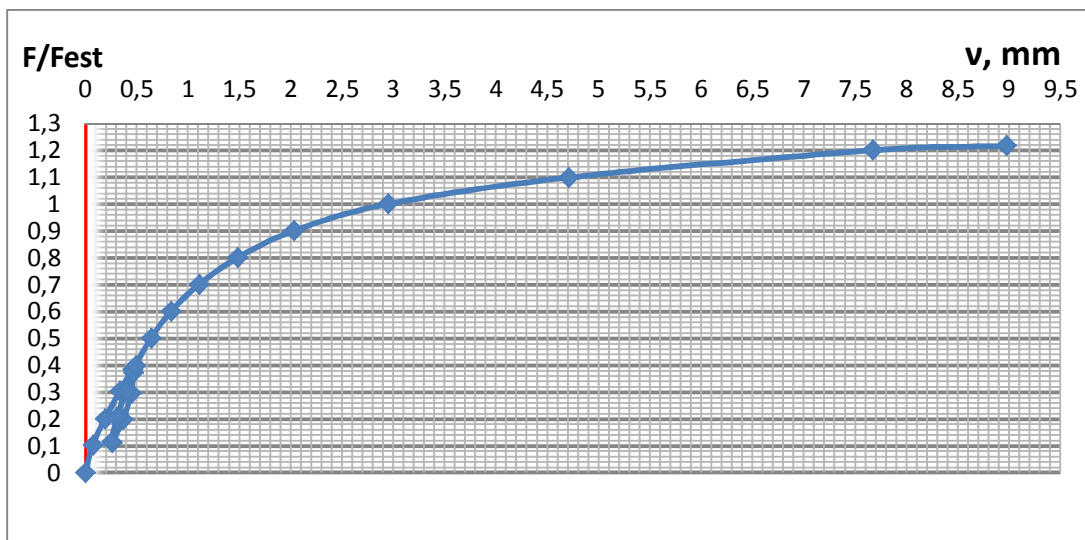
17, 18 ir 21 bandiniams išvedami rezultatų rodikliai ir sudaromos bendros kreivės visai bandinių grupei.



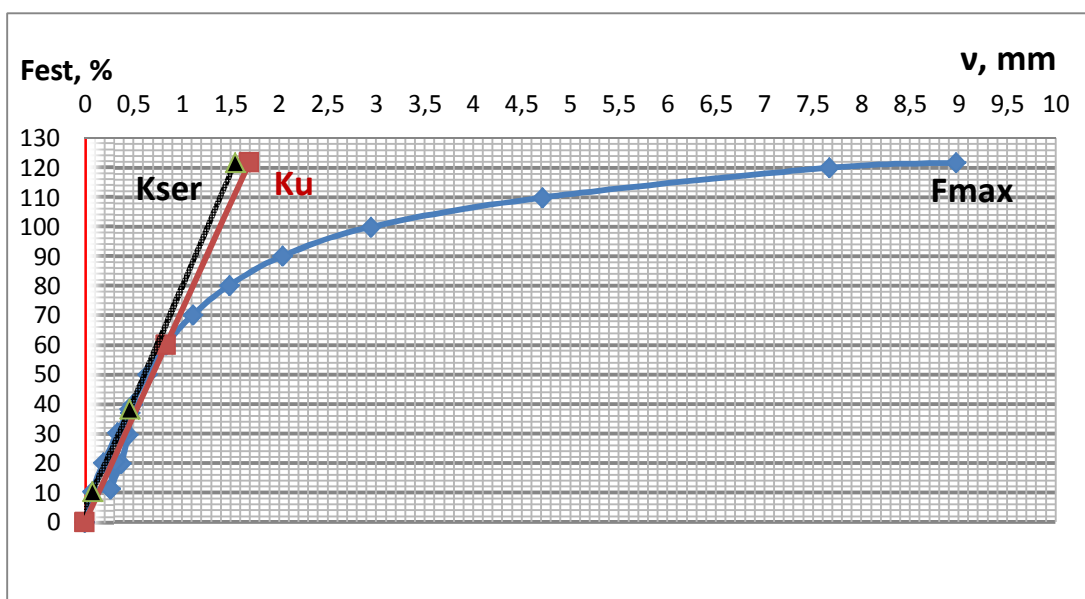
2.40 pav. Bandinių nr. 17, 18 ir 21 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.41 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos yra labai panašios. Bandinių 17 ir 18 pasiektos maksimalios apkrovos yra artimos (30,3 kN, 30,56 kN). Bandinio nr. 21 laikomoji galia (27,43 kN) yra mažesnė dėl anksčiau šiame magistro darbe įvardintų priežasčių. Tamprioje stadijoje bandinių kreivės labai panašios. Kreivės išlieka panašios ir tada, kai bandiniai pradeda deformuotis

plastiškai (viršijus $0,4F_{est}$). Tai rodo, kad termiškai pertvarkytoji mediena yra gana stabili medžiaga ir jos rezultatai kur kas patikimesni už nekaitintosios.



2.41 pav. Bandinių nr. 17, 18 ir 21 vidutinių reikšmių deformacinė jėgos kreivė



2.42 pav. Bandinių nr. 17, 18 ir 21 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.7. Nekaitintieji bandiniai iš 260 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 23 jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Tai praktiškai idealiai sukonstruota jungtis. Elementai gražiai prigludę vienas prie kito, elementų pločiai vienodi. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Bandinys sukonstruotas iš elementų, išpjautų iš to paties tašo kaip ir 22 (žiūr. aprašymą prie 22 bandinio).

Atliekant 23 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,7 °C. Tai beveik ideali temperatūra bandymams. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 26,31 %. Drėgnis daugiau nei dvigubai mažesnis už standartinių oro sąlygų. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 8,89 %, tankis – 519,90 kg/m³. Tankio reikšmė nepatenka į tankio ribas $420\text{kg} / \text{m}^3 < \rho_k < 500\text{kg} / \text{m}^3$ (1 lentelė). Plačiau žiūr. prie 22 bandinio aprašymo. Pasiiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 32,01\text{kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 9,53\text{mm}$.

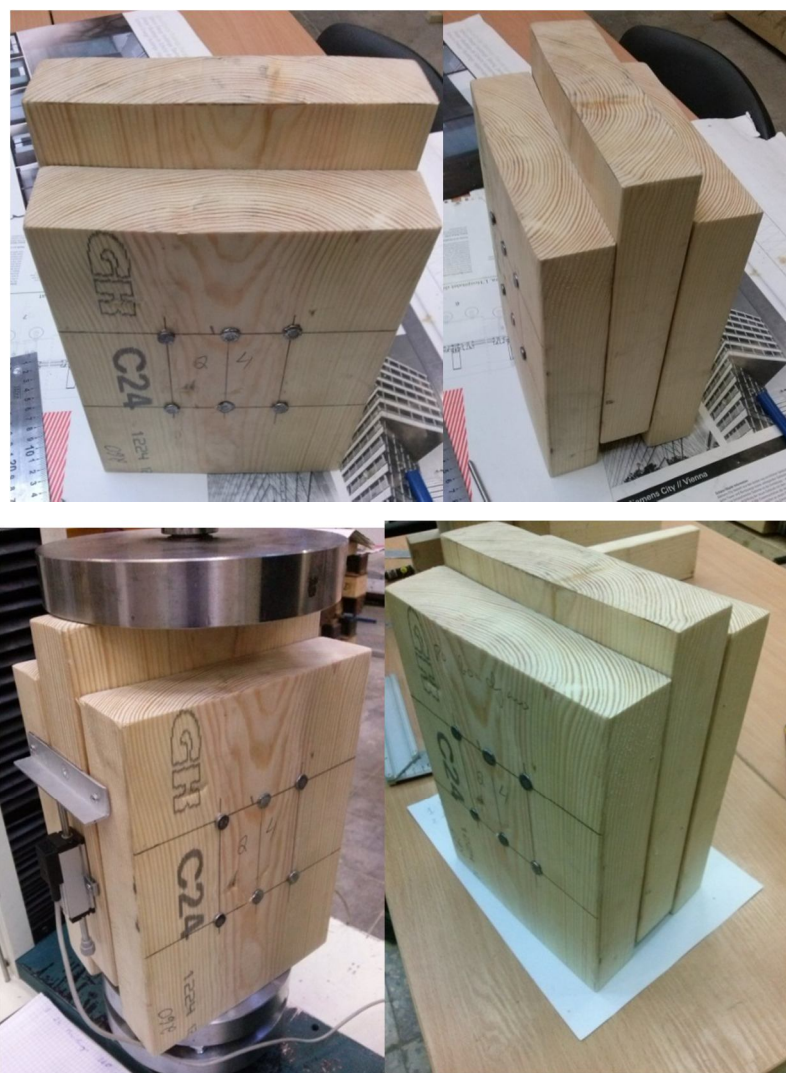


2.43 pav. Bandinys nr. 23 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 24 jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Tai praktiškai idealiai sukonstruota jungtis. Elementai gražiai prigludę vienas prie kito, elementų pločiai vienodi. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-

1:2005). Bandinys sukonstruotas iš elementų, išpjautų iš to pačio tašo kaip ir 22 (žiūr. aprašymą prie 22 bandinio).

Atliekant 24 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo $19,96\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tai ideali temperatūra bandymams, o vidutinis santykinis aplinkos drėgnis labai mažas – $25,21\%$. Drėgnis daugiau nei dvigubai mažesnis už standartinių oro sąlygų. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis $8,82\%$, tankis – $532,08\text{ kg/m}^3$. Tankio reikšmė nepatenka į tankio ribas $420\text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500\text{ kg/m}^3$ (1 lentelė). Plačiau žiūr. prie 22 bandinio aprašymo. Bandinys pasiekė ribinę slinktį – $v_{\max} = 15,011\text{ mm}$ ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekta didžiausia apkrova esant ribinei slinkčiai $F_{\max} = 32,13\text{ kN}$.



2.44a pav. Bandinys nr. 24 bandymo metu ir po bandymo



2.44b pav. Bandinys nr. 24 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 22 (nekaitintas) sukontruotas iš 260 mm ilgio elementų. Jis pasirinktas bandymui dėl keleto specifinių priežasčių. Vidurinis bandinio elementas buvo su defektu, jame susidaręs puvinys dėl grybų poveikio. Šioje vietoje elemento skerspjūvis yra mažesnis. Defektuotas galas nebuvo apkrautas. Jungtis buvo sukontruota iš elementų su labai keista struktūra. Mediena skleidė keistą kvapą ir iš pirmo žvilgsnio atrodė lyg visiškai šlapia. Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų neužfiksuota. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).



2.45a pav. Bandinys nr. 22 bandymo metu ir po bandymo



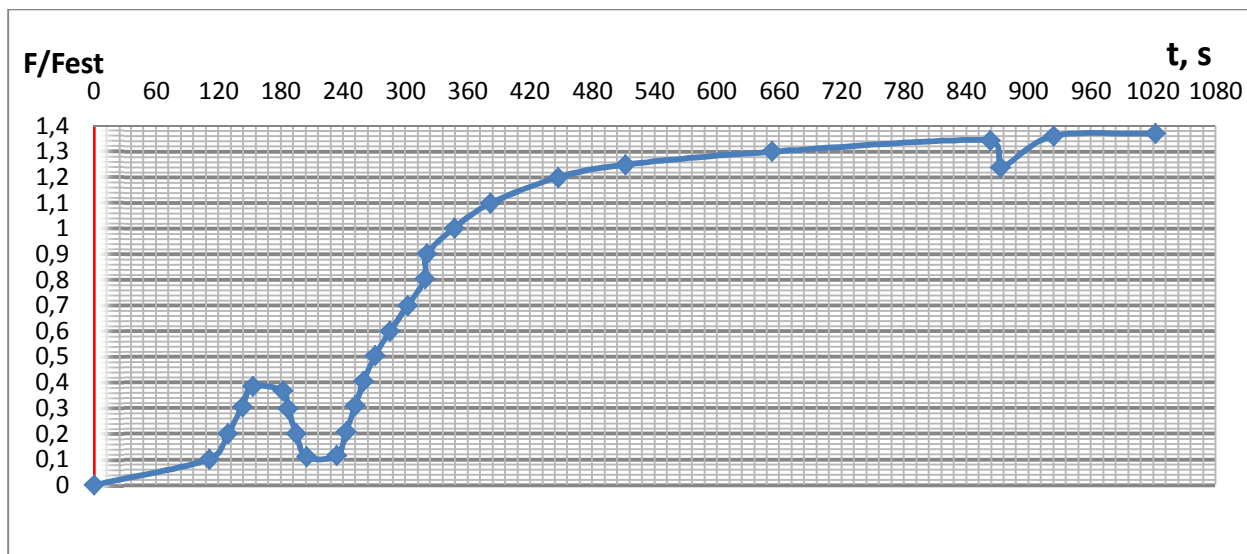
2.45b pav. Bandinys nr. 22 bandymo metu ir po bandymo

Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 18,7 °C iki 18,75 °C. Vidutinė temperatūra 18,73 °C. Taigi temperatūra buvo beveik pastovi ir artima standartinėms oro sąlygoms priskiriamai temperatūrai (skirtumas 6,35 %), o santykinė oro drėgmė labai skyrėsi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu 33,47 %. Tai 48,51 % mažiau už standartinėms oro sąlygoms priskiriamą drėgmę (65 %).

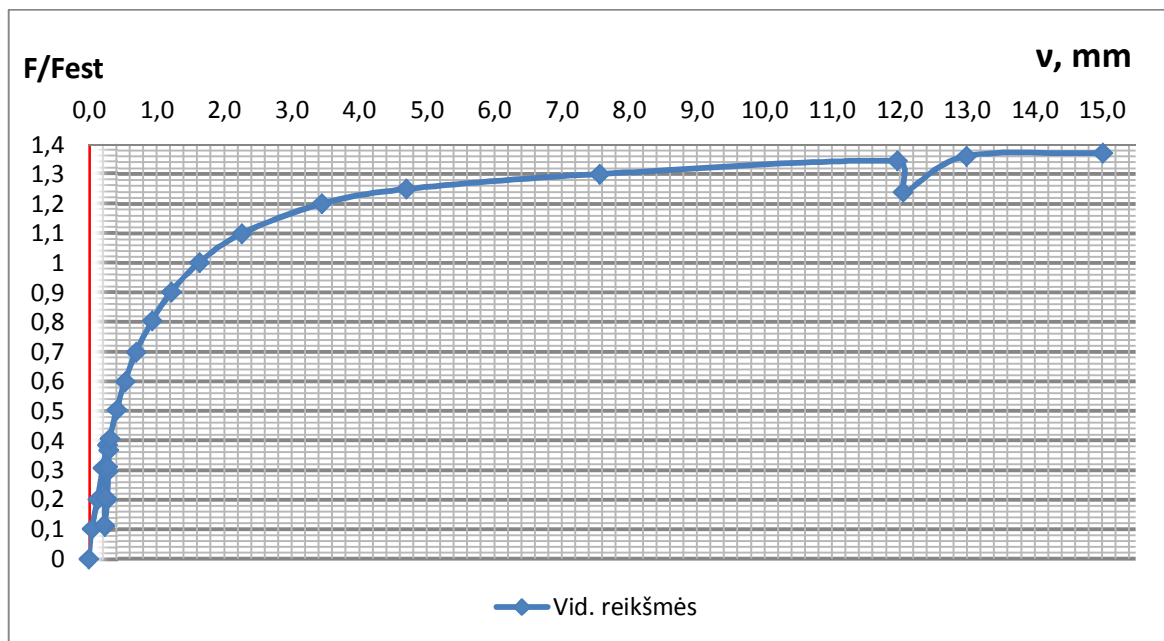
Nors prieš bandymą buvo manoma, jog bandinys sukontruotas iš visiškai šlapios medienos, tačiau nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis - 10,76 %. Tai 10,33 % mažesnis drėgnis už norminį (12 %). Tačiau bandinio elementų vidutinis tankis 546,67 kg/m³. Tai gerokai didesnė tankio reikšmė už kitų bandinių ir suabejota ar tai tikrai yra ta pati eglės mediena. Tankio reikšmė nepatenka į tankio ribas $420\text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500\text{ kg/m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 22 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 153 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 29 s. Išlaikymo metu apkrova sumažėjo nuo 9,63 kN iki 9,16 kN (4,88 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 2,74 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Per šį laiką apkrova padidėjo iki 2,85 kN (4,01 %). Pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 33,61\text{ kN}$. Pasiekta rekordinė apkrova ir rekordinė (ribinė) slinktis 15,01 mm. Tiek apkrova, tiek slinktis yra gerokai didesnė už kitų bandinių. Tai tik patvirtina neįprastą medienos struktūrą. Pasiekus maksimalią apkrovą, ji po truputį ėmė mažėti. Jokių matomų medienos irties požymių neužfiksuota, pradėjo tekėti vinys. Bandymas buvo tęsiamas ir apkrova vėl pradėjo kilti, kol pasiekė 34,27 kN bei ribinę 15 mm slinktį. Vinys galimai priartėjo prie stiprumo ribos ir bandymas buvo sustabdytas. Jokių jungties irties požymių ir toliau neužfiksuota. Bandant perskelti jungtį ji

neskilo taip lengvai kaip kitos ir ją pavyko perskelti tik netaisyklingai. Viduje medienos struktūra irgi atrodė keista.



2.46 pav. Bandinio nr. 22 laikinė galios kreivė



2.47 pav. Bandinio nr. 22 deformacinė jėgos kreivė

Bandinio nr. 22 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,305} = 81,97 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

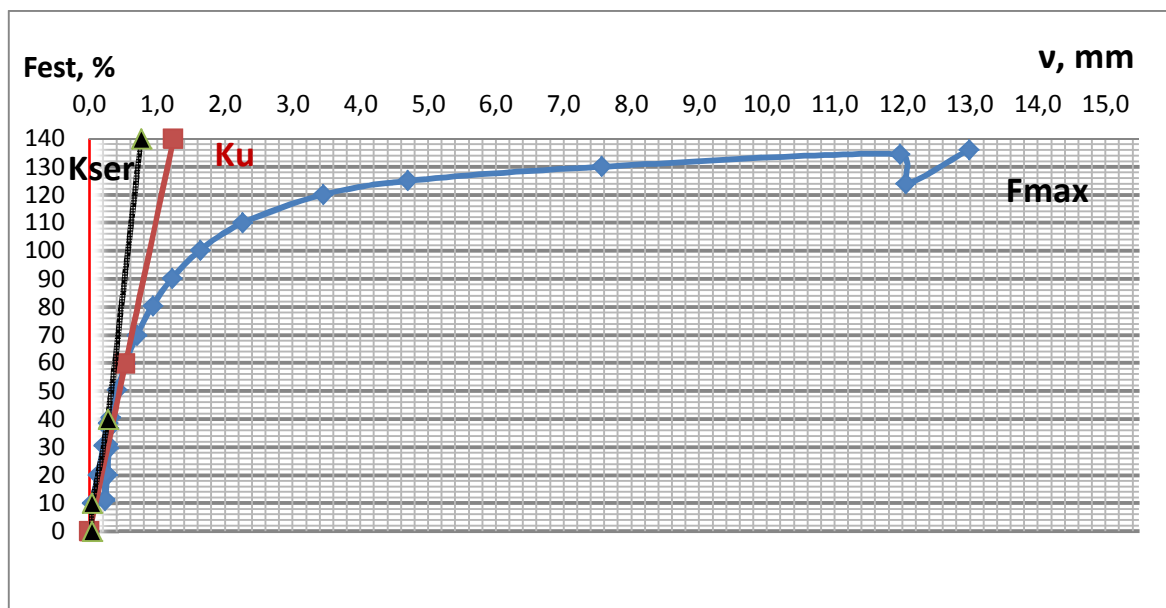
$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,27 - 0,041) = 0,305 \text{ mm}.$$

Bandinio nr. 4 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

$$K_u = \frac{0,6F_{max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 34,27 \cdot 10^3}{0,531} = 38,72 \cdot 10^3 \text{ N / mm}.$$

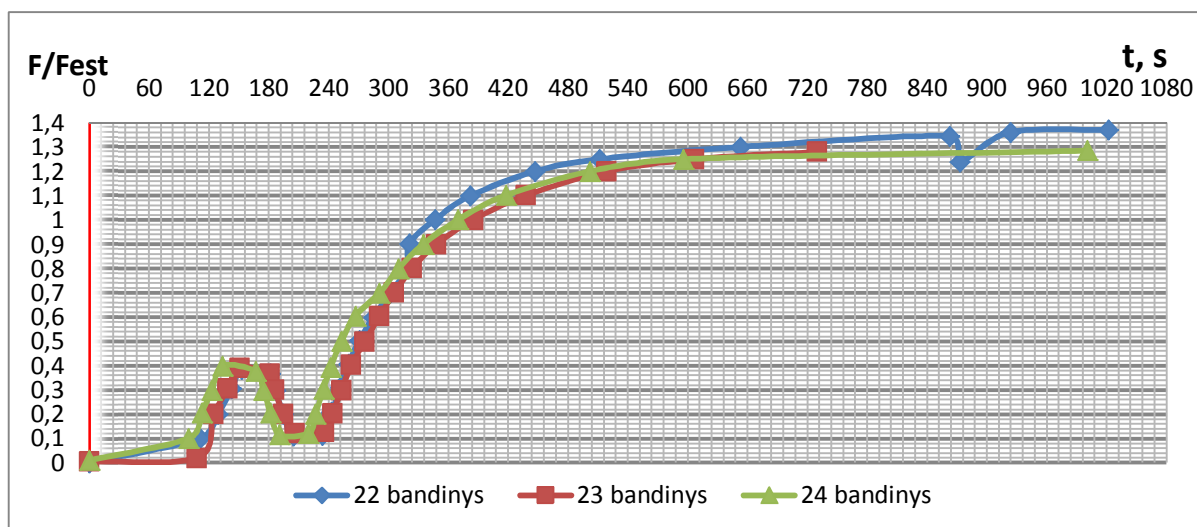
Šios jungties deformacijų moduliai yra gerokai didesni nei kitų jungčių.

Akivaizdu, kad jungtis sukonstruota iš kitos rūšies kitokios struktūros medienos.



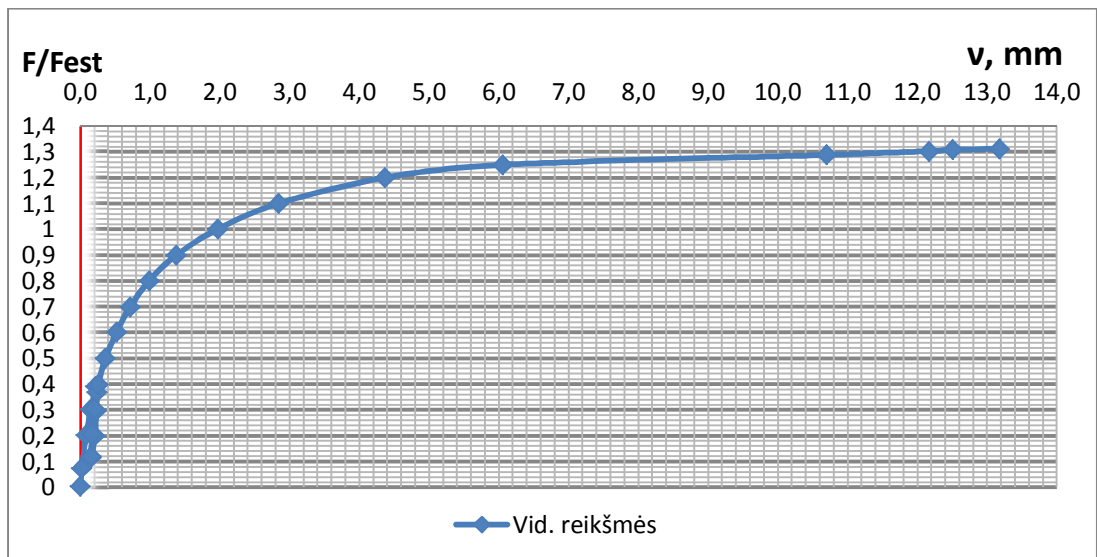
2.48 pav. Bandinio nr. 22 deformacijų moduliai

2.4.8. Bendri nekaitintų bandinių, sukonstruotų iš 260 mm ilgio elementų rezultatai

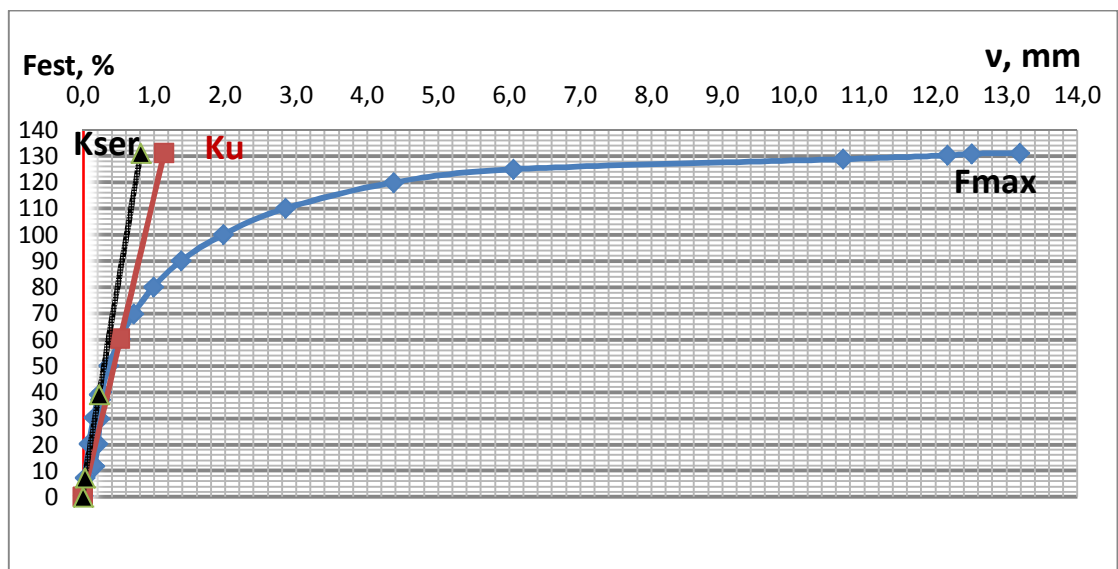


2.49 pav. Bandinių nr. 22, 23 ir 24 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.49 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos yra panašios. Bandinių pasiektos maksimalios apkrovos yra artimos (34,27 kN, 32,01 kN ir 32,13 kN). Tamprioje stadijoje bandinių kreivės praktiškai sutampa. Kreivės išlieka panašios ir tada, kai bandiniai pradeda deformuotis plastiškai (viršijus $0,4F_{est}$). Tačiau jungties nr. 23 bandymo laikas yra daug trumpesnis nei kitų dviejų bandinių. Bandinio 22 bandymo trukmė ilgiausia ir pasiekta apkrova didžiausia. Šis bandinys turėjo ryškų defektą. Tai rodo, kad paprastoji mediena yra mažiau prognozuojama už termiškai pertvarkytąją. Du bandiniai iš trijų pasiekė ribinę slinktį, mediena nesuiro.



2.50 pav. Bandinių nr. 22, 23, 24 deformacinės jėgos vidurkių kreivė



2.51 pav. Bandinių nr. 22, 23 ir 24 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.9. Kaitintieji bandiniai iš 250 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 19 jokių vizualių defektų ir pažeidimų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiama atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 19 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,26 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 31,47 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 5,01 %, tankis – 429,37 kg/m³. Pasiiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 30,36 \text{ kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 5,64 \text{ mm}$.



2.52 pav. Bandinys nr. 19 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 20 jokių vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 20 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,21 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 31,08 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 5,09 %, tankis – 436,17 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 30,14 \text{ kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti viny ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 8,89 \text{ mm}$.



2.53 pav. Bandinys nr. 20 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 4 (kaitintas) sukontruotas iš 250 mm ilgio elementų. Prieš bandymą viršutinis jungties elementas turėjo nedidelį įskilimą išilgai pluošto, kurio gylis apie 15 mm. Plyšys nustatytas prieš sukalant jungtį ir ją kalant neplito. Plyšys buvo orientuotas neapkrauta kryptimi (2.55 pav.) ir priimta, kad jis jungties stiprumui įtakos neturės. Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų nenustatyta. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).

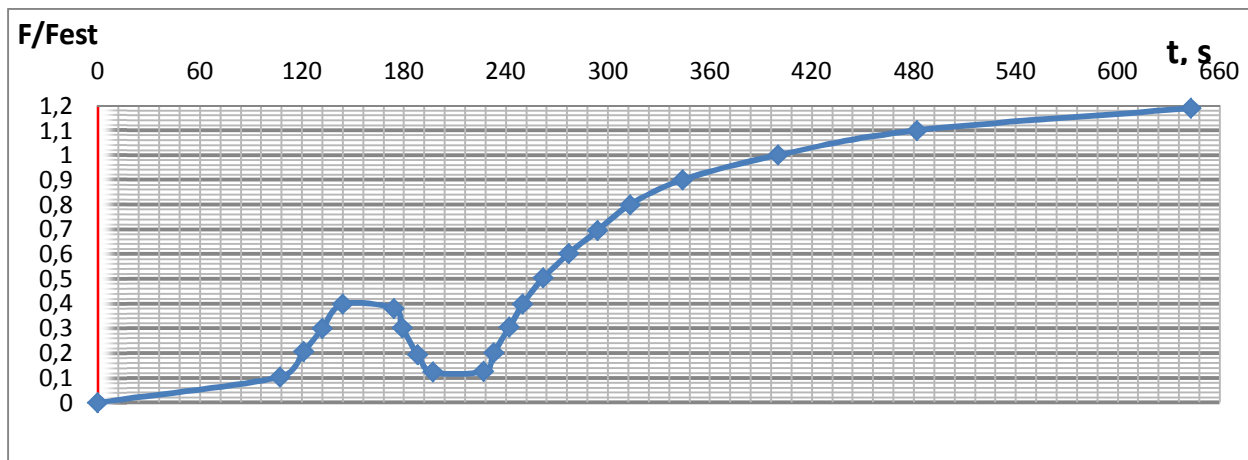


2.54 pav. Bandinys nr. 4 bandymo metu ir po bandymo

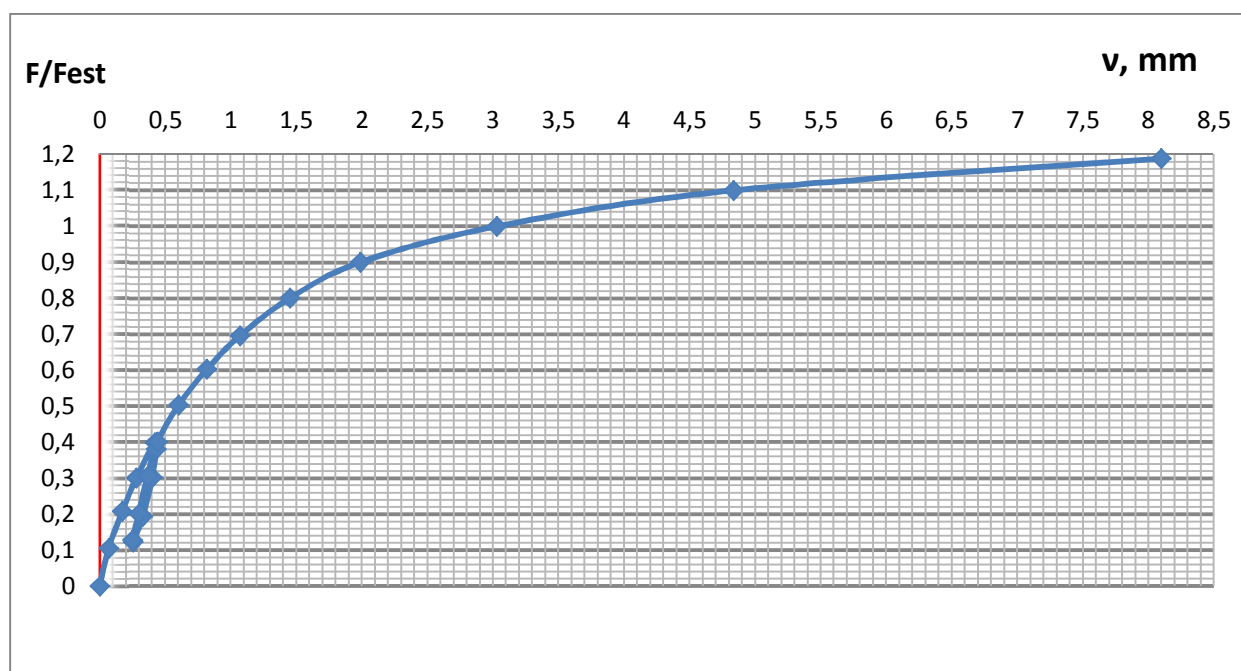
Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 19,18 °C iki 19,21 °C. Taigi temperatūra buvo beveik pastovi ir artima standartinėms oro sąlygoms priskiriamai temperatūrai (skirtumas 4 %). Santykinė oro drėgmė labai skyrėsi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu 31,55 %. Tai 51,46 % mažiau už standartinėms oro sąlygoms priskiriamą drėgmę (65 %). Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 5,05 %. Tai 57,92 % mažesnis drėgnis už norminą (12 %). Bandinio elementų tankis 449,48 kg/m³. Tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 4 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 144 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 30 s. Išlaikymo metu apkrova sumažėjo nuo 9,94 kN iki 9,53 kN (4,13 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 3,07 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Per šį laiką apkrova padidėjo iki 3,17 kN (3,26 %). Pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 29,72 \text{ kN}$. Pasiekus maksimalią apkrovą, pasigirdo traškėjimas, skilo viršutinis elementas, bet kitoje vietoje nei pradinis įskilimas (2.55 pav. pažymėta raudonai). Nuo šio taško

apkrova ėmė mažėti ir bandymas sustabdytas. Po bandymo perskėlus jungtį pasimatė tvarkingas vinių išlinkimas, būdingas dvišlytėms jungtims. Pasiekus maksimalią apkrovą, nustatyta slinktis $v_{\max} = 8,1\text{mm}$. Taigi mediena suiro esant slinkčiai beveik dvigubai mažesnei už ribinę.



2.55 pav. Bandinio nr. 4 laikinė galios kreivė



2.56 pav. Bandinio nr. 4 deformacinė jėgos kreivė

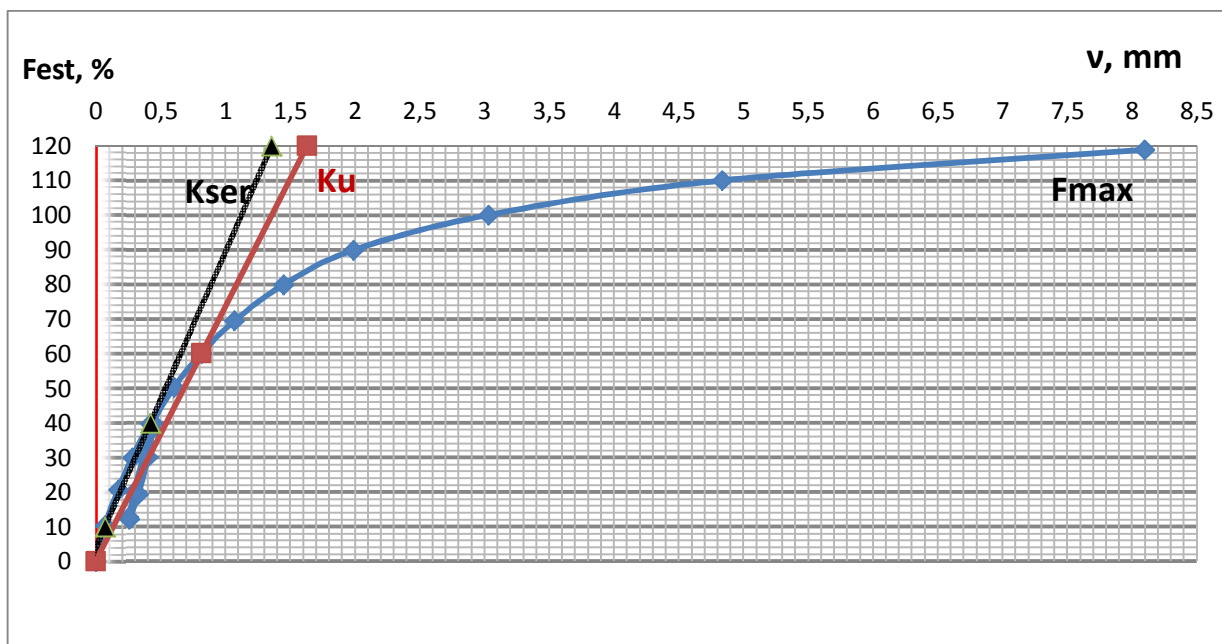
Bandinio nr. 4 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,468} = 53,42 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,421 - 0,07) = 0,468\text{mm}.$$

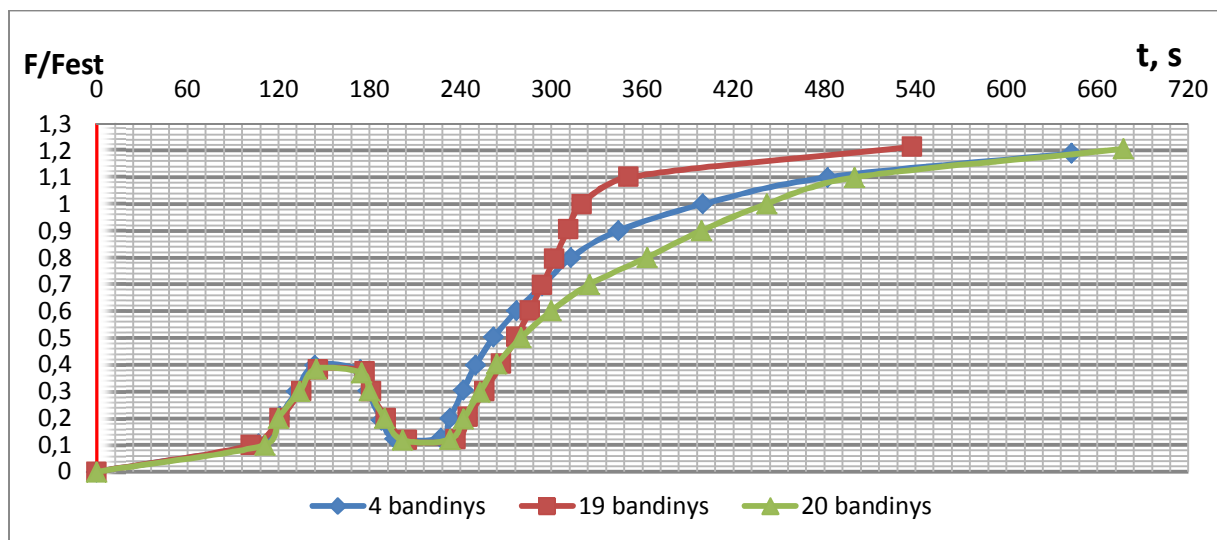
Bandinio nr. 4 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

$$K_u = \frac{0,6F_{\max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 29,72 \cdot 10^3}{0,817} = 21,83 \cdot 10^3 \text{ N/mm}.$$



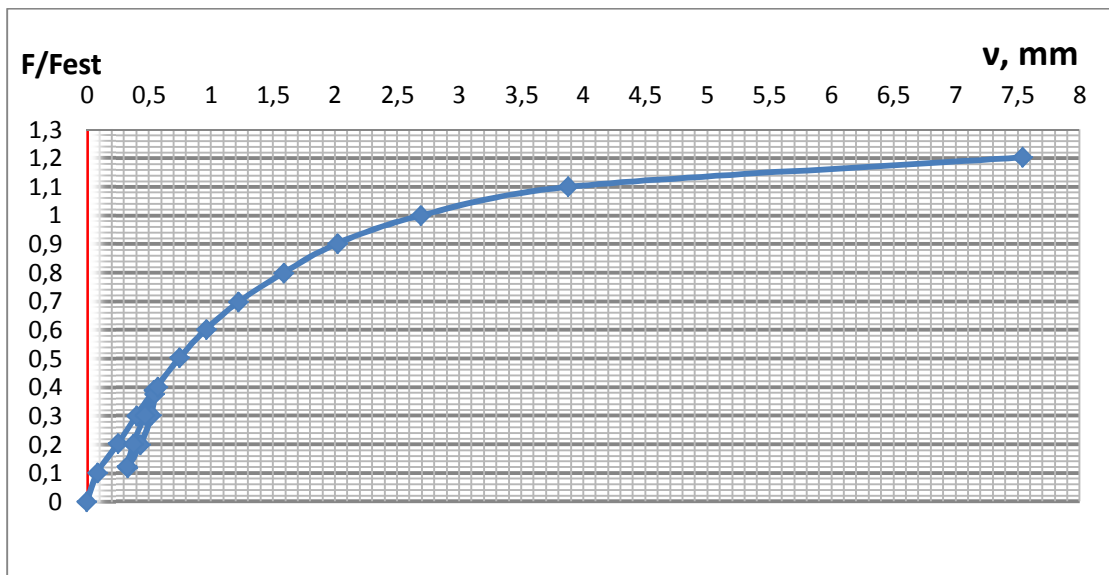
2.57 pav. Bandinio nr. 4 deformacijų moduliai

2.4.10. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 250 mm ilgio elementų rezultatai

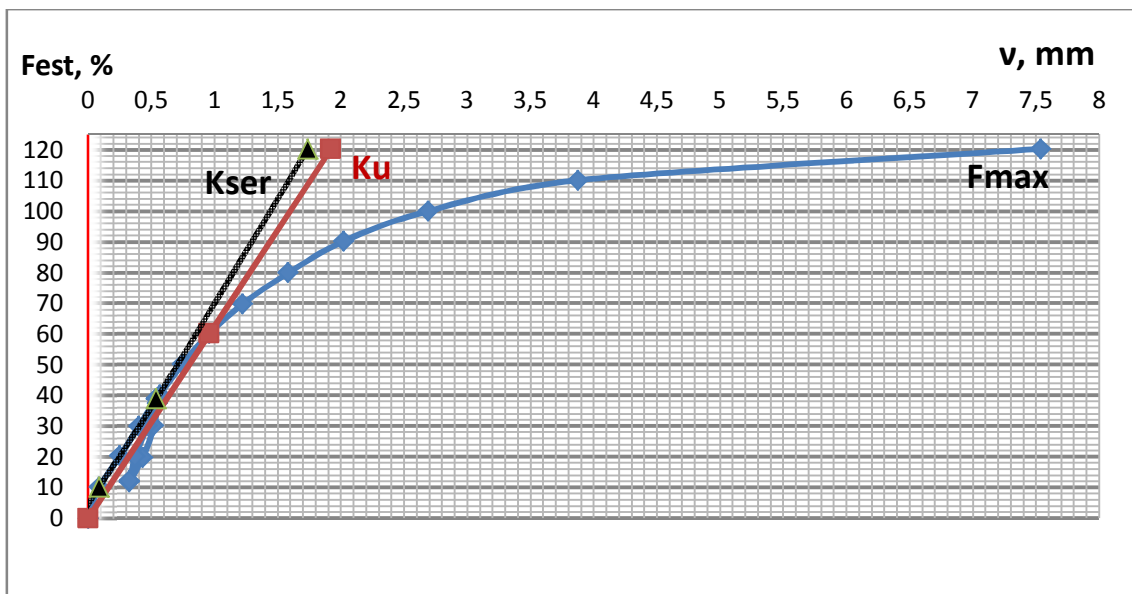


2.58 pav. Bandinių nr. 4, 19 ir 20 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.58 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos tamprojoje stadijoje praktiškai sutampa. Bandinių pasiektos maksimalios apkrovos yra artimos (29,72 kN, 30,36 kN ir 30,14 kN). Kreivės išsiskiria, kai bandiniai pradeda deformuotis plastiškai (viršijus $0,4F_{est}$). Jungties nr. 19 bandymo laikas yra kur kas ilgesnis nei kitų dviejų bandinių.



2.59 pav. Bandinių nr. 4, 19, 20 deformacinės jėgos vidurkių kreivė



2.60 pav. Bandinių nr. 4, 19 ir 20 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.11. Nekaitintieji bandiniai iš 250 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 26 turėjo paviršinį įtrūkį viduriniajame elemente. Kalant jungtį plyšys nesiplėtė. Nuspręsta, kad jis rezultatams įtakos neturės. Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų bandinys neturėjo. Išlaikyti reikiama atstumas tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

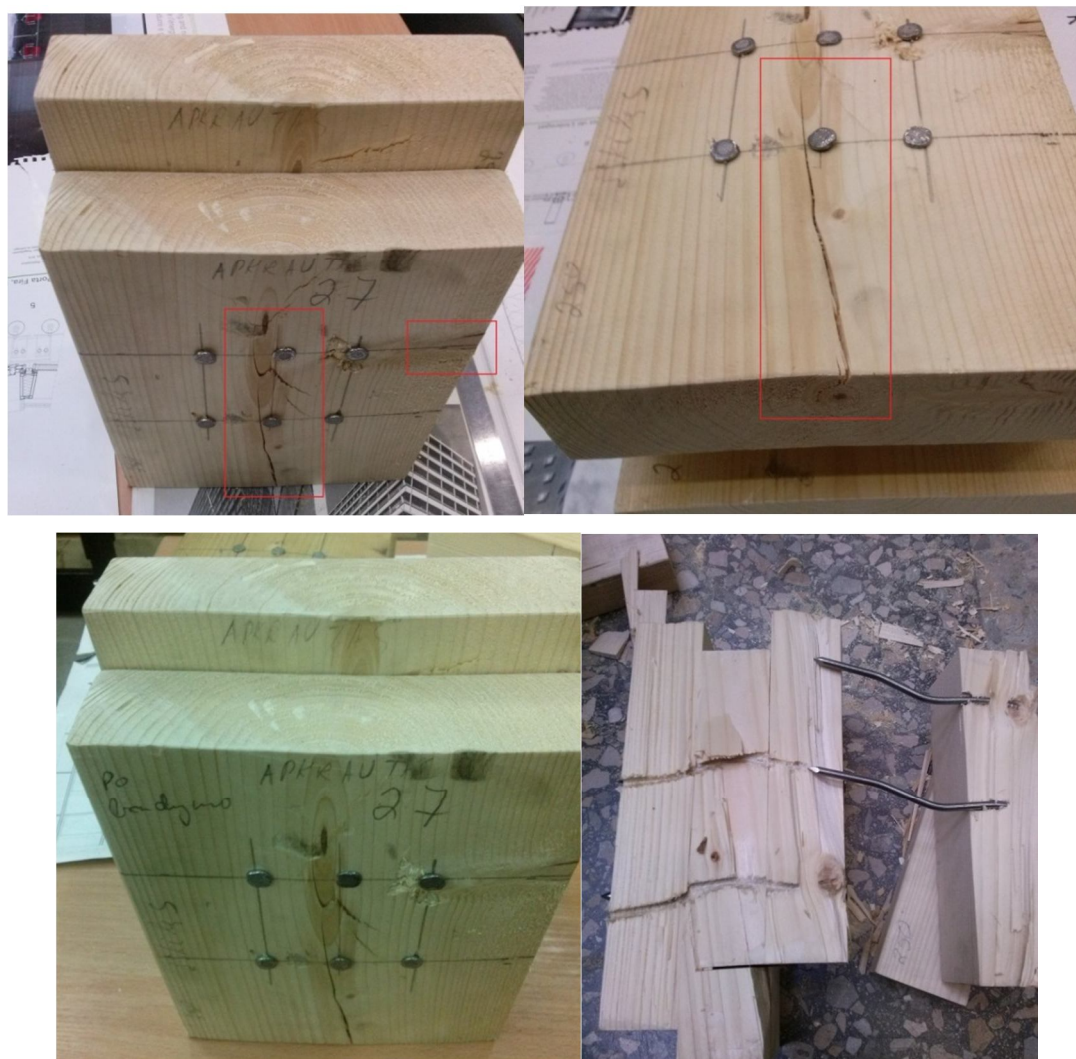
Atliekant 26 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,50 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 30,35 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 9,15 %, tankis – 513,19 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{max} = 28,66 kN$. Šiame taške apkrova pradėjo po truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Pradėjo tekėti vinys ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{max} = 10,5 mm$.



2.61 pav. Bandinys nr. 26 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 27 turėjo plyšį viduriniajame elemente išilgai medienos pluošto. Plyšys negilus, todėl kaip ir kai kuriems kitiems bandiniams su įtrūkimams, taip ir šiam, įtakos rezultatams tikriausiai neturės. Viršutinis elementas dar turi šaką krašte. Nuspręsta patikrinti bandinį su defektais ir pažiūrėti ar jų reikšmė bandymams bus žymi. Kalant jungtį plyšys nesiplėtė. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 27 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,41 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis 30,1 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 9,58 %, tankis – 412,72 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 24,65 \text{ kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo truputį kristi. Jokių vizualių jungties irties požymių neužfiksuota. Plyšys nesiplėtė. Pradėjo tekėti viny ir bandymas buvo sustabdytas. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 9,19 \text{ mm}$.



2.62 pav. Bandinys nr. 27 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 25 (nekaitintas) sukontruotas iš 250 mm ilgio elementų. Prieš bandymą jungtis turėjo po įtrūkį abiejuose apatinio elemento galuose. Viena gale įtrūkis buvo paviršinis ir nuspręsta, kad jokios įtakos jungties stiprumui neturės. Kitame gale plyšio plotis siekė 2,5 mm. Jo gylis ~ 10 mm ir ilgis išilgai pluošto ~70 mm. Šie plyšiai buvo mediniuose elementuose jau prieš sukalant jungtį. Kalant jie nesiplėtė, todėl jungtis priimta kaip tinkama bandymui. Jokių kitų vizualių defektų ir pažeidimų neturėjo. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).

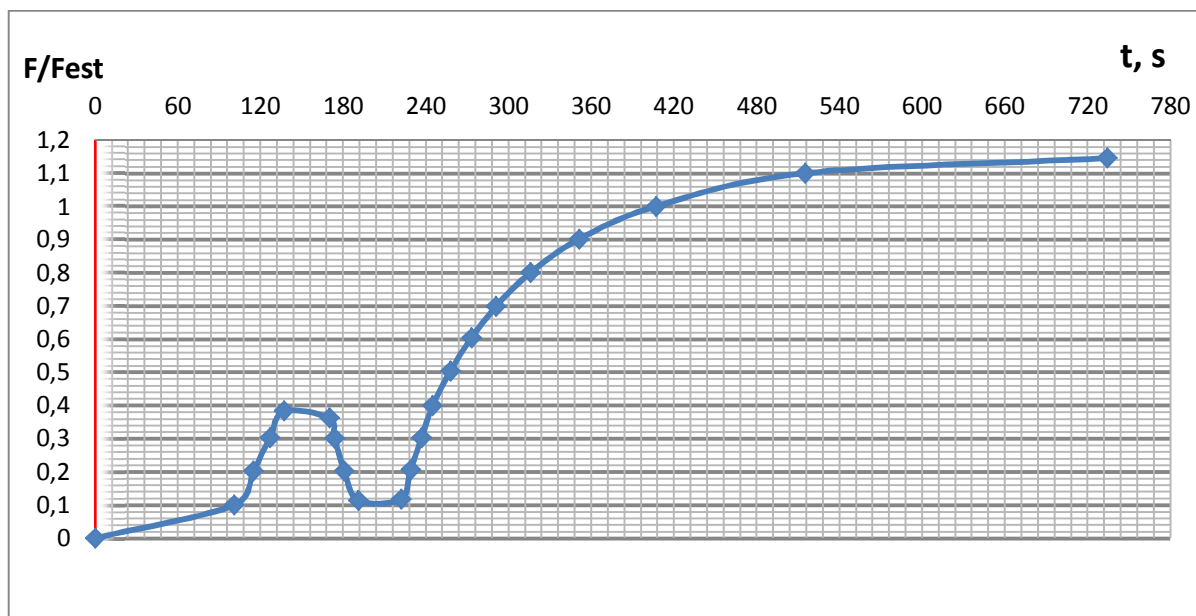


2.63 pav. Bandinys nr. 25 bandymo metu ir po bandymo

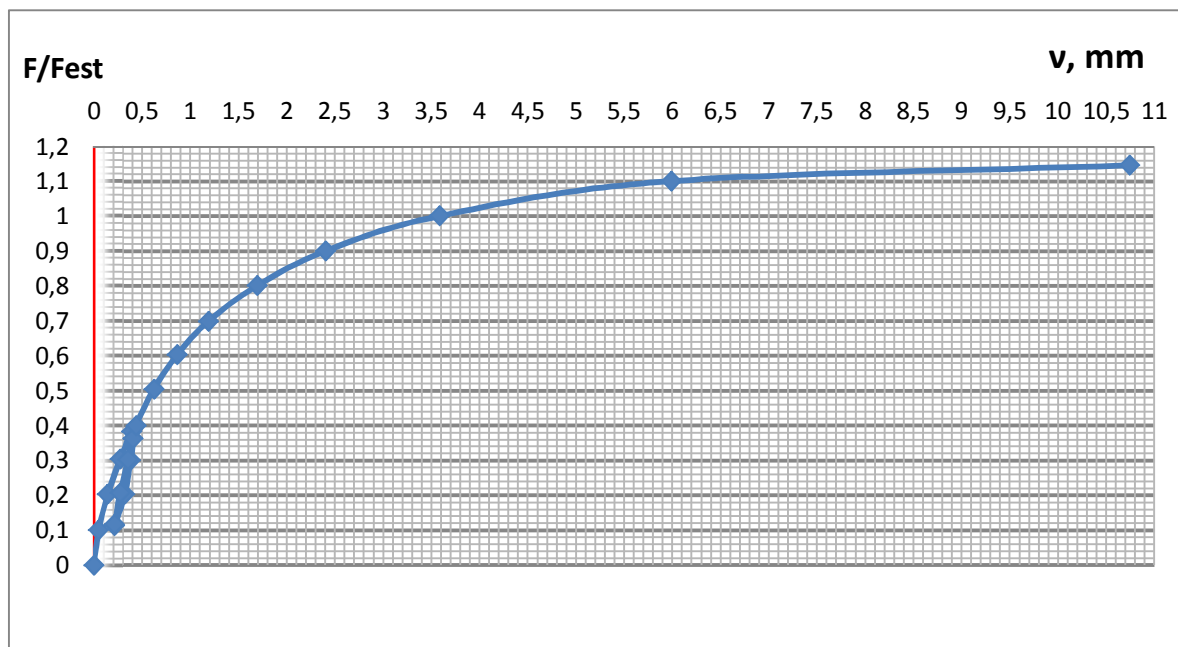
Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 19,24 °C iki 19,36 °C. Vidutinė temperatūra 19,32 °C. Temperatūra buvo 3,4 % mažesnė už priskiriamą standartinėms oro sąlygoms (20 °C). Tai labai artimas idealiai ribai rezultatas. Santykinė oro drėgmė gerokai skyrėsi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu 30,72 %. Tai yra daugiau negu 2 kartus mažesnis už standartinį. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 9,32 % (22,33 % mažesnis už norminę 12 % ribą). Bandinio elementų tankis buvo labai skirtingas ir svyravo nuo 412,74 kg/ m³ iki 493,16 kg/m³. Vidutinė tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420\text{kg} / \text{m}^3 < \rho_k < 500\text{kg} / \text{m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 25 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 138 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 33 s. Išlaikant apkrovą pastoviam lygyje, ji sumažėjo nuo 9,58 kN iki 9,06 kN (5,43 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 2,84 kN ir vėl išlaikoma 31 s. Per šį laiką apkrova padidėjo iki 2,94 kN (3,52 %). Pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 28,65\text{kN}$. Pasiekus maksimalią apkrovą, ji tapo pastovia

ir ėmė lėtai mažėti ($\sim 0,01$ kN/min). Esami plyšiai jungtyje bandymo metu nedidėjo ir jungtis nesuiro. Taigi spėjimas, kad plyšiai bandymui įtakos neturės, pasitvirtino. Jokių vizualių irties požymių bandinyje neatsirado. Rezultatai rodo, kad vinys pasiekė takumo ribą ir tai laikyta jungties irtimi, bandymas sustabdytas. Po bandymo perskėlus jungtį pasimatė tvarkingas vinių išlinkimas, būdingas dvišlytėms jungtims. Pasiekus maksimalią apkrovą, nustatyta slinktis $v_{\max} = 10,74$ mm. Galima daryti prielaidą, kad padidinus vinių skaičių arba jų diametrą, jungties laikomoji galia būtų gerokai didesnė.



2.64 pav. Bandinio nr. 25 laikinė galios kreivė



2.65 pav. Bandinio nr. 25 deformacinė jėgos kreivė

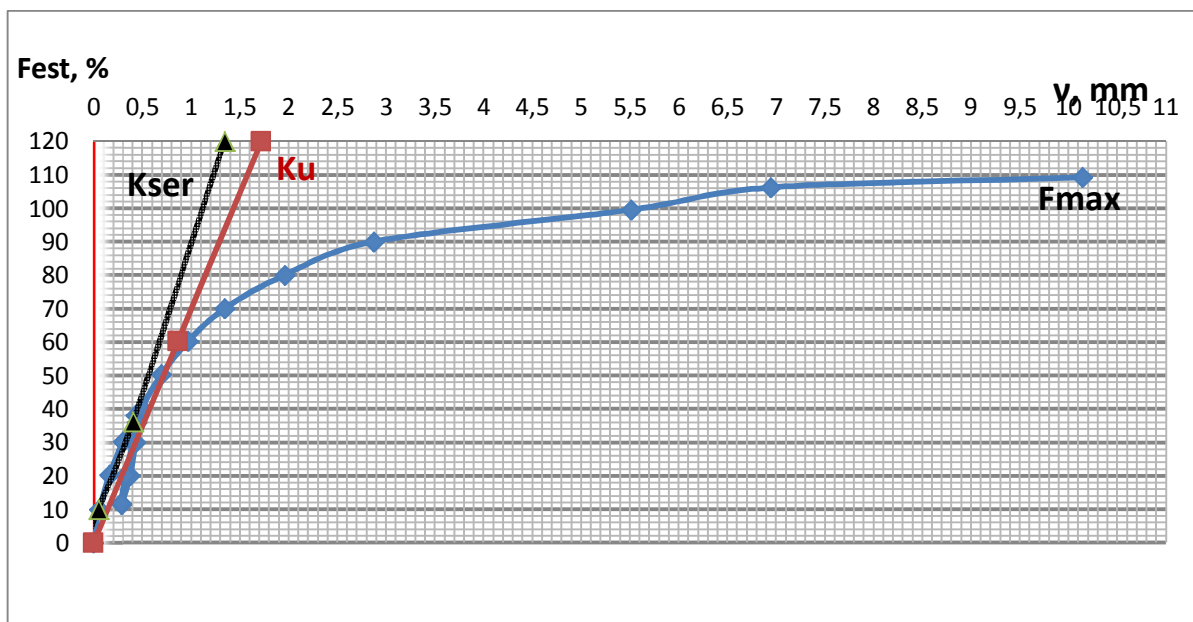
Bandinio nr. 25 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,457} = 54,7 \cdot 10^3 \text{ N/mm},$$

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,392 - 0,048) = 0,457 \text{ mm}.$$

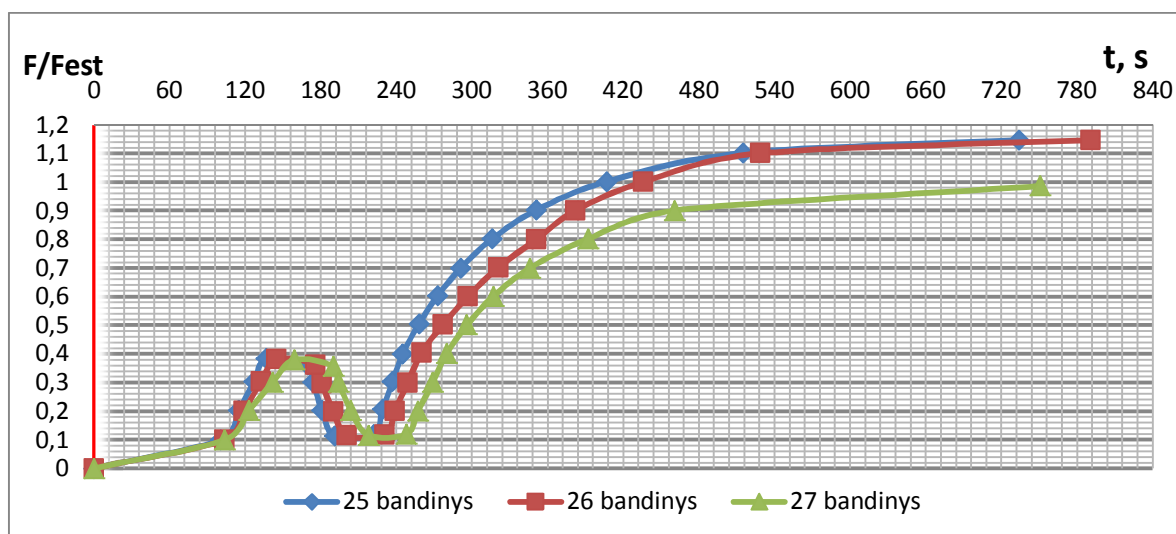
Bandinio nr. 25 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

$$K_u = \frac{0,6F_{max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 28,65 \cdot 10^3}{0,866} = 19,85 \cdot 10^3 \text{ N/mm}.$$



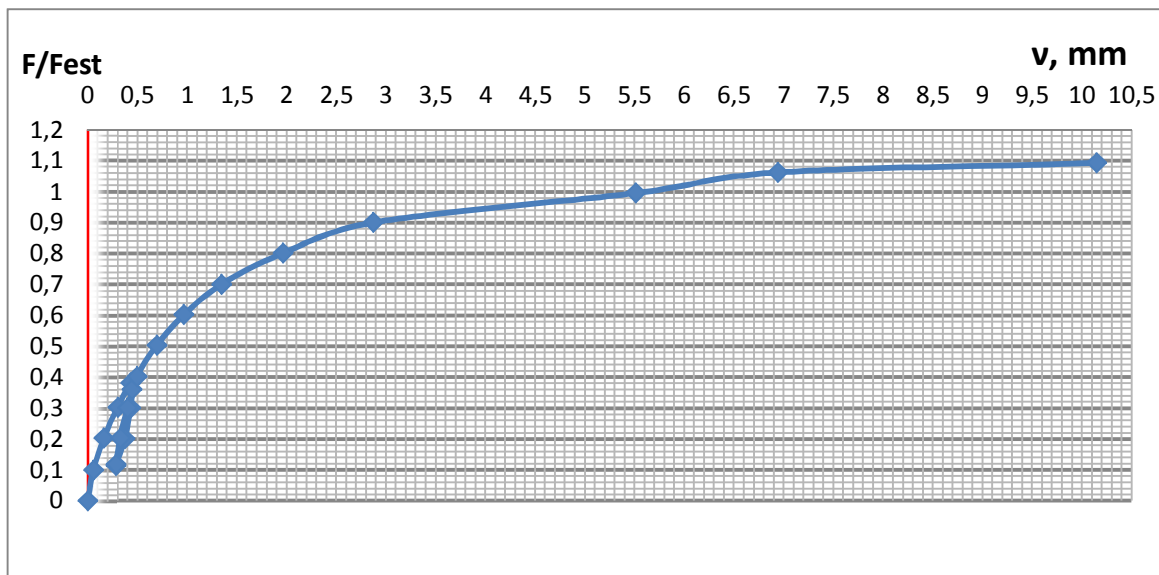
2.66 pav. Bandinio nr. 25 deformacijų moduliai

2.4.12. Bendri nekaitintųjų bandinių, sukonstruotų iš 250 mm ilgio elementų rezultatai

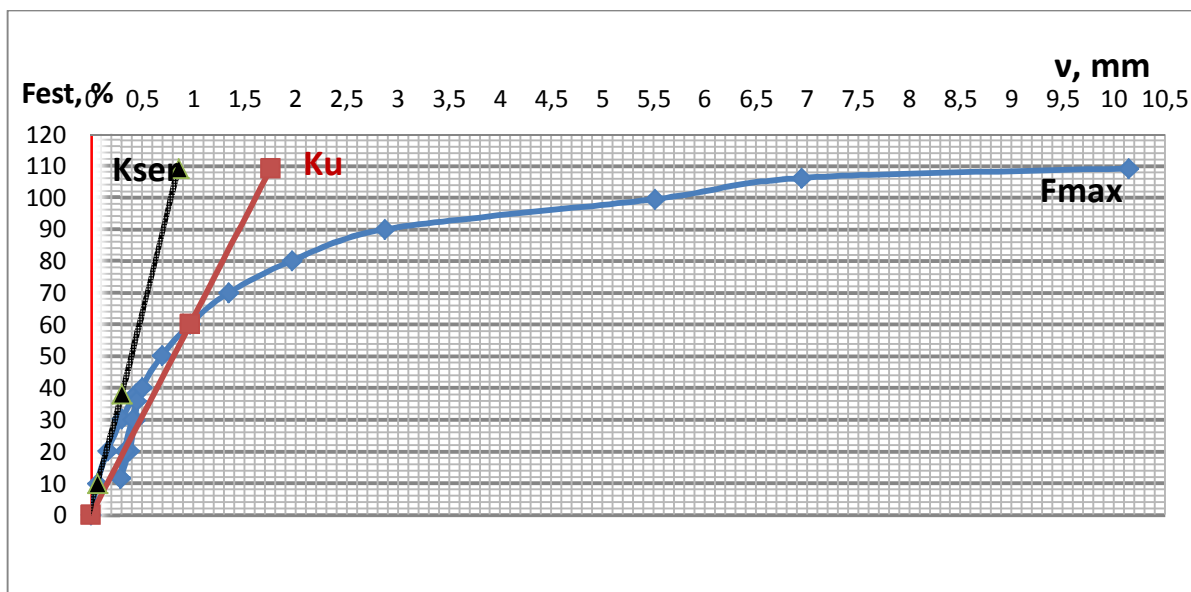


2.67 pav. Bandinių nr. 25, 26 ir 27 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.67 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos tamprioje stadijoje yra labai artimos. Bandinių nr. 25 ir 26 pasiektos maksimalios apkrovos yra vienodos (28,65 kN, 28,66 kN). Bandinys nr. 27 pasiekė mažiausią laikomąją galią 24,65 kN, kuri yra labai artima prognozuotai apkrovai $F_{est} = 25\text{kN}$. Kreivės yra labai panašios ir kai bandiniai pradeda deformuotis plastiškai (viršijus $0,4F_{est}$).



2.68 pav. Bandinių nr. 25, 26, 27 deformacinės jėgos vidurkių kreivė

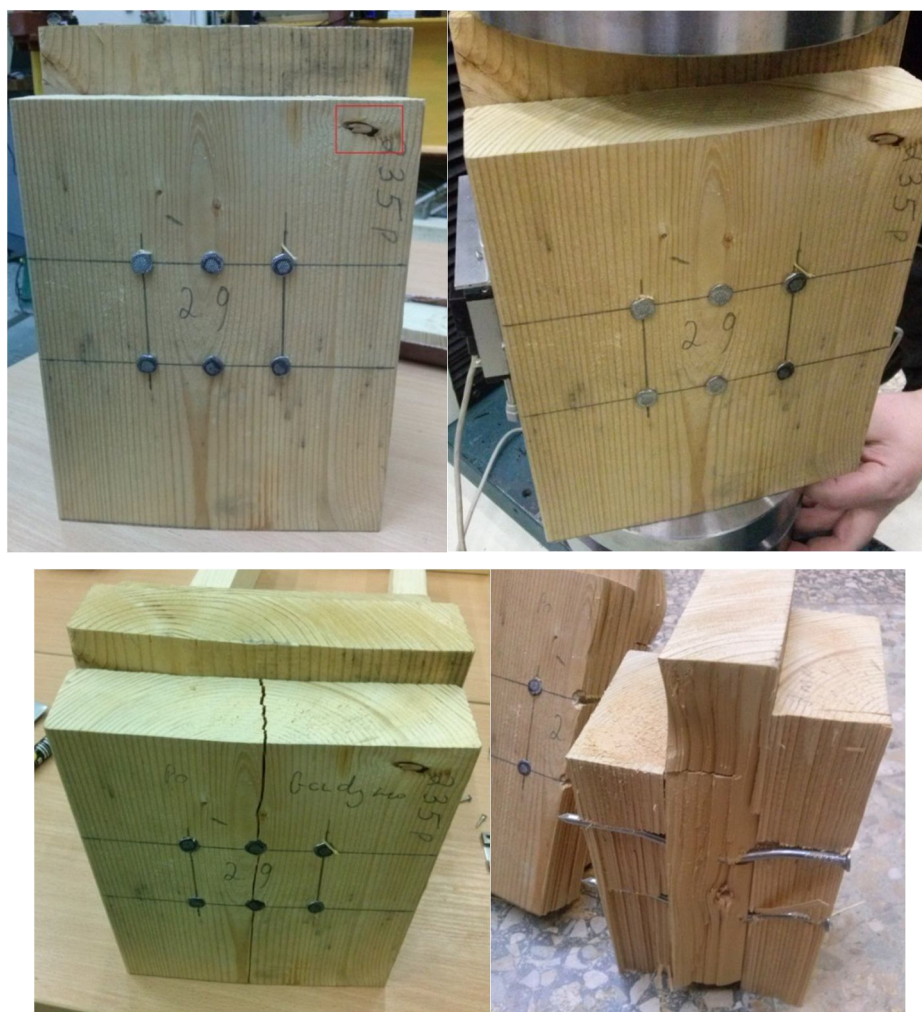


2.69 pav. Bandinių nr. 25, 26 ir 27 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.13. Kaitintieji bandiniai iš 235 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 29 turėjo nedidelę šaką viršutiniame elemente. Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų neturėjo, kalant plyšių neatsirado. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 29 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 20,22 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis labai žemas, tik 23,53 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 4,60 %, tankis – 431,83 kg/m³. Pasiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 35,37 \text{ kN}$. Šiame taške apkrova pradėjo kristi ir bandymas sustabdytas. Esant maždaug 32 kN apkrovai, viršutinis bandinio elementas skilo pusiau (2.70 pav.). Tačiau apkrova nekrito ir buvo nuspręsta bandymą pratęsti ir patikrinti kaip bandinys elgsis toliau. Jungtis liko tik su dviem darbą atliekančiais elementais. Iš esmės ji tapo vienslūtė. Keista, tačiau apkrova augo ir toliau iki maksimalios. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 14,58 \text{ mm}$.



2.70 pav. Bandinys nr. 29 bandymo metu ir po bandymo

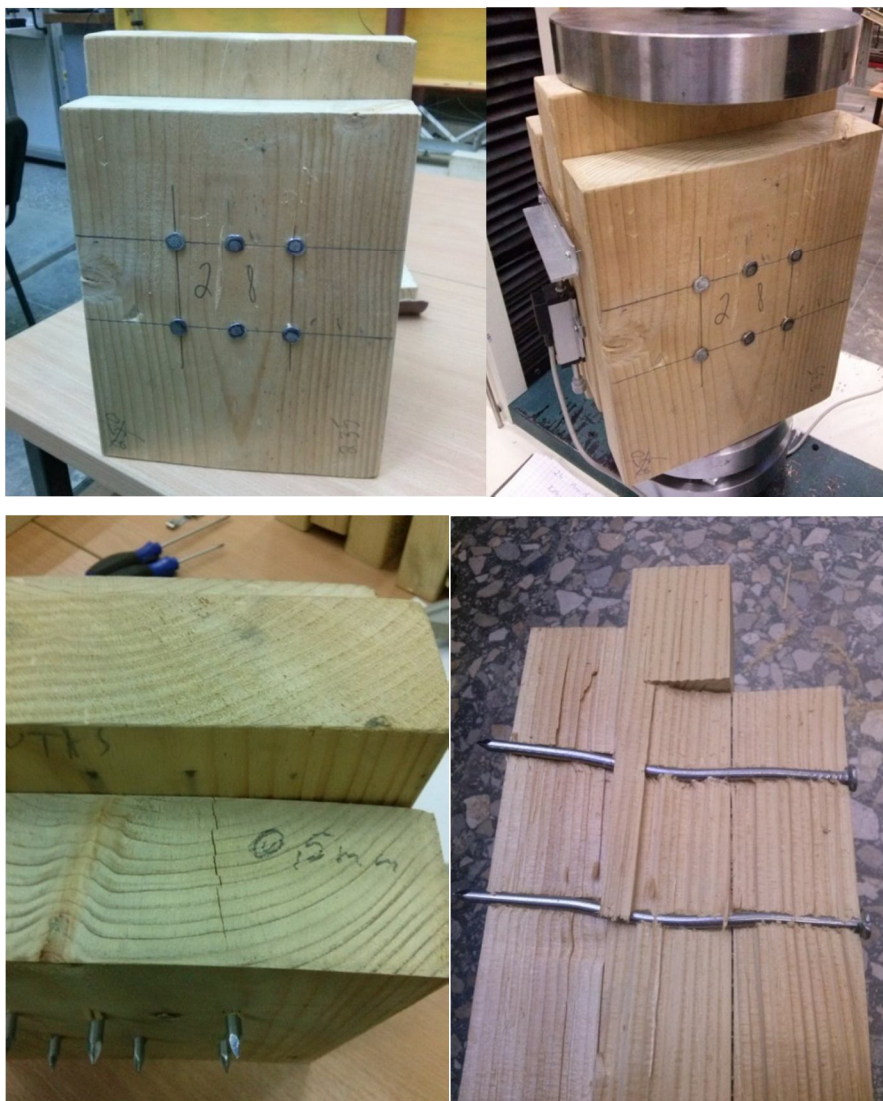
Bandinys nr. 30 turėjo mikro įtrūkį viršutiniame elemente. Šis įtrūkis šiek tiek išplito kalant, maždaug iki $\frac{3}{4}$ skerspjuvio. Kadangi įtrūkis buvo neapkrautame gale, tai nuspręsta, kad bandinys yra tinkamas. Viršutinis elementas taip pat turėjo nedidelę šaką viduryje. Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų neužfiksuota. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 30 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo $20,14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis labai žemas, tik $23,29\%$. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis $4,50\%$, tankis – $458,37\text{ kg/m}^3$. Pasiiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 31,29\text{ kN}$. Šiame taške trūko viršutinis elementas, toje vietoje, kur jau prieš bandymą buvo nustatytas mikroįtrūkis. Apkrova ėmė staiga mažėti ir bandymas sustabdytas. Pasiiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 10,25\text{ mm}$.



2.71 pav. Bandinys nr. 30 bandymo metu ir po bandymo

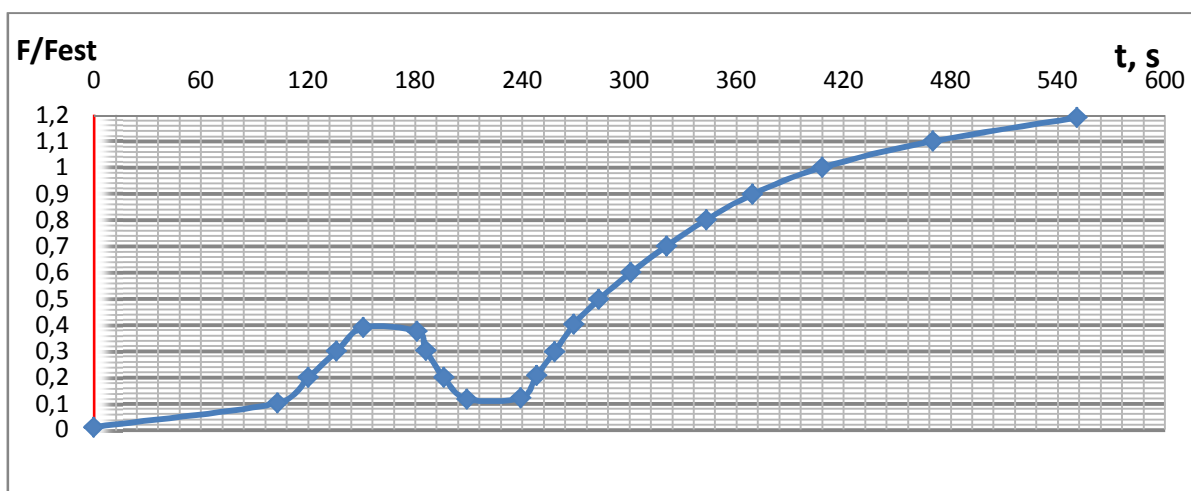
Bandinys nr. 28 (kaitintas) sukontruotas iš 235 mm ilgio elementų. Viršutinis elementas turėjo dvi šakas, po vieną abiejuose kraštuose (2.73 pav.). Jokių matomų plyšių nebuvo. Jungtis sukalta sėkmingai. Jokių kitų vizualių defektų ir pažaidų nenustatyta. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).



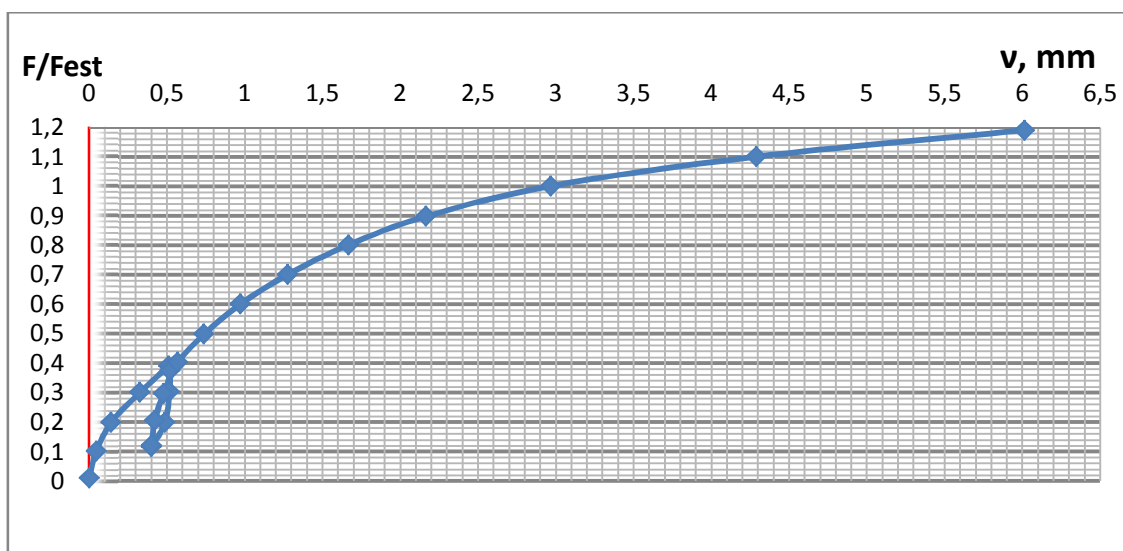
2.72 pav. Bandinys nr. 28 bandymo metu ir po bandymo

Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 20,05 °C iki 20,16 °C. Vidutinė temperatūra bandymo metu buvo 20,1 °C. Tai beveik ideali temperatūra, atitinkanti standartinėms oro sąlygoms priskiriamą temperatūrą, o santykinė oro drėgmė, kaip ir visų kitų bandinių, labai skyrėsi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu - 24,32 %. Tai 62,58 % mažiau už standartinėms oro sąlygoms priskiriamą drėgnį (65 %). Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 4,60 %. Tai visiškai sausa mediena, jos drėgnis 61,67 % mažesnis už norminį (12 %). Bandinio elementų tankis 441,55 kg/m³. Tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420\text{kg} / \text{m}^3 < \rho_k < 500\text{kg} / \text{m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 28 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 151 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 30 s. Išlaikymo metu apkrova sumažėjo nuo 9,76 kN iki 9,4 kN (2,08 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 2,94 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Per šį laiką apkrova padidėjo iki 3,04 kN (3,4 %). Pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 29,79 \text{ kN}$. Pasiekus maksimalią apkrovą, pasigirdo traškėjimas, skilo apatinis elementas. Nuo šio taško apkrova ėmė mažėti ir bandymas sustabdytas. Po bandymo perskėlus jungtį, pasimatė tvarkingas vinių išlinkimas, būdingas dvišlytėms jungtims. Pasiekus maksimalią apkrovą, nustatyta neįprastai maža slinktis $v_{\max} = 6,01 \text{ mm}$. Taigi mediena suiro esant slinkčiai 60 % mažesnei už ribinę.



2.73 pav. Bandinio nr. 28 laikinė galios kreivė



2.74 pav. Bandinio nr. 28 deformacinė jėgos kreivė

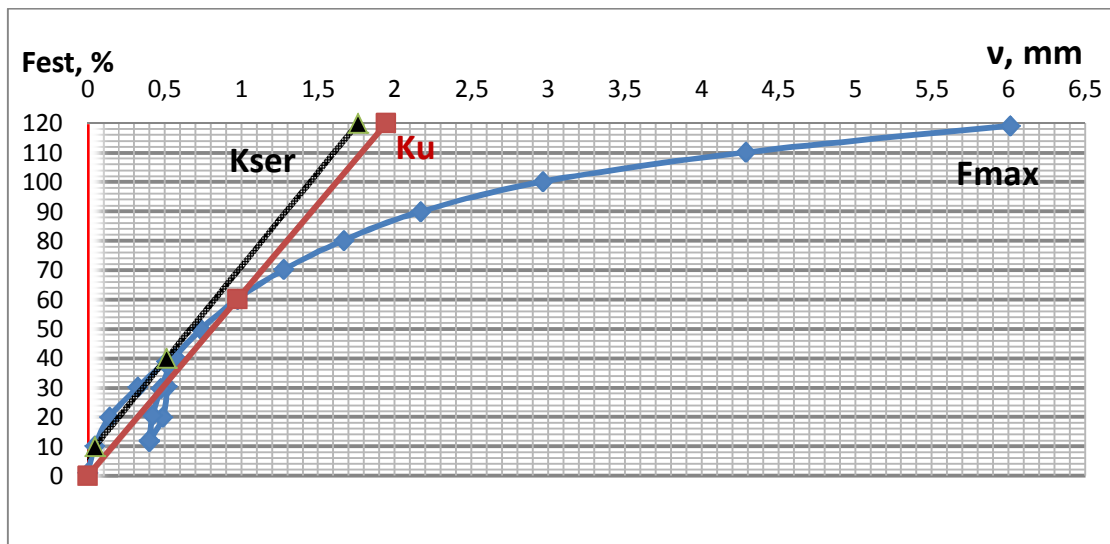
Bandinio nr. 28 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,623} = 40,13 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,514 - 0,047) = 0,623 \text{ mm}.$$

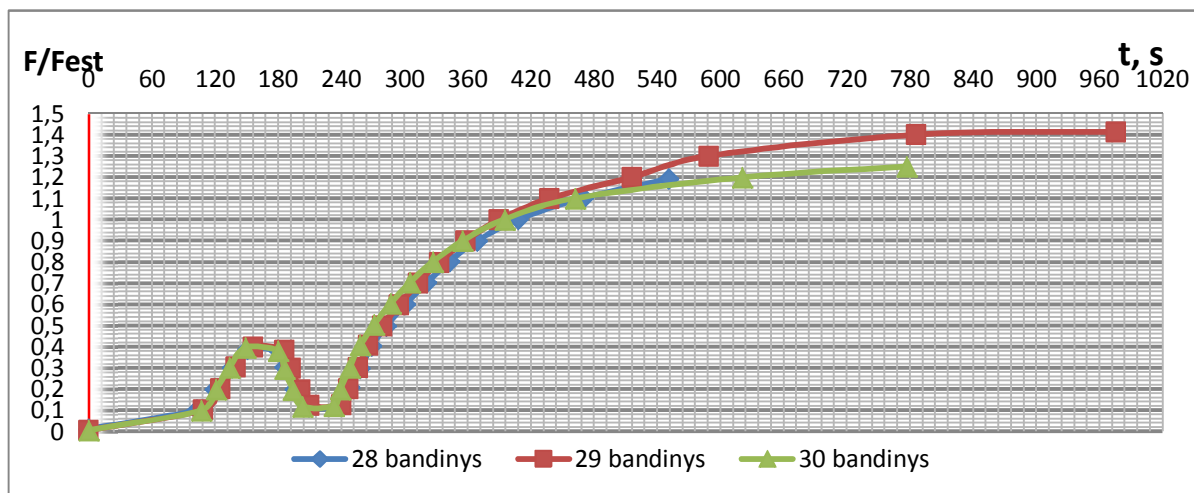
Bandinio nr. 28 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

$$K_u = \frac{0,6 F_{\max}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 29,79 \cdot 10^3}{0,975} = 18,33 \cdot 10^3 \text{ N/mm}.$$



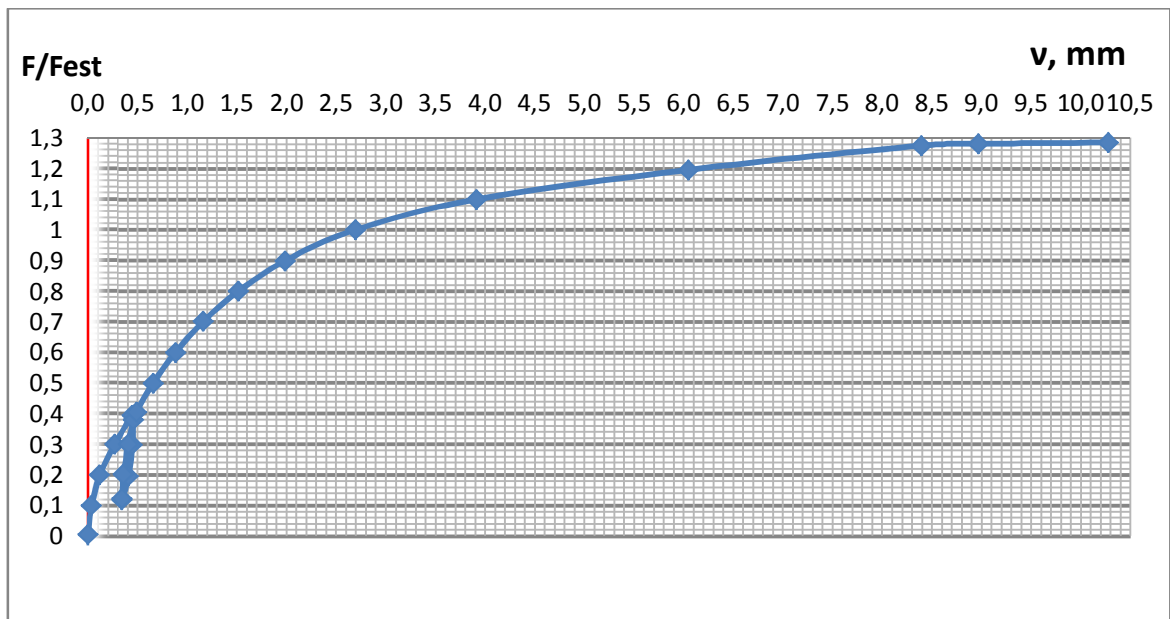
2.75 pav. Bandinio nr. 28 deformacijų moduliai

2.4.14. Bendri kaitintų bandinių, sukonstruotų iš 235 mm ilgio elementų rezultatai

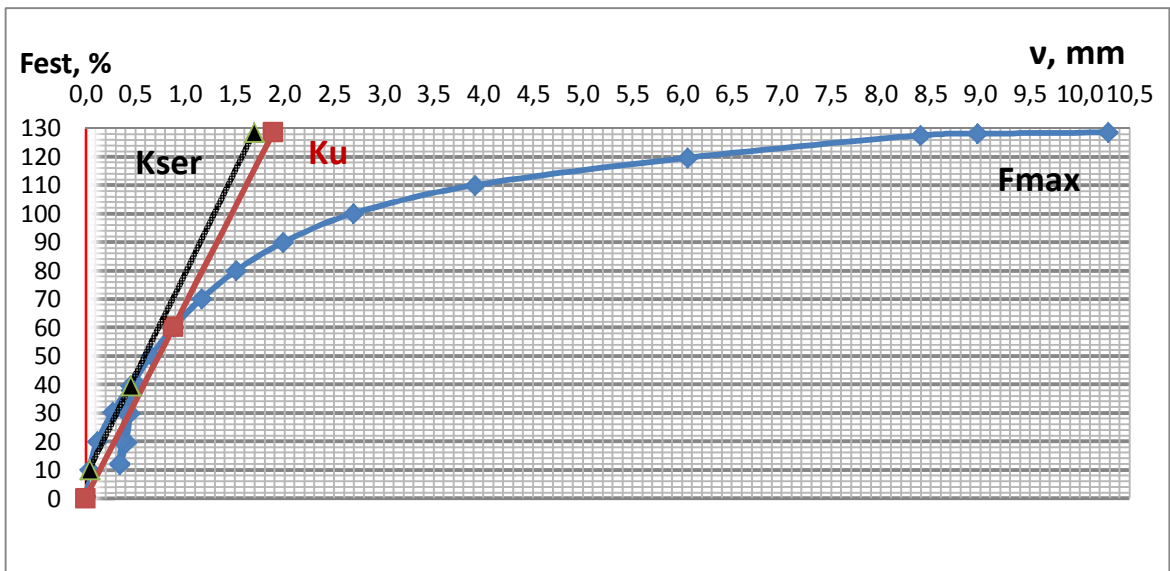


2.76 pav. Bandinių nr. 28, 29 ir 30 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.76 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos tamproje stadijoje 550 minučių sutampa beveik idealiai. Nuo šio taško bandymų laikas pradeda labai skirtis. Keisčiausia, kad ilgiausiai truko 29 bandinio bandymas. Jo viršutinis elementas truko per pusę. Jo pasiekta laikomoji galia taip pat didžiausia. Bandinių nr. 28, 29 ir 30 pasiektos maksimalios apkrovos yra atitinkamai (29,79 kN, 35,37 kN ir 31,29 kN).



2.77 pav. Bandinių nr. 28, 29, 30 deformacinės jėgos vidurkių kreivė



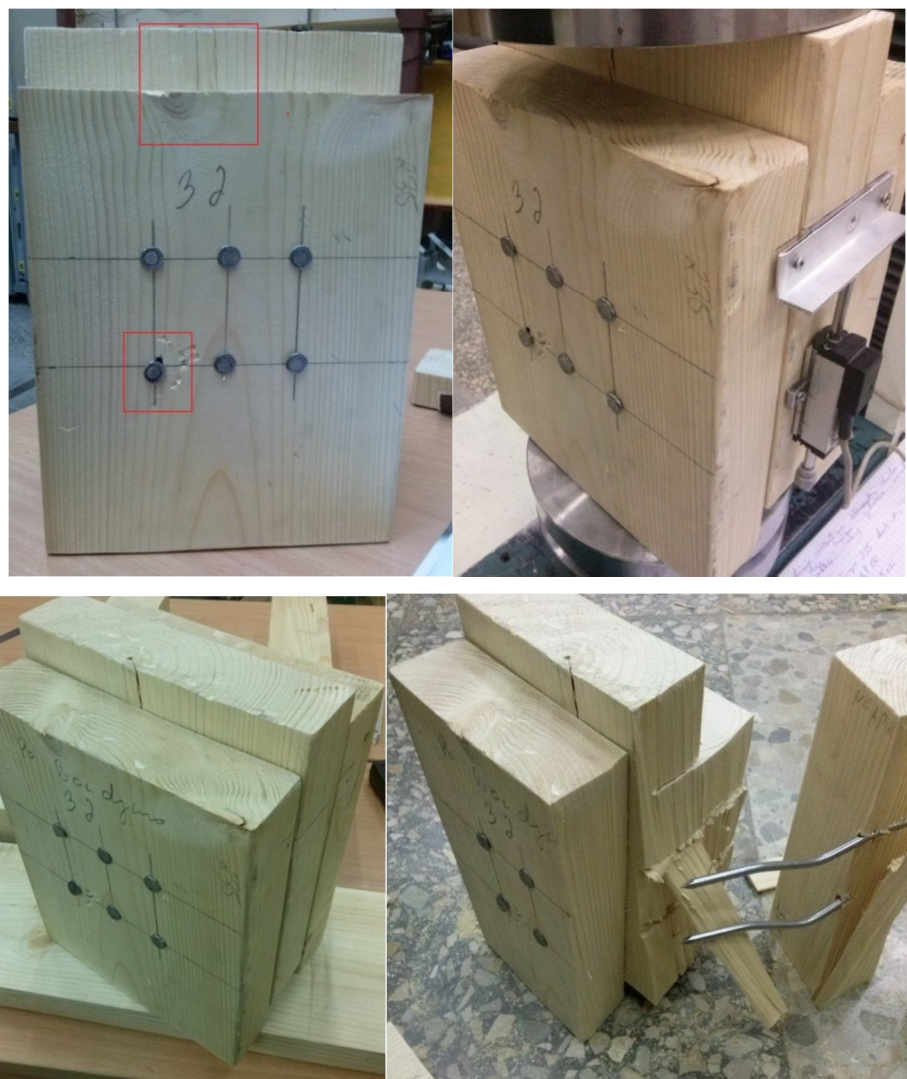
2.78 pav. Bandinių nr. 28, 29 ir 30 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.4.15. Nekaitintieji bandiniai iš 235 mm ilgio elementų

Bandinys nr. 32 turėjo paviršinį įtrūkį viduriniajame elemente. Nuspręsta, kad įtakos rezultatams jis neturės. Viršutinis elementas neapkrautame krašte turėjo nedidelę šaką. Kalant šią jungtį, viena vinis sulinko, jos pakeisti kita nepavyko. Kalama vinis šiek tiek deformavo kiaurymę. Išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 32 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo 19,77 °C. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis labai žemas, tik 28,68 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 8,55 %, tankis – 421,5 kg/m³. Pasiiekta didžiausia apkrova $F_{\max} = 26,59 \text{ kN}$. Šiame taške apkrova ėmė

lėtai mažėti, pradėjo tekėti viny ir bandymas sustabdytas. Jokių medienos irties požymių neužfiksuota, plyšys nesiplėtė. Pasiekus maksimalią apkrovą, užfiksuota slinktis – $v_{\max} = 10,6\text{mm}$.



2.79 pav. Bandinys nr. 32 bandymo metu ir po bandymo

Bandinys nr. 33 turėjo įtrūkį viduriniajame elemente išilgai medienos pluošto. Įtrūkis buvo gana gilus, apie 11 mm. Kalant jungtį, plyšys nesiplėtė ir buvo nuspręsta ją išbandyti. Jungtyje išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005).

Atliekant 33 bandinio bandymą vidutinė temperatūra laboratorijoje buvo $19,54\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis labai žemas, tik 29,04 %. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 8,96 %, tankis – $437,56\text{ kg/m}^3$. Atliekant bandymą ir artėjant prie ribinės apkrovos, atsivėrė plyšys viršutiniame elemente, tačiau bandinys nesuiro. Viduriniajame elemente buvęs plyšys išsiplėtė per visą bandinio ilgį. Tačiau bandinys vistiek nesuiro ir buvo pasiekta ribinė slinktis $v_{\max} = 15,01\text{mm}$. Bandymas sustabdytas ir užfiksuota apkrova $F_{\max} = 26,6\text{kN}$.



2.80 pav. Bandinys nr. 33 bandymo metu ir po bandymo

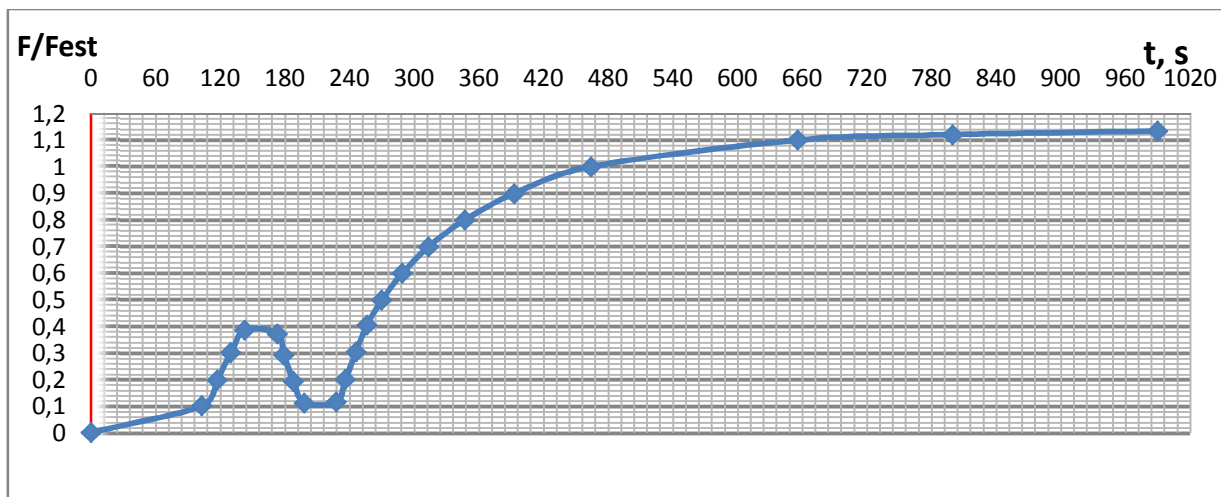
Bandinys nr. 31 (nekaitintas) sukontruotas iš 235 mm ilgio elementų. Bandinys neturėjo jokių vizualių defektų ir pažaidų, sukontruotas tinkamai, išlaikyti reikiami atstumai tarp vinių bei nuo elementų kraštų ir galų (LST EN 1995-1-1:2005). Elementai prigludę vienas prie kito (tarpų nėra).



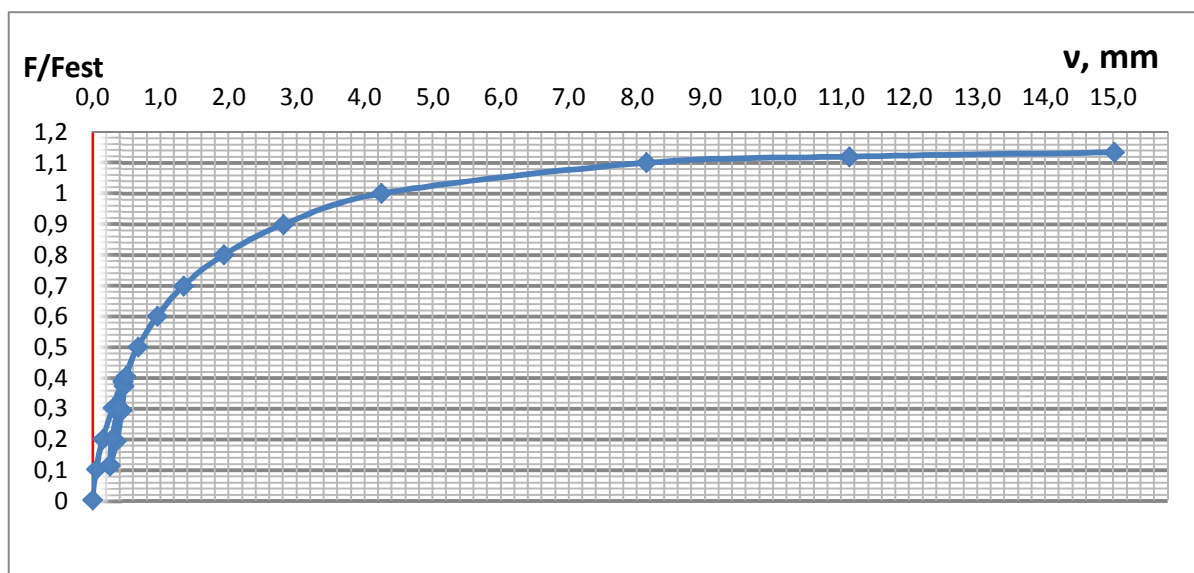
2.81 pav. Bandinys nr. 31 bandymo metu ir po bandymo

Atliekant bandymą aplinkos temperatūra laboratorijoje svyravo nuo 19,67 °C iki 19,74 °C. Vidutinė temperatūra 19,71 °C. Temperatūra buvo 1,45 % mažesnė už priskiriamą standartinėms oro sąlygoms (20 °C). Tai labai artimas idealiai ribai rezultatas. Santykinė oro drėgmė gerokai skyrėsi nuo standartinės. Vidutinis santykinis aplinkos drėgnis laboratorijoje bandymų metu 28,34 %. Tai yra daugiau negu 2 kartus mažesnis už standartinį. Nustatytas vidutinis bandinio elementų drėgnis 8,14 % (32,17 % mažesnis už norminę 12 % ribą). Tai mažiausią drėgnį turinti jungtis iš visų termiškai nemodifikuotų bandinių. Vidutinis bandinio elementų tankis buvo 432,85 kg/ m³. Vidutinė tankio reikšmė patenka į tankio ribas $420\text{kg} / \text{m}^3 < \rho_k < 500\text{kg} / \text{m}^3$ (1 lentelė).

Jungties nr. 31 bandymas vyko keliant apkrovą 1,25 mm/min greičiu. Po 143 s apkrovimas buvo stabdomas ir apkrova išlaikoma 30 s. Išlaikant apkrovą pastoviam lygyje, ji sumažėjo nuo 9,7 kN iki 9,33 kN (3,81 %). Tada apkrova vėl pastoviu greičiu buvo mažinama iki 2,84 kN ir vėl išlaikoma 30 s. Per šį laiką apkrova padidėjo iki 2,94 kN (3,52 %). Pokytis nedidelis. Toliau apkrova kelta pastoviu greičiu iki maksimalios $F_{\max} = 28,35 \text{ kN}$. Prie šios apkrovos buvo pasiekta ribinė slinktis $v_{\lim} = 15,0 \text{ mm}$ ir bandymas sustabdytas. Bandinyje jokių vizualių ir garsinių irties požymių neužfiksuota.



2.82 pav. Bandinio nr. 31 laikinė galios kreivė



2.83 pav. Bandinio nr. 31 deformacinė jėgos kreivė

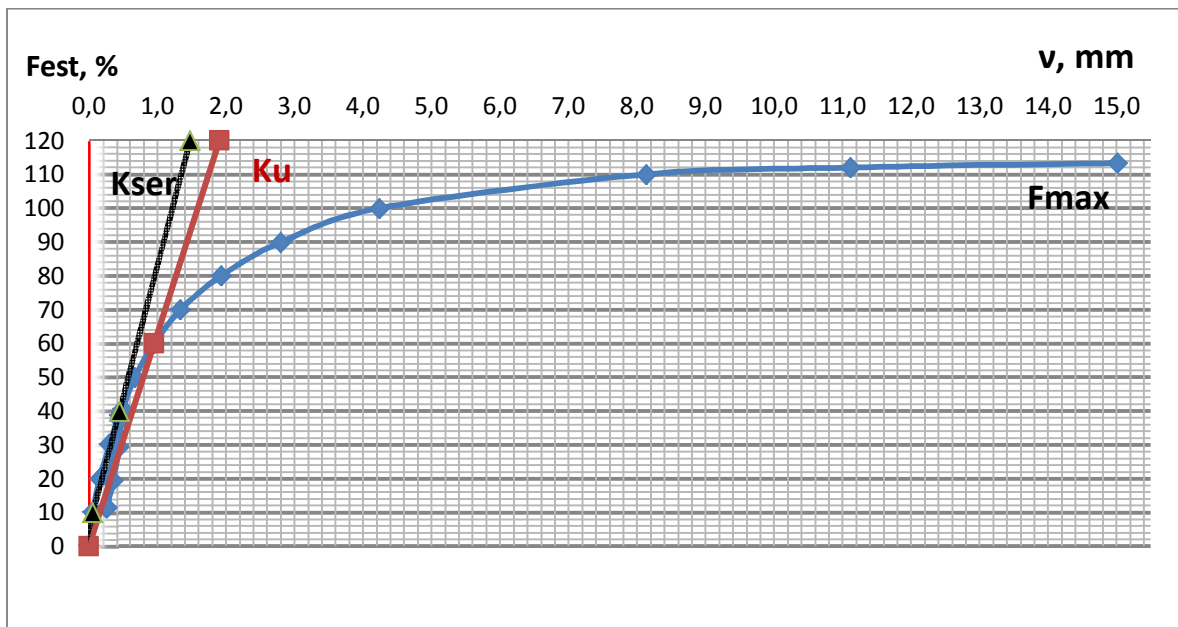
Bandinio nr. 31 tinkamumo ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis:

$$K_{ser} = \frac{F_{est}}{v_{i,mod}} = \frac{25 \cdot 10^3}{0,623} = 40,13 \cdot 10^3 \text{ N / mm},$$

$$v_{i, \text{mod}} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) = \frac{4}{3}(0,514 - 0,047) = 0,623 \text{ mm}.$$

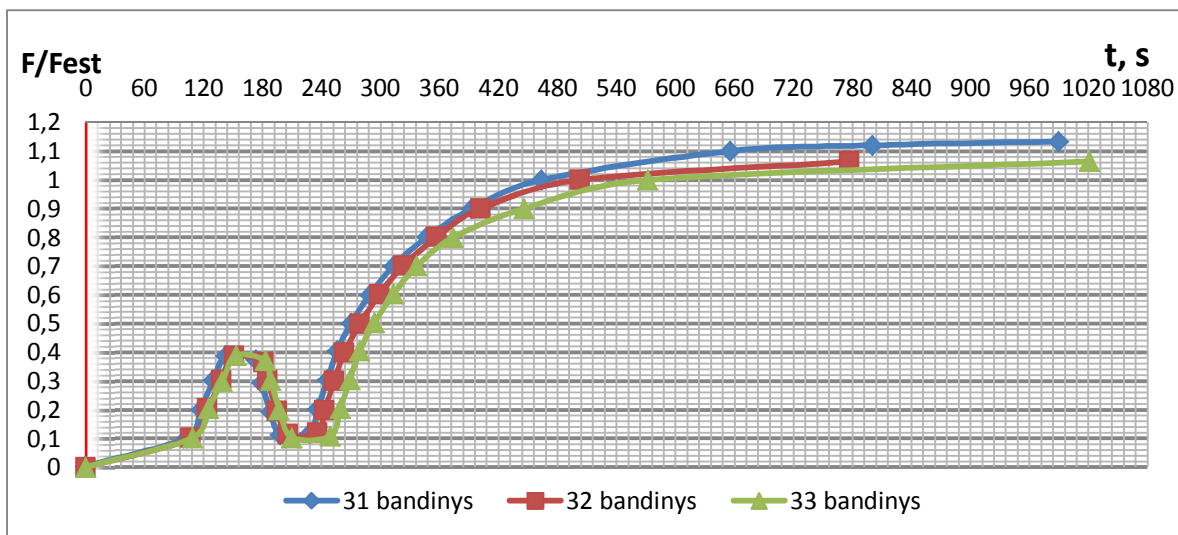
Bandinio nr. 31 saugos ribiniam būviui taikomas deformacijų modulis

$$K_u = \frac{0,6 F_{\text{max}}}{v_{0,6}} = \frac{0,6 \cdot 29,79 \cdot 10^3}{0,975} = 18,33 \cdot 10^3 \text{ N/mm}.$$



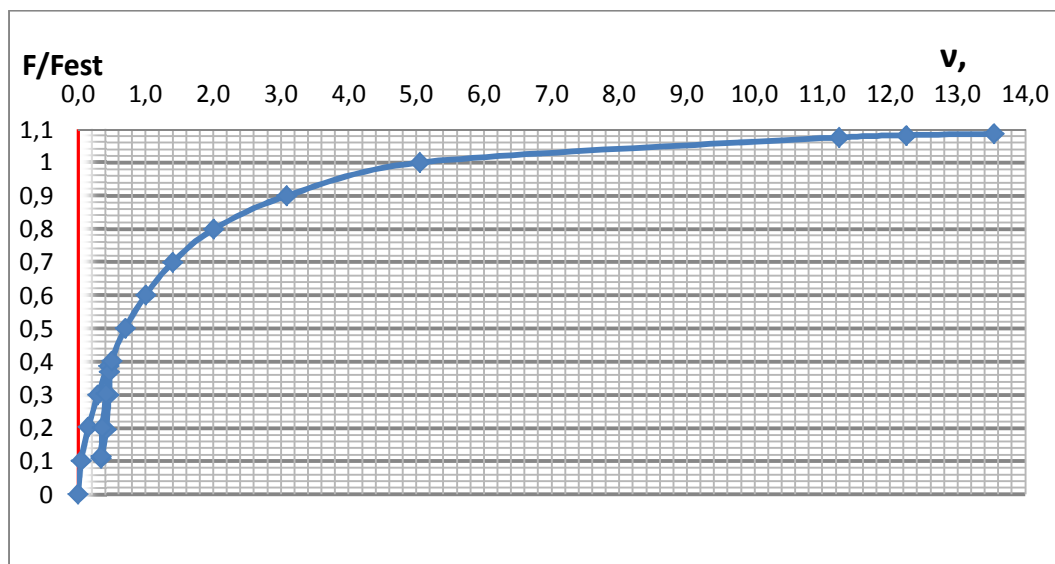
2.84 pav. Bandinio nr. 31 deformacijų moduliai

2.4.16. Bendri nekaitintų bandinių, sukonstruotų iš 235 mm ilgio elementų rezultatai

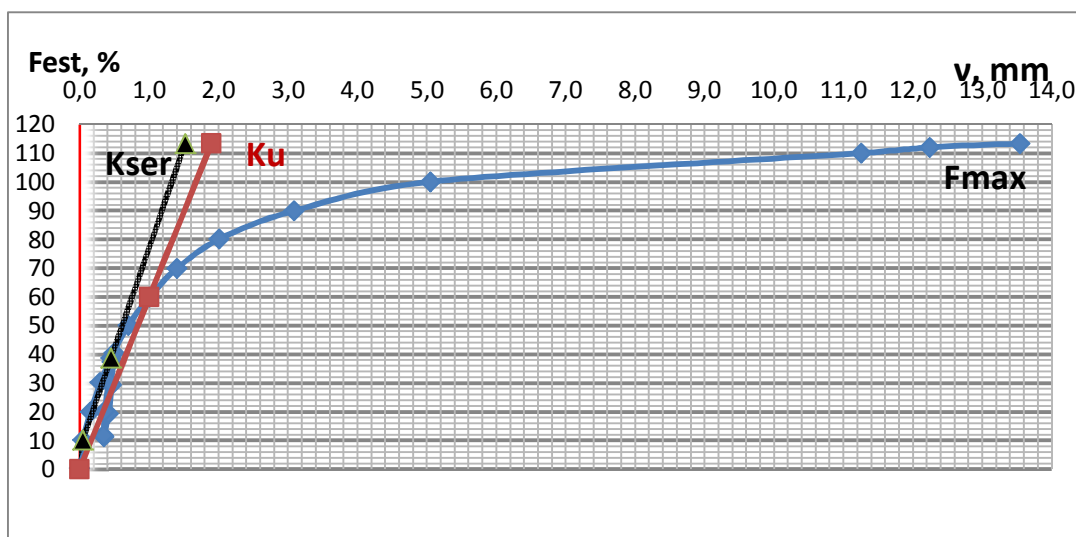


2.85 pav. Bandinių nr. 31, 32 ir 33 laikinės galios kreivės

Kaip matyti 2.85 paveiksle, bandinių laikinės galios diagramos tamprioje stadijoje sutampa beveik idealiai. Vėliau kreivės pasiskirsto irgi labai panašiai. Tik 32 bandinio laikas yra gerokai trumpesnis nei kitų. Bandinių nr. 31, 32 ir 33 pasiektos maksimalios apkrovos yra atitinkamai (28,35 kN, 26,59 kN ir 26,6 kN).



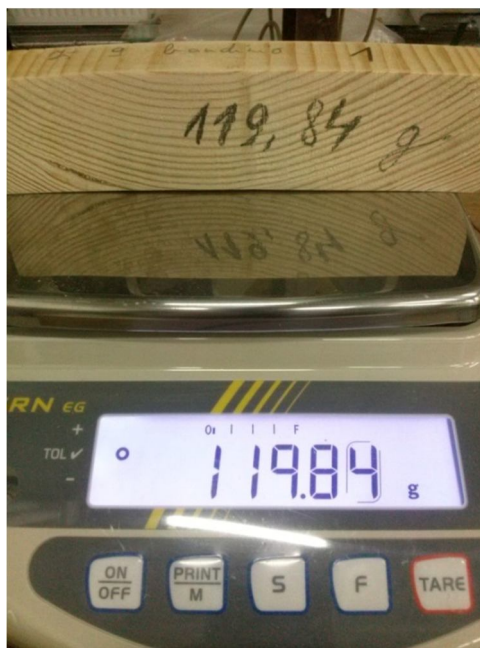
2.86 pav. Bandinių nr. 31, 32, 33 deformacinės jėgos vidurkių kreivė



2.87 pav. Bandinių nr. 31, 32 ir 33 vidutinių reikšmių deformacijų moduliai

2.5. Bandinių drėgnio ir tankio nustatymas

Bandinių analizei reikalingos fizikinės medienos savybės - tankis ir drėgnis. Laboratorijoje drėgnis buvo nustatomas svoriniu (džiovinimo) metodu. Iškart po bandymo nuo neapkrautų bandinio elemento galų, skersai medienos pluošto, buvo išpjunami stačiakampės prizmės formos 30mm pločio bandinukai. Ant bandinukų buvo pažymima, iš kokios jie jungties. Tada prizmelės buvo išmatuojamos trijose vietose ir išvedami matmenų vidurkiai. Tada bandiniai buvo pasveriami ir 24 valandas kaitinami specialioje kaitinimo kameroje 103°C temperatūroje. Po paros bandiniai buvo išimami ir vėl pasveriami.



2.88 pav. Prizmelės pasvėrimas medienos drėgnio ir tankio nustatymui

Medienos drėgnis skaičiuotas pagal (LST EN 13183-1:2003) pateiktą formulę:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%; \quad (2.1)$$

čia m_1 – bandinio masė prieš džiovinimą, gramais;

m_0 – visiškai sauso bandinio sekcijos masė gramais.

Pagal formulę buvo apskaičiuotas kiekvieno bandinio drėgnis ir išvestas drėgnio vidurkis.

Tankis skaičiuotas pagal (LST EN 384:2010) formulę:

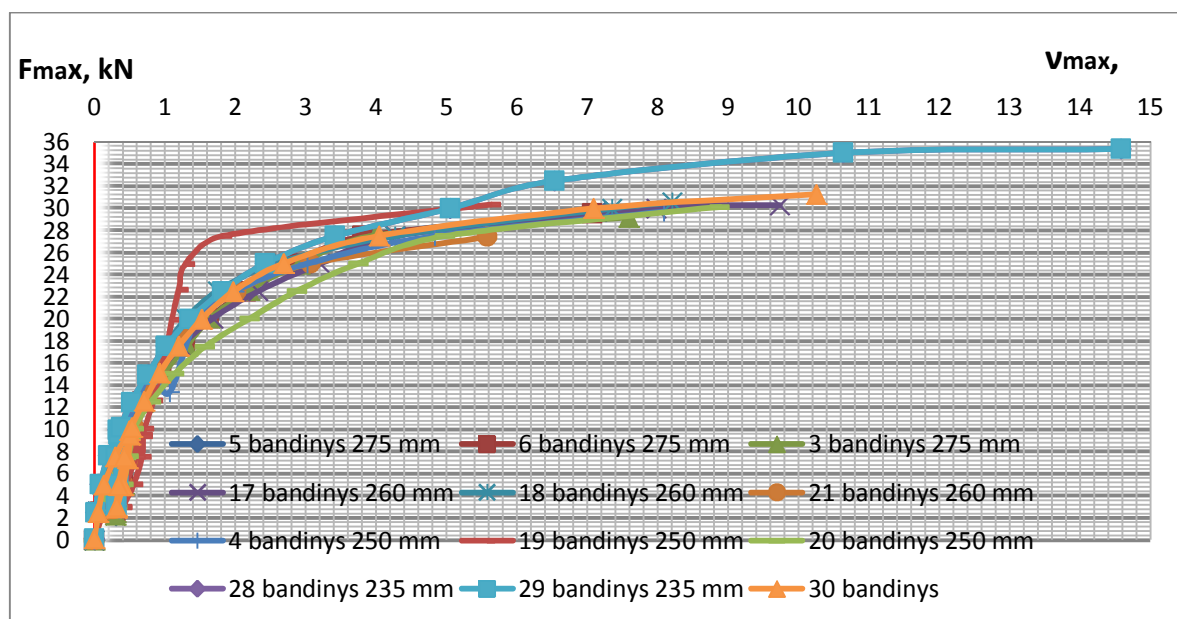
$$\rho = \frac{m}{V}; \quad (2.2)$$

čia m – bandinio masė, esant natūraliam jos drėgniui prieš džiovinimą;

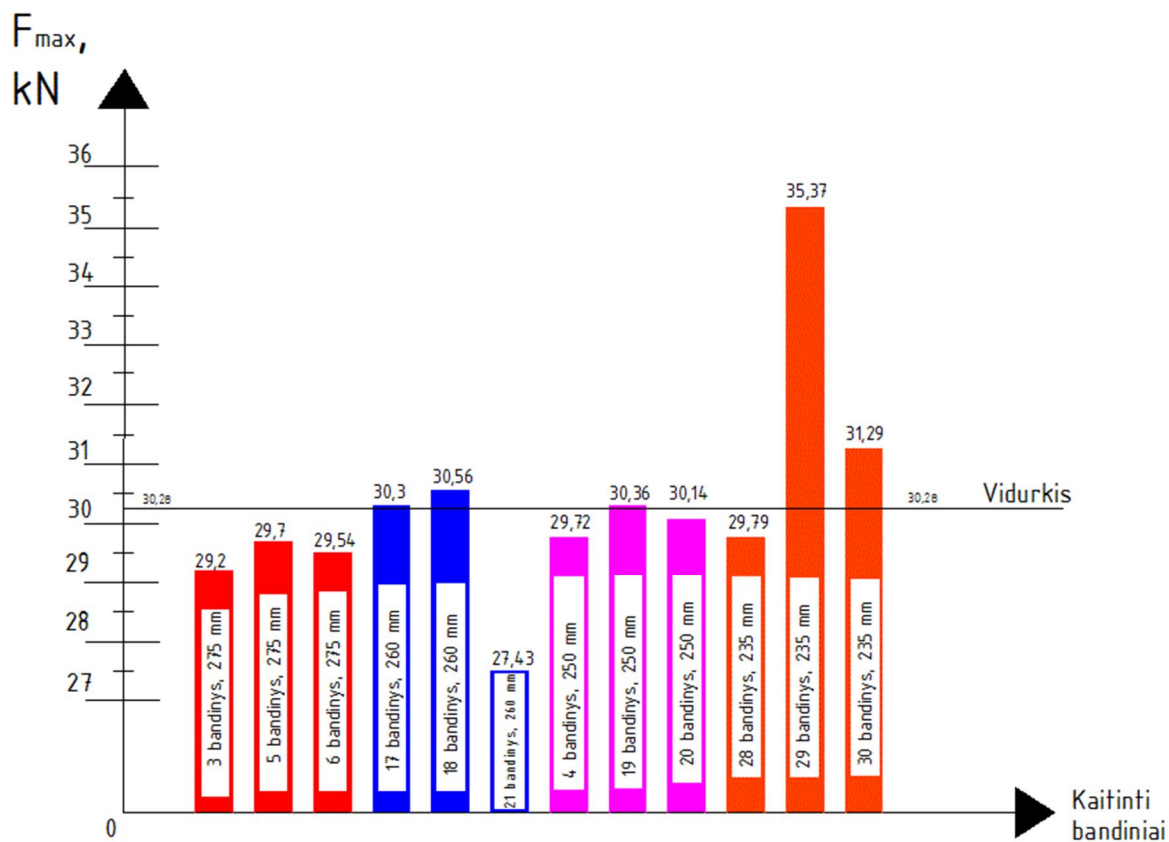
V – bandinio tūris.

3. KAITINTOS IR PAPRASTOS MEDIENOS BANDYMŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS

3.1. Bendrosios kreivės ir maksimalių rodiklių palyginimas



3.1 pav. Visų kaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių ir maksimalių slinkčių kreivės

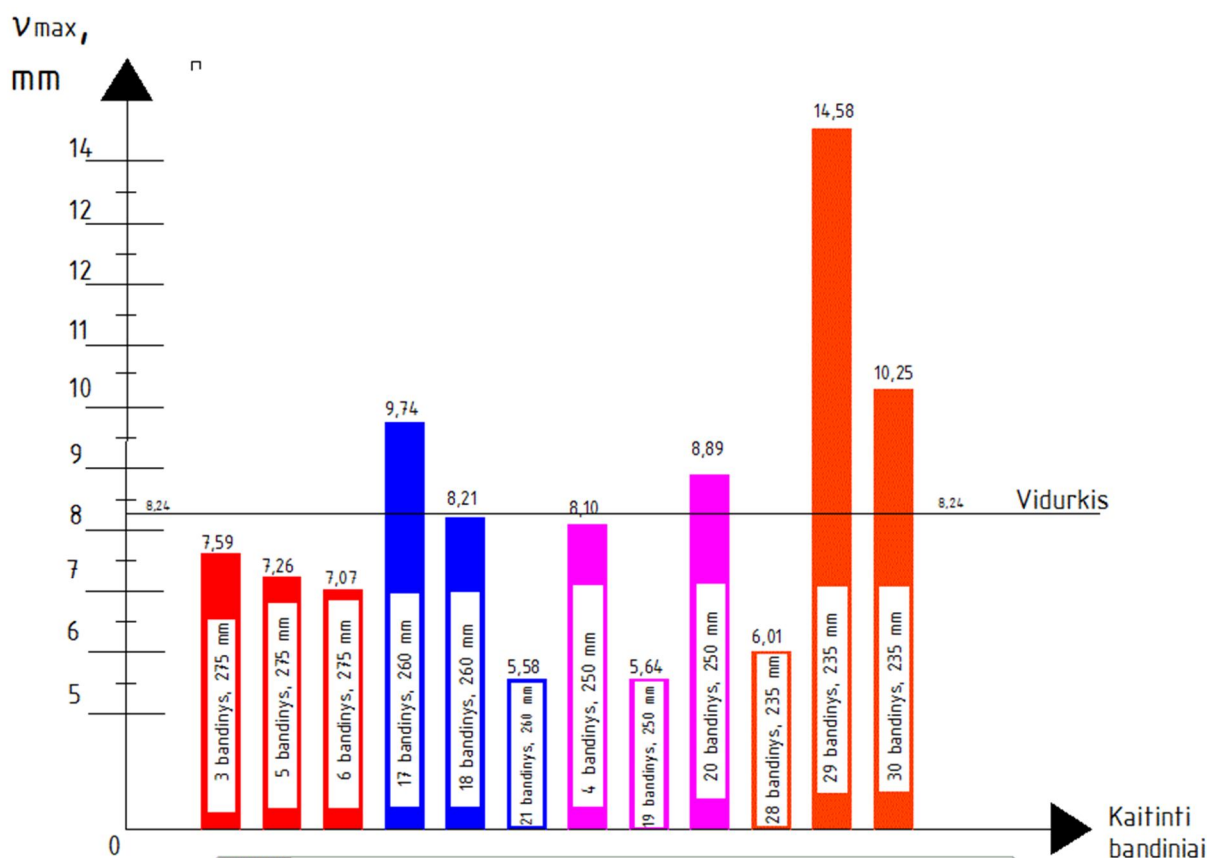


3.2 pav. Visų kaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama

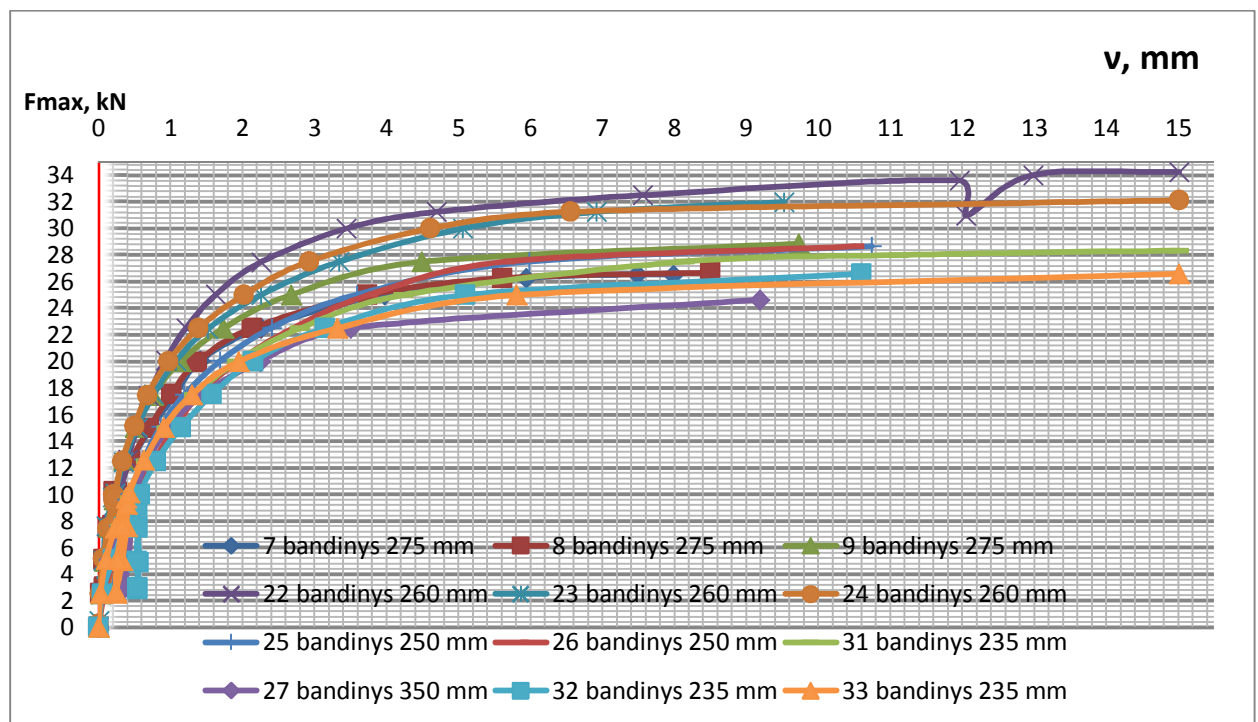
Kaip matyti 3.1 paveiksle, kaitintų bandinių diagramos yra labai panašios. Išsiskiria tik 19 ir 29 bandinių kreivės. Bandinys nr. 19 jokių defektų neturėjo, visi parametrai bandymo metu buvo panašūs į kitus. Tačiau slinktis didėjo labai iš lėto ir prie santykinai didelės laikomosios galios $F_{\max} = 30,36kN$, pasiekta slinktis siekė vos $v_{\max} = 5,64mm$. Tam įtakos galėjo turėti trintis tarp elementų. Jungtis buvo idealiai sukalta, elementai prigludę vienas prie kito ir jungtis tarsi užmonolitinta.

Bandinys nr. 29 turėjo tik nedidelę šaką, kuri bandymui įtakos neturėjo. Atliekant bandymą vienas jo elementas skilo per pusę, tačiau apkrova nemažėjo, o priešingai augo toliau. Šis bandinys pasiekė didžiausią apkrovą ir didžiausią slinktį.

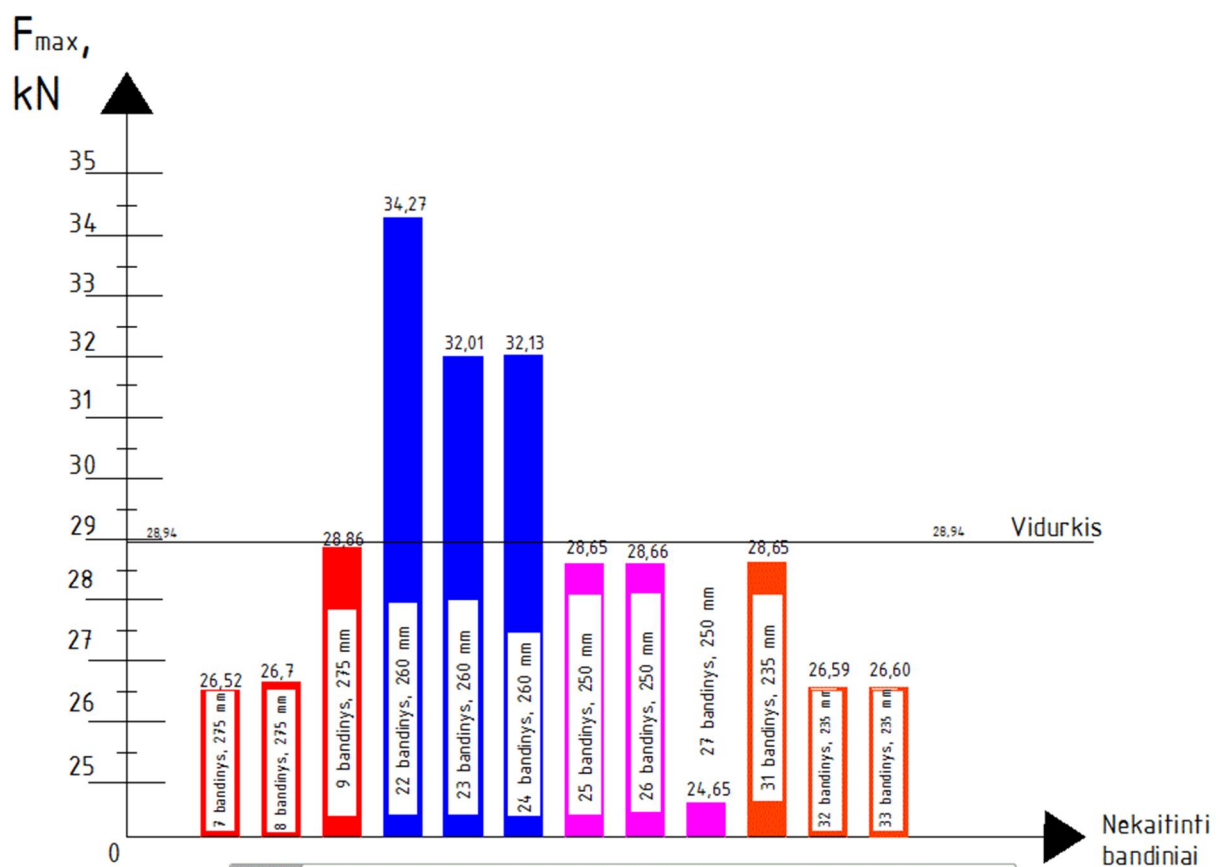
3.2 paveiksle matyti, kad beveik visų bandinių, išskyrus 19 ir 29, pasiektos laikomosios galios išsidėsto apie vidurkį. Tai rodo šios medienos rezultatų stabilumą. Tuo tarpu nustatytos slinktys visiškai jokio stabilumo neturi, jos yra labai skirtingos ir svyruoja į abi puses nuo vidurkio intervale $5,58 \div 14,58$ mm (3.3 pav.). Slinkčiai įtakos gali turėti nekokybiškas jungties surinkimas, ne 90° kampu (ne statmenai) sukaltos vinys.



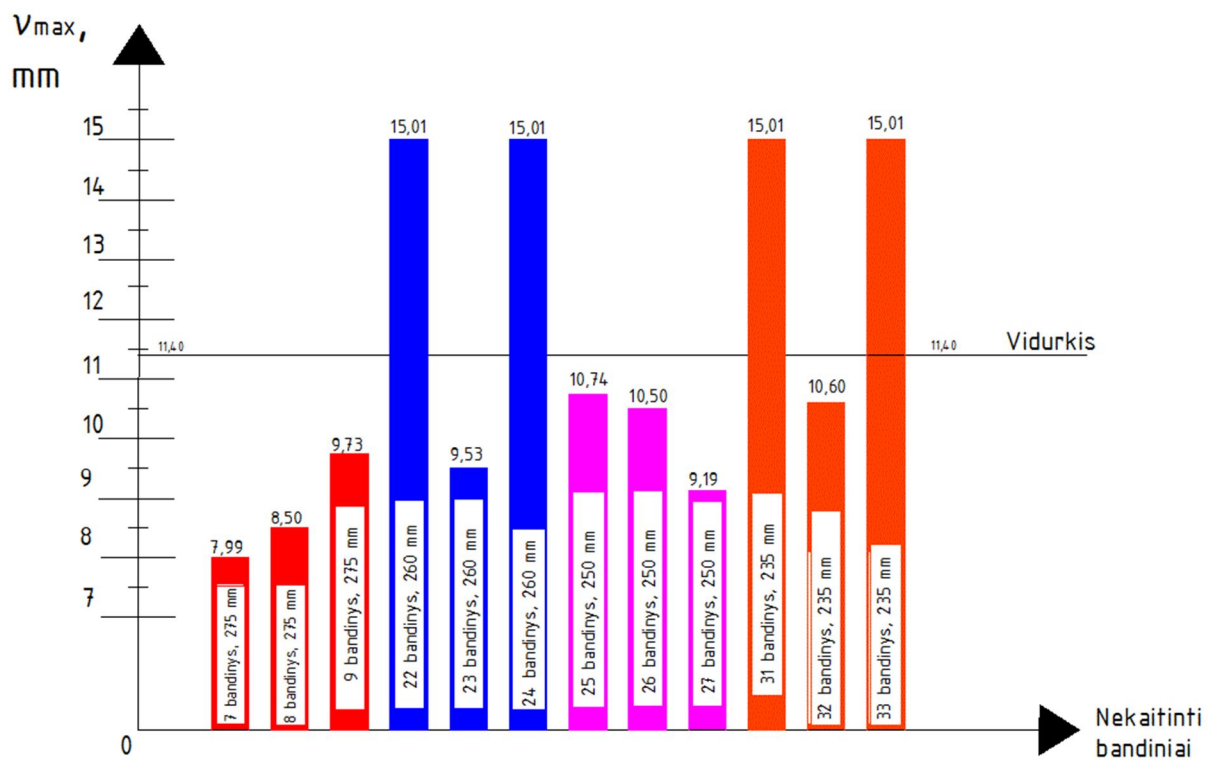
3.3 pav. Visų kaitintų bandinių maksimalių slinkčių absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama



3.4 pav. Visų nekaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių ir maksimalių slinkčių diagramos



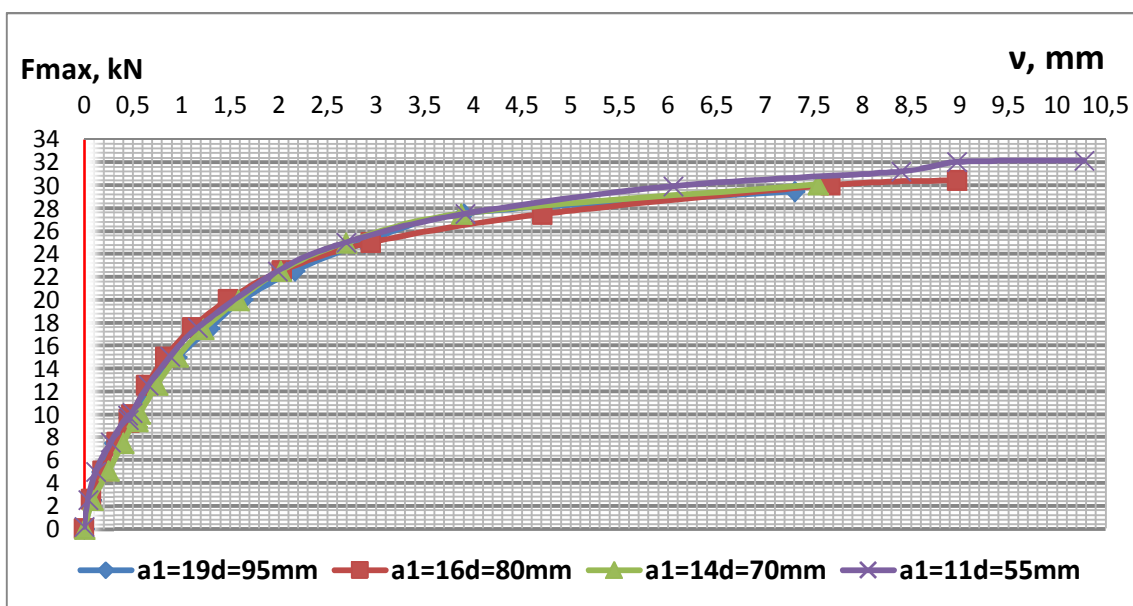
3.5 pav. Visų nekaitintų bandinių maksimalios laikomosios galios absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama



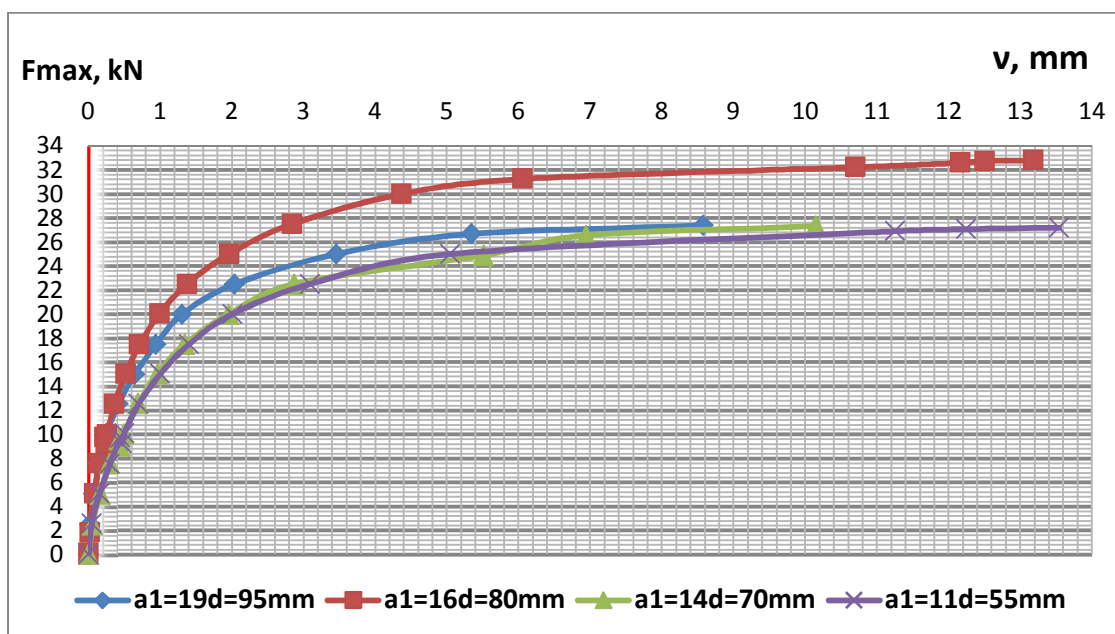
3.6 pav. Visų nekaitintų bandinių maksimalių slinkčių absoliutinių reikšmių pasiskirstymo stulpelinė diagrama

Kaip matyti 3.4, 3.5 ir 3.6 paveiksluose, nekaitintų bandinių rezultatų sklaida žymiai didesnė nei kaitintų. Tiek laikomosios galios, tiek slinkčių reikšmės išsibarstę į abi puses nuo vidurkio. Mažiausias laikomasis galias pasiekė 7 (didžiausias atstumas tarp vinių išilgai medienos pluošto) ir 32 (mažiausias atstumas tarp vinių išilgai medienos pluošto) bandiniai. Bandinys nr. 7 pasiekė mažiausią apkrovą, tačiau taip pat ir mažiausią slinktį. Net 4 nekaitinti bandiniai pasiekė ribinę slinktį. Tik vienas iš jų (bandinys nr. 22) pasiekė ir didžiausią laikomąją galią. Didelę laikomąją galią pasiekė ir bandiniai nr. 23 bei 24 atitinkamai 32,01 ir 32,13 kN. Bandinių, sukonstruotų iš 260 mm ilgio elementų (atstumas $a_l=80$ mm), laikomosios galios buvo didesnės už vidurkį, o visų kitų bandinių – mažesnės.

3.2. Kaitintų ir nekaitintų bandinių, su skirtingais atstumais $a1$, rezultatų palyginimas



3.7 pav. Kaitintų bandinių su skirtingais atstumais tarp vinių išilgai pluošto maksimalios laikomosios galios ir maksimalių kreivės



3.8 pav. Nekaitintų bandinių su skirtingais atstumais tarp vinių išilgai pluošto maksimalios laikomosios galios ir slinkčių kreivės

2 lentelė. Bandymų rezultatai

	Fmax, kN				Kser, N/mm			
Mediena	a1=11d	a1=14d	a1=16d	a1=19d	a1=11d	a1=14d	a1=16d	a1=19d
Kaitinta	32,15	30,07	30,43	29,48	46,98*10 ³	42,94*10 ³	48,93*10 ³	48,79*10 ³
Nekaitinta	27,37	32,80	27,32	27,18	43,37*10 ³	47,88*10 ³	93,29*10 ³	92,1*10 ³
	Ku, N/mm							
Mediena	a1=11d	a1=14d	a1=16d	a1=19d				
Kaitinta	22,31*10 ³	19,11*10 ³	21,21*10 ³	18,49*10 ³				
Nekaitinta	16,58*10 ³	17,07*10 ³	37,5*10 ³	22,13*10 ³				

Kaip matyti 3.7 ir 3.8 paveiksluose bei 2 lentelėje, didžiausią laikomąją galią (32,15 kN) pasiekė kaitintieji bandiniai, turintys mažiausią atstumą tarp vinių išilgai medienos pluošto $a_1 = 11d = 55\text{mm}$. Tačiau šie bandiniai pasiekė ir didžiausias slinktis.

Mažiausią laikomąją galią (29,48 kN) pasiekė kaitintieji bandiniai, turintys didžiausią atstumą, $a_1 = 19d = 95\text{mm}$. Taigi kaitintiesiems bandiniams racionalu naudoti tarp vinių išilgai medienos pluošto bandinius su atstumais tarp vinių išilgai medienos pluošto $a_1 = 14d$.

Panašūs rezultatai gauti išbandžius ir baidinius iš nekaitintos medienos. Čia didžiausią laikomąją galią pasiekė bandiniai, kuriuose atstumas tarp vinių išilgai medienos pluošto buvo $a_1 = 14d = 70\text{mm}$. Čia ir vėl pasiektos didžiausios slinkty.

Mažiausią laikomąją galią, kaip ir kaitintieji bandiniai, pasiekė bandiniai, turintys didžiausią atstumą tarp vinių išilgai medienos pluošto $a_1 = 19d = 95\text{mm}$.

3.3. Eksperimentiškai nustatytos simetrinės medinių elementų vininės jungties laikomosios galios palyginimas su analitiškai apskaičiuotomis jų reikšmėmis

Pagal LST EN 1995-1-1:2005 dvipusės šlyties veikiamų jungių irties pobūdžiams vienos vinies, vienos šlyties plokštumos laikomoji galia yra mažiausioji iš apskaičiuotų pagal šias formules:

$$\begin{cases} F_{V1,Rk} = f_{h,k} t_1 d; \\ F_{V2,Rk} = 0,5 f_{h,k} t_2 d; \\ F_{V3,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,k} t_1 d}{3} \left(\sqrt{4 + \frac{12 M_{y,Rk}}{f_{h,k} t_1^2 d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4}; \\ F_{V4,Rk} = 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}. \end{cases} \quad (3.1)$$

čia d – vinies skersmuo;

t_1 – išorinio elemento storis (elemento esančio vinies galvutės pusėje);

t_2 – vidurinio elemento storis;

$f_{h,k}$ – charakteristinis po kaiščiu glemžiamos medienos stipris;

$M_{y,Rk}$ – charakteristinis vinies plastinis lenkiamasis momentas;

$F_{ax,Rk}$ – vinies ištraukiamosios laikomosios galios charakteristinė reikšmė.

Po vinimi glemžiamos medienos stiprio $f_{h,k}$, ir vinies plastiškojo lenkiamojo momento charakteristinės reikšmės apskaičiuojamos pagal formules:

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}; \quad (3.2)$$

čia

ρ_k – sujungiamų elementų medienos tankio charakteristinė reikšmė;

f_u – vinies plieno tempiamasis stipris pagal stiprumo ribą.

Vinies ištraukiamosios laikomosios galios charakteristinė reikšmė apskaičiuojama taip:

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} dt_{pen}; \quad (3.3)$$

čia

$f_{ax,k}$ – vinies dalies su kotelio užsmailinimu ištraukiamojo iš medienos stiprio charakteristinė reikšmė;

t_{pen} – ištraukiamos vinies ilgis.

Vinies ištraukiamojo iš medienos stiprio $f_{ax,k}$, reikšmė apskaičiuojama taip:

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2; \quad (3.4)$$

Sandūros laikomoji galia apskaičiuojama taip:

$$F_{Rk} = F_{v,Rk} \cdot n \cdot n_v;$$

čia

$F_{v,Rk} = \min (F_{v1,Rk}; F_{v2,Rk}; F_{v3,Rk}; F_{v4,Rk})$ – vienos vinies, vienos šlyties plokštumos laikomoji galia;

n – vinių skaičius;

n_v – šlyties plokštumų skaičius.

Vienos vinies vienos šlyties plokštumos laikomoji galia:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{V1,Rk} = f_{h,k} t_1 d = 21,72 \cdot 44 \cdot 5 = 4,78 kN; \\ F_{V2,Rk} = 0,5 f_{h,k} t_2 d = 0,5 \cdot 21,72 \cdot 44 \cdot 5 = 2,39 kN; \\ F_{V3,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,k} t_1 d}{3} \left(\sqrt{4 + \frac{12 M_{y,Rk}}{f_{h,k} t_1^2 d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1,05 \cdot \frac{21,72 \cdot 44 \cdot 5}{3} \left(\sqrt{4 + \frac{12 \cdot 11819}{21,72 \cdot 44^2 \cdot 5}} - 1 \right) \\ + \frac{0,28}{4} = 3,62 kN; \\ F_{V4,Rk} = 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 11819 \cdot 21,72 \cdot 5} + \frac{0,28}{4} = 1,84 kN. \end{array} \right.$$

Glemžiamos medienos stipris:

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} = 0,082 \cdot 429,37 \cdot 5^{-0,3} = 21,72 MPa$$

$\rho_k = 429,37 kg / m^3$ - vidutinė kaitintosios medienos jungčių, kurių atstumas išilgai medienos pluošto $a_1 = 11d = 55$ mm, tankio reikšmė.

Charakteristinis vinies plastinis lenkiamasis momentas:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 5^{2,6} = 11819 N \cdot mm$$

$$f_{u,k} = 600 MPa$$

Vinies ištraukiamosios laikomosios galios charakteristinė reikšmė:

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} d t_{pen} = 3,69 \cdot 5 \cdot 15 = 276,75 N$$

Vinies ištraukiamojo iš medienos stiprio $f_{ax,k}$ reikšmė apskaičiuojama taip:

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 429,37^2 = 3,69 N / mm^2$$

Sandūros laikomoji galia apskaičiuojama taip:

$$F_{Rk} = F_{v,Rk} \cdot n \cdot n_v = 1,84 \cdot 6 \cdot 2 = 22,08 kN$$

$$F_{v,Rk} = \min(F_{1v,Rk}, F_{2v,Rk}, F_{3v,Rk}, F_{4v,Rk}) = 1,84 kN$$

Analitiniu būdu gauta jungties iš kaitintosios medienos su 6 vinimis laikomoji galia 22,08 kN yra 27,08 % mažesnė už eksperimentiškai tirtų bandinių vidutinę laikomųjų galių reikšmę (30,28 kN).

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

Atlikus visus bandymus ir apdorojus duomenis, gauti rezultatai rodo, kad:

1) Terminiškai pertvarkytoji mediena gali būti naudojama dvišlytėms vininėms jungtis, veikiamoms gniuždymo jėgų. Rezultatai pasiskirsto netgi tolygiau nei paprastosios medienos bandinių, todėl tampa lengviau prognozuoti jungčių elgseną. Gauta kaitintosios medienos jungčių laikomosios galios vidutinė reikšmė 30,28 kN yra 4,63 % didesnė už nekaitintosios medienos jungčių vidutinę laikomąją galią, kuri lygi 28,94 kN. Kaitintosios medienos bandinių slinkčių vidutinė reikšmė 8,24 mm yra 38,35 % mažesnė už nekaitintųjų bandinių vidutinę slinkčių reikšmę, kuri lygi 11,4 mm.

2) Jungtys iš kaitintos medienos yra žymiai jautresnės defektams. Nors prieš bandymus paprastosios ir kaitintos medienos jungtys turėjo panašiai defektų ir pažaidų ir pobūdis buvo toks pats, tačiau net 6 iš 12 bandytų kaitintos medienos jungčių suiro. Bandant paprastosios medienos jungtis, suiro vos viena. Taigi konstruojant jungtis, reikėtų naudoti itin aukštos kokybės medieną ir vengti bet kokių defektų ir pažaidų. Tai, be abejo, išaugintų konstrukcijų kainą, tačiau atsižvelgiant į visus terminiškai pertvarkytosios medienos privalumus sutaupoma būtų nenaudojant cheminių medienos apdorojimo medžiagų.

3) Gauti rezultatai rodo, kad vininėms jungtims iš kaitintosios medienos optimalus atstumas išilgai medienos pluošto $a/l=14d$. Pasirinkus mažesnę atstumą žymiai išauga irties rizika. Rinktis didesnę atstumą yra ne racionalu, nes laikomajai galiai tai įtakos neturi.

4) Konstruojant jungtis iš kaitintosios medienos, svarbu yra prisigrežti mažesnio skermens kiaurymes prieš kalant vinis, atsisžvelgiant į LST EN 1995-1-1:2005 reikalavimus. Neprisigrežus žymiai išauga irties rizika gaminant jungtį. Kalant vinis, elementai gali trūkti ir jungtį reikėtų ruošti iš naujo. Dėl to gali gerokai išaugti medienos, vinių bei darbo jėgos sąnaudos. Taip pat reikėtų nepamiršti, kad sukonstruotos vininės jungtys, be iš anksto pragražėtų kiaurymių, gali elgtis kitaip nei jungtys, tirtos šiame magistro darbe, ir rezultatai gali būti visiškai skirtingi.

5) Analitiniu būdu gauta jungties iš kaitintosios medienos su 6 vinimis laikomoji galia 22,08 kN yra 27,08 % mažesnė už eksperimentiškai tirtų bandinių vidutinę laikomųjų galių reikšmę (30,28 kN). Tai rodo, kad projektuojant tokias jungtis iš kaitintosios medienos galime remtis įprastinei medienai taikomais skaičiavimo metodais. Norint gauti tikslesnius rezultatus, būtų galima įvesti koeficientą, mažinantį jungties laikomąją galią skaičiuojant analitiškai. Arba skaičiuoti įprastiniu būdu ir gaunami rezultatai būtų į atsargos pusę. Žinant, kad kaitintoji mediena yra trapi ir linkusi suirti staigiai, tai skaičiuoti su tam tikra atsarga yra naudinga.

Apibendrinant gautus rezultatus matyti, kad terminiškai kaitinta mediena tinka vininėms jungtims. Didelių privalumų konstrukciniu požiūriu, lyginant su paprastąja mediena, ji neturi. Tačiau terminiškai pertvarkytoji mediena yra ekologiška medžiaga, nereikalaujanti jokių papildomų investicijų.

Ji tampa atspari atmosferos poveikiams (ilgaamžė medžiaga), išbrinkimas ir susitraukimas, lyginant su paprastąja mediena, sumažėja apie 40 %, gerokai sumažėja šiluminis laidumas, išlaikoma nekintanti spalva, padidėja atsparumas ugniai, pašalinamos derbos. Taigi investuodami į medienos kaitinimą, mes sutaupome išvengdami papildomų išlaidų ir turime ilgaamžę ekologišką medžiagą.

Konstruojant jungtis iš termiškai pertvarkytosios medienos, reikia žinoti medienos fizikines bei mechanines savybes, medienos kaitinimo metodą. Esant skirtingiems rodikliams, jungčių elgsena ir laikomoji galia gali būti labai skirtinga. Tam, kad galėtume projektuoti tokias jungtis, reikalinga atlikti dar daug tyrimų. Reikėtų išbandyti kitos rūšies ir kitokiu metodu termiškai apdorotos medienos jungtis. Turėtume patikrinti, ar jų elgsena tokia pat.

Šiame magistro darbe išbandytos ir aprašytos tik vienos rūšies jungtys. Visi gauti rezultatai tinka tik šioms jungtims. Tai nereiškia, kad termiškai pertvarkytoji mediena tinka visoms laikančiosioms konstrukcijoms. Tam turi būti atliekami atskiri bandymai ir ištirti visi įmanomi konstrukcijų tipai. Pagal tai būtų galima spręsti, kurioms konstrukcijoms kaitintą medieną galime naudoti ir kurioms ne.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ala-Viikari, J. 2008. Thermally modified Timber, *Finish ThermoWood Asosociation Presentation*, 20-22 April 2008, Hersonissos, Heraklion, Crete.
2. Bachle, H., Zimmer, B., Windeisen, E., Wegener, G. 2009. Nondestructive Evaluation of Thermally Modified Ash by Near Infrared Spectroscopy, *European Conference on Wood Modification*, 2009 Venray, The Netherlands.
3. Boomstra, M., Van Acker, J., Tjeerdsma, B. F. 2007. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents, *Annals of Forest Science*, Volume 64. 11 October 2007.
4. *Darker Shades of Wood*, European Coatings Journal, April 2007.
5. Gurkšnys, K.; Kavaliauskas, S. 2011. *Medinės konstrukcijos. Laboratorinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 23 – 55 p.
6. Homan, W. J., Jorissen, A.J.M. 2001. Structural and other properties of modified timber, *Original scientific paper*.
7. Homan, W. J. 2004. Wood modification developments, *HERON*, Vol. 49. No.4.
8. ISO 3130:1975. Medinės konstrukcijos. Medienos drėgnio nustatymas fiziniams ir mechaniniams bandymams. Vilnius.
9. Kariz, M., Kuzman, M. K., Sernek, M. 2013. The Effect of Heat Treatment on the Withdrawal Capacity of Screws in Spruce Wood, *Peer-Reviewed article*, 2013.
10. LST EN 10230-1:2000. Plieninės vielos vinys. 1 dalis. Bendrojo pritaikymo nesupakuotos vinys. Vilnius.
11. LST EN 13183-1:2003. Pjautinės medienos bandinio drėgnis. 1 dalis. Drėgnio nustatymas džiovinimo metodu. Vilnius, 2003.
12. LST EN 1380:2009. Medinės konstrukcijos. Bandymo metodai. Apkrovas laikančios vinys, sraigčiai, kaisčiai ir varžtai. Vilnius.
13. LST EN 1995-1-1:2005. Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Vilnius.
14. LST EN 26891:2000. Medinės konstrukcijos. Sujungimai mechaninėmis tvirtinimo detalėmis. Bendrieji mechaninio stiprio ir deformacinių būdingųjų savybių nustatymo principai (ISO 6891:1983). Vilnius.
15. LST EN 384:2010. Medinės konstrukcijos. Mechaninių savybių ir tankio charakteristinių verčių nustatymas. Vilnius, 2010.

16. Metsa-Kortelainen, S., Paajanen, L., Viitanen, H. 2011. Durability of thermally modified Norway spruce and Scots pine in above-ground conditions, *Wood Material Science & Engineering*, 26 April 2011, Finland.
17. Samuilis, M. 2013. Terminiškai pertvarkytosios medienos mechaninių savybių ir elgsenos tyrimai, *Baigiamasis magistro darbas*. Vilnius, 2013.
18. Sivonen, H., Maunu, S.L., Sundholm, F., Jamsa, S., Viitaniemi, P. 2002. Magnetic Resonance Studies of Thermally Modified Wood, *Holzforschung. Volume 56*, 2005: 648-654.
19. Scheiding, 2012. W. Usability of Thermally Modified Timber for Load-Bearing and Reinforcing Purposes, *Fact Sheet TMT.03*.
20. Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., Gerardin, P. 2007. Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives, *Original scientific paper*, 14 December 2007.
21. ThermoWood, *Technical Manual*, September 2007.
22. Welzbacher, C. R. 2007. Influence of treatment temperature and duration on selected biological, mechanical, physical and optical properties of thermally modified timber, *Wood Material Science and Engineering*, 2007; 2: 66-76.
23. Welzbacher, C. R. 2009. Performance of thermally modified timber (TMT) in outdoor application – durability, abrasion and optical appearance, *Original scientific paper*.
24. Widmann, R. 2012. Mechanical properties of thermally modified timber for structural purposes, *European Journal of Wood and Wood Products*.
25. Willems, W. 2009. A Novel Economic Large-scale Production Technology for High-quality Thermally Modified Wood, *European Conference on Wood Modification*, 2009 Venray, The Netherlands.
26. Yildiz, S., Gezer, E. D., Yildiz, U.C. 2006. Mechanical and chemical properties of spruce wood modified by heat, *Scientific Journal Building and Environment*, December 2006.

PRIEDAI



Eksplotacinių savybių deklaracija Nr. : 14-12-10-1

Gaminys: stipruminio gradavimo mediena

Panaudojimo sritis: vidaus ir išorės apdailai

Matmenys: 45x195 mm, 3.6 m ilgio

Profilis: stačiakampis

Specialus apdirbimas: džiovinimas, obliavimas, mašininis stipruminis gradavimas

Atsparumas ugniai: D-s2, d0 (LST EN 13501-1)

Biologinis patvarumas: klasė 4

Pavojingos medžiagos: nėra

Drėgnumas: 16 %, +/- 2%

Mediena: eglė, masyvas

Stiprumo klasė: C24 (LST EN 338)

Kilmės šalis: Latvija

Deklaruojame, kad aprašyti gaminiai atitinka EB direktyvos 89/106/EEC nuostatas ir LST EN 14081-1:2005+A1:2011 standartą, atitiktis įvertinimo ir ženklinimo reikalavimus ir įmonės technines specifikacijas.

Pirkėjas:

Vilniaus Gedimino technikos Universitetas
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius
Įm. Kodas 111950243

Išdavimo data: gaminys išduotas pagal PVM sąskaitą – faktūrą
IKO Nr. 03881 2014 m. Gruodžio mėn. 10 d.



Rita Grunskytė
Vardas Pavardė