



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Tomas Matulevičius

**LIETUVOS PUŠIES IR EGLĖS KONSTRUKCINĖS MEDIENOS
DINAMINIS IR STATINIS STANDUMO IR STIPRUMO TYRIMAS**

Magistro darbas

Vadovas

Doc. dr. Antanas Baltrušaitis

Kaunas, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėja

Doc. dr. Vaida Jonaitienė

Tomas Matulevičius

**LIETUVOS PUŠIES IR EGLĖS KONSTRUKCINĖS MEDIENOS
DINAMINIS IR STATINIS STANDUMO IR STIPRUMO TYRIMAS**

Medienos inžinerija (621J53001)

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. Antanas Baltrušaitis

Recenzentas

Lekt. Gintaras Keturakis

Atliko

DM – 3 gr. stud. Tomas Matulevičius



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Matulevičius

(Studento vardas, pavardė)

Medienos inžinerija (621J53001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Lietuvos pušies ir eglės konstrukcinės medienos dinaminis ir statinis standumo ir stiprumo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 m. d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Matulevičiaus** baigiamasis projektas tema „Lietuvos pušies ir eglės konstrukcinės medienos dinaminis ir statinis standumo ir stiprumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kaunas, 2015

Lietuvos pušies ir eglės konstrukcinės medienos dinaminis ir statinis standumo ir stiprumo tyrimas /Magistro projektas/ Autorius – T.Matulevičius/ Vadovas – Doc. dr. A.Baltrušaitis/ Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 - 49 psl, 42 paveikslai, 5 lentelės.

Santrauka

Šiame darbe aprašomi atlikti tyrimai su Lietuvoje augusia pušies (*Pinus sylvestris*) ir eglės (*Picea abies*) mediena. Buvo atlikti dinaminiai ir statiniai standumo tyrimai bei stiprio nustatymas. Tyrimo tikslas nustatyti variacijas tarp tankio, savitojo medienos dažnio, statinio ir dinaminio standumo, rievlių pločio bei šakų ploto ir medienos stiprio, taip pat palyginti visų šių nedestrukcinų bandymų efektyvumą nustatant medienos stiprį. Tyrimai buvo reikalingi norint nustatyti, kaip Lietuvoje augančios medienos stipris koreliuoja su šiaurės Europoje augančios medienos stipriu.

Bandymai buvo atlikti Kauno technologijos universiteto ir UAB „Stora Enso Lietuva“ laboratorijose. Bandinius sudarė šimtas dvidešimt eglės ir šimtas dvidešimt pušies statybinių matmenų konstrukcinės medienos bandinių. Eglės bandiniai buvo dviejų matmenų grupių, kurias sudarė po šešiasdešimt bandinių, kurių matmenys 50x100x2712 mm ir 65x155x3000 mm. Pušies bandinius taip pat sudarė dvi grupės po šešiasdešimt bandinių, kurių matmenys 50x120x3100 mm ir 65x155x3000 mm. Dalis atliktų bandymų buvo vadovaujantis CEN TC 124 standartų komiteto nuostatomis, apibūdinančiomis procedūras, nustatant medienos tampriai-plastiškąsias savybes. Atlikti trijų tipų nedestrukciniai bandymai: naudojant mašininio stiprio klasifikavimo pagal standį įrangas Timber Grader MTG, Metriguard ir statiškai lenkiant keturiuose taškuose pagal EN 408, bei destruktinis statinio stiprio lenkiant testas [1]. Taip pat buvo atlikti kiti tyrimai ir matavimai, medienos drėgumo nustatymas, skaičiuojamas šakų plotas lūžio zonoje, matuojamos rievės ir jų įtaka medienos standžiui ir stipriui. Pagal LST EN 338 standartą suskirstyta į statybines medienos stiprumo klases [2].

Atlikus visus tyrimus ir padarius rezultatų analizę paaiškėjo, kad Lietuvoje auganti pušies ir eglės mediena atitinka šiaurinės Europos regiono medienos stiprį ir netgi jį šiek tiek viršija. Taip pat buvo nustatyta, kokiais tyrimo metodais tiksliausiai prognozuojamas medienos stipris pagal gautus standumo rezultatus. Iš gautų rezultatų matome, kad geriausiai su medienos stipriu koreliuoja Metriguard įrenginiu gauti rezultatai, kurių determinacijos koeficientas ~0,65 lyginant su medienos stipriu. Gerai medienos stipris koreliuoja ir su MTG „Timber grader“ gautais tampros modulio rezultatais, jų verčių determinacijos koeficientas 0,583. Mažai atsiliko ir keturių taškų lenkimo testas su 0,545 determinacijos koeficientu. Taip pat pastebėta, kad didesnių profilio matmenų bandiniai atlaikė didesnę jėgą juos lenkiant, bet, perskaičiavus apkrovas vienam skerspjūvio kvadratiniam milimetrui, jie buvo silpnesni dėl didesnio kiekio ydų profilyje.

Dynamic and Static Stiffness and Strength Assessment of Lithuanian Grown Pine and Spruce Timber /Master's Thesis/ Author – T.Matulevičius/ Supervisor – doc.dr. A.Baltrušaitis/ Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Kaunas, 2015 - 49 pages, 42 Figures, 5 Tables.

Summary

In this master's thesis the research on pine (*Pinus sylvestris*) and spruce (*Picea abies*) grown in Lithuania was conducted. The aim of the research is to determine the variations among density, natural frequency of wood, dynamic and static stiffness, sizes of knots and flutes as well as the strength of the wood; moreover, to compare the efficiency all of these non-destructive tests while determining the strength of wood. The research was needed to estimate interrelations between physical and mechanical wood properties and to evaluate the correlations between the stiffness-strength of wood grown in Lithuania and Northern Europe.

The tests were carried out in the laboratory of Kaunas University of Technology and UAB “Stora Enso Lithuania”; the test program contained 120 samples of spruce and 120 samples of pine. The samples of spruce included two dimension groups of which each had 60 samples and their dimensions were 50x100x2712 mm and 65x155x3000 mm. The samples of pine were also divided into two dimension groups of which each had 60 examples and the dimensions were 50x120x3100 mm and 65x155x3000 mm. The tests were carried out according to relevant EN standards in order to determine the stiffness-strength of wood. Three non-destructive tests were carried out: Timber Grader MTG, Metriguard, 4-point test according to EN408 and the destructive bending test. Other measurements such as wood moisture, the area of knots in the zone of a failure, flutes and their influence on the strength of wood were calculated as well. The wood was divided into classes according to LST EN 338 standard for the strength of timber [2].

After conducting the tests, the results showed that pine and spruce growing in Lithuania match the strength of Northern European wood and even exceed it. The most accurate methods to determine the strength of wood were also estimated according to the results of the stiffness.

The results revealed that the strength of wood correlates best with the results collected using Metriguard machine; the determination coefficient was 0.65 in comparison with the static bending strength of wood. The modulus of rupture also correlates good with modulus of elasticity collected using MTG „Timber grader“; the determination coefficient reached 0.583. The 4-point static stiffness test showed similar results with the determination coefficient of 0.545. It has been noticed that the samples of bigger square profile withstand higher loads while being bent, however, after recalculating to the strength, the strength of such samples appeared to become weaker due to more faults in the cross-section.

Turinys

Santrauka	4
Summary	5
Paveikslėlių sąrašas	7
Lentelių sąrašas	9
1. Įvadas	10
2. Apžvalginė dalis	11
3. Metodologinė dalis	25
3.1. Pušies ir eglės medienos standumo ir stiprumo charakterizavimas	25
3.2. Tampriai plastiškųjų savybių tyrimai įvertinant šakas ir metines rieves	30
3.3. Duomenų apdorojimas	33
5. Tyrimo rezultatai	36
5.1. Nedestrukciniai matavimai	36
5.2. Statinis bandymas	40
6. Išvados	46
7. Literatūros sąrašas	48

Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Medienos stiprumo sumažėjimas dėl šakų	11
2 pav. Medienos stiprumo sumažėjimas dėl mažesnio už vidurkį tankio	12
3 pav. Geros kokybės didelio tankio medienos lūžis	12
4 pav. Medienos tampros modulio ir stiprumo lenkiant priklausomybė.....	13
5 pav. Latvijos ir šiaurės šalių rezultatų palyginimas	13
6 pav. Pušies ir eglės medienos tampros modulio ir stiprio priklausomybė	14
7 pav. Rąstų tampros modulio priklausomybė lentų klasėms [14]	16
8 pav. Tampros modulio matavimų reikšmės labai šakotuose ir normaliuose bandiniuose [20].....	17
9 pav. Timber Grader MTG matavimo schema: 1 – matavimo prietaisas Timber Grader MTG; 2 – medienos bandinys; 3 – bevielis bluetooth siųstuvas; 4 – svarstyklės; 5 – bevielė jungtis; 6 – kompiuteris.....	18
10 pav. Metriguard medienos stiprio nustatymo mašina.....	18
11 pav. Metriguard programos langas [22]	19
12 pav. Tampros modulio ir ρ (tankio) priklausomybė (MTG)	20
13 pav. Tampros modulio ir savitojo dažnio priklausomybė	21
14 pav. E (tampros modulio) ir ρ (tankio) priklausomybė (Metriguard)	21
15 pav. E (tampros modulio) ir ρ (tankio) priklausomybė (Long Span).....	22
16 pav. E (tampros modulio) ir stiprio santykis, visuose testuose	22
17 pav. Medienos pasiskirstymas į stiprumo klases.....	23
18 pav. E_{stat} (tampros modulio) ir ρ (tankio) tarpusavio ryšys su stipriu	23
19 pav. Tampros modulio E koreliacija su stipriu f_m ir tankiu	24
20 pav. Atliktų procesų santrauka	25
21 pav. Bandinių drėgno matavimas.....	26
22 pav. Drėgmėmatis Hydromette M 2050	26
23 pav. Svarstyklės KERN DE 60K20N.....	27
24 pav. Elektroninis slankmatis WURTH.....	27
25 pav. MTG matavimo vieta	28
26 pav. Metriguard matavimo schema	28
27 pav. Lenkimo bandymo schema pagal EN 408 (2014)	29
28 pav. SMB BP-16 universali lenkimo mašina	29
29 pav. Horex elektroninis slankmatis ir pamatuotas 6,03 mm įlinkis	29
30 pav. Sulaužytas bandinys	30
31 pav. Bandymo schema, kai lenta dalijama į dedamasias.....	31

32 pav. Bandinių svėrimas A&D SK-5001 svarstyklėmis.....	31
33 pav. Lentų metinių rievių matavimas statmenai rievėms.....	32
34 pav. Lentos šakų ploto matavimas	32
35 pav. Lentos ir jos dedamųjų tampros moduliai	38
36 pav. Pušies medienos bandinių stiprumo klasių pasiskirstymas pagal LST EN 338 standartą.....	39
37 pav. Eglės medienos bandinių stiprumo klasių pasiskirstymas pagal LST EN 338 standartą	40
38 pav. Bandinio lūžio zonoje matuojamas šakų plotas.....	42
39 pav. Tampros modulio MTG palyginimas su tampros modulių gautu Metriguard bandymų mašina.....	43
40 pav. Pušies bandinių kurių matmenys 65x155 mm tampros modulio ir stiprio f_m koreliacija	43
41 pav. Tampros modulių gautų nedestrukciniais metodais palyginimas su stipriu lenkiant.....	44
42 pav. Lietuvoje augančios pušies medienos palyginimas su šiaurės Europos pušies mediena	45

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Tampros modulio variacijos priklausomai nuo kitų veiksnių.....	15
2 lentelė. Bandinių vidutiniai matmenys, minimumai ir maksimumai	37
3 lentelė. MTG, Metriguard ir keturių taškų lenkimo (EN 408) bandymo rezultatų vidurkiai	39
4 lentelė. Determinacijos koeficientai: 1-6 mano atlikti tyrimai, 7-10 kitų autorių darbai [27] ...	41
5 lentelė. Bandymų rezultatų palyginimas su kitų autorių darbais.....	42

1. Įvadas

Norint tinkamai panaudoti pjautinę medieną, reikia žinoti jos stiprumą. Kuo geresnė medienos stiprumo klasė, tuo mediena vertingesnė ir gali būti panaudojama sudėtingesnėse konstrukcijose. Įmonės, kurios rūšiuoja pjautinę medieną į stiprumo klases, naudoja vizualinį ir įvairius nedestrukcinis matavimo metodus. Abu metodai yra greiti ir paprasti, tačiau jie nėra visiškai tikslūs, nes netiesioginiai matavimo metodais nuspėtas medienos stiprumas turi paklaidą. Eksperimentai parodė, kad apie 5% bandinių, įvertintų nedestrukciniais metodais, įvertinami neteisingai [11]. Geriausi rezultatai pasiekiami destruktiniais metodais, tačiau šiuo atveju medžiaga yra sunaikinta ir negali būti panaudojama.

Pušies mediena (*Pinus sylvestris*) yra viena iš labiausiai naudojamų medienos pramonėje. Iš šios medienos gaminami baldai, apkrovos laikančios sijos, ir kitos medinės konstrukcijos. Šios medienos populiarumą lemia geros mechaninės savybės už žemą kainą.

Šiuo tyrimu norima nustatyti Lietuvos eglės ir pušies konstrukcinės medienos dinaminį ir statinį standumą ir stiprį. Pagrindinis šio tyrimo tikslas yra patikrinti medienos stiprumines savybes tiesioginiais ir netiesioginiais matavimo metodais ir juos palyginti. Tyrimai buvo atlikti naudojant Lietuvoje augusią medieną: pušį (*Picea abies*) ir eglę (*Pinus sylvestris*). Kitas tyrimų tikslas buvo įvertinti medienos tankio, metinių rievių pločio, šakų ir kitų defektų įtaką mechaninėms medienos savybėms.

Šie nauji tyrimai reikalingi norint Lietuvos medieną priskirti prie šiaurės Europos šalių medienos ir sudaryti prielaidas įtraukti Lietuvos spygliuočių medienos savybes į LST EN 14081 sertifikatą oficialiai taikant Europos mašininio stiprio prognozavimo principus.

2. Apžvalginė dalis

Tam, kad nagrinėjama tema būtų kuo geriau suprasta, buvo apžvelgta mokslinių straipsnių, aktualių pasirinktam analizuojamam objektui. Viename iš tyrimų aprašomas Latvijos eglės ir pušies medienos prilyginimas Šiaurės Europos regiono medienai. Tyrimui buvo naudojami pušies ir eglės bandiniai. Bandymai buvo atlikti su mediena, atvežta iš pietinio, vakarinių ir šiaurinių Latvijos regionų.

Bandiniai buvo nominalaus 47 mm storio ir 150 mm pločio, ilgis svyravo tarp 4 ir 5 metrų, drėgmės kiekis apie 18%, paviršiai – pjauti ir obliuoti. Bandymams buvo paimta po 100 pušies bandinių iš kiekvieno regiono, o eglės – 100 bandinių maišytai iš visų.

Mediena išlaikyta $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $65\pm 5\%$ drėgmėje (EN 408). Naudoti tyrimo metodai: vizualinis vertinimas (LVS 184, BS 4978) buvo skirtas nustatyti silpniausias vietas, kuriose daug šakų; taip pat atliktas lenkimo testas vietinės deformacijos nustatymui ir lenkimo testas, skirtas nustatyti tikslų lūžimo stiprį. Drėgmės kiekis kiekvienam bandiniui buvo matuotas pagal (EN 13183-1, ISO 3131).

Rezultatai parodė, kad medienos stipris ženkliai sumažėja dėl šakų, ar mažesnio negu vidutinis tankio [3]. Apačioje pateiktuose 1–3 paveikslėliuose pavaizduota, kaip atrodo tam tikri lūžio tipai.



1 pav. Medienos stiprumo sumažėjimas dėl šakų



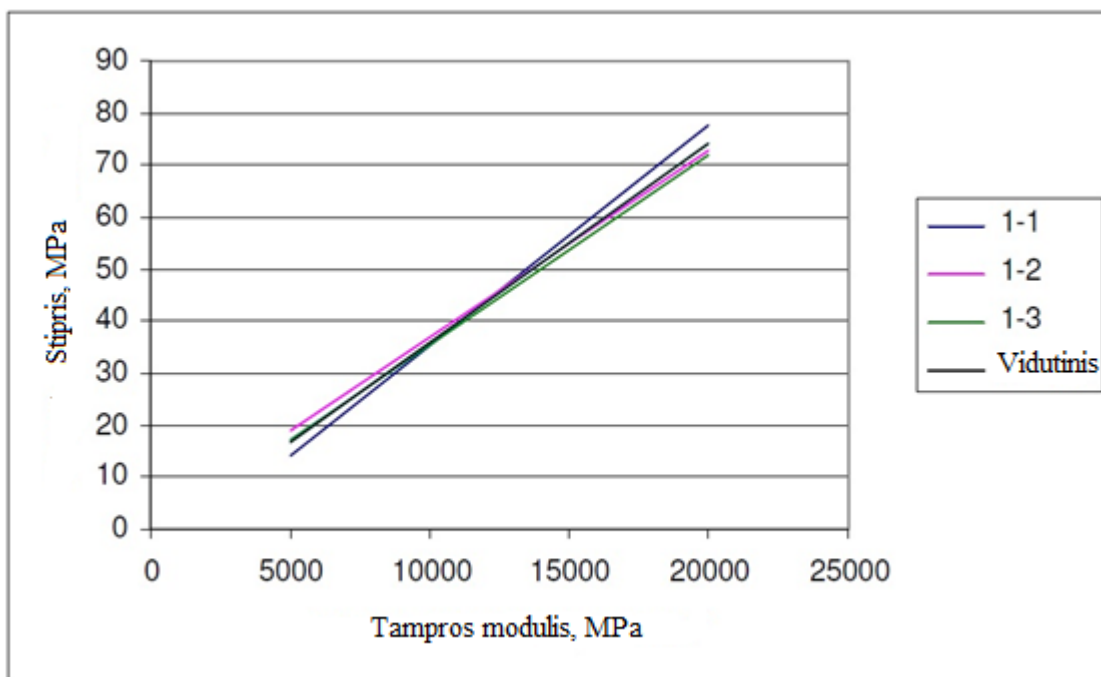
2 pav. Medienos stiprumo sumažėjimas dėl mažesnio už vidurkį tankio



3 pav. Geros kokybės didelio tankio medienos lūžis

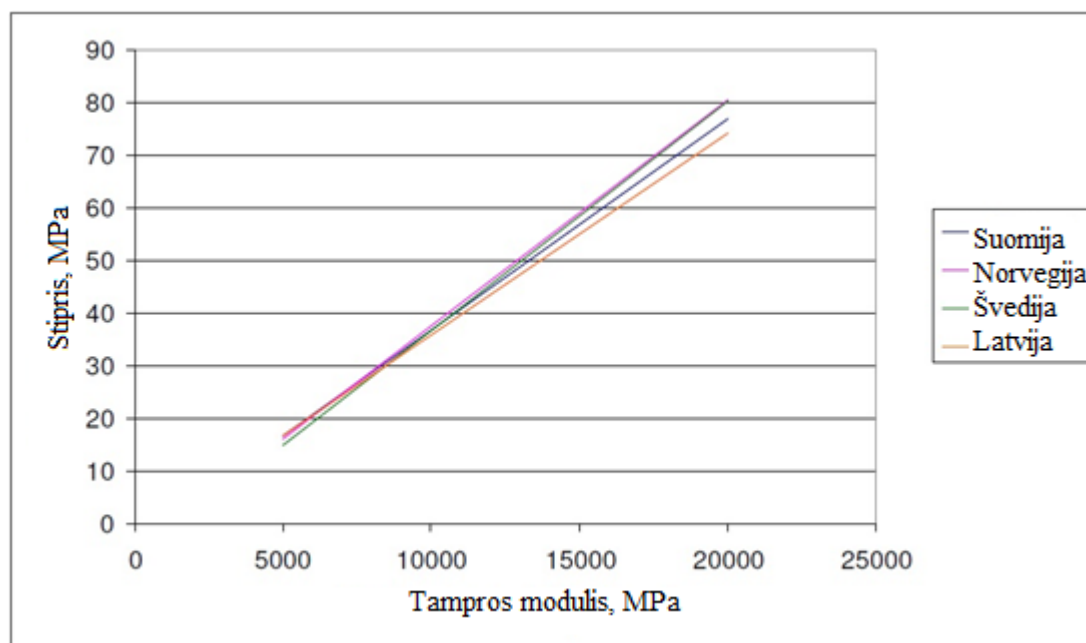
Iš 1–3 paveikslėlių matyti, jog vien pažiūrėjus į lūžį galima nustatyti, ar medienos stipruminės savybės buvo geros ar ne, ir kodėl būtent tokios.

Medienos tampros modulis yra tiesiogiai susijęs su stipriu. Tai parodo apačioje pateiktas grafikas (4pav.).



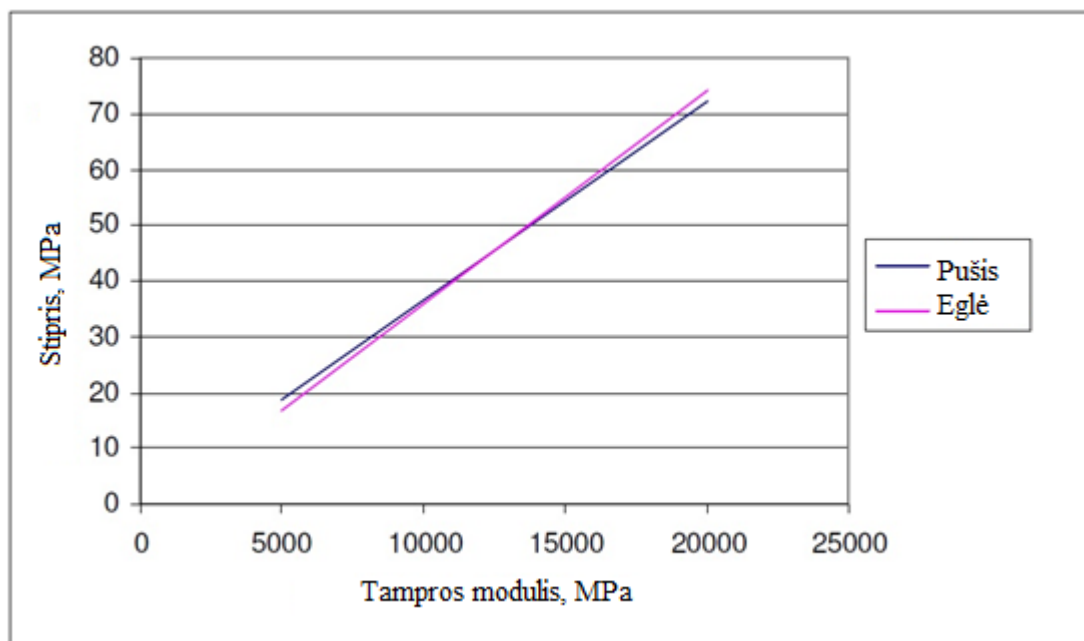
4 pav. Medienos tampros modulio ir stiprumo lenkiant priklausomybė

Gautas duomenų vidurkis buvo palygintas su Švedijos, Norvegijos ir Suomijos gautais rezultatais, jie buvo gana panašūs [4][5][6].



5 pav. Latvijos ir šiaurės šalių rezultatų palyginimas

Gauti rezultatai labai panašūs, visgi, jie šiek tiek varijuoja ne tik tarp regionų, kuriuose augo mediena, bet ir tarp nagrinėjamų medienos rūšių. Tai puikiai iliustruoja žemiau pateiktas 6 paveikslėlis, vaizduojantis eglės ir pušies tampros modulio koreliacijas su stipriu.



6 pav. Pušies ir eglės medienos tampros modulio ir stiprio priklausomybė

Latvijos pušies ir eglės mediena buvo pripažinta, kaip tinkama matavimui su prietaisais, skirtais šiauriniams regionams. Ji buvo pridėta prie EN 14081 4 dalies standarto. Rezultatai parodė gerą koreliaciją tarp stiprumo lenkiant ir tampros modulio E [23]. Konstatuota, kad nustatymai, skirti matuoti pušies tampros modulį, tinka ir eglės medienai.

Švedijoje buvo atlikti tyrimai, kuriais buvo bandoma nustatyti rąsto tampros modulio priklausomybę su vėliau išpjaujamų lentų stipruminėmis savybėmis [18].

Norint lentpjūves aprūpinti geresne apvaliaja mediena ir sumažinti išlaidas siekiant gauti aukščiausios klasės konstrukcinę medieną, naudojami keli paprasti būdai, kaip kreivų rąstų vengimas, rąstų rūšiavimas pagal diametrą, ilgį. Tačiau pagal išvaizdą negalima nuspėti išpjautų lentų stipruminių savybių. Šiam tikslui buvo pradėtas matuoti rąstų tampros modulis E .

Tyrimai buvo atlikti Karbeningo lentpjūvėje centrinėje Švedijoje, su rąstais, atvežtais iš plataus Švedijos regiono. Bandymams buvo atrinkti 828 rąstai, kurie buvo suskirstyti į dvi klases: (196–206) mm ($n = 387$ rąstai) ir (236–246) mm ($n = 441$ rąstai). Šie bandiniai buvo nukirsti rugsėjį ir išlaikyti 3–6 savaites prieš atliekant matavimus. Bandymams parinkti rąstai galėjo turėti daugiau negu įprasta žemos klasės rąstų [20].

Rąstai buvo sužymėti ir vizualiai įvertinti pagal švedų nacionalinius matavimo standartus. Tada pamatuotas tampros modulis E plaktuku trenkiant į rąsto galą ir sukeltant rezonansą rąste bei išmatuojant gautus rezultatus. Rąstai matavimo metu buvo paguldyti ant kitų, skersai padėtų rąstų, bet šonais nekontaktavo su kitais rąstais.

Kadangi rąstai buvo nedžiovinți, jų tankis priskirtas apie 1000 kg/m³.

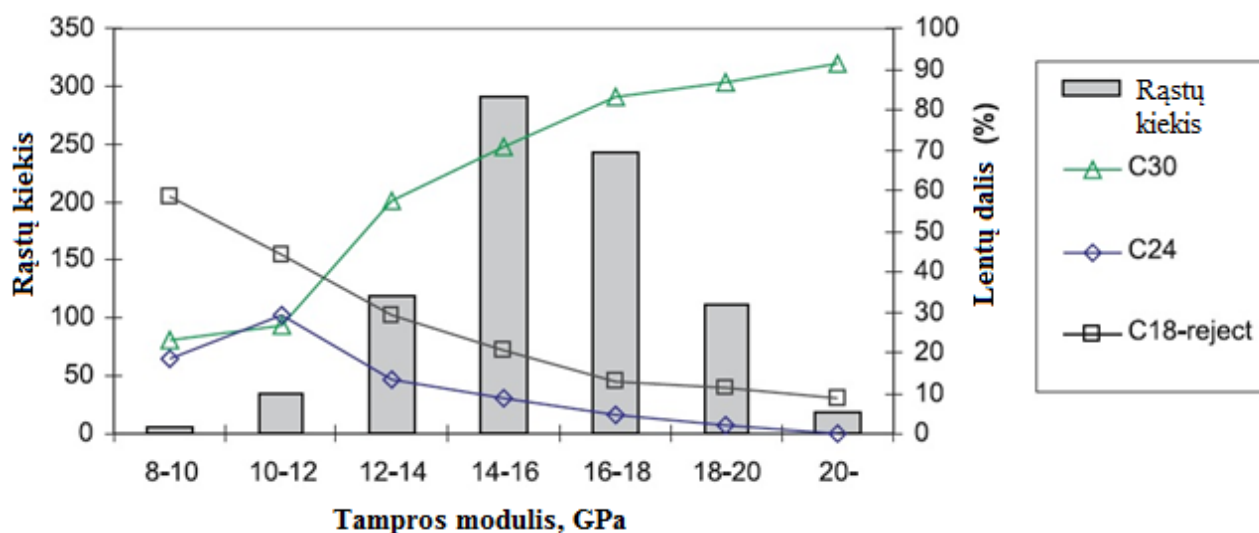
Tampros modulis apskaičiuojamas pagal šią formulę: $E_{(Dynamic)} = 4\rho l^2 f^2$, čia ρ - tankis, l - rąsto ilgis ir f – rezonanso dažnis rąste. Gauti rezultatai surašyti į žemiau pateiktą 1 lentelę [8].

1 lentelė. Tampros modulio variacijos priklausomai nuo kitų veiksnių

Parametrai	Klasė	Kiekis	Rąsto tampros modulis GPa			Standartinis nuokrypis	Grupė $\alpha = 0.05$
			Vid.	Min.	Max.		
Rąsto skersmuo	196	387	15.7	8.8	23.9	2.4	A
	236	441	16	9.6	23.2	2.2	A
Rievių plotis	$20 \leq x$	524	16.4	9.8	18.8	2.2	A
	$12 \leq x < 20$	268	15.1	9.6	23.3	2.1	B
	$x < 12$	17	14.1	8.8	23.9	2.6	
Vizualinis vertinimas	1	9	17.9	15.7	19.2	1.3	A
	2	95	16	8.8	23.9	2.6	B
	3	460	16.2	9.6	23.2	2.2	A
	4	234	15.2	9.2	22	2.2	B
	Cull	11	14.7	9.8	17.9	2.4	B
Suspaustoji mediena	no visible	444	16.1	9.8	23.9	2.3	A
	< 20%	257	15.7	8.8	23.2	2.2	A
Išlinkio aukštis	20%–50%.	127	15.1	9.2	19.4	2.1	B
	< 1%	777	15.9	8.8	23.9	2.3	A
Rąsto tipas	> 1%	32	14.7	9.2	18.9	2.2	B
	Kamblinis	509	15.8	9.2	21.9	2.2	A
	Kitoks	300	16.1	8.8	23.9	2.5	B

Iš 196–206 mm rąstų buvo išpjautos keturios centrinės lentos, kurių matmenys 34 mm x 112 mm, o iš 236–246 mm rąstų buvo išpjautos trys lentos, centrinės 47 mm x 175 mm ir pora šoninių 42 mm x 175 mm. Vėliau lentos sukrautos į rietuves ir išdžiovinintos: iš plonesnių rąstų iki 13% drėgmės, iš storesnių – iki 18% drėgmės. Tada visos lentos patikrintos stipruminiais matavimais nustatant jų stiprio klasę.

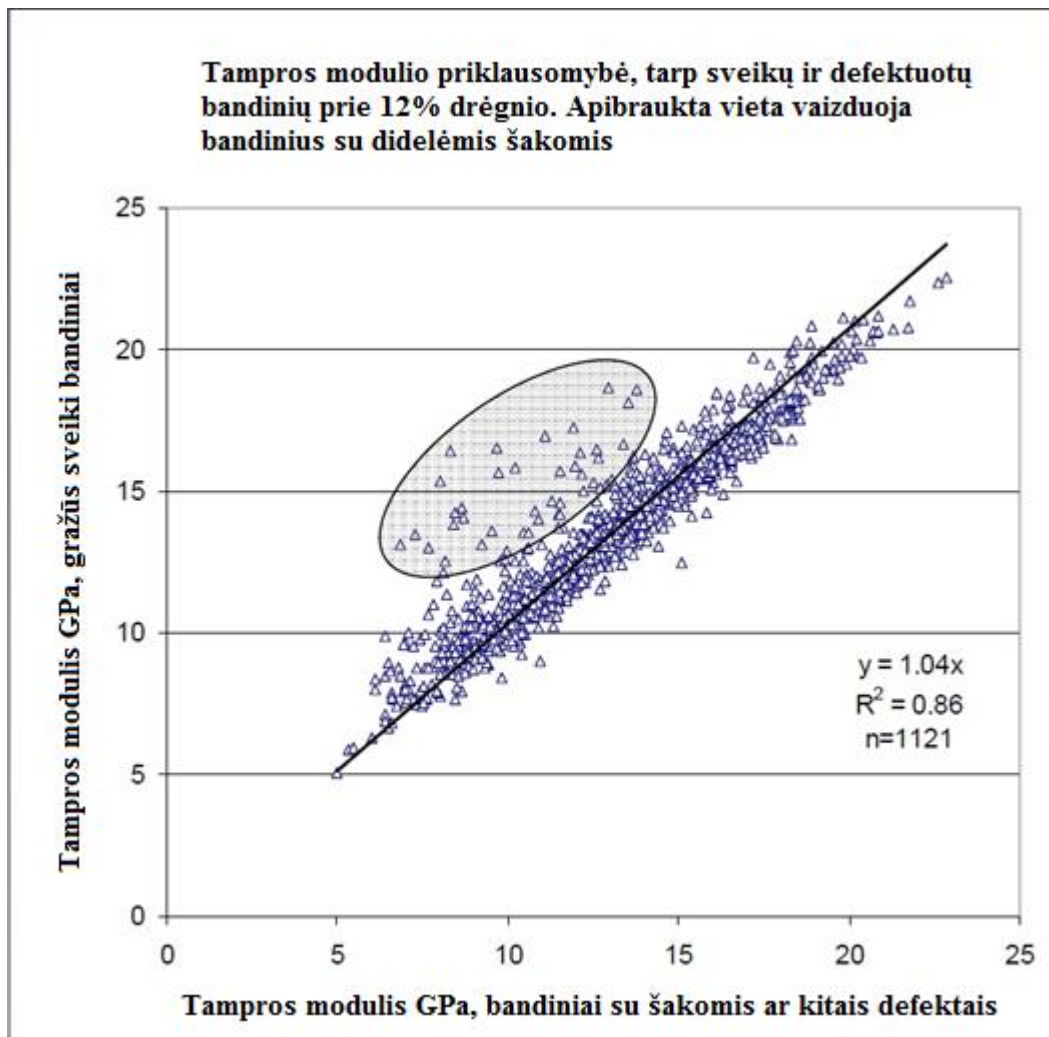
Buvo nustatyta, kad rąstų tampros modulis gerai atspindi būsimų lentų stiprumines savybes [13].



7 pav. Rąstų tampros modulio priklausomybė lentų klasėms [14]

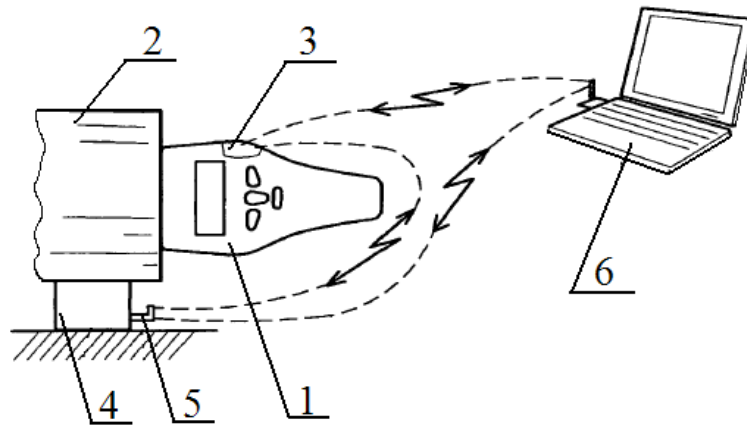
Šis tyrimas parodė, kad priklausomybė tarp rąsto akustinių savybių ir medienos stiprumo yra gerai koreliuojanti. Visgi, turėtų būti atlikta papildomų testų, kurie patikslintų tankio, drėgmės ir temperatūros poveikius šiems veiksniams [15][17].

Atliekant tyrimus pastebėta, kad labai išsiskiria dinaminio tampros modulio reikšmės matuojant medieną su didelėmis šakomis, bet jei prieš tai būtų įterptas vizualinis rūšiavimas, būtų galima to išvengti [16]:



8 pav. Tampros modulio matavimų reikšmės labai šakotuose ir normaliuose bandiniuose [20]

Matavimai Timber Grader MTG atliekami labai paprastai. Šios mašinos matavimo principas yra paremtas natūraliu dažniu medienoje: siunčiama banga įrengtu plaktuku ir sugrįžanti banga priimama mikrofonu. Vibracijos iš medienos paverčiamos elektriniu signalu ir siunčiamos į kompiuterį. Galimas kompleksinis matavimas pridėdant ir svarstyklės, kai pagal žinomus medienos matmenis paskaičiuojamas medienos tankis ir patikslinami rezultatai [7]. Matavimo schema pateikta 9 pav.



9 pav. Timber Grader MTG matavimo schema: 1 – matavimo prietaisas Timber Grader MTG; 2 – medienos bandinys; 3 – bevielis bluetooth siųstuvas; 4 – svarstyklės; 5 – bevielė jungtis; 6 – kompiuteris

Šis įrankis patogus tuo, kad gali būti lengvai nešiojamas, juo gaunami rezultatai yra gana tikslūs. Kuriamos programos patikslinančios matavimus priklausomai, nuo medienos rūšies ir regiono iš kur augus mediena. Timber Grader MTG nustatymai patvirtinti standartu EN 14081-4. Vidurio ir Šiaurės Europos eglės mediena [10].

Kad būtų palyginti tamprumo modulis E ir stiprį f_m buvo atliekami badymai matuojant tampros modulį su Timber Grader MTG, Long Span stipruminio lenkimo testu, Metriguard mašina ir 4 taškų lenkimo testu. Timber Grader MTG veikimo principas, aptartas anksčiau, matuoja medienos natūralų dažnį ir akustinės bangos sklidimą mediena. Long Span ir Metriguard matuoja medienos išlinkimus naudojant tam tikrą jėgą ir paskaičiuoja tampros modulį [8].



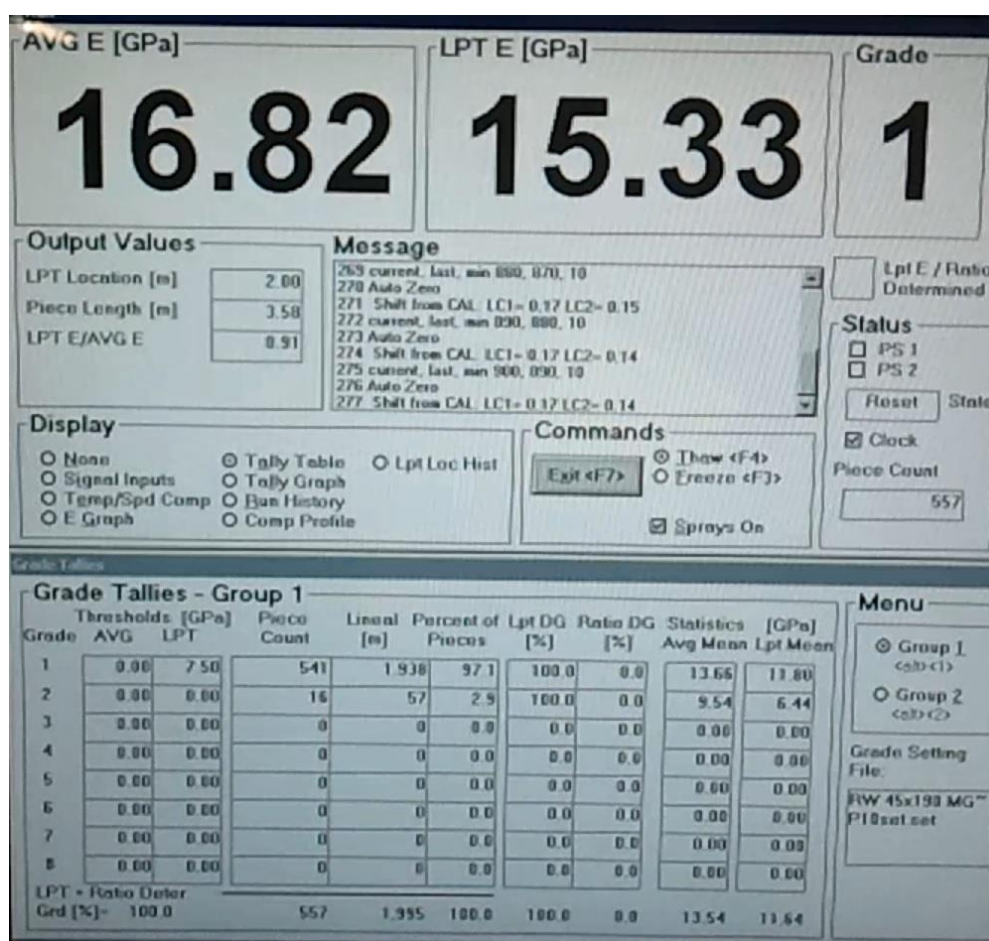
10 pav. Metriguard medienos stiprio nustatymo mašina

Bandymai buvo atlikti su Lietuvoje auginta pušim. Bandiniai buvo 3006 (ilgio) x 90 (pločio) x 35 (storio). Jie buvo išpjauti iš 200–220 mm diametro rąstų. Bandiniai buvo sunumeruoti nuo 1 iki 40, tada pasverti ir pamatuotas drėgmės kiekis.

Tampros modulis buvo išmatuotas trimis nedestrukciniais metodais ir įranga: Timber Grader MTG, trijų taškų lenkimu Long Span ir Metriguard stiprio klasifikavimo mašina. Destrukcinis matavimo metodas buvo keturių taškų lenkimo testas, kuriuo buvo tiksliai nustatomas tampros modulis bei stipris ir užbaigiamas testas [9]. Iš pradžių savitasis dažnis buvo matuotas su MTG įtaisu. Visa reikalinga informacija – bandinių ilgis, plotis, storis, drėgmė ir svoris – buvo suvesta į kompiuterį ir perskaičiuota į tankį prie 12% surištosios drėgmės [20].

Vėliau bandiniai buvo testuojami Long Span įranga. Apkrova bandiniams siekė 3.381 kg. Tada būdavo išmatuojamas deformacijos dydis ir apskaičiuojamas tampros modulis.

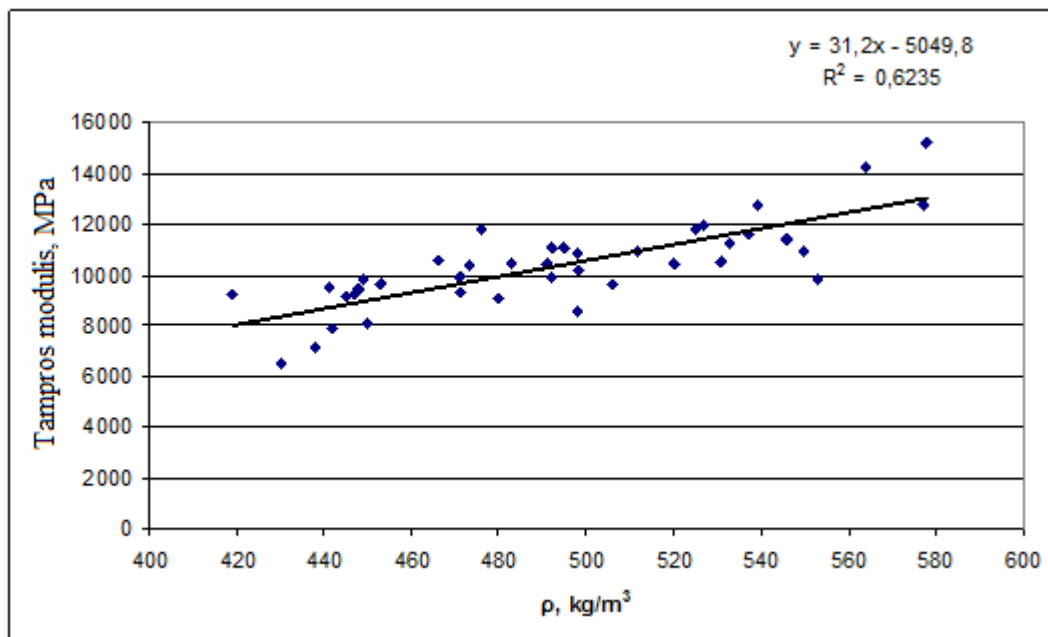
Trečias nedestrukcinis bandymas buvo atliekamas su Metriguard mašina, praleidžiant per ją bandinius. Programinė įranga pamatuoja deformacijas ir apskaičiuoja tampros modulį [17].



11 pav. Metriguard programos langas [22]

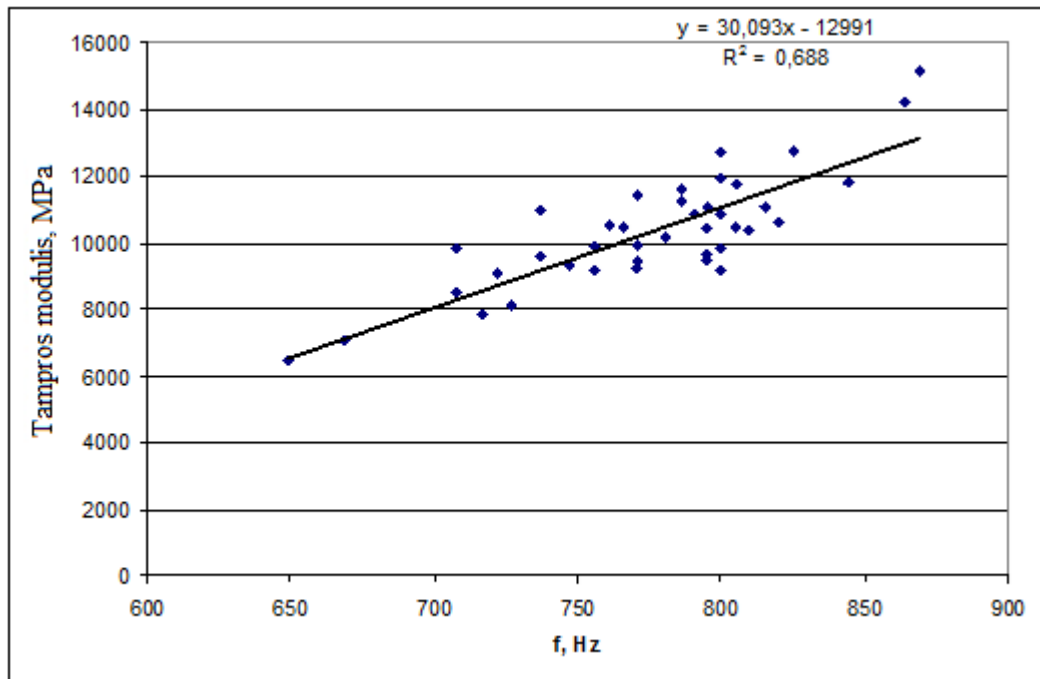
Galutinis bandymas buvo atliktas naudojant 4 taškų lenkimo mašiną. Bandymų metu taip pat buvo matuojamas išlinkis ties $0.2 F_{\max}$ – $0.4 F_{\max}$ jėgomis, pagal EN 408 standartą. Gautos reikšmės panaudotos tolimesniems tampros modulio skaičiavimams. Tada apkrova pridedama tol, kol medienos bandinys lūžta ir apskaičiuojamas stipris.

Žemiau esančiame grafike (12 pav.) pavaizduotas tampros modulio gauto MTG būdu priklausomybė nuo medienos tankio. Iš determinacijos koeficiento 0,6235 galima spręsti, kad tankis turi gana didelę įtaką gautiems rezultatams.



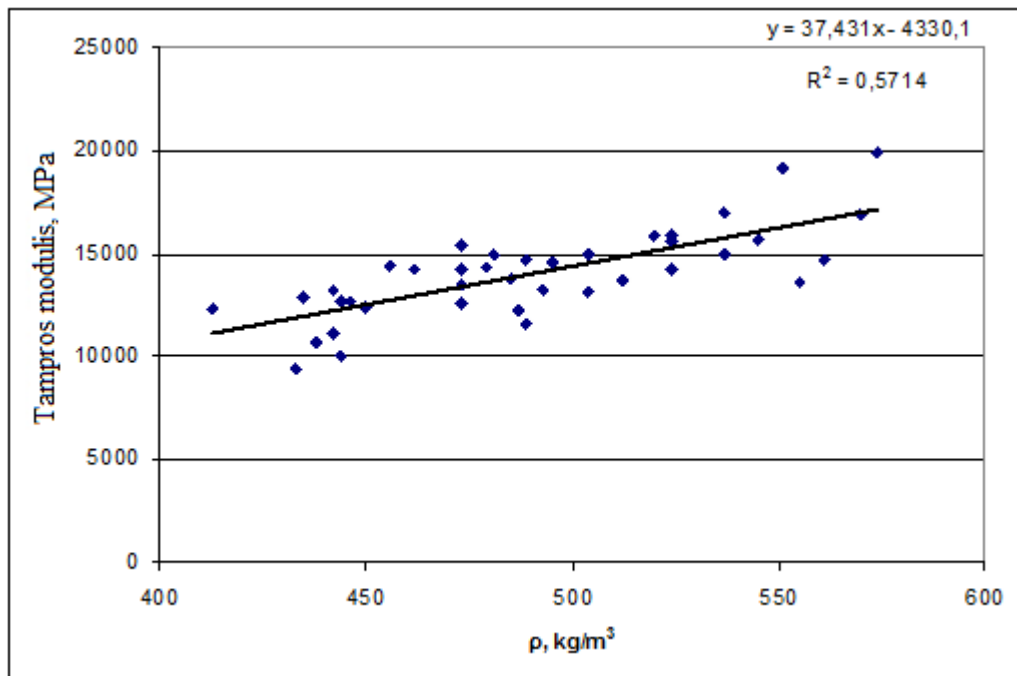
12 pav. Ttampros modulio ir ρ (tankio) priklausomybe (MTG)

Sekančiame grafike (13 pav.) pavaizduota tampros modulio gauto su MTG prietaisu priklausomybė nuo medienos savitojo dažnio. Šių dviejų matavimų determinacijos koeficientas dar aukštesnis negu dažnio ir tampros modulio.



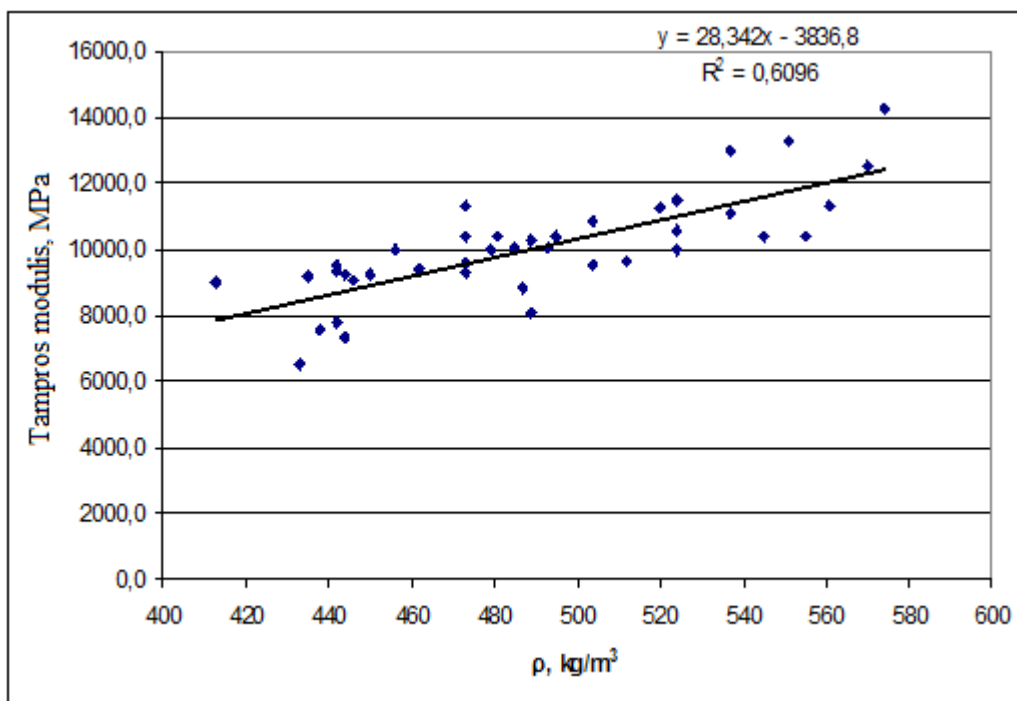
13 pav. Tampros modulio ir savitojo dažnio priklausomybė

Kitas grafikas (14 pav.) parodo, kaip tampros modulis, gautas Metriguard bandymų mašina, koreliuoja su medienos tankiu. Metriguard nematuoja tankio, o tik medienos įlinkius ir jėgą, reikalingą jiems pasiekti.



14 pav. E (tampros modulio) ir ρ (tankio) priklausomybė (Metriguard)

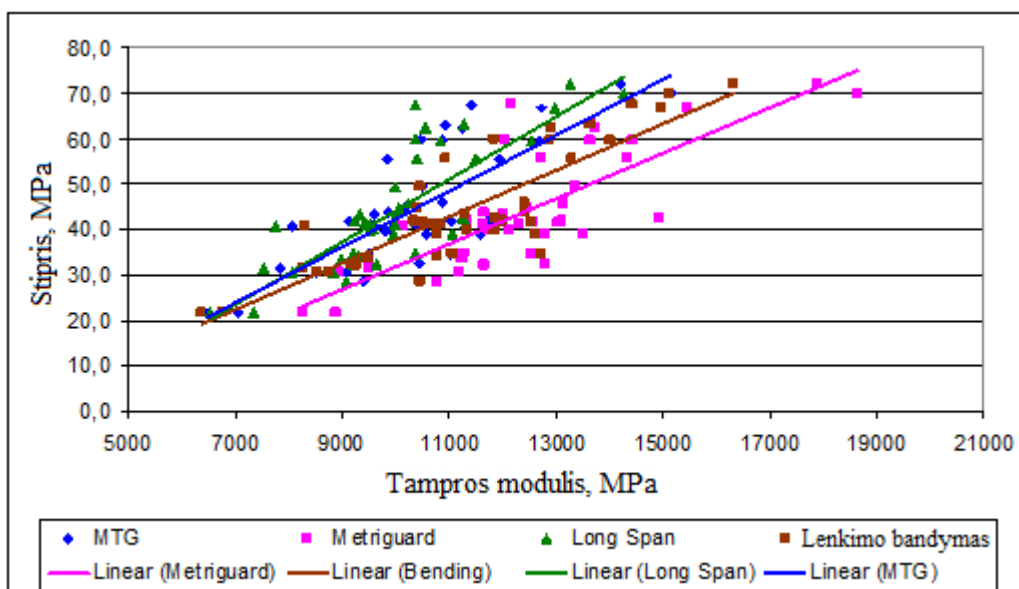
Keturių taškų lenkimo bandymu gautas tampros modulis ir jo koreliacija su tankiu pateikta žemiau esančiame grafike (15 pav.).



15 pav. E (tampros modulio) ir ρ (tankio) priklausomybė (Long Span)

Apibendrinant šiuos rezultatus, galima paminėti, kad tankis turi labai didelę įtaką medienos tampros moduliui.

Žemiau pateiktas grafikas (16 pav.) vaizduoja skirtingais matavimo būdais gautą tampros modulio koreliaciją su medienos stipriu.

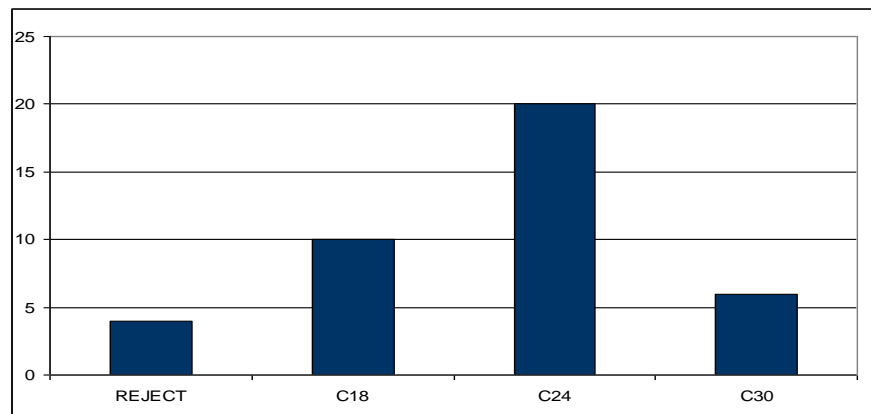


16 pav. E (tampros modulio) ir stiprio santykis, visuose testuose

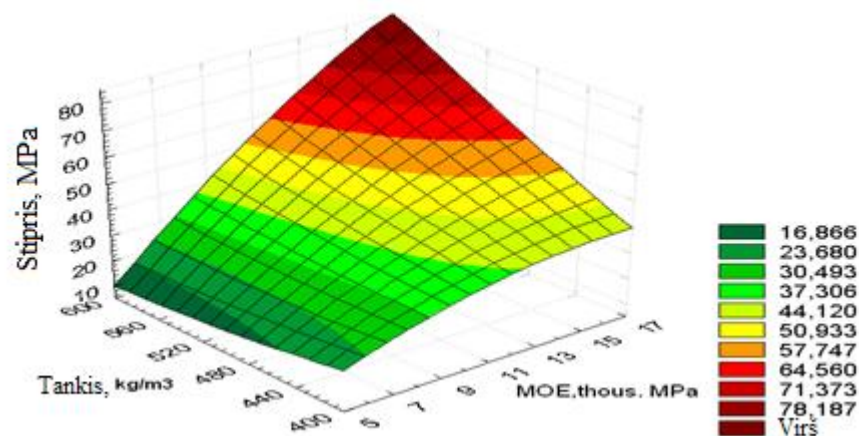
Kaip matome iš 16 paveikslėlio, Timber Grader MTG parodė artimiausius rezultatus tikrosiems reikšmėms, gautoms sulaužant bandinius. Long Span metodus parodė kiek žemesnes tampros

modulio reikšmes negu tikrasis stipris. Metriguard bandinius įvertino ~10% geriau negu tikroji bandinių lūžimo jėga, gauta 4 taškų lenkimo būdu [12].

Bandymu metu nustatyta, kad pusė bandinių priklauso C24 klasei, 25% – C18, 15% – C30 ir 10% netinkami naudoti statybinėse konstrukcijose.

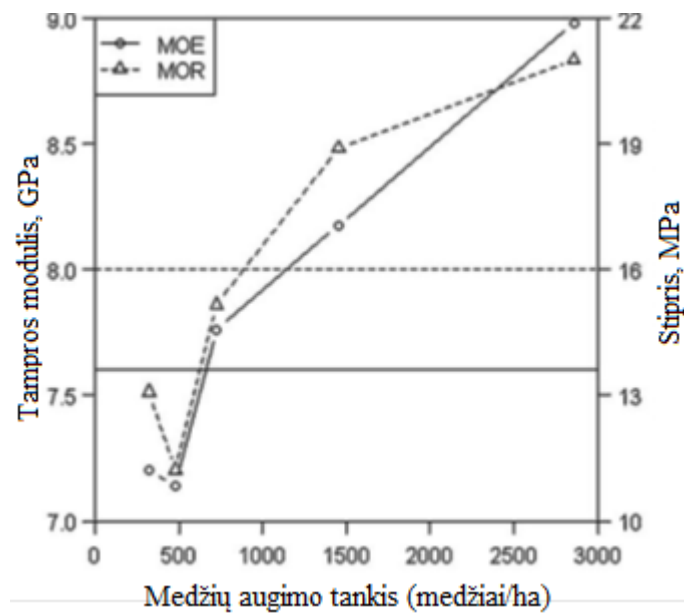


17 pav. Medienos pasiskirstymas į stiprumo klases



18 pav. E_{stat} (tampros modulio) ir ρ (tankio) tarpusavio ryšys su stipriu

Atliktas bandymas iš anksto nustatant rąstų tampros modulį ir pritaikant rezultatus vėliau išpjautoms lentoms. Šis bandymas buvo atliktas su 72 atrinktais rąstais. Buvo išmatuoti visi parametrai: tankis, drėgnis, tampros modulis, ir stipris lenkiant [20]. Gauti rezultatai parodė, kad tampros modulis MOE gerai atspindi stiprį ir gerai koreliuoja su medžių augimo tankiu [24].



19 pav. Tampros modulio E koreliacija su stipriu f_m ir tankiu

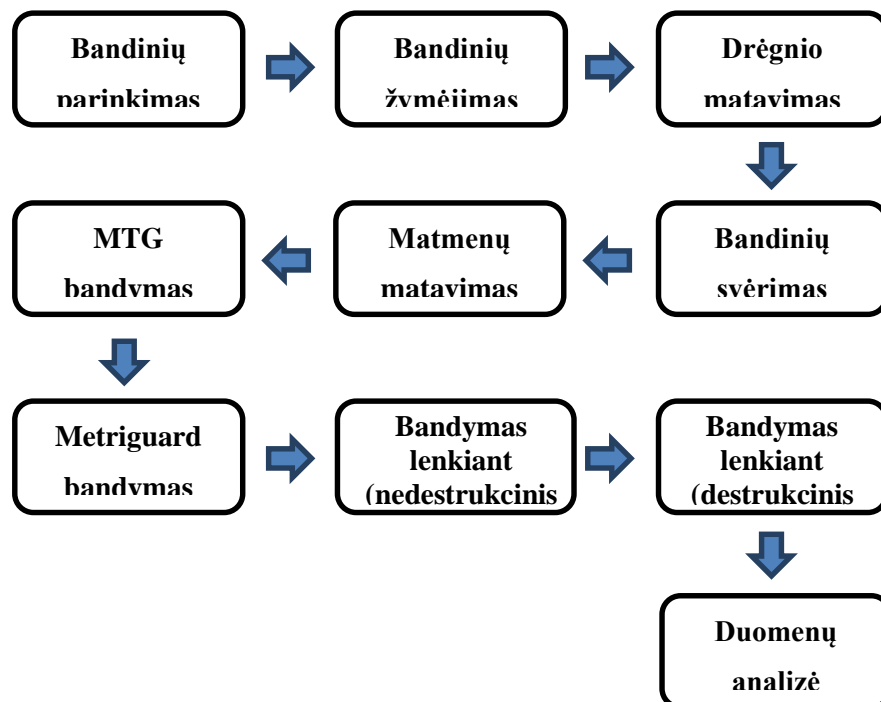
Peržvelgtas straipsnis apie lentos bandinio profilių nuėmimą ir jų koreliacija su viso bandinio standumu, kuriame stengiamasi išžvelgti atskirų šakų grupių įtaką viso bandinio stiprumui. Gauti rezultatai parodė neblogas priklausomybes [19] [28].

Išanalizavus mokslinius straipsnius, susidarytas bendras vaizdas apie tai, ką būtina atlikti norint įvertinti medienos tampros modulį ir stiprį, kas daro jiems didžiausią įtaką, kokie standumo ir stiprio nustatymo būdai naudojami plačiausiai.

3. Metodologinė dalis

3.1. Pušies ir eglės medienos standumo ir stiprumo charakterizavimas

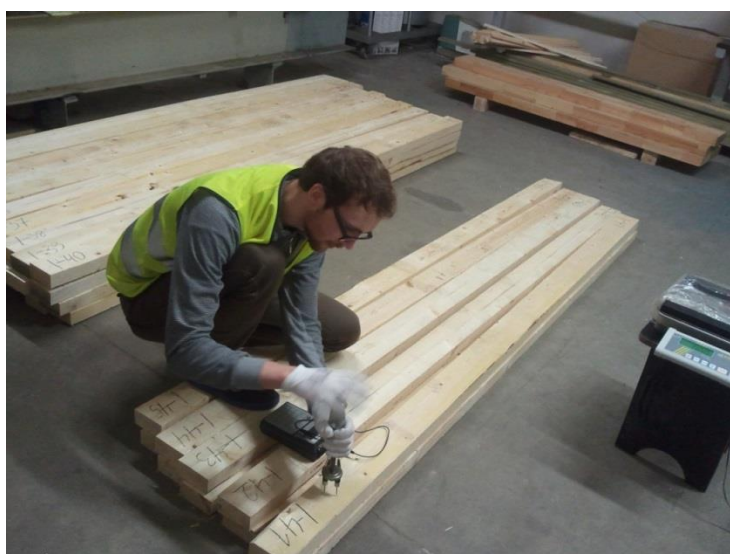
Bandymai buvo atlikti su pušies ir eglės mediena. Tyrimai buvo vykdomi pagal UAB „Jūrės medis“ užsakymą, siekiant atestuoti jų turimą medienos stiprio matuoklį MTG Timber Grader Lietuvoje augančios spygliuočių medienos klasifikavimui pagal stiprį. Šios tyrimų dalies eigą koordinavome su prietaiso gamintoja firma Brookhuis, Olandija. Tyrimų rezultatų apdorojime ir taikymu Europos standartizacijos komiteto EN TC *Timber Structures* poreikiams, įtraukiant duomenis į standartą EN 14081 dalyvavo šio komiteto atstovas iš Delft technologijos universiteto, Olandija Geert Ravenshorst. Tokiems tyrimams taikomi bandinių atrankos principai pateikti 2 Priede. Mediena buvo atrinkta atsitiktinai lentpjūvėje pasirinkus bandinių matmenis. Tai užtikrino, kad mediena gerai varijuotų ir atitiktų Lietuvoje augančią medieną. Į lentpjūvę apvalioji mediena patenka iš įvairių Lietuvos regionų, tada ji išrūšiuojama pagal matmenis ir tik vėliau, kai susikaupia pakankamas jos kiekis konteineryje, ji supjaunama į lentas. Bandinius sudarė šimtas dvidešimt eglės ir šimtas dvidešimt pušies bandinių. Eglės bandiniai buvo dviejų matmenų grupių, kurias sudarė po šešiasdešimt bandinių, kurių matmenys 50x100x2712 mm ir 65x155x3000 mm. Pušies bandinius taip pat sudarė dvi grupės po šešiasdešimt bandinių, kurių matmenys 50x120x3100 mm ir 65x155x3000 mm. Tada atlikti bandymai vadovaujantis CEN TC 124 standarto EN 408 nuostatomis norint nustatyti medienos stiprį. Atliktų tyrimų seka pateikta 20 pav.



20 pav. Atliktų procesų santrauka

Atlikti trys nedestrukciniai bandymai: Timber Grader MTG, Metriguard ir statiškai lenkiant keturiuose taškuose, bei destruktinis lenkimo testas pagal EN 408.

Pirmiausia bandiniai buvo sužymėti individualiais numeriais nuo 1 iki 60, kad vėliau būtų galima lengvai atsekti bandinius, tada pamatuotas lentos drėgnis trejose vietose su Hydromette M 2050 prietaisu ir paskaičiuotas lentos drėgnio vidurkis. Šis drėgmėmatis matuoja varžą tarp į medieną įsmeigtų adatėlių ir parinkus, kokia mediena matuojama, programiškai suskaičiuoja medienos drėgnį [29]. Bandiniai prieš matuojant drėgnį jau buvo išdžiovinti džiovykloje ir sandėliuojami matavimo patalpoje, kurioje palaikoma stabili temperatūra ir aplinkos drėgmė.



21 pav. Bandinių drėgnio matavimas



22 pav. Drėgmėmatis Hydromette M 2050

Tada bandiniai buvo pasverti su svarstyklėmis KERN DE 60K20N, kurių maksimali sveriamoji geba iki 60kg su +/-20g paklaida.



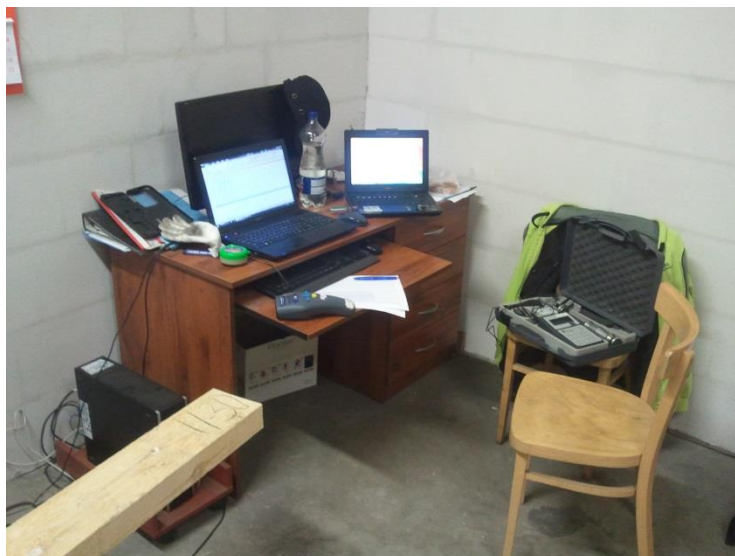
23 pav. Svarstyklės KERN DE 60K20N

Tada buvo tiksliai išmatuoti matmenys su elektriniu WURTH slankmačiu. Bandinio visi matmenys matuojami trejose vietose ir išvedamas vidurkis. Jo matavimo tikslumas +/-0,01 mm.



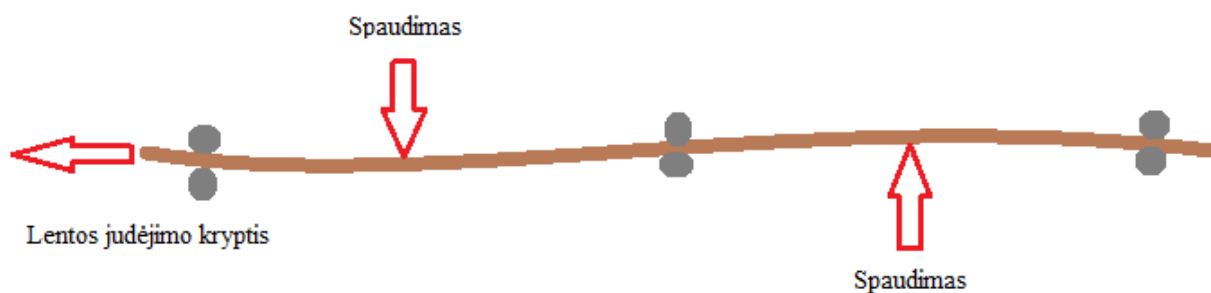
24 pav. Elektroninis slankmatis WURTH

Tada lentos nuskenuotos Timber Grader MTG prietaisu, kuris nustato medienos tampros modulį. Šis prietaisas naudoja akustinę bangą sukeltą plaktukėlį ir mikrofoną, kad galėtų užfiksuoti medienos rezonansinį dažnį bei visas kliūtis garso bangos kelyje.



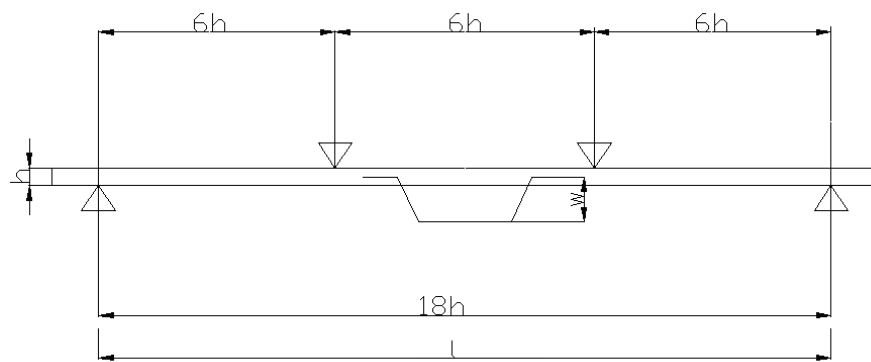
25 pav. MTG matavimo vieta

Medienos stipruminiai bandymai atlikti ir su Metriguard 7200HCLT. Ši medienos stiprio matavimo mašina susideda iš dviejų dalių. Vienoje bandinys (lenta) lenkiama į vieną pusę, kitoje į kitą. Matavimai vyksta gamybinėje linijoje, lentai slenkant tarp velenų, kurie išdėstyti nevienodame aukštyje ir lenkia lentą. Pamatavus susidariusius įlinkius kompiuterinė programa skaičiuoja medienos tampros modulį.



26 pav. Metriguard matavimo schema

Vėliau lentos buvo dedamos į universalią SMB BP-16 lenkimo mašiną, kurios maksimali lenkimo jėga 164 kN ir apkrovus tam tikra jėga matuojami įlinkiai ties 0,1 ir 0,4 maksimalaus lentos stiprio su HOLEX slankmačiu, kurio matavimo paklaida +/-0,01 mm. Šis slankmatis ypatingas tuo, jog turi lengvai nuo paties mechanizmo atsiskiriančią kojėlę, kuri lentos lūžimo atveju apsaugotų patį prietaisą. Lenkimo bandymas atliktas vadovaujantis EN 408 standartu.



27 pav. Lenkimo bandymo schema pagal EN 408 (2014)



28 pav. SMB BP-16 universali lenkimo mašina



29 pav. Hoxley elektroninis slankmatis ir pamatuotas 6,03 mm įlinkis

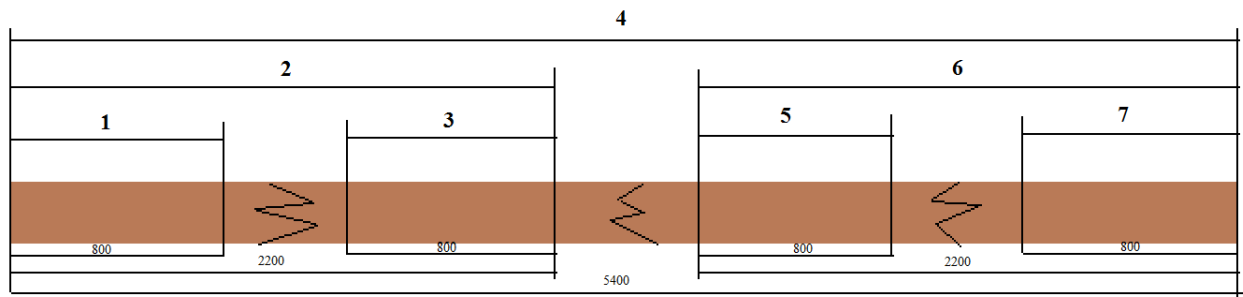
Išmatavus įlinkius ir lenkimo jėgą bandiniai buvo lenkiami iki maksimalios apkrovos, ties kuria sulūždavo. Apkrova, ties kuria bandiniai lūžo, buvo užfiksuojama.



30 pav. Sulaužytas bandinys

3.2. Tampriai plastiškųjų savybių tyrimai įvertinant šakas ir metines rieves

Papildomai dar buvo atlikti bandymai su eglės mediena, kurios matmenys 38x184x6013 mm ir 35x70x5400 mm. Šie bandymai buvo atlikti norint įvertinti medienos šakų bei rievių įtaką medienos stipriui ir kitų metodų tikslumui. Bandiniai buvo atrinkti atsitiktinai paimant juos iš gamybinės linijos iškart po Metriguard testavimo ir žymėjimo. Visi bandiniai Metriguard buvo pažymėti kaip C24 klasė. Vėliau sekė bandinių žymėjimas numeriais, svėrimas, drėgnio matavimai, MTG testavimas, lenkimo testas su SMB mašina ir sulaužymas. Tada buvo išanalizuoti lūžiai ir jų priežastys. Sulaužyti bandiniai buvo naudojami tolimesniems tyrimams. Jie buvo supjauti į trumpesnius, to paties skerspjūvio bandinius, papildomai sužymėti, kad vėliau būtų galima suformuluoti visą lentos profilį. Tad gauti trumpesni bandiniai buvo 35x70x2200 mm, su jais buvo atlikti vėl visi ankščiau minėti bandymai. Kai šie bandiniai buvo vėl sulaužyti, jie jau buvo per trumpi ir neatitiko EN 408 standarte nurodyto ilgio lenkimo testams, bet puikiai tiko „MTG Timber grader“ bandymams. Tad iš 2200 mm ilgio bandinių po sulaužymo buvo išpjauti 800 mm ilgio bandiniai, vėl sunumeruoti, pasverti ir nustatytas jų tampros modulis E. Taip pat buvo išmatuotos visų bandinių metinės rievės ir lūžio vietoje vyravusios šakos ir kitos ydos. Žemiau pateikiama bandymo schema, skaičiai nuo 1 iki 7 reiškia lentų numerius.



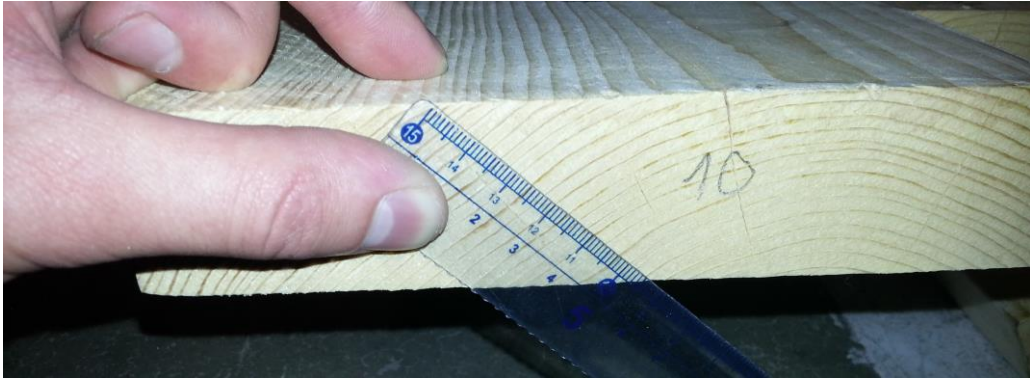
31 pav. Bandymo schema, kai lenta dalijama į dedamasias

Visi šie bandymai buvo atlikti prieš tai minėtais prietaisais, išskyrus svėrimo procesą. Jam atlikti buvo panaudotos pramoninės A&D SK-5001 svarstyklės, kurių matavimo geba iki 5000g su +/-1g paklaida.



32 pav. Bandinių svėrimas A&D SK-5001 svarstyklėmis

Medienos metinės rievės buvo matuotos liniuote statmenai rievėms ir suskaičiuotos 50 mm atkarpoje. Poroje bandinių nebuvo įmanoma suskaičiuoti rievių 50 mm atkarpoje, tad jos buvo skaičiuotos 40 mm atkarpoje ir į galutinius rezultatus suvestos taikant 1,25 koeficientą.



33 pav. Lentų metinių rėvių matavimas statmenai rėvėms

Šakų plotas medienoje buvo skaičiuojamas pasitelkiant AutoCad programą, įsikeliant bandinio nuotrauką, kurioje ant bandinio uždėta liniuotė palengvina sureguliuoti mastelio dydį, kad matavimai būtų atlikti tiksliai.



34 pav. Lentos šakų ploto matavimas

3.3. Duomenų apdorojimas.

Žemiau pateiktos formulės, kuriomis remiantis buvo atlikti medienos stiprumo, tampros skaičiavimai ir statistinis apdorojimas. Minėtina, kad bandymams buvo naudota tiek obliuota, tiek po pjovimo neapdirbta grubaus pjovimo mediena. Neobliuotos medienos skerspjūvio plotams skaičiuoti bandiniai buvo matuojami trejose vietose ir išvedami vidurkiai, taip stengiantis sumažinti paklaidas.

Globalus tampros modulis $E_{m,g}$ buvo skaičiuojamas keturių taškų bandiniams lenkimo bandymuose pagal LST EN 408 standarte nurodytą formulę:

$$E_{m,g} = \frac{l^3(F_2 - F_1)}{bh^3(w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4l} \right) - \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right] \quad (1)$$

$E_{m,g}$ yra globalus tampros modulis, matuojamas Niutonais kvadratiniam milimetre;

l yra atstumas tarp atramų lenkimo metu, matuojamas milimetrais;

$F_2 - F_1$ yra apkrovos padidėjimas, matuojamas Niutonais;

b yra bandinio skerspjūvio plotis, arba mažesnis skerspjūvio matmuo, matuojamas milimetrais;

h yra bandinio skerspjūvio aukštis, arba didesnis skerspjūvio matmuo, matuojamas milimetrais;

$w_2 - w_1$ yra įlinkio padidėjimas, atsiradęs padidinus lenkimo jėgą nuo F_1 iki F_2 , matuojamas milimetrais;

a yra atstumas tarp apkrovos ir artimiausio suporto, matuojamas milimetrais.

Stipris lenkiant f_m buvo skaičiuojamas pagal LST EN 338 standarte pateiktą formulę:

$$f_m = \frac{F \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (2)$$

f_m yra stipris lenkiant, MPa;

F yra lūžio jėgos reikšmė, matuojama Niutonais;

L yra atstumas tarp atramų lenkimo metu, matuojamas milimetrais;

b yra bandinio skerspjūvio plotis, matuojamas milimetrais;

h yra bandinio skerspjūvio aukštis, matuojamas milimetrais.

Norint apskaičiuoti dinaminį tampros modulį, buvo panaudota formulė, kurioje naudojamas dažnis gautas su „MTG Timber grader“ :

$$E_{dyn} = \rho \cdot (2 \cdot l \cdot f)^2 \quad (3)$$

E_{dyn} yra dinaminis tampros modulis, matuojamas MPa;

ρ yra bandinio tankis prie esamo bandinio drėgnio matavimo metu, matuojamas kg/m³;

l yra bandinio ilgis, matuojamas mm;

f yra bandinio savitasis dažnis, matuojamas Hz.

Eksperimentų rezultatų statistinis apdorojimas atliktas pagal sekančias formules, kuriomis apskaičiuojami svarbiausi statistiniai rodikliai.

Aritmetinis vidurkis \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} ; \quad (4)$$

Dispersija s^2 :

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} ; \quad (5)$$

Vidutinis kvadratinis nuokrypis s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} ; \quad (6)$$

Variacijos koeficientas v :

$$V = \frac{s}{x} 100\% ; \quad (7)$$

Atsitiktinė paklaida Δ :

$$\Delta = t_{\beta} \frac{s}{\sqrt{n}} ; \quad (8)$$

Pasikliautinis intervalas I_{β} :

$$I_{\beta} = (\bar{x} - \Delta; \bar{x} + \Delta) ; \quad (9)$$

Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats} :

$$\delta_{ats} = \frac{\Delta}{x} 100\% ; \quad (10)$$

Bendroji matavimų rezultato paklaida δ_b :

$$\delta_b = \sqrt{\delta_{ats}^2 + \delta^2}; \quad (11)$$

Šios formulės yra svarbios norint patikrinti rezultatų patikimumą. Skaičiavimo rezultatai pateikti:
1 Priede.

5. Tyrimo rezultatai

Šitame skyriuje bus aptarti ir analizuojami visi gauti rezultatai.

Visi matuojant gauti duomenys buvo surašyti į lenteles Microsoft Excel programoje ir, pritaikius formules, apskaičiuoti medienos statiniai ir dinaminiai tampros moduliai, tankiai, paskaičiuotas medienos stipris ir tankiai, perskaičiuoti prie 12 procentų drėgnio, ir kiti statistiniai rodikliai.

5.1. Nedestrukciniai matavimai

Atlikus nedestrukcinis matavimus buvo gauti tikslūs bandinių matmenys, masė, drėgnis, tankis ir įlinkiai milimetrais, kai bandiniai buvo veikiami 0,1–0,4 didžiausios jėgos lenkiant medieną keturių taškų apkrova. Suvedus bandinių matmenis, tankį bei drėgnį į „MTG Timber Grader“ programą ir ištestavus bandinius su tam skirtu prietaisu buvo gautos dažnio ir tampros modulio reikšmės. Atlikus visus šiuos veiksmus ir suvedus rezultatus į Excel programą, buvo surastos minimalios ir maksimalios reikšmės, vidurkiai, nubraižyti koreliacijos grafikai ir apskaičiuoti determinacijos koeficientai. Pagrindiniai rezultatai surašyti į žemiau pateiktas 2–3 lenteles.

Gautų iš lentpjūvės lentų profiliai nebuvo obliuoti, tad vyravo matmenų svyravimai. Visų bandinių, išskyrus eglės 50x100 mm, ilgiai buvo gana tikslūs ir nesudarė didelių paklaidų bandymams, tačiau eglės 50x100 mm lentos buvo gana nevienodų ilgių, tad jų ilgiai buvo papildomai kalibruoti tiksliai ties 2712 mm nupjaunant galus. Lentų storio ir pločio matmuo svyravo +/- 1,5 mm, dėl to, kad jos buvo pjautos iš rąstų naudojant diskines daugiapjūklės stakles, joms tokia paklaida yra toleruojama.

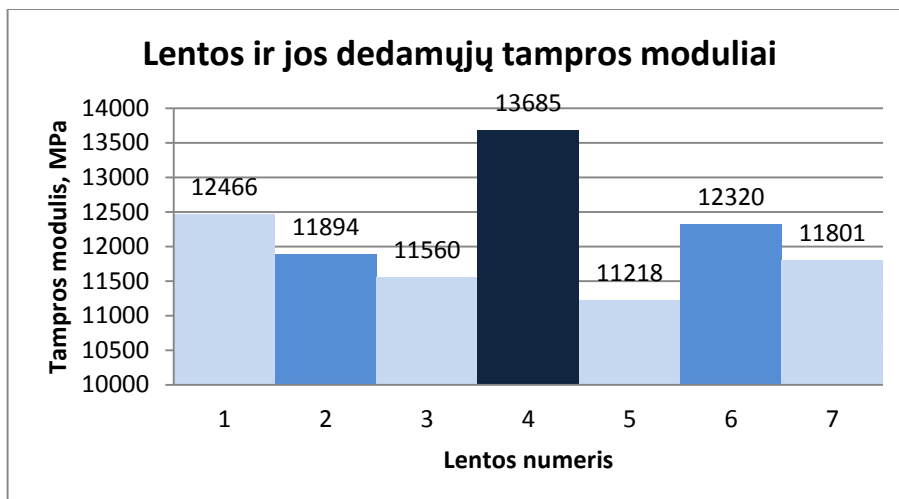
Visi bandiniai buvo sverti pramoninėmis svarstyklėmis su 20 g paklaida, tad masės rezultatai pamatuoti su ~0,2% paklaida. Turint bandinių masę ir matmenis apskaičiuotas tankis prie esamo bandinių drėgnio. Panaudojant išmatuotą bandinių drėgmę buvo perskaičiuotas tankis prie 12% medienos drėgnio. Gautas medienos drėgnis atspindi medienos džiovinimo ir laikymo sąlygas ir svyruoja nuo 15,1% iki 37,1%, su vidutiniu 20,6% drėgniu eglės medienoje ir nuo 13,3% iki 18,2%, su vidutiniu 15,2% drėgniu pušies medienoje. Eglės 50x100 mm mediena drėgnesnė, nes buvo transportuojama per lauką lietingu oru tam, kad būtų sukalibruotas bandinių ilgis. Gauti medienos tankiai puikiai atspindi tankius, būdingus šioms medienos rūšims.

2 lentelė. Bandinių vidutiniai matmenys, minimumai ir maksimumai

Lentų profilis		Matmenys, mm			Masė, kg	Drėgnis, %	Tankis ρ , Kg/m ³	Tankis ρ_{12} , Kg/m ³
		L	B	H				
Eglė 50x10 0	Vid:	2712	104,69	49,20	6,95	23,9	498	458
	Min:	2712	103,50	48,29	5,50	18,3	394	348
	Max:	2712	106,73	50,68	8,48	37,1	618	587
Eglė 65x15 4	Vid:	3007	154,58	64,78	14,47	17,3	482	462
	Min:	2930	153,33	63,05	11,80	15,1	391	383
	Max:	3031	155,72	65,67	17,64	21,7	588	557
Pušis 50x12 0	Vid:	3098	117,81	48,41	10,21	15,1	579	565
	Min:	3060	116,41	47,30	8,38	13,3	464	456
	Max:	3102	126,84	51,84	12,74	17,5	725	712
Pušis 65x15 5	Vid:	2986	153,82	64,98	15,18	15,4	512	499
	Min:	2970	152,10	64,26	12,52	14,2	414	410
	Max:	3004	155,19	65,98	19,90	18,2	728	682

Nors rezultatai gauti su „MTG Timber Grader“ dinaminio būdu, bet šio prietaiso kūrėjų jie įvardijami kaip atitinkantys statiniu būdu gautus rezultatus. Tai atlieka prietaise integruota ir patentuota programinė įranga. Pastebėta, kad šis prietaisas įvertina ne tik jam pateiktus matmenis ir svorį, kuriuos jis persiskaičiuoja į tankį, bet ir sklindančios bangos dažnį bei jos slopimą medienoje. Dažniausiai didesnis dažnis parodo didesnę medienos tampros modulį, bet buvo ir išimčių, kai dažnis buvo gana didelis, lyginant su kitais bandiniais, bet prietaisas parodė mažą lentos tampros modulį. Tam tikriausiai turėjo įtakos kitoks bangos slopimas, ar kiti gamintojo neatskleidžiami aspektai. Rezonansinis dažnis bandiniuose svyravo nuo 756 iki 1044 Hz. Tampros modulis gautas su MTG prietaisu eglės medienoje svyravo nuo 8059 iki 19744 MPa, vidutinis tampros modulis eglės medienoje svyravo apie 8906 MPa, tuo tarpu pušies medienoje tampros modulis svyravo nuo 8340 iki 19726 MPa, vidutinis tampros modulis pušies medienoje svyravo apie 9464 MPa. Tad lyginant tų pačių matmenų medieną, pušies mediena buvo prognozuojama kaip stipresnė lyginant su eglės mediena.

Papildomai atliktuose bandymuose su 5400 mm eglės lentomis, kai jos buvo padalintos į mažesnius profilius ir vėl testuojamos su MTG prietaisu, buvo nustatyta gan žymi priklausomybė tarp vientiso bandinio ir to paties bandinio dedamųjų. Jei vientisos lentos tampros modulis 12084 MPa, tai jos padalintos į dvi dalis, dedamųjų tampros moduliai 10349 MPa ir 13432 MPa. Žemiau pateiktame grafike (34 pav.) pavaizduoti vienos lentos ir jos dedamųjų pagal 31 pav. pavaizduotą schemą tampros moduliai.



35 pav. Lentos ir jos dedamųjų tampros moduliai

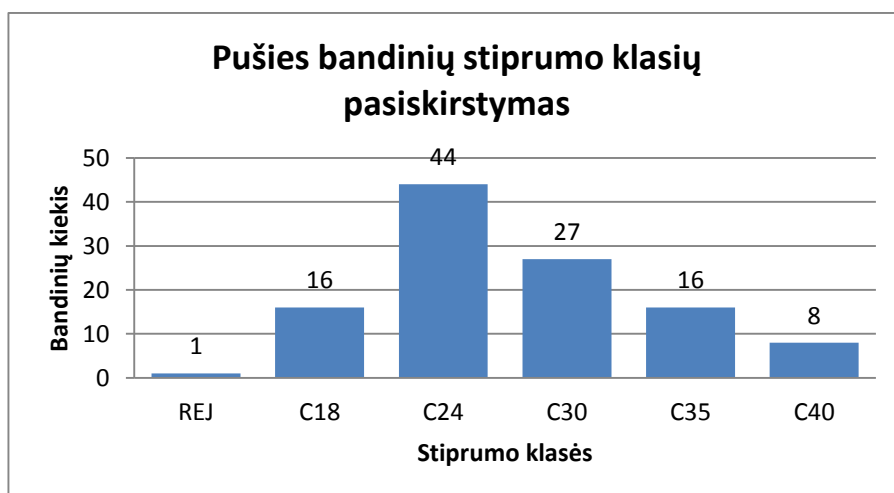
Lentpjūvėje, kurioje buvo atlikti bandymai, visa jų konstrukcinė mediena buvo tikrinama Metriguard prietaisu, kuris lenkia medieną ir pagal įlinkius vertina jos stiprumą. Tai atliekama daugelyje lentos vietų išskyrus galus. Šia mašina nebuvo galima patikrinti visų bandinių, nes ji gali tikrinti tik riboto storio bandinius, tad 65 mm storio bandinių ji negalėjo patikrinti. Ši mašina turi dar vieną labai įdomią savybę, ji parodo ne tik bandinio vidutinį tampros moduli, bet ir silpniausioje vietoje esantį tampros modulį ir jo poziciją bandinyje, tai pateikta 3 lentelėje kaip Lpt E (silpniausios vietos tampros modulis) ir Lpt Loc (pozicija lentoje). Metriguard duoda didesnes statinio tampros modulio reikšmes negu „MTG Timber Grader“ prietaisas, tai matoma tiek iš reikšmių vidurkio, tiek iš minimalių ir maksimalių verčių.

Keturių taškų lenkimo bandymas LST EN 408 galėjo turėti didžiausias paklaidas, nes žmogaus veikla turėjo daug įtakos, kadangi reikėjo tiksliai pamatuoti įlinkius, o naudojamas matavimo prietaisas turėjo nedidelį laisvumą, dėl to galėjo atsirasti didesnės paklaidos. Šis bandymas buvo atliktas visiems bandiniams, įlinkis buvo nuspėjamas, nes jis gerai koreliavo su jau žinomu tankiu ir MTG parodymais. Gavus įlinkius buvo apskaičiuotas statinis tampros modulis, gauti rezultatai svyravo nuo 7366MPa iki 23214MPa. Kaip ir prieš tai atliktiems bandymams buvo matyti, kad pušies mediena šiek tiek stipresnė už eglės medieną.

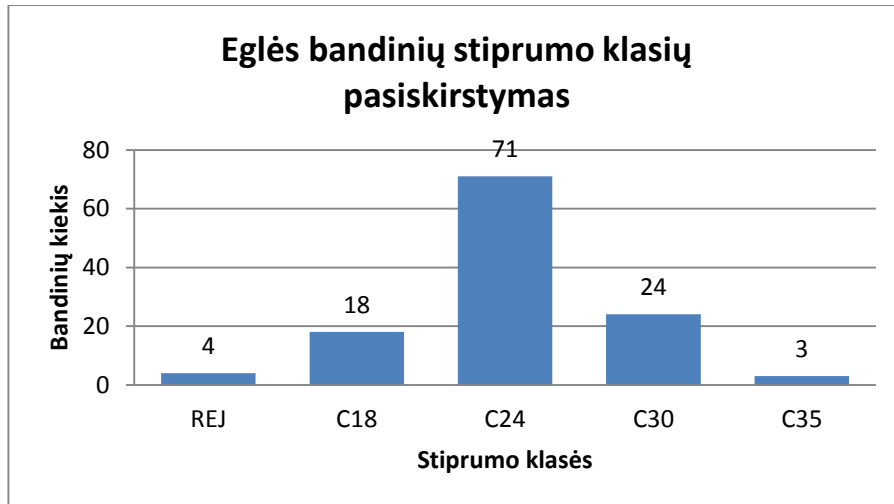
3 lentelė. MTG, Metriguard ir keturių taškų lenkimo (EN 408) bandymo rezultatų vidurkiai

Lentų profilis		MTG		Metriguard			Keturių taškų lenkimas		
		Tampros modulis E _{stat} , MPa	Rezonansinis dažnis, Hz	Tampros modulis Avg E, Mpa	Tampros modulis Lpt E, Mpa	Vieta bandinyje Lpt Loc, mm	Apkrova F max, N	Tampros modulis E _{stat} , Mpa	Stipris f _m , MPa
Eglė 50x100	Vid:	12180	897	15401	13505	1597	13567	14146	47,45
	Min:	8059	756	11070	8870	850	6750	9372	24,02
	Max:	19744	1044	21220	20350	1900	19500	19507	69,47
Eglė 65x154	Vid:	13194	883	-	-	-	24023	11971	43,18
	Min:	9754	766	-	-	-	6830	8299	12,24
	Max:	17573	971	-	-	-	32720	16993	58,56
Pušis 50x120	Vid:	14176	814	16090	13348	1574	17681	15374	55,90
	Min:	8340	693	11190	8100	780	11360	10230	31,10
	Max:	19726	966	20380	16600	2290	25380	23214	80,42
Pušis 65x155	Vid:	10952	788	-	-	-	20517	11109	36,97
	Min:	7287	673	-	-	-	10990	7366	19,83
	Max:	18865	898	-	-	-	39220	18586	72,00

Nustačius medienos tampros modulį E buvo galima priskirti statybinės medienos klases pagal LT EN 338 standartą. Eglės ir pušies bandiniuose dominavo C24 klasė. Pušies medienos bandiniuose buvo vos viena lenta netinkama statybinei medienai, kas sudaro mažiau nei vieną procentą tarp visų bandinių. Pušies medienos bandiniuose pasitaikė nemažai C35–C40 bandinių, jų buvo net dvidešimt procentų. Eglės bandinių šešiasdešimt procentų sudarė C24 klasės lentos. Šie rezultatai yra geri abejoms medienos grupėms. Galima daryti išvadą, kad pušies mediena yra stipresnė, nes turi daugiau aukštesnės klasės bandinių.



36 pav. Pušies medienos bandinių stiprumo klasių pasiskirstymas pagal LST EN 338 standartą



37 pav. Eglės medienos bandinių stiprumo klasių pasiskirstymas pagal LST EN 338 standartą

Šie nedestrukciniai bandymai parodė visas medienos savybes, kurias galima gauti nesugadinant ar kitaip nepažeidžiant bandinių. Tad norint patikrinti, kiek jie patikimi ir ar atitinka realų medienos stiprį, juos būtina sulaužyti.

5.2. Statinis bandymas

Atlikus visus suplanuotus nedestrukcinis tyrimus bandiniai buvo lenkiami iki tol, kol pasiekė savo maksimalų stiprį ir lūžo. Lenkiami bandiniai buvo filmuojami norint vėliau stebėti lūžio atsiradimo pradžią sukėlusį veiksni ir paties lūžio plėtimąsi. Buvo pastebėti trys pagrindiniai lūžių tipai: dėl šakų, dėl mažo tankio ir geros kokybės didelio tankio lūžiai. Dar buvo pastebėta, kad bandinys ne visada akivaizdžiai lūždavo, o tiesiog atsiradus vidiniams įtrūkimams ar susigniuždžius medienai viršutinėje bandinio dalyje jie prarasdavo savo stiprumo savybes ir linkdavo tolygiai su pastovia apkrova. Gauti medienos stipriai atitinka literatūroje aprašomus stiprius [27].

Kaip yra minėta anksčiau, visi prieš tai atlikti stiprumo tyrimai buvo tik numatomo stiprumo suradimas ir vienintelis būdas juos patikrinti yra bandinio sulaužymas. Kai visi bandiniai buvo sulaužyti, gauti duomenys buvo surašyti į Excel lenteles, kur vėliau buvo apskaičiuotas stiprio modulis. Stipris eglės medienoje svyravo apie 45,31 MPa, o pušies medienoje apie 46,44 Mpa. Turint f_m reikšmes buvo galima atlikti prieš tai darytų bandymų patikrinimą, kiek jie yra tikslūs. Tam buvo skaičiuojamas determinacijos koeficientas tarp gautų reikšmių matuojant tankį, dažnį, standumą, šakų plotus bei rėvių pločius ir medienos stiprio. Gauti rezultatai pateikiami 4 lentelėje. Šaltiniai 1–6 atvaizduoja mano gautus rezultatus su skirtingų medienos rūšių ir profilių mediena, o šaltiniai 7–10 atvaizduoja kitų autorių gautus rezultatus. Iš gautų rezultatų matoma, kad geriausiai su medienos stipriu koreliuoja Metriguard įrenginiu gauti rezultatai, kurių determinacijos

koeficientas ~0,65 lyginant su medienos stipriu. Medienos stipris taip pat gerai koreliuoja ir su MTG „Timber grader“ gautais tampros modulio rezultatais, jų determinacijos koeficientas – 0,583. Mažai atsiliko ir keturių taškų lenkimo testas su 0,545 determinacijos koeficientu. Žemiau pateiktoje 4 lentelėje atvaizduotas medienos stiprio ir kitų charakteristikų, pagal kurias jis gali būti prognozuojamas determinacijos koeficientas. Joje pavaizduoti duomenų šaltiniai 1-6 mano atlikti tyrimai: 1. eglė 50x100 mm, 2. eglė 65x154 mm, 3. Pušis 50x120 mm, 4. Pušis 65x155 mm, 5. eglė 35x70 mm, 6. eglė 38x184 mm ir 7-10 kitų autorių tyrimai: 7. Johansson et al. (1992), 8. Hoffmeyer (1984), 9. Hoffmeyer (1990), 10. Lackner et al. (1988) [27].

4 lentelė. Determinacijos koeficientai: 1-6 mano atlikti tyrimai, 7-10 kitų autorių darbai [27]

Charakteristikos kurios gali būti pamatuotos nedestrukciniais metodais	Determinacijos koeficientas R^2									
	Stipris f_m									
Šaltinis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Šakos	-	-	-	-	0,4	0,68	0,27	0,2	0,16	0,25
Metinės rievės	-	-	-	-	0,4	0,33	0,21	0,27	0,2	0,44
Tankis	0,41	0,45	0,26	0,12	0,3	0,56	0,16	0,3	0,16	0,4
MTG	0,51	0,62	0,62	0,35	0,78	0,62	-	-	-	-
Metriguard	0,62	-	0,67	-	-	-	-	-	-	-
Lenkimo testas	0,31	0,66	0,56	0,37	0,65	0,72	0,72	0,53	0,55	0,56
Dažnis	0,22	0,4	0,52	0,16	0,67	0,41	-	-	-	-

Kadangi nebuvo spėta atlikti šakų ir metinių rievžių bandymų su prieš tai naudotais bandiniais. Teko iš naujo atlikti visus bandymus, tik su mažiau bandinių, tad šie šakų ir metinių rievžių rezultatai nėra tokie pat tikslūs dėl mažesnės imties, bet bendrą vaizdą atspindi puikiai. Pagal rezultatus matyti, kad tiek šakų užimamas plotas bandinyje, tiek metinių rievžių plotis puikiai koreliuoja su medienos stipriu. Taip pat pastebėta, kad šakos, kurios išeina iki lentos krašto, turi daug didesnę įtaką stipriui negu lentos viduryje esančios šakos. Taip pat pastebėta, kad sveikos šakos, kurių diametras nesiekia 10 mm, taip pat turi labai mažą įtaką bandinio stipriui. Lyginant su nagrinėtais šaltiniais [26][27] gauta didelė priklausomybė, nes šakų plotas buvo skaičiuojamas bandinio centre, kur susidaro didžiausi įtempiai, o ne per visą bandinio plotą.



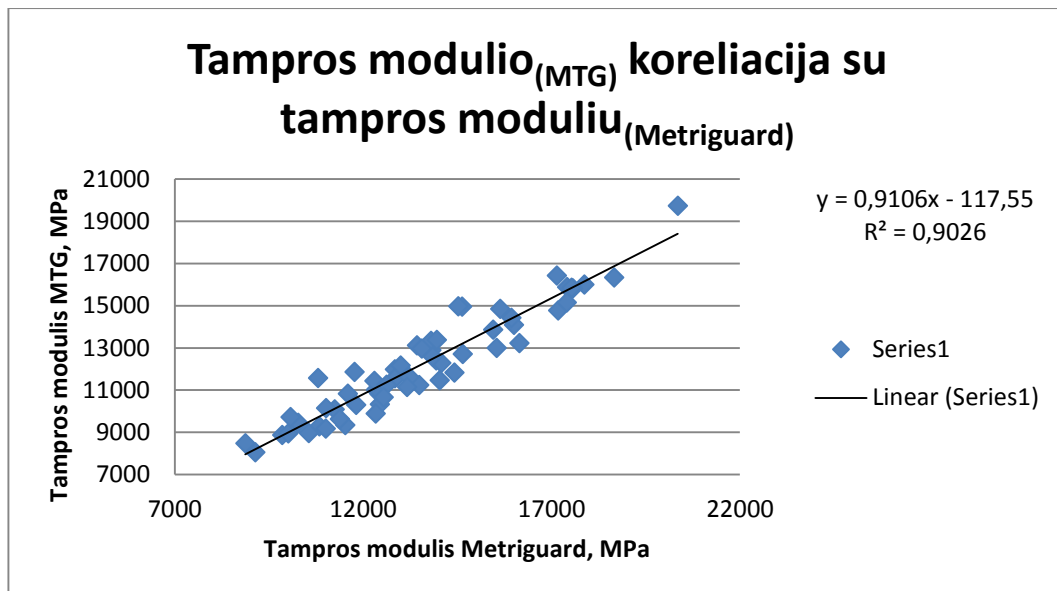
38 pav. Bandinio lūžio zonoje matuojamas šakų plotas

Žemiau pateikta 5 lentelė parodo gautų bandymų palyginimą su kitų autorių atliktų darbų rezultatais. Iš 5 lentelės matyti, kad visi bandymų rezultatai yra gerai koreliuojantys, išskyrus šakų bandymą, kuriame gautos didesnės determinacijos koeficiento reikšmės dėl ankščiau minėtų priežasčių.

5 lentelė. Bandymų rezultatų palyginimas su kitų autorių darbais

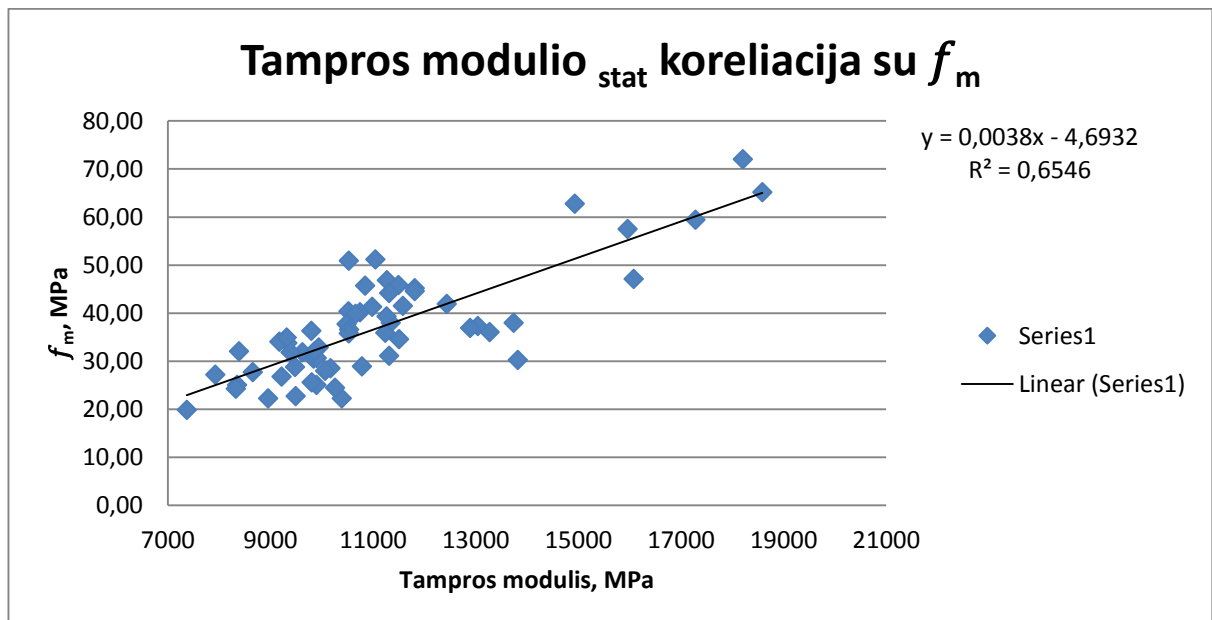
Charakteristikos kurios gali būti pamatuotos nedestrukciniais metodais	Determinacijos koeficientas R^2	
	<i>Stipris f_m</i> autoriaus bandymų	<i>Stipris f_m</i> apžvelgtos literatūros
Šakos	0,4-0,68	0,16-0,27
Metinės rievės	0,33-0,4	0,2-0,44
Tankis	0,12-0,56	0,16-0,4
MTG	0,35-0,78	0,47-0,81
Metriguard	0,62-0,67	0,54-0,82
Lenkimo testas	0,31-0,72	0,53-0,72
Dažnis	0,16-0,67	0,55-0,8

Šiuo grafiku (37 pav.) parodoma kaip gerai koreliuoja skirtingų bandymų rezultatai. Dinaminis tampros modulis gautas „MTG Timber Grader“ prietaisu ir statinis tampros modulis gautas „Metriguard“ mašina prognozuoja stiprį labai panašiai. Nors šie metodai visiškai skirtingi, vienas matuoja medienos savitąjį dažnį, kitas – įlinkius, apkrovus medieną tam tikra jėga. Šių bandymų rezultatų determinacijos koeficientas – net 0,9. Tad galima apsvarstyti, kiek būtų galima pasiekti gamybos linijoje apjungus abu matavimo būdus. Tuo labiau, kad MTG Timber Grader yra nebrangus ir patogus naudoti. Rekomenduočiau jį įsigyti daugeliui Lietuvos lentpjūvių.



39 pav. Tampros modulio MTG palyginimas su tampros moduliu gautu Metriguard bandymų mašina

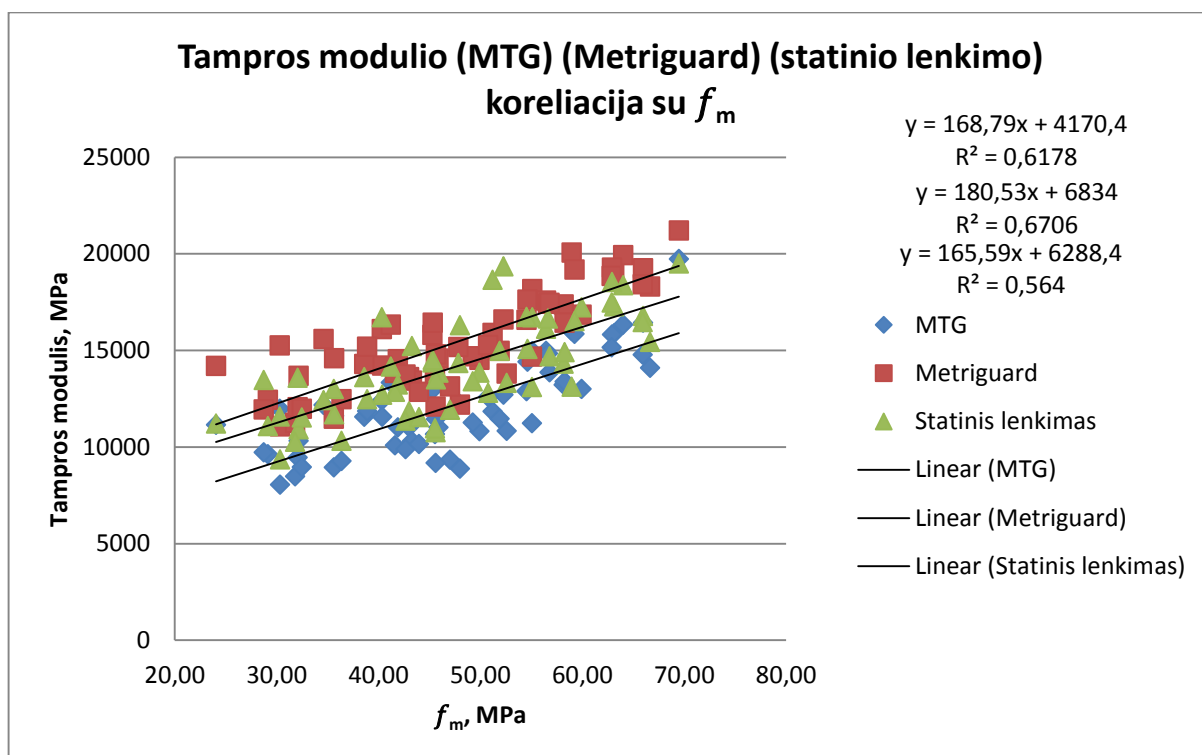
Žemiau pateiktame grafike (38 pav.) pavaizduota tampros modulio gauto keturių taškų lenkimo bandymu koreliacija su stipriu. Grafike vaizdžiai matosi, kaip į vieną debesį susitelkę visi duomenys ir šeši bandiniai, kurių tampros modulis svyruoja nuo 15000 iki 19000 MPa, sudaro kitą debesį. Iš to galima spręsti, kad tarp bandinių pasitaikė dešimt procentų daug stipresnių lentų negu visos likusios, kurių tampros modulis svyruoja nuo 7000 iki 14000 MPa.



40 pav. Pušies bandinių kurių matmenys 65x155 mm tampros modulio ir stiprio f_m koreliacija

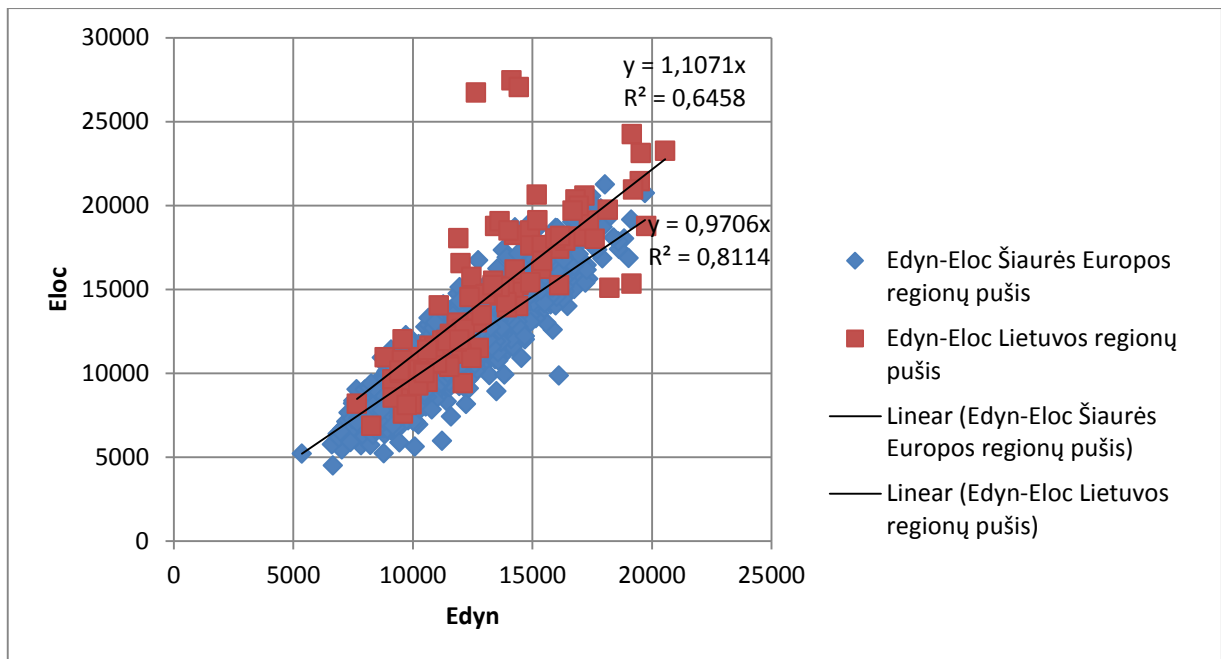
Sekančiame grafike (39 pav.) pavaizduoti statinių ir dinaminių standumo tyrimų rezultatų palyginimai su tų pačių bandinių stiprumo tyrimais. Šie pateikti rezultatai gauti atliekant bandymus su eglės bandiniais, kurių profilis 50x100 mm. Grafike matomos trys tendencijų linijos, iš kurių

aukščiausia linija vaizduoja Metriguard rezultatus, žemiausia „MTG Timber Grader“, o vidurinė – statinio lenkimo testo rezultatus. Iš determinacijos koeficiento reikšmių matome, kad tiksliausiai stiprį prognozuoja Metriguard įrenginys, kur gautas determinacijos koeficientas lygus 0,67, o silpniausiai stiprį prognozuoja statinio lenkimo bandymas, kur determinacijos koeficientas 0,564. Tad galima spręsti, kad gamybos linijoje įrengtas Metriguard įrenginys geriausiai tinkamas šių bandinių stipriui įvertinti ir yra patikimas norint klasifikuoti statybinę medieną pagal LST EN 338 standartą.



41 pav. Tampros modulių gautų nedestrukciniais metodais palyginimas su stipriu lenkiant

Bendradarbiaujant su Olandijos tyrėju Pieter Rozema, kuris yra Brookhuis technologijos direktorius, buvo gauti Šiaurės Europos pušies medienos tyrimų rezultatai. Žemiau pateikiama palyginimo diagrama (40 pav.) su gautais rezultatais. Diagramoje kairėje pusėje pavaizduotas lokalusis tampros modulis, apačioje – dinaminis tampros modulis. Akivaizdu, kad lietuviškos pušies medienos stipris atitinka kitų tyrėjų gautus rezultatus; tai parodo, kad tyrimai buvo atlikti teisingai. Pagal gautus duomenis matyti, kad lietuviška pušies mediena yra ne tik atitinkanti Šiaurės Europos medieną, bet yra netgi už ją stipresnė. Nors determinacijos koeficientas yra 0,6458, atmetus tris bandinius, kurių tampros modulis žymiai didesnis negu visų kitų 120 bandinių, koreliacija stipriai pagerėtų.



42 pav. Lietuvoje augančios pušies medienos palyginimas su šiaurės Europos pušies mediena

Apibendrinant rezultatus galima teigti, kad Lietuvos eglės ir pušies mediena yra gana aukštos klasės ir gali būti priskiriama prie Šiaurės Europos šalių medienos. Atlikti tyrimai gerai koreliuoja su kitų autorių atliktais darbais. Visi nedestrukciniai – tiek statiniai, tiek dinaminiai – standumo tyrimai gerai prognozuoja stiprį, bet nėra idealūs ir turi būti tobulinami ar apjungiami, kad būtų padidintas tikslumas.

6. Išvados

1. Eglės medienos augusios Lietuvoje tampros modulis, gautas su MTG prietaisu, svyravo nuo 8059 iki 19744 MPa, vidutinis eglės medienos standis svyravo apie 8906 MPa, tuo tarpu pušies medienos tampros modulis svyravo nuo 8340 iki 19726 MPa, vidutinis pušies medienos standis svyravo apie 9464 MPa. Tad, lyginant tų pačių matmenų medieną, pušies mediena stipresnė 6,27%.
2. Lentose, išpjautose iš Lietuvoje augančios pušies ir eglės medienos, vyrauja C24 statybinės medienos klasė, tai sudaro 50% visų bandinių.
3. Eglės medienos stipris svyravo apie 45,31 MPa, o pušies medienos apie 46,44 Mpa. Taigi vidurkiai praktiškai vienodi.
4. Pastebėta, kad šakos, kurios išeina iki lentos krašto, turi daug didesnę įtaką stipriui, negu lentos viduryje esančios šakos. Taip pat pastebėta, kad sveikos šakos, kurių diametras nesiekia 10mm, turi labai mažą įtaką bandinio stipriui.
5. Apskaičiavus standumo bandymų ir stiprio koreliacijose determinacijos koeficientą, paaiškėjo, kad iš visų testuot prietaisų ir metodų Metriguard mašina geriausiai prognozuoja stiprį.
6. Norint gauti kuo tikslesnį stiprio prognozavimą, reikia derinti kelis standumo nustatymo būdus.
7. Didėjant lentų profilio plotui, mažėja medienos stipris, nes daugėja ydų, tad mažesnių matmenų bandiniai yra stipresni.
8. Medienos rezonansinis dažnis pilnai neparodo medienos stiprumo, bet, papildytas medienos tankiu bei drėgme, gali patikimai atspindėti medienos stiprumines savybes.
9. MTG Timber Grader yra nebrangus ir patogus naudoti prietaisas medienos stipriui prognozuoti. Rekomenduočiau jį įsigyti daugeliui Lietuvos lentpjūvių.
10. Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti, kad Lietuvos eglės ir pušies mediena yra gana aukštos klasės ir gali būti priskiriama prie Šiaurės Europos šalių medienos. Atlikti tyrimai gerai koreliuoja su kitų autorių atliktais darbais. Visi nedestrukciniai – statiniai ir dinaminiai – standumo tyrimai gerai prognozuoja stiprį, bet nėra idealūs, tad turi būti tobulinami ar apjungiami siekiant padidinti jų tikslumą.

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju: UAB „Stora Enso Lietuva“ už suteiktą galimybę naudotis jų turima laboratorija ir įranga, bei bandinių tyrimams pateikimą; MTG Timber Grader gamintojui, kompanijai Brookhuis, Olandija ir jos technikos direktoriui p. Pieter Rozema už suteiktą metodologinę paramą, specializuotas programines įrangas ir tarpininkavimą su Delft universitetu ir CEN TC 124 – p. Geert Ravenshorst. 1; baigiamojo darbo vadovui Antanui Baltrušaičiui – už patarimus ir naudingas pastabas, rašant šį darbą; Kauno technologijos universiteto dėstytojams – už suteiktas žinias.

7. Literatūros sarakšas

1. Standartas EN 408:2014. Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.
2. Standartas LST EN 338:2003. Statybinė mediena. Stiprumo klasės.
3. Karlis Bumanis. Latvian spruce - Addendum to the Nordic common growth area. / *WG Meetings COST Action E53*, Oslo 2008.
4. Edlund, J., H. Lindstrom, F. Nilsson, M. Reale. Modulus of elasticity of Norway spruce saw logs vs. structural lumber grade. / *Holz als Roh- und Werkstoff* 2006, 64, p. 273–279.
5. Rajeshwar, B., D. A. Bender, D. E. Bray, K. A. McDonald. An ultrasonic technique for predicting tensile strength of southern pine lumber. / *Structures & Environment Div. of ASAE*, 1997, VOL. 40(4):1153-1159
6. Brännström Mattias. Strength grading by log grading. / *WG meetings COST E53*, Bled 2009.
7. Krzosek S., M. Grzeškiewicz. Polish structural sawn timber grading using Timber Grader / *WG Meetings COST Action E53*, Oslo 2008.
8. Divos F., T. Tananka. Relation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Wood. / *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 1. 2005. 105-110
9. Lycken A. Gradewood, WP 5, Modelling and development of grading procedures, results concerning output control / *Meetings COST Action E53*, Oslo 2009.
10. Ridley-Ellis D., J. Moore, A. Khokhar. Random acts of elasticity. / *WG meetings COST E53*, Bled 2009.
11. Deublein M., J. Köhler, R. Steiger. A discussion on the control of grading machine settings with regard to EN 14081. / *Meetings COST Action E53*, Hamburg 2007.
12. Carter P., D. Briggs, R. J. Ross, X. Wang. Acoustic testing to enhance western forest values and meet customer wood quality needs. / *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*. 2005. 176 p. 121-129.
13. Yang J., J. Ilic. A new method of determining growth stress and relationships between associated wood properties of Eucalyptus globulus Labill. / *Australian Forestry* 2002. Vol. 66, No. 2 pp. 153-157
14. Searles G., J. Moore Measurement of Wood Stiffness in Standing Trees and Logs: Implications for End-Product Quality. / *WG meetings COST E53*, Bled, 2009.
15. Ross R. J., K. A. McDonald, D. W. Green, K. C. Schad. Relationship between log and lumber modulus of elasticity. / *Forest Prod. Journal* 1997. 47(2): 89-92.
16. Aleinikovas M. Influence of Bioecological Factors on Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.) Physical and Mechanical Wood Properties. / *WG meeting COST E53*, Hamburg, 2007.

17. Denzler J. K. Machine strength grading – an overview over existing machines. / *WG meeting COST E53*, Hamburg, 2007.
18. Unterwieser H., G. Schickhofer. Pre-grading of sawn timber in green conditions. / *WG meeting COST E53 Conference - Quality Control for Wood and Wood Products*, Warsaw, 2007.
19. Schafer M. E. Ultrasound for defect detection and grading in wood and lumber. / *2000 IEEE ultrasonics symposium - 771*
20. Verkasalo E., M. Riekkinen, H. Lindström. Specific wood and timber properties and competitive ability of Nordic Scots pine in mechanical wood processing. / *COST action E44 Wood processing strategy*, 2007.
21. Øvrum A. Variation in yield of strength graded timber due to board origin. / *WG meeting COST E53 Conference - Quality Control for Wood and Wood Products*, Warsaw, 2007.
22. Ravenshorst I. G.J.P. Machine strength grading with a flexibility in use and application. / *WG meeting COST E53*. Hamburg, 2007.
23. Piao C., T. F. Shupe, C. Y. Hse, R C. Tang. Nondestructive Evaluation of Young's Moduli of Full-Size Wood Laminated Composite Poles, 2004. *7th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium* p. 291-298
24. Baltrušaitis A., S. Mišeikytė. Strength and stiffness properties of the Lithuanian grown scots pine (*Pinus sylvestris*): non-destructive testing methods vs. Static bending. / *Wood Research* 56 (2): 2011. 157-168
25. Moore J., A. Achim, A. Lyon, S. Mochan, B. Gardiner. Effects of early re-spacing on the physical and mechanical properties of Sitka spruce structural timber. / *Journal Forest Ecology and Management* 2009.
26. Jochen Köhler Reliability of Timber Structures. / *Swiss Federal Institute of Technology*, 2007.
27. Baltrušaitis A., V. Kalėda. Knot-related stiffness inhomogeneity within wood board. / *COST Action FP1004 Experimental research with Timber*, 2014. 62-67
28. Standartas LST EN 13183-1:2003. Pjautinės medienos bandinio drėgnis.

Priedai