



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Markas Borkys
Projekto autorius

Doc. Lina Kavaliauskienė
Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Markas Borkys
Projekto autorius

Doc. Lina Kavaliauskienė
Vadovė

Prof. Alvydas Kondratas
Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Markas Borkys

Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Marko Borkio, baigiamasis projektas tema „Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui (-ei) – Markas Borkys

Projekto tema – Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas

(Lietuviškai)

Investigation of the Ultrasonic Welded Joints Between Wood Boards and Plastic Wedge Dowels

(Angliškai)

1. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas – panaudojant ultragarsą sujungti plastiko kaiščius su medienos plokštėmis ir atlikti kokybės analizę.

Uždaviniai:

1. ultragarsu suvirinti termoplastiko kaiščius skirtingose medienos plokštėse, ieškoti panašumų, dėsningumų rezultatuose;
2. įvertinti, kurie parametrai turi įtakos suvirintos jungties kokybei, atliekant kaiščių ištraukimo testus bei matuojant jungčių stiprumines charakteristikas;
3. atlikus tyrimą, palyginti projekto rezultatus, atsižvelgiant į kituose tyrimuose minėtas pastabas;
4. atlikti bandymus su naujai vystoma medienos drožlių plokšte „ECO 1“, nustatyti ar ji tinkama naudoti virinant termoplastiko kaiščius ultragarsu.

2. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Tyrimą atlikti su ruošiniais iš skirtingų 16 mm storio medienos plokščių. Suvirinimui naudoti PA66 termoplastiko kaiščius. Ultragarsu virinti kaiščius medienos plokštėse automatinėmis „KOCH SPRINT-W select.line“ staklėmis.

Projekto autorius

Markas Borkys

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Vadovė

Doc. Lina Kavaliauskienė

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Krypties studijų
programų vadovė

Doc. Regita Bendikienė

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Borkys Markas. Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Lina Kavaliauskienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: ultragarsinis suvirinimas, medienos drožlių plokštė, kaištis, termoplastikas, medienos dulkių plokštė, ištraukimo jėga.

Kaunas, 2020. 50 p.

Santrauka

Šiame baigiamajame projekte palyginti keli suvirinimo būdai su tiriamuoju – ultragarsiniu suvirinimu. Aprašyti rezultatai, gauti ultragarsu suvirinus plastiko kaiščius su skirtingomis medienos drožlių bei dulkių plokštėmis, atlikta jungčių kokybės analizė. Visa tai atlikta norint papildyti žinias apie mažai ištirtą temą – termoplastiko suvirinimą ultragarsu medienoje bei norint palengvinti proceso integravimą į gamybą įmonėje, pagreitinti darbuotojų mokymą ir padidinti jų darbo našumą.

Surinkta daug informacijos apie suvirinimo procesą, parametrus, nuo kurių jis priklauso. Aptarti moksliniai tyrimai šia tema, atlikta inžinerinių metodų analizė. Eksperimentinėje dalyje aprašyta tyrimo eiga, apibūdinti naudojami drėgmės matavimo, kaiščių traukimo, suvirinimo ultragarsu ir kaiščių įstatymo įrenginiai, jų darbinis ciklas bei naudojamos medžiagos. Tyrimo metu vykdyta vizualinė patikra po kiekvieno termoplastiko kaiščio suvirinimo operacijos ir atliekami kaiščių ištraukimo testai, norint įvertinti jungčių stiprumines charakteristikas. Gauti rezultatai palyginti su kituose straipsniuose aptartais pastebėjimais ir įrodyta, jog tyrėjų pastebėjimai pasitvirtino. Rasta parametrų tendencija, siejanti išgręžtų skylių gylius (ertmių ploto dydžius) su kaiščių ištraukimo jėgomis, skirtingose medienos plokštėse. Atlikus tyrimą buvo pateiktos rekomendacijos tolimesniems tyrimams ir įrodyta, kad suvirintos jungties kokybei didžiausią įtaką turi medienos plokštės tankis, dalelių surišimo kokybė, išgręžtos skylės geometrija, ertmių skylėje tankumas ir dydis.

Borkys Markas. Investigation of the Ultrasonic Welded Joints Between Wood Boards and Plastic Wedge Dowels. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Lina Kavaliauskienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: ultrasonic welding, particle board, wedge dowel, thermoplastic, medium density fiberboard, pull-out force.

Kaunas, 2020. 50 pages.

Summary

In this final project several welding techniques have been compared with ultrasonic welding. The results from ultrasonic welding of plastic wedge dowels with different particle boards and fiber boards were described, and joint quality analysis was performed. All of this has been done to add more knowledge to a little-researched topic – ultrasonic welding of thermoplastics in wood, and to facilitate the integration of the process into production of a company, speed up the training of employees and increase the productivity of their labor.

A great deal of information has been gathered on the welding process, the parameters on which it depends. Research related to this topic has been discussed and engineering methods have been analyzed. The experimental part describes the research process, how everything was done, describes the equipment used for measuring humidity, pulling out the wedge dowels, ultrasonic welding and insertion of wedge dowels equipment, the operating cycle and materials that have been used in the process. During the study, visual inspection was performed after each welding operation of the thermoplastic wedge dowels and wedge dowel extraction tests were performed to evaluate the strength characteristics of the joints. The obtained results were also compared with the observations discussed by other researchers in other articles and were proved to be correct. There was a tendency found of parameters that related the depth of the drilled holes (cavity area sizes) with the pull-out forces of the wedge dowels in different wood boards. After the study was finished, recommendations were made for future research and it was concluded that the quality of the welded joint is mainly influenced by the density of the wood board, the quality of particle bonding, the geometry of the drilled hole, the density and size of the cavities inside the drilled hole.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas	12
1. Projekto aktualumas	14
2. Tyrimo naujumas	15
3. Suvirinimo procesų analizė	16
3.1. Suvirinimas trintimi.....	17
3.2. Vibracinis suvirinimas.....	18
3.3. Suvirinimas lazeriu.....	19
3.4. Išvados.....	21
4. Mokslo ar inžinerinių metodų analizė	22
4.1. Ultragarsu medienoje suvirintų kaiščių apžvalga	22
4.2. Energiją nukreipiančių paviršių įtaka suvirintai jungčiai	23
4.3. Termoplastikų virinimas ant lazeriu suformuoto metalinio paviršiaus	25
4.4. Suvirinimo procesų bei mokslo ir inžinerinių metodų apžvalgos išvados	27
5. Eksperimentinė dalis	29
5.1. Tyrimui naudojama įranga ir medžiagos.....	29
5.2. Tyrimo atlikimas	30
5.3. Eksperimentinio tyrimo sprendimai ir rezultatai	31
5.3.1. Lengvinta medienos drožlių plokštė	31
5.3.2. Standartinė medienos drožlių plokštė.....	32
5.3.3. Sunkinta medienos drožlių plokštė	34
5.3.4. Standartinė medienos dulkių (plaušų) plokštė.....	36
5.3.5. Sunkinta medienos dulkių (plaušų) plokštė.....	37
5.3.6. Medienos drožlių plokštė „PB1“.....	39
5.3.7. Medienos drožlių plokštė „PB2“.....	41
5.3.8. Medienos drožlių plokštė „ECO 1“.....	42
5.3.9. Lengvinta parafininė medienos drožlių plokštė.....	44
5.3.10. Standartinė medienos drožlių plokštė, laikyta aukštoje drėgmėje	45
6. Rekomendacijos	47
Išvados	48
Literatūros sąrašas	49
Priedai	51
1 priedas. MDP LW (585).....	51
2 priedas. MDP Standartas (630).....	52
3 priedas. MDP Sunkinta (670)	53
4 priedas. MDF Standartas (750).....	54
5 priedas. MDF PLUS (790).....	55
6 priedas. PB1 (555).....	56
7 priedas. PB2 (650).....	57
8 priedas. ECO 1 (660).....	58
9 priedas. MDP LW Parafin. (590).....	59

10	priedas. MDP Standartas (630) drēgna.....	60
----	---	----

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Pagrindiniai įrenginio „BRANSON 2000X“ suvirinimo programų parametrai	29
---	----

Paveikslų sąrašas

1 pav. Ultragarsinio suvirinimo įrenginio schema [11].....	16
2 pav. Suvirinimo trintimi proceso schema [13].....	17
3 pav. Vibracinio suvirinimo įrenginys [17].....	18
4 pav. Automobilio priekinių žibintų konstrukcija, kurioje suvirinti skirtingi plastikai [15].....	19
5 pav. Vibraciniu suvirinimu sujungtos detalės [16].....	19
6 pav. Lazerinio suvirinimo diagrama vaizduojanti lazerio judėjimą [14].....	20
7 pav. Manipulatorius, lazeriu virinantis plastikinius komponentus prie stalčiaus fasado [14].....	21
8 pav. Termoplastikų tinkamumas suvirinant medienoje [20].....	22
9 pav. Bandinių ir skylių geometrijos bei ištraukimo jėgų apžvalga [20].....	23
10 pav. Virinimui ultragarsu naudojamas kaištis.....	24
11 pav. Skirtingos energiją nukreipiančių paviršių orientacijos [21].....	24
12 pav. a) Ultragarsinio suvirinimo proceso su plokščiu energijos režimu schema (matmenys ne pagal mastelį). b) Penki ultragarsinio suvirinimo etapai, apibrėžti pagal išsklaidytą galią (juoda) ir darbinės galvos poslinkio (pilkosios) kreives (300 N, 82,6 μm, 0,25 mm storio plokščio energijos nukreipimo paviršiaus). Galia pateikiama kaip didžiausios galios (3000 W) procentinė dalis. Teigiamas poslinkis reiškia vertikalių žemėjantį darbinės galvos judėjimą [23].....	25
13 pav. Scheminė (a) lazeriu struktūrizuotos metalo plokštės iliustracija, (b) šlyties mėginys ir (c) bandinio pavyzdys (matavimo vienetas: mm) [27].....	26
14 pav. Metalo paviršiaus įtrūkimai po šlyties bandymų (viršutiniai vaizdai) ir pjūviai (apatiniai vaizdai) iš suvirinimo ultragarsu (0,11 s) mėginio ir (b) suvirinimo ultragarsu pakaitinant (60 °C, 0,11 s) mėginio [27].....	27
15 pav. „FR84“ Kaiščių bandymo stendas.....	29
16 pav. Drėgnomatis „GANN Hydromette BL H 40“ [28].....	30
17 pav. „MDP LW (585)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	32
18 pav. „MDP Standartas (630)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	33
19 pav. Deformuota kaiščio galvutė po suvirinimo ultragarsu, sunkintoje medienos drožlių plokštėje.....	34
20 pav. „MDP Sunkinta (670)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	35
21 pav. a – ne pilnai į skylę sulindęs kaištis po suvirinimo operacijos; b – kaištis po ištraukimo iš sunkintos medienos drožlių plokštės.....	36
22 pav. Įskilimai medienos dulkių (plaušų) plokštėje.....	36
23 pav. „MDF Standartas (750)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	37
24 pav. Medienos dulkių plokštėje suvirinto termoplastiko kaiščio pjūvis.....	37
25 pav. a – kaištis ištrauktas iš „MDF Standartas (750)“ plokštės; b – kaištis ištrauktas iš „MDF PLUS (790)“ plokštės.....	38
26 pav. „MDF PLUS (790)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	39
27 pav. Kaiščiai ištraukti iš „PB1“ plokštės.....	40
28 pav. Vizualiai matomos išjudintos drožlės ruošinio gale, po kaiščių ištraukimo.....	40
29 pav. „PB1 (555)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	41
30 pav. Nutrūkusios kaiščių galvutės po traukimo testo „PB2 (650)“ plokštėje.....	41
31 pav. „PB2 (650)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	42
32 pav. Kaištis ištrauktas iš "ECO 1" plokštės.....	43
33 pav. „ECO 1 (660)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	43
34 pav. „MDP LW Parafin. (590)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai.....	44

35 pav. Sulydytos ir deformuotos kaiščių galvutės.....	45
36 pav. „MDP Standartas (630)“ drėgmėje laikytos plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai	46

Įvadas

Gamybinėms įmonėms, didinančioms gamybos mastus, tobulinančioms kokybę, plečiančioms gaminių asortimentą, labai svarbus naujų technologijų diegimas ir pritaikymas. Siekdama išlikti konkurencinga, įmonė privalo nuolat tobulėti. Dėl šios priežasties, perkama nauja pažangi įranga ar tobulinama jau turima.

Įsigijus naują įrangą, privalu mokėti ją tinkamai naudoti ir pritaikyti jos pajėgumus. Tam pasiekti mokomi darbuotojai, nustatomi parametrai, kuriais tam tikromis situacijomis įranga gali būti naudojama maksimaliai. Jei tai naujas procesas, nenaudotas tam tikroje rinkoje ar neištirto efektyvumo, įmonė turi siekti išsiaiškinti, kaip geriausiai, našiausiai bei efektyviausiai panaudoti techniką ar naująjį procesą savo specifinėmis sąlygomis.

Šiuo projektu siekiama išsiaiškinti naujai integruojamo gamybinio proceso parametrus, leidžiančius pasiekti tinkamą, kokybišką rezultatą. Detalių jungimas ultragarsu naudojamas įvairiose pramonės šakose, tačiau baldų gamyboje pradėtas vystyti ir taikyti visai neseniai, todėl operatoriams ir kitiems darbuotojams yra sunkiai suprantamas. Taip pat termoplastiko suvirinimas su medienos plokštėmis šiuo metu yra labai mažai ištirtas. Mokslinių straipsnių apie suvirinimą ultragarsu medienoje mažai, o straipsniuose, kurie tiria šią temą, rašoma, jog daug kas neištirta, nežinoma ir tyrimus reikia tęsti. Dėl šių priežasčių siekiama surinkti kuo daugiau medžiagos, atlikti daugiau tyrimų, kad būtų galima išanalizuoti ir integruoti naująjį procesą į gamybos srautą kuo efektyviau. Norint tai pasiekti – privalu išsiaiškinti parametrus, kuriais pasiekiamas geriausias rezultatas.

Prieš atliekant tyrimą buvo mažai žinoma kaip reikėtų naudoti naująją kaiščių įstatymo ir suvirinimo ultragarsu įrangą. Taip pat mažai žinoma apie patį suvirinimo procesą, parametrus, nuo kurių priklauso suvirinimo medienos plokštėse kokybė, kaip kaiščiai ir sudarytos sujungtos jungtys reaguoja į parametrų pakeitimus. Todėl šis tyrimas turėtų papildyti turimas žinias naujomis, suteikti aiškumo, naujų duomenų apie procesą ir jo subtilybes. Turint šiuos duomenis mokyti darbuotojus tapo paprasčiau, atsirado platesnis suvokimas apie suvirinimą ultragarsu medienos plokštėse ir ši mažai ištirta sritis buvo papildyta nauja informacija.

Tyrimo tema: Ultragarsu virintų plastiko kaiščių ir medienos plokštės jungčių tyrimas

Tyrimo hipotezė: Naudojant suvirinimo ultragarsu būdą bei keičiant tam tikrus parametrus, įmanoma kokybiškai suvirinti termoplastiko kaiščius, skirtingo tankio medienos plokštėse.

Projekto tikslas – panaudojant ultragarsą sujungti plastiko kaiščius su medienos plokštėmis ir atlikti kokybės analizę.

Uždaviniai:

1. ultragarsu suvirinti termoplastiko kaiščius skirtingose medienos plokštėse, ieškoti panašumų, dėsningumų rezultatuose;
2. įvertinti, kurie parametrai turi įtakos suvirintos jungties kokybei, atliekant kaiščių ištraukimo testus bei matuojant jungčių stiprumines charakteristikas;
3. atlikus tyrimą, palyginti projekto rezultatus, atsižvelgiant į kituose tyrimuose minėtas pastabas;

4. atlikti bandymus su naujai vystoma medienos drožlių plokšte „ECO 1“, nustatyti ar ji tinkama naudoti virinant termoplastiko kaiščius ultragarsu.

1. Projekto aktualumas

Pastaraisiais metais Lietuvos baldų pramonė patiria augimą, tai veikia jos gamybos pajėgumų pokyčiai [1]. Norėdamos neatsilikti nuo kylančios paklausos, didžioji dalis įmonių siekia automatizavimo ir efektyvesnių gamybos procesų vystymo. Automatizavimas – procesas, kuris apima procesų ar veiksmų atlikimą pasitelkiant mašinas, įrenginius, panaikinant žmogaus darbą arba sumažinant jo kiekį [2]. Siekiant šio tikslo, pradedamos naudoti naujos technologijos ir suintensyvéja jų vystymas.

Pastebima, kad dėl žmonių užimtumo, atsiranda noras kuo mažiau laisvo laiko skirti darbams, kaip naujai įsigytų baldų surinkimas, namų ruošos darbai, o kuo daugiau laiko skirti poilsiui, savęs tobulinimui, savanoriškai veiklai ar hobiams [3]. Dėl to, produktų gamintojai vysto naujus būdus, kaip sutrumpinti žmogaus darbo atlikimo laiką. Šiame projekte aptariama technologija yra vienas problemos sprendimo būdų. Jos atsiradimą lemia tai, kad baldus gaminanti įmonė pastebėjo pirkėjų nepasitenkinimą tuo, jog nupirktiems baldams surinkti reikia daug laiko, naudojama daug tvirtinimo detalių. Todėl buvo sukurtas naujas tvirtinimo elementas bei naujas baldų jungčių gamybos būdas, kurio esmė – panaudojant ultragarsą vienoje detalėje suvirinti kaištį, pagamintą iš termoplastiko, o kitoje detalėje išfrezuoti aukšto tikslumo formą kaiščio galvutei įkišti. Tai leido pasiekti surinkimo laikus apie 4–5 min, vietoj buvusių 45 min. Termoplastikai turi savybę kaitinami minkštėti, galiausiai tapti klampiu lydalų, o auštant vėl virsti kietu plastikumu [4]. Dėl to, gaminant baldus iš medienos plokščių ir lydant plastiką ultragarsu, lydalų pavirtęs plastikas gali įsiskverbti į plokštėje esančias ertmes ir atvėsęs sudaryti standžią jungtį.

Šio projekto metu atliekant tyrimą, bandoma rasti tinkamus parametrus, kuriuos pasiekus gaunama pakankamai geros kokybės jungtis. Kadangi baldai gaminami iš skirtingų tankių medienos plokščių, susidaro variacija tarp plokštėje išgręžtų kaiščio skylutėse esančių ertmių, kuriose suskystėjęs plastikas pasiskirsto. Tai labai apsunkina gamybos procesą, nes baldo projektavimo metu dar iki galo nežinomos medžiagos, iš kurių bus pagaminta kiekviena detalė. O suprojektuota skylė yra vienoda baldo vystymo metu, neatsižvelgiant į medžiagą, kuri bus parinkta ateityje. Norint visada gauti tinkamos kokybės sujungimą, reikia išsiaiškinti parametrus, kuriuos pasiekus, kiekviename plokštės tankio variante, plastiko ir medienos sujungimas atlaikys stipruminius bei estetinius reikalavimus.

Plastikų virinimas ultragarsu nėra naujovė kitose pramonėse, tačiau baldų pramonėje tai pradėta naudoti tik 2013 metais, kai šią patentuotą technologiją įsigijo vienas iš didžiausių pasaulio baldų gamintojų [5]. Todėl sunku rasti literatūros apie šio proceso atlikimą tokiomis sąlygomis, kurios randamos baldų pramonėje. Taip pat termoplastikų lydymas ultragarsu nėra iki galo ištirtas ir dėl to šis tyrimas reikalingas siekiant sumažinti broko atsiradimo tikimybę, optimizuojant gamybos procesą, norint pagerinti bendrą gaminių kokybę bei norint geriau suprasti ją nulemiančius veiksnius [6].

2. Tyrimo naujumas

Kaip minėta ankstesniame skyriuje, baldų gamybos pramonėje kaiščių virinimas ultragarsu pradėtas taikyti neseniai. Šiuo metu įmonės, turinčios leidimą naudoti šią patentuotą technologiją bei turinčios reikalingą įrangą tam atlikti, neturi jokio konkretaus vadovo bei jokių konkrečių žinių, kaip pagal turimus išteklius garantuoti optimalią suvirinimo kokybę. Procesas vyksta bandymo ir nuolatinio parametrų keitimo būdu, gaminant baldų prototipus, prieš pradėdant masinę gamybą.

Tai yra labai imlus laikui procesas, kuris nėra konkretus ir kaskart turi būti vykdomas iš naujo. Tyrimo metu gauti rezultatai padės išvengti klaidų, galės būti panaudoti greičiau išmokyti naujus darbuotojus proceso subtilybių. Taip pat rezultatai susiaurins naudojamų parametrų diapazoną, leis darbuotojams iš anksto suprasti ir parinkti reikalingus parametrus, kad darbas būtų atliktas kokybiškai pirmuoju bandymu, o ne testuojantis ir atliekant bandymus kaskart. Tai labai svarbu didinant darbuotojų naudingai išdirbtą laiką, taupant įmonės išteklius. Bus galima sukurti naują sistemą, kuria vadovaujantis darbas bus našesnis.

Pastebima, kad plastiko virinimo medienoje ultragarsu tema taip pat yra mažai tyrinėta. Pagrindinis tokio būdo panaudojimas yra plastiko ar polimero detalei ar ruošiniui suvirinti su kitu plastikiniu ruošiniu ar detale. Termoplastikų suvirinamumas labai priklauso nuo jų sandaros, molekulinės struktūros tankio, trinties koeficiento, medžiagų, kurios virinamos tarpusavyje ir daugybės kitų parametrų [7]. Dėl to, porėtose terpėse, tokiose kaip medienos plokštės, sunku nustatyti tikslius parametrus dėl skirtingų plokštės charakteristikų bei gan plačiai varijuojančio medienos dalių plaušto tankio visame plokštės tūryje.

Dažniau suvirinimas ultragarsu naudojamas metalų suvirinimui (šiuo atveju ultragarsiniai virpesiai perduodami tangentine kryptimi, o ne vertikalia kaip virinant termoplastikus), aviacijoje, prietaisų gamyboje, virinant ypač plonus ruošinius ar suvirinant chemiškai aktyvius metalus [8]. Taip yra todėl, kad šios medžiagos turi patikimesnes ir paprasčiau apibūdinamas savybes.

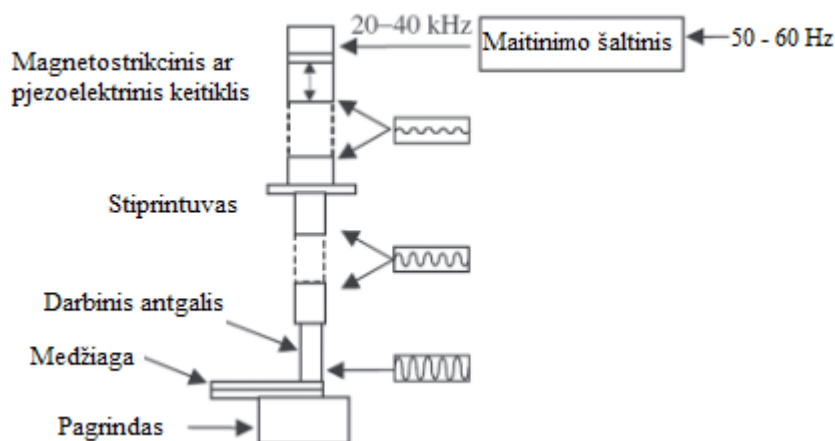
Medienos industrijoje labai dažnai vartojamas terminas „vidutinis tankis“, kuris nėra labai konkretus, tačiau svarbus nulemiant gaminamo produkto kokybę. Šis parametras taip pat turėtų būti svarbus kalbant apie kokybiškos jungties gavimą ultragarsu virinant kaištį plokštės skylėje. Gaminant plokštę iš drožlių, medienos atliekų, plaušo, šioms palaidoms dalims surišti naudojamos dervos ir presavimas [9]. Gamybos metu neretai atsiranda ir kitų priemaišų - žvyras nuo rąstų, žemės ir pan. Todėl plokštės tankis ir poringumas yra nepastovus. Net nusipirkus plokštes, kurių vidutinis tankis skelbiamas vienodas – realybėje skirtumas gali būti nemažas (iki 7 %). O dėl to sunku gauti kokybišką jungtį virinant ultragarsu.

3. Suvirinimo procesų analizė

Garsas – slenkantis slėgio svyravimas terpėje, kuri ausimis girdi žmonės ar gyvūnai, priešingai nei ultragarsą, kurio dažnis per aukštas mūsų ausims užfiksuoti. Paprastai svyravimas būna periodinis bei mažas, tada garsas yra banga. Garsas sklinda ore ir kitose dujose, skysčiuose, kietuose kūnuose skirtingais greičiais. Tai yra tam tikra kinetinės energijos forma, kurią sukuria bet kuris virpantis objektas ir kurią galima panaudoti įvairiems tikslams. Visi garsai kyla dėl mechaninių aplinkos virpesių [10].

Garso sugertį lemia svyravimų energijos virsmas šiluma dėl trinties medžiagoje, dėl to virinant termoplastikus ultragarsu, jų lietimosi zonoje plastikas patiria cikliškas deformacijas, sušyla ir pradeda lydėtis. Šiomis dienomis sparčiai tobulėja termoplastikų bei jų kompozitų savybės. Dėl to, šios medžiagos tampa svarbesnės ir vis dažniau naudojamos konstrukcijoms sujungti.

Suvirinimas ultragarsu yra vienas populiariausių termoplastikų jungimo būdų, nes yra lengvai automatizuojamas, nereikalauja jokių pridėtinių medžiagų ir yra gana ekologiškas, greitas (dažniausiai ciklo laikas svyruoja nuo sekundės iki kelių sekundžių), o įranga yra palyginti nebrangi. Tipiniai veikimo dažniai svyruoja nuo 10 iki 75 kHz, nors 20 kHz yra dažniausias veikimo dažnis, o vibracijos amplitudė svyruoja nuo 0,1 iki 100 μm . Paprastai jis naudojamas masinėje gamyboje, tačiau taip pat gali būti naudojamas mažų partijų gamyboje, naudojant lanksčius tvirtinimo ir pakaitinius antgalius. Šis būdas taip pat gali būti naudojamas taškiniam suvirinimui, nepertraukiamam audinių ir neaustinių audinių suvirinimui [7]. Dėl plataus panaudojimo, šis suvirinimo būdas taikomas įvairiose pramonės šakose, tokiose kaip: automobilių pramonė, elektronikos prietaisų pramonė, aviacijos industrija, pakavimo medžiagų gamyba, medicinos pramonė, žaislų ar plastikinių namų apyvokos prekių gamyba.



1 pav. Ultragarsinio suvirinimo įrenginio schema [11]

1 paveiksle pavaizduota ultragarsinio suvirinimo įrenginio schema. Įrenginio konstrukcija sudaryta iš preso, kuris suteikia spaudimo jėgą detalėms, pagrindo, ant kurio virinamos detalės, keitiklio, kuris elektros signalą pakeičia mechaniniais judesiais, stiprintuvo, kuris keičia ultragarsinės vibracijos amplitudę, darbinio antgalio, kuris perduoda vibracijas detalėms. Šiuo įrenginiu sujungti plastikus labai patogiu, pasiekiamas aukštas našumas.

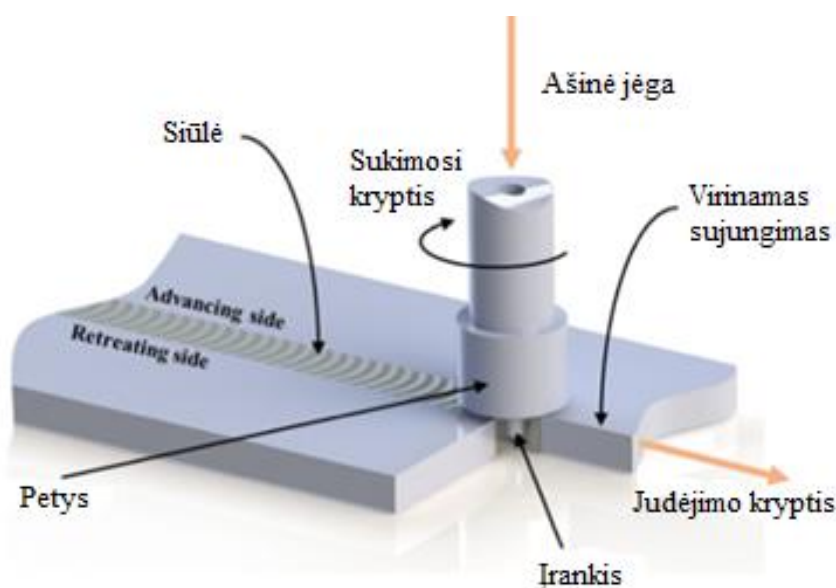
Šio proceso trūkumas toks, kad dabartinėmis technologijomis negalima ultragarsu virinti didelių gabaritų detalių (didesnių nei maždaug 250 mm x 300 mm) viena operacija. Ultragarasinės vibracijos gali pažeisti elektronikos komponentus. Priklausomai nuo virinamų detalių sudėtingumo, tvirtinimo įtaisų kaina gali būti gan aukšta. Tačiau yra sukurta daugybė kitų termoplastikų suvirinimo būdų, kurių kiekvienas turi savų privalumų ir trūkumų.

3.1. Suvirinimas trintimi

Suvirinimas trintimi buvo išrastas kaip būdas jungti medžiagas, kurias sunku suvirinti tradiciniais metodais. Vėliau šio metodo privalumai ir padidėjusi pramonės paklausa lengvoms konstrukcijoms, privertė metodą pritaikyti suvirinant polimerines medžiagas. Suvirinimas trintimi grindžiamas šilumos susidarymu dėl trinties tarp suvirinimo įrankio ir virinamų medžiagų joms deformuojantis [12]. Proceso metu specialus sukamasis įrankis įterpiamas tarp jungiamų ruošinių ir besisukdamas juda per sąsajos liniją (žr. 2 pav.). Vėliau suminkštėjusi medžiaga, esanti šalia įrankio, yra transportuojama iš priekinės pusės į galą, tokiu būdu sudarant siūlę už įrankio [13].

Tačiau, norint pasiekti reikiamą šilumą ir medžiagų minkštumą, kad būtų užtikrintas pakankamas plastiko medžiagų srautas šalia įrankio, reikalingas didelis sukimo momentas ir žemyn nukreipta jėga. Dėl to reikalingi didesnio tūrio įrankiai ir didesnės apkrovos, ypač medžiagoms, kurios lydosi aukštoje temperatūroje. Be to, įrankyje atsirandantys aukšti įtempiai ir nuovargis proceso metu sukelia greitesnį įrankių nusidėvėjimą bei padidina riziką priešlaikiniams gedimams, dėl kurių atsiranda prasta suvirinimo kokybė ir kyla gamybos kaina. Verta paminėti, kad dėl didelių apkrovų, įrankio suvirinimo greitis tampa gan mažas [13].

Norint išspręsti šią lėto suvirinimo problemą, buvo pasiūlyta papildomų kaitinimo būdų - išorinis detalių įkaitinimas lazeriu, elektros srove, ultragarsu. Tačiau antrinis kaitinimas turi trūkumą – medžiagų mechaninių savybių prastejimas karščiu paveiktoje zonoje [13].

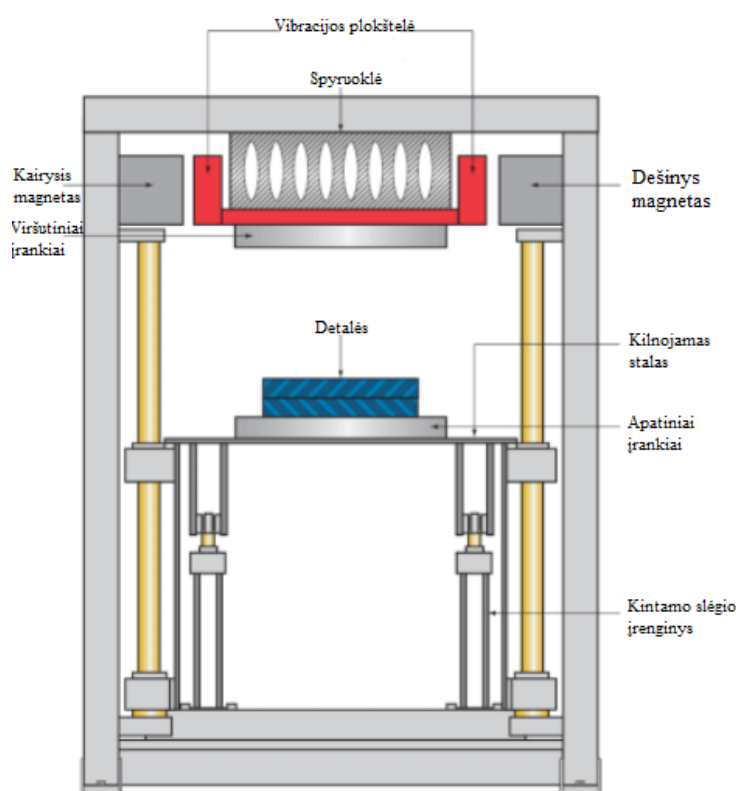


2 pav. Suvirinimo trintimi proceso schema [13]

Suvirinimo trintimi privalumai – gaunama gražios išvaizdos siūlė, proceso metu nenaudojamos pridėtinės ar gamtai kenkiančios medžiagos, tai yra lengvai automatizuojamas procesas, kurį galima pritaikyti jau turimai CNC ar frezavimo įrangai. Tinkamai suvirinus gaunama gerų mechaninių charakteristikų siūlė.

3.2. Vibracinis suvirinimas

Vibracinio suvirinimo veikimo principas yra toks, kad dėl vibruojant atsiradusios trinties tarp detalių, kyla temperatūra, kuri sukelia lydymąsi medžiagų lietimosi zonoje. Išsilydžiusios medžiagos susilieja viena su kita veikiamos spaudimo, o vėsdamos sudaro standžią suvirintą siūlę (žr. 5 pav.). Šio suvirinimo būdo privalumai tokie, jog suvirinimo ciklas gan trumpas, galima suvirinti didelių gabaritų detales, nereikalingas paviršių apdirbimas ar paruošimas, tai gan našus metodas, kurį galima lengvai automatizuoti [14]. Įrenginys, atliekantis suvirinimo procesą, pavaizduotas 3 paveiksle.



3 pav. Vibracinio suvirinimo įrenginys [17]

Šiuo būdu galima suvirinti beveik visus termoplastikus: kristalinius, amorfinius, putintus, sustiprintus. Keblumų kilti gali su plastikais, kurie turi ypač žemą trinties koeficientą. Medžiagoms, kurių lydymosi temperatūra yra aukšta, reikės didesnių energijos išteklių ir virinimo laikas pailgės.



4 pav. Automobilio priekinių žibintų konstrukcija, kurioje suvirinti skirtingi plastikai [15]

Šis virinimo būdas dažniausiai naudojamas vakuumuojamoms detalėms ar sandariams, aukšto slėgio indams, kai reikalingos tvirtos, hermetiškai sandarios jungtys (žr. 4 pav.). Gamyboje integravus šį suvirinimo būdą galima pakeisti kitas, ne tokias našias ar seniau turėtas virinimo technologijas, nes operacijos laiką galima sutrumpinti, procesą supaprastinti, padaryti ekonomiškesnį ir lengviau prižiūrimą. Pagrindinis šio proceso trūkumas yra aukšta pradinė įrangos bei įrankių kaina, lyginant su kitais virinimo procesais, pavyzdžiui suvirinimu ultragarsu [14]. Tačiau įvertinus gamybos paskirtį bei tai, jog šiuo būdu galima virinti didelio gabarito detales vienu priėjimu greitais ciklais, įranga gali greitai atsipirkti. Kitas trūkumas yra aukštas triukšmingumas (90–95 dB). Dėl to reikalinga garsą izoliuojanti įranga, leidžianti saugiai dirbti.

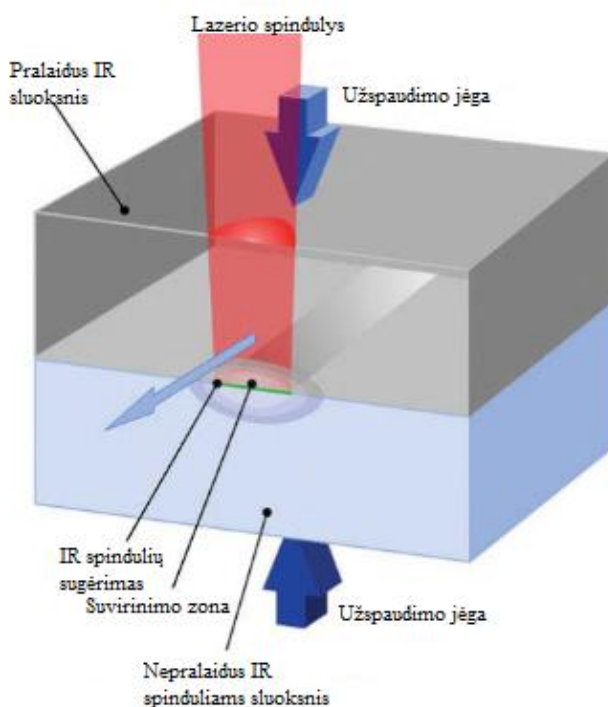


5 pav. Vibraciniu suvirinimu sujungtos detalės [16]

3.3. Suvirinimas lazeriu

Suvirinimas lazeriu plačiausiai naudojamas jungti metalams, tačiau dėl sparčiai tobulėjusių technologijų pritaikytas ir plastikų virinimui. Tai metodas jungti plastikams, kuris naudojasi daugumos termoplastikų infraraudonųjų spindulių laidumo savybe. Proceso metu lazeris keliauja per

skaidrią termoplastiko dalį, kol pasiekia sugeriančią lazerio energiją dalį (žr. 6 pav.), kuri tokia dėl priemaišų naudojimo. Sugerta lazerio energija virsta karščiu, o to sekoje suvirina abi detales išlydydama polimerus. Apatinis sluoksnis atsakingas už šviesos energijos pavertimą karščiu. Kadangi dauguma termoplastikų yra natūraliai pralaidūs IR spinduliutei, turi būti naudojami priedai, detalei suteikiantys sugeriančių savybių. Dauguma priedų kaip pigmentai ar užpildai pagerina sugeriamąsias savybes. Pažymėtina, kad viršutinis sluoksnis gali būti spalvotas ir net neskaidrus, naudojant specialius ne absorbuojančius priedus [19].



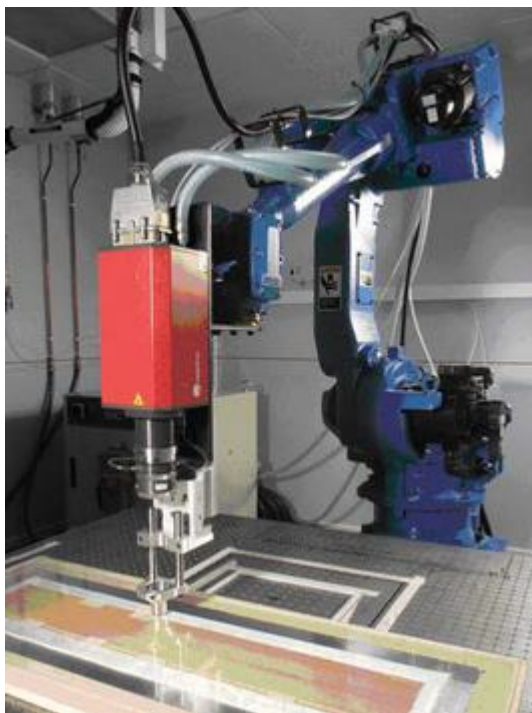
6 pav. Lazerinio suvirinimo diagrama vaizduojanti lazerio judėjimą [14]

Lazerio sąveika su paviršiumi priklauso nuo šių pagrindinių faktorių [14]:

- medžiagos ir priemaišų tipas;
- lazerio bangos ilgis;
- lazerio intensyvumas (galia, virinimo ploto dydis ar forma, spindulio kokybė);
- spindulio judėjimo paviršiumi greitis.

Šis suvirinimo būdas plačiai naudojamas įvairiose pramonėse, nes turi daug privalumų – lokalizuotas aukštos temperatūros paskirstymas suvirinimo siūlėje, nepažeidžiant karščiu ar mechaninėmis apkrovomis jautrių vidinių komponentų, kaip elektronika ar mechaniniai įrenginiai. Nesukeliamos jokios vibracijos, nekaitinami jokie įrankiai, galima sujungti kelis sluoksnius tuo pačiu metu, maži liekamieji įtempiai siūlėje, galima sujungti plonus, lanksčius polimerus kaip nailoną. Taip pat gaunama tikslios geometrijos, vizualiai tvarkinga, aukštos kokybės siūlė, išlaikanti geras mechanines charakteristikas. Galima suvirinti labai plonus plastiko sluoksnius dideliais greičiais ir storus sluoksnius lėčiau. Termoplastikų suvirinimas lazeriu leidžia gamybą padaryti lankstesne dėl galimybės virinti sudėtingos geometrinės formos ruošinius ne tik serijinėje, bet ir masinėje gamyboje su aukšta produkcijos išeiga [18].

Proceso trūkumai tokie, kad reikalinga įranga yra gan brangi (žr. 7 pav.), sujungiami paviršiai turi būti geros kokybės, detalių užspaudimas turi būti pakankamai geras, kad užtikrintų detalių lietimąsi virinimo metu, reikalingi priedai pagerinantys medžiagos IR spindulių sugertį [14].



7 pav. Manipulatorius, lazeriu virinantis plastikinius komponentus prie stalčiaus fasado [14]

3.4. Išvados

Šios analizės rezultatai rodo, jog vienas suvirinimo būdas negali būti pasirenkamas visoms situacijoms. Visi aptarti procesai turi savų privalumų ir trūkumų bei gali būti pritaikyti pagal paskirtį ir poreikius gamyboje. Suvirinimas naudojant ultragarsą yra labai našus procesas, kuriam nereikia jokių pridėtinių medžiagų ar specialaus paviršiaus paruošimo kaip suvirinimui lazeriu. Taip pat tai labai ekonomišką virinimo variantą, o jam atlikti įranga yra gana pigi, priešingai nei suvirinimas lazeriu arba vibracijomis. Tačiau virinant ultragarsu labai sunku viena operacija suvirinti didelių gabaritų detales, o tai atlikti vibraciniu virinimo metodu yra paprasčiau. Pastebima ir tai, jog lazeriu lengviau apdirbti sudėtingų formų detales nei kitomis operacijomis. Virinant trintimi įrankyje susidaro aukšti įtempiai, dėl to šis gali greičiau sugesti, bei dėl didelių apkrovų įrankio suvirinimo greitis tampa gana mažas. Virinant ultragarsu įrankis labai patvarus, galintis našiai atlikti darbą, o dėl aukštų apkrovų jo virinimo greitis beveik nelėtėja.

Geriausiai masinės gamybos reikalavimus atitinka suvirinimas ultragarsu, vibracinis suvirinimas bei suvirinimas lazeriu. O įmonėje, kurioje virinami maži termoplastiko kaiščiai medienos plokštėje, pasirinktas būtent suvirinimas ultragarsu. Dabar galima teigti, jog tai padaryta dėl aukšto ekonomiško, kuris masinėje gamyboje labai svarbus, taip pat dėl to, kad darbinis ciklas labai trumpas ir procesas visiškai automatizuojamas. Šio suvirinimo būdo operacija labai tiksli, dėl to gaunamas rezultatas po operacijos, parinkus teisingus parametrus, yra labai aukštos kokybės.

4. Mokslo ar inžinerinių metodų analizė

4.1. Ultragarstu medienoje suvirintų kaiščių apžvalga

Atlikta tyrimo [20] analizė. Šis tyrimas yra skirtas daugybės „SWOOD“ atliktų ar vis dar vykdomų tyrimų apibendrinimui. Kitas tyrimo tikslas yra apžvelgti termoplastikų virinimo medienoje galimybes, kreipiant ypatingą dėmesį suvirinimui ultragarstu. Galiausiai apibendrinamos įvairių virinimo technologijų panaudojimo galimybės medienos industrijoje bei parametrai, į kuriuos vertėtų atkreipti dėmesį virinant kaiščius.

Apžvalgoje aprašoma tai, jog „SWOOD“ jau nuo 1993 metų pradėjo tyrinėti suvirinimo medienoje galimybes, kai buvo pradėtas vykdyti esminis tyrimas apie suvirinimą ultragarstu medienoje. Šio tyrimo tikslas buvo surinkti pagrindinius duomenis apie technologiją ir sukurti pagrindą tolesniems vystymo projektams, bendradarbiaujant su medienos industrijos partneriais. Pasinaudojus šių ir vėlesnių tyrimų surinkta informacija bei duomenimis, siekiama toliau pastūmėti ir įtikinti ateities industrijos partnerius investuoti į suvirinimo medienoje technologijas [20].

Tyrimo [20] aprašoma, jog testavimo metu buvo iširtos įvairios termoplastikų medžiagos ir gauti įvairūs rezultatai. Apibendrintai PA, PC ir ABS plastikai parodė geriausius suvirinimo rezultatus bei buvo sugrupuota skirtingų medžiagų suvirinamumo su mediena informacija (žr. 8 pav.).

	Kurzzeichen für Preßwerkstoffe Abbreviations Pressed Material								Edelholz Hardwood
	PR	HF	TF	PUR	PUR/ GF	HW	BF		
PS ABS PMMA	■	○	○	○	○	○	■	■	■
PVC PPE/PA PPE/PS	■	■*	○	○	○	○	■	■	
PC PC/ABS PE-HD,LD	■	○	○	○	○	○			■
PP PA PAA	■	○	○	○	○	○	■	■	■
PCM PET PBT	■	○	○	○	○	○			
PBT/PC SAN PSU		○	○	○	○	○			
PEI		○	○	○	○				

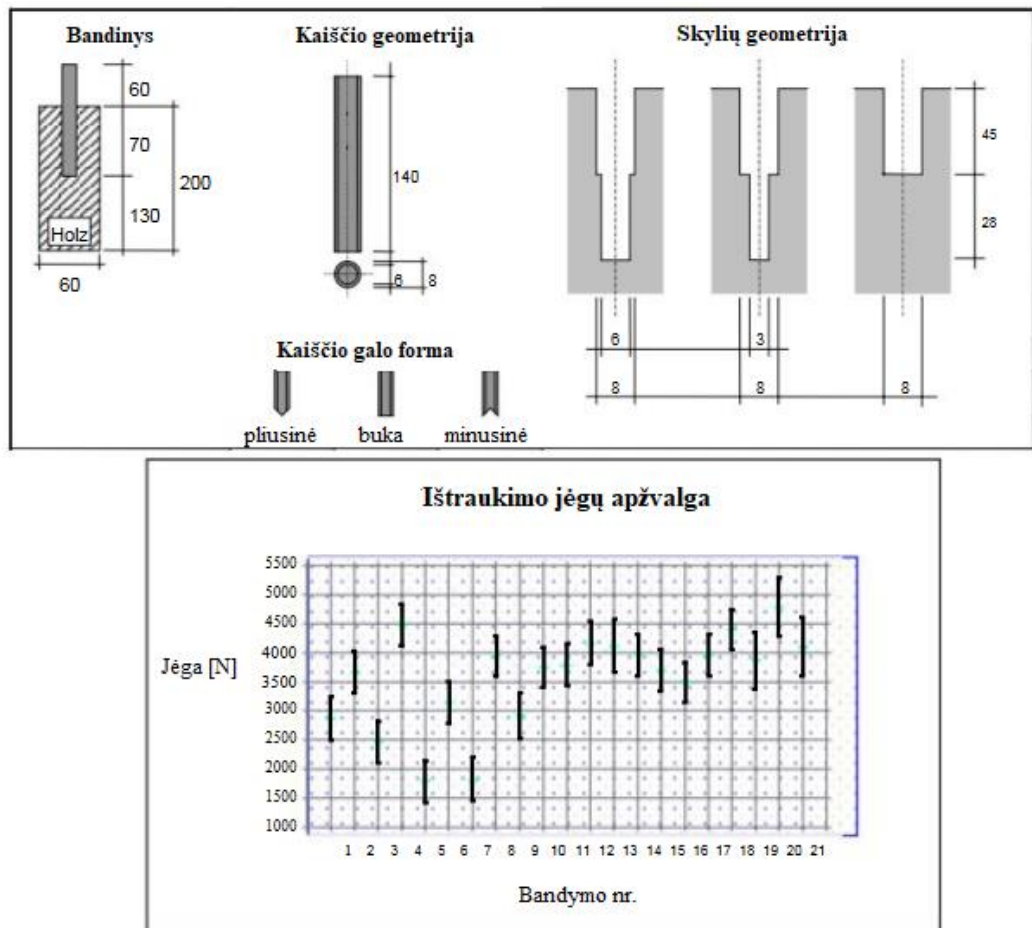
PR = Preßspan / Chipwood
 HF = Holzfaser / Wood fiber
 TF = Textilfaser / Textile fiber
 GF = Polyurethan-Langglasfaser / Polyurethane with long glass fiber
 HW = Holzmehl / Sawdust
 BF = Bastfaser / Bark fiber

* = PVC-Folie / PVC foil
 ■ = durch Versuche belegt / Joint by trial
 ○ = Verbindung über Verkrallung möglich / Joint possible by means of mechanical clawing

8 pav. Termoplastikų tinkamumas suvirinant medienoje [20]

Suvirinimo procesą atliekant ultragarstu naudojamas tokio pat tipo įrenginys kaip ir naudojamas daugybėje gamybos įmonių. Pabrėžiama, kad virinimo procesas nustatomas pagal virinimo laiką, išlaikymo laiką, slėgį (spaudimą) ir greitį. Pasak tyrimo [20] autorių, tai pagrindiniai ir didžiausią įtaką rezultatui darantys parametrai. Prastas šių parametru nustatymas gali baigtis jungtimi be pasipriešinimo arba nudegusiomis vietomis jungtyje [20].

Pirmasis tokio tipo sujungimų tyrimas buvo pradėtas 1993 metais, kuriame tirti termoplastikų kaiščiai, turint tikslą rasti optimalią kaiščio formą ir ištestuoti įsitvirtinimo skirtingo gręžimo skylėse stiprumą. Kaiščiai buvo suvirinti paraleliai medienos raštui ir tikrinta pasipriešinimo tempimui (ištraukimui) jėga. Gauti rezultatai pavaizduoti 9 pav.



9 pav. Bandinių ir skylių geometrijos bei ištraukimo jėgų apžvalga [20]

Kito tyrimo metu „SWOOD“ tikrino termoplastikais sujungtų detalių jungčių stiprumą. Buvo jungiamos dvi medienos detalės keturiais termoplastiko kaiščiais, suvirintais ultragarsu ir pasiekti optimalūs sujungimo parametrai. Termoplastikas užpildė medienoje esančias poras sudarydamas stiprią jungtį. Pasak apžvalgos [20] autorių – tyrimai parodė daug žadančių rezultatų, tačiau reikalinga daugiau tirti šią temą geriausioms termoplastikų savybėms nustatyti. Tolesni tyrimai reikalingi, norint optimizuoti jungties (tarp kaiščio ir skylės) geometriją.

Šios tyrimų apžvalgos [20] autoriai savo išvadomis įrodo, kad tokių jungčių tema nėra pakankamai išnagrinėta, kad yra nemažas trūkumas informacijos, reikalingos gauti optimaliems rezultatams bei parinkims. Tai tik toliau įrodo, jog reikia atlikti ultragarsu medienos plokštėse virintų kaiščių tyrimą.

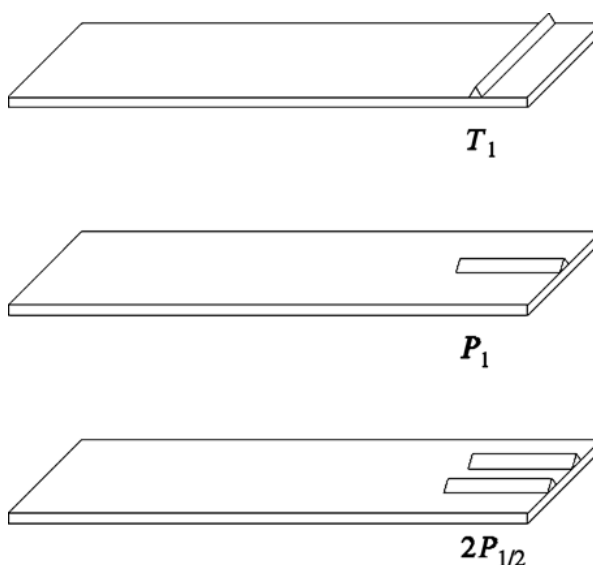
4.2. Energiją nukreipiančių paviršių įtaka suvirintai jungčiai

Norint pasiekti geriausių virintų termoplastikų jungtį su suvirinama medžiaga, tyrimais [21, 22, 23] įrodyta, jog geriausia jungtis gaunama naudojant energiją nukreipiančius paviršius. Jų pagrindinis tikslas – pasirūpinti, kad suvirinimo metu būtų užtikrintas nuoseklus ir koncentruotas plastiko šildymas. Tokie paviršiai (išilgai kaiščio, pusrutulio formos juostelės) yra ir ant termoplastiko kaiščių, kurie naudojami baldų gamybos įmonėje (žr. 10 pav.).



10 pav. Virinimui ultragarsu naudojamas kaištis

Moksliniuose šaltiniuose tiriama, kokią įtaką skirtingos formos bei orientacijos paviršiai turi jungties kokybei bei stiprumui. Viename iš straipsnių [21] pateikiami įvairių konfigūracijų ultragarsu suvirintų anglies pluošto / polieterimido pažangių termoplastinių kompozitų jungčių tyrimo rezultatai. Trikampio formos energiją nukreipiantys paviršiai buvo suformuoti ant konsoliduotų kompozitinių laminatų paviršiaus, karšto spaudimo presu. Buvo išbandyti suvirintieji vieno slenksčio bandiniai bei ištirta kreipiančių paviršių orientacijos įtaka apkrovos krypčiai, teikiant ypatingą dėmesį jėgos pridėjimo krypčiai ir vieno ar kelių energiją nukreipiančių paviršių orientacijai (žr. 11 pav.).



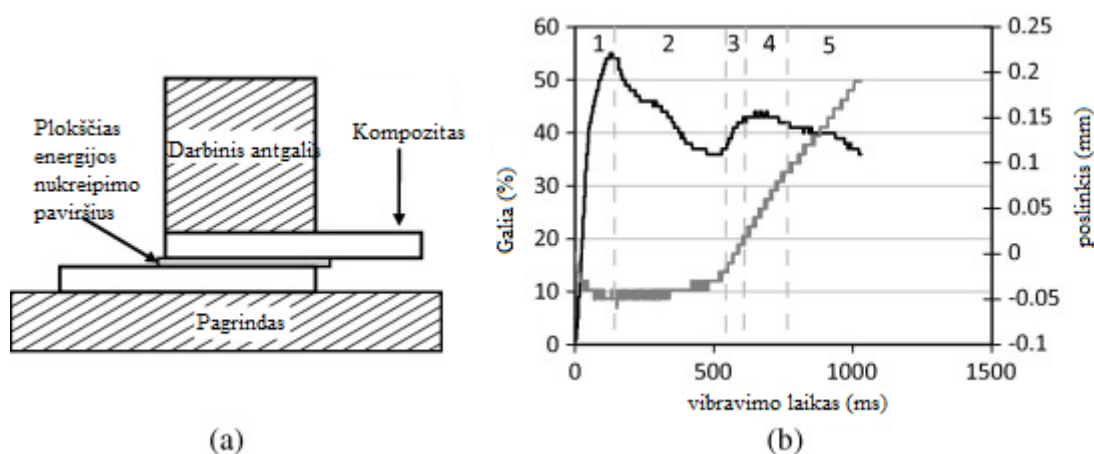
11 pav. Skirtingos energiją nukreipiančių paviršių orientacijos [21]

Šio tyrimo [21] rezultatai rodo, jog lydalo uždengimo srities aprėptis gali būti sustiprinta naudojant kelis energiją nukreipiančius paviršius, su sąlyga, kad jų vieta ir dydis netrukdo išsilydžiusio plastiko srautui. Skersiniai nukreipiamieji paviršiai suteikia mažesnę lydalo išsisklaidymą suvirinimo plote nei lygiagretūs energiją nukreipiantys paviršiai. Pernelyg didelis dervos kiekis suvirinimo sąsajoje sumažina suvirinimo stiprumą, gali atsirasti apdeginiai ar prastos kokybės jungtys.

Skirtingų formų energijos kreipimo paviršiai aprašyti mokslinėje medžiagoje [22]. Nustatyta, kad pats efektyviausias paviršius yra puslankio formos, antroje vietoje – stačiakampio formos ir galiausiai – trikampio formos paviršiai. Norint optimizuoti suvirintos jungties stiprumines charakteristikas, bandymų metodu buvo atliekami tyrimai. Jų metu pastebėta, jog pusrutulio formos geometrija sudarė geriausios kokybės ir stiprumo jungtis. Pastebima, jog didesnis drėgmės kiekis medžiagoje turėjo neigiamą įtaką jungčių kokybei, todėl reikėtų atkreipti dėmesį į medienos plokštės drėgmę atliekant

tyrimus ateityje. Taip pat akcentuojama, jog tekstūriniai paviršiai be energiją nukreipiančių iškilimų, kaito labiau, o pats tekstūrinis paviršius leido panaudoti mažiau energijos, bet gauti didžiausio stiprumo jungtį.

Kiti parametrai į kuriuos reikėtų atkreipti dėmesį, aptariami toliau ir yra, kad amorfiniams plastikams reikia mažiau energijos, sėkmingam suvirinimui, nei pusiau kristaliniams termoplastikams [22]. O parametrai, turintys didelę įtaką jungties stiprumui – laikas ir spaudimas suvirinimo metu [24]. Plokšti energijos nukreipimo paviršiai taip pat naudojami virinant termoplastikus ultragarsu. Jų įtaka ištirta ir išskirti pagrindiniai 5 procesų etapai [23]. Pirmajame etape vyksta energiją nukreipiančių paviršių kaitinimas be jokių fizinių pokyčių suvirinimo zonoje. Šioje stadijoje galios išsklaidymas nuolat didinamas, kol pasiekiamas maksimumas. Antrajame etape paviršiai pradeda tirpti ir šiluma kontroliuojama nuo paviršiaus trinties keliamo šildymo. Šiame etape pastebimas galios sumažėjimas, o darbinio įrenginio antgalio poslinkis išlieka pastovus. Trečiasis etapas atpažįstamas visiškai ištirpus kreipiančiajam paviršiui. Šiame etape aptinkamas galios padidėjimas ir nepastovus darbinio antgalio poslinkis. Energijos kreipimo paviršiaus išsiliejimas gaunamas ketvirtajame etape. Taip pat, ketvirtajame etape pradeda tirpti kompozicinės matricos viršutiniai sluoksniai. 5-ajame etape vėl pastebimas galios kritimas dėl didelio kiekio kompozicinės matricos lydymosi (žr. 12 pav.).



12 pav. a) Ultragarso suvirinimo proceso su plokščiu energijos režimu schema (matmenys ne pagal mastelį). b) Penki ultragarso suvirinimo etapai, apibrėžti pagal išsklaidytą galią (juoda) ir darbinės galvos poslinkio (pilkosios) kreives (300 N, 82,6 μm, 0,25 mm storio plokščio energijos nukreipimo paviršiaus).

Galia pateikiama kaip didžiausios galios (3000 W) procentinė dalis. Teigiamas poslinkis reiškia vertikalų žemėjantį darbinės galvos judėjimą [23]

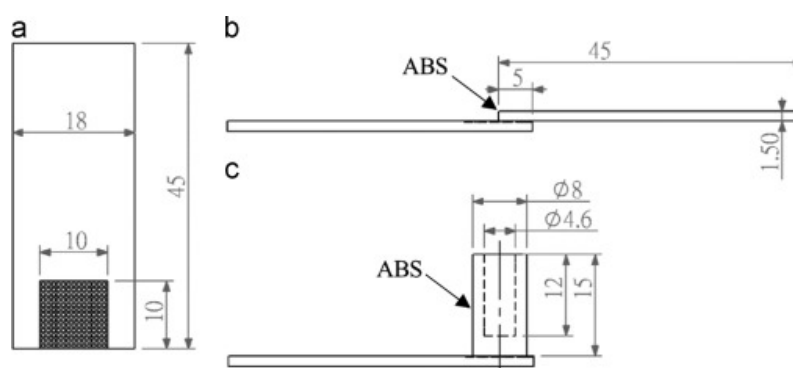
Aptarti tyrimai leidžia geriau suprasti naudojamų energijos kreipimo paviršių paskirtį bei svarbą virinant termoplastikus ultragarsu. Vykdamas tolimesnius tyrimus reikėtų atkreipti ypatingą dėmesį jau pastebėtiems atradimams bei pasiūlymams, norint gauti geriausios kokybės jungtis.

4.3. Termoplastikų virinimas ant lazeriu suformuoto metalinio paviršiaus

Šiame poskyryje aptariamas termoplastiko virinimas ultragarsu ant metalo, kurio paviršiuje lazeriu suformuotas raštas. Kitaip tariant – metalas padaromas porėtas, kad į ertmes geriau įsiskverbtų suskystėjęs plastikas ir sudarytų tvirtesnę jungtį. Tokio tyrimo apžvelgimas aktualus tuo, kad panašūs procesai vyksta ir virinant termoplastikus medienoje, dėl medienos poringumo.

Ultragarsu galima sudaryti įvairias hibridines jungtis, ne tik plastiko su plastikumu, bet ir metalo su metalu, plastiko su metalu, metalo su stiklu ar net metalo su keramika [25]. Ultragarsinis suvirinimas yra labai našus tiek laiko, tiek energijos suvartojimo atžvilgiu procesas, kuriam nereikia papildomų pridėtinių medžiagų tvirtai jungčiai sudaryti. Dėl to jis naudojamas įvairiose pramonės šakose. Tačiau tai nėra tobulas procesas ir virinant plastiką su metalu, dažnai susiduriama su problemomis. Taip yra todėl, kad metalo terminis laidumas yra nuo 100 iki 1000 kartų aukštesnis nei plastiko. O dėl šios priežasties, virinant, šilumos energija yra greitai perimama ir išsilydęs plastikas sustingsta nespėjęs sutekėti į metalo paviršiuje esančias ertmes [26].

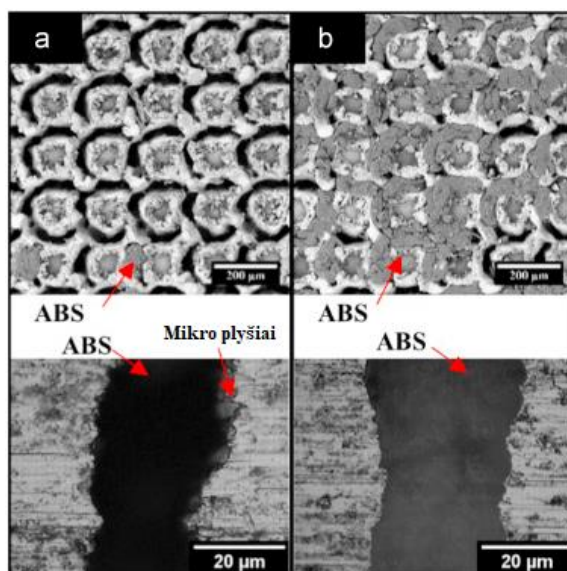
Aptariamame tyrime [27] termoplastikų (šiuo atveju ABS) detalės neturėjo jokių energiją formuojančių paviršių, joks plastiko paviršiaus apdirbimas nebuvo atliktas ir metalas nebuvo padengtas jokia danga. Vietoj to, aliuminio plokštelių paviršiuje prieš sujungimą buvo sudaryti mikro struktūros raštai (10 mm×10 mm plote). Norint iširti išamąją jėgą skirtingomis kryptimis, naudotos dvi skirtingų tipų plastikinės dalys: 10×45×1,5 mm³ plokštė ir plastikinis bandinys (Ø8×15 mm), suformuotas liejimo būdu.



13 pav. Scheminė (a) lazeriu struktūrizuotos metalo plokštės iliustracija, (b) šlyties mėginys ir (c) bandinio pavyzdys (matavimo vienetas: mm) [27]

Plastikinė dalis buvo dedama ant metalinės. Šiuo sustatymu galima kontroliuoti suvirinimo laiką, slėgį, išlaikymo laiką ir ultragarso vibracijos amplitudę. Visi bandiniai buvo gaminami naudojant tuos pačius virinimo parametrus. Slėgis buvo nustatytas 1,5 kg/cm², išlaikymo trukmė – 0,5 sek., o suvirinimo laikas svyravo nuo 0,1 sek. iki 0,12 sek. Suvirinant cilindro formos bandinį, reikėjo kitaip nustatyti suvirinimo parametrus dėl ilgo atstumo (15 mm) tarp darbinio antgalio ir suvirinimo srities. Pasak tyrimo autoriaus, suvirinimo kokybė gali būti pagerinta didinant slėgį, amplitudę ir suvirinimo laiką, tačiau ilgai virinant, jungties stiprumas mažėja.

Sukibimo stiprumui matuoti buvo naudojamas tempiamasis testeris. Šlyties bandymai ir tempimo bandymai buvo atlikti su 5 kN apkrovos elementu ir pastoviu tempimo greičiu 2 mm/min. Kiekvieno tipo bandinio stiprumas buvo išbandytas su 6 mėginiais, kad būtų nustatytas vidutinis stiprumas ir standartinis nuokrypis. Po stiprumo bandymų metalo / plastiko sąsajai ir pažeidimams stebėti naudojamas optinis mikroskopas ir elektronų mikroskopas (žr. 14 pav.). Hibridinių jungčių patvarumas buvo tiriamas klimatiniais bandymais temperatūros intervale nuo -20 °C iki 80 °C, 20 ciklų, kadangi ABS veikimo temperatūros intervalas yra nuo -20 °C iki 80 °C. Tyrimams atlikti buvo naudojamas suvirinimas ultragarsu ir suvirinimas ultragarsu pakaitinant.



14 pav. Metalo paviršiaus įtrūkimai po šlyties bandymų (viršutiniai vaizdai) ir pjūviai (apatiniai vaizdai) iš suvirinimo ultragarsu (0,11 s) mėginio ir (b) suvirinimo ultragarsu pakaitinant (60 °C, 0,11 s) mėginio [27]

Atlikus visus tyrimus buvo pastebėta, jog po klimatinių bandymų cilindro formos ruošiniai sudarė stipresnę jungtį nei plokšti ruošiniai. O tai reiškia, kad jungties geometrija sudaro svarbią dalį ilgalaikiam plastiko jungties patvarumui. Taip pat pastebėta, jog mažesnio tankio lazeriu suformuotose gardelėse mėginiai tinkamai neįsitvirtino su šildymu ir be jo. Taigi, atrodo, kad kontaktinio ploto dydis yra labai svarbus veiksnys [27]. Tai aktualu jungiant plastikus su mediena, nes išgręžtoje skylėje turi būti pakankamai vietos plastiko pasiskirstymui, o tai priklauso ne tik nuo plokštės tankio, bet ir išgręžtos skylės gylio.

4.4. Suvirinimo procesų bei mokslo ir inžinerinių metodų apžvalgos išvados

Literatūros analizės metu buvo apžvelgti suvirinimo trintimi, vibracinio suvirinimo bei suvirinimo lazeriu metodai, jų panaudojimo galimybės ir jie buvo palyginti su tiriamu suvirinimo ultragarsu metodu. Prieita prie išvadų, jog visi aptarti procesai turi panašumų, savų privalumų ir trūkumų bei gali būti pritaikyti pagal paskirtį ir poreikius gamyboje. O įmonėje, kurioje virinami termoplastiko kaiščiai medienos plokštėje, pasirinktas būtent suvirinimas ultragarsu, dėl lengvo automatizavimo, aukšto ekonomiško, laiko ir medžiagų sunaudojimo atžvilgiu (nereikia papildomų rišančiųjų medžiagų), kuris masinėje gamyboje labai svarbus. Šio suvirinimo būdo operacija labai tiksli – gaunamas rezultatas po operacijos, parinkus teisingus parametrus, yra labai aukštos kokybės.

Paaikškėjo, į ką reikėtų atkreipti daugiausiai dėmesio atliekant tyrimus bei kurie parametrai labiausiai veikia suvirintos jungties kokybę. Šaltiniuose pabrėžiama, kad virinimo procesas nustatomas pagal virinimo laiką, išlaikymo laiką, slėgį (spaudimą), amplitudę. Pasak tyrimo [20] autorių tai pagrindiniai ir didžiausią įtaką rezultatui darantys parametrai. Prastas šių parametrų nustatymas gali baigtis jungtimi be pasipriešinimo arba nudegusiomis vietomis jungtyje dėl per didelio dervos kiekio sąsajoje. Suvirinimo kokybę gali būti pagerinta didinant slėgį, amplitudę ir suvirinimo laiką, tačiau ilgai virinant, jungties stiprumas mažėja. Išsiaiškinta, kad kontaktinio ploto dydis irgi yra vienas svarbiausių veiksnių [27]. Tai pastebima ir kalbant apie plastiko suvirinimą medienos plokštėse, nes skirtingų tankių plokštės turi skirtingą kiekį ertmių ir dėl to gaunama skirtinga suvirinimo kokybė virinant vienodais parametrais. Taip pat virinant ultragarsu didelę svarbą turi energiją nukreipiantys

paviršiai. Jungtis gali būti sustiprinta naudojant kelis, patartina puslankio formos, energiją nukreipiančius paviršius. Akcentuojama ir tai, jog didesnis drėgmės kiekis medžiagose turėjo neigiamą įtaką jungčių kokybei, todėl, vykdant tolesnius tyrimus, į tai turi būti atsižvelgta.

5. Eksperimentinė dalis

5.1. Tyrimui naudojama įranga ir medžiagos

Ultragarsu virinti kaiščius medienos plokštėse naudojamos automatinės gręžimo ir kaiščių įstatymo staklės „KOCH SPRINT-W select.line“, kurių viduje sumontuotas virinimo ultragarsu įrenginys „BRANSON 2000X“. Šiame įrenginyje suprogramuotos trys virinimo programos, kurias patariama rinktis pagal plokštės tankį.

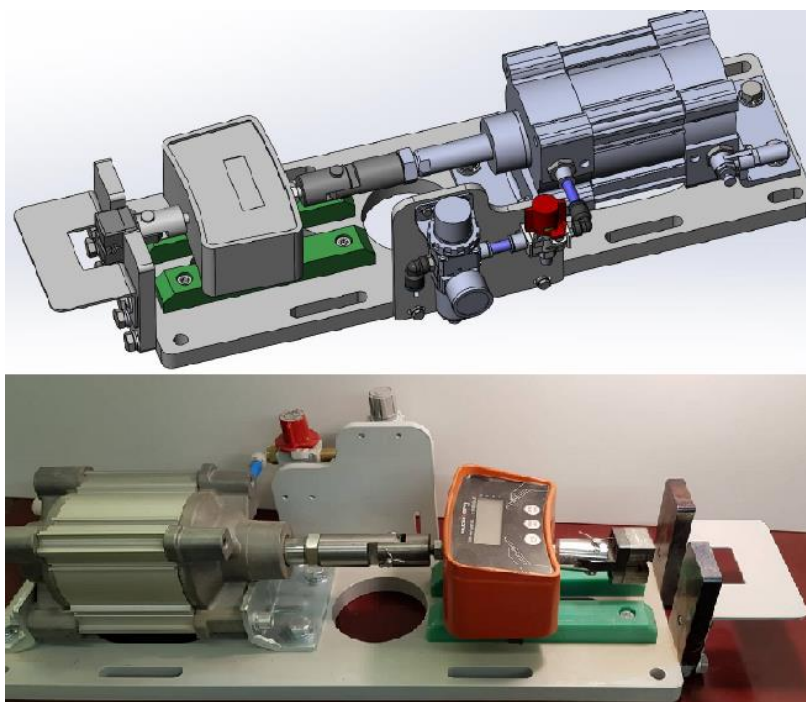
1 lentelė. Pagrindiniai įrenginio „BRANSON 2000X“ suvirinimo programų parametrai

Parametrai	Programos nr.		
	1	2	3
Galia*, %	20	50	80
Amplitudė, %	90	100	90
Trigerio jėga, N	120	120	120
Suvirinimo slėgis, kPa	250	250	250
Išlaikymo laikas, s	0,1	0,1	0,1

* Galia pateikiama kaip didžiausios galios (2500 W) procentinė dalis.

Kaištis, kuris įstatomas į ruošinyje išgręžtą skylę ir ultragarsu suvirinamas, sudarant standžią jungtį su ruošinio medžiaga – pagamintas iš PA66 poliamido dervos nailono termoplastiko ir yra pavaizduotas 10 paveiksle. Bendras kaiščio ilgis – 45,4 mm; koto, kuris lenda į išgręžta skylę ilgis – 35 mm; koto forma kūgiško ritinio, smailėjanti tolstant nuo galvutės, jos diametras 6,1–6,5 mm; maksimalus galvutės diametras – 11 mm.

Kaiščių bandymo stendas, matuojantis kaiščio ištraukimo jėgą yra specialiai tam tikslui pagamintas „FR84“ (žr. 15 pav.).



15 pav. „FR84“ Kaiščių bandymo stendas

Tyrimui naudojami 60 mm pločio, 220 mm ilgio ir 16 mm storio ruošiniai išpjauti iš skirtingų medienos plokščių:

1. „MDP LW (585)“ – 585 kg/m³ tankio, lengvinta medienos drožlių plokštė.
2. „MDP Standartas (630)“ – 630 kg/m³ tankio, standartinė medienos drožlių plokštė.
3. „MDP Sunkinta (670)“ – 670 kg/m³ tankio, sunkinta medienos drožlių plokštė.
4. „MDF Standartas (750)“ – 750 kg/m³ tankio, standartinė medienos dulkių (plaušų) plokštė.
5. „MDF PLUS (790)“ – 790 kg/m³ tankio, sunkinta medienos dulkių (plaušų) plokštė.
6. „PB1 (555)“ – 555 kg/m³ tankio, medienos drožlių plokštė.
7. „PB2 (650)“ – 650 kg/m³ tankio, medienos drožlių plokštė.
8. „ECO 1 (660)“ – 660 kg/m³ tankio, naujos kartos, atspari drėgmei, medienos drožlių plokštė, kurios rišančioji medžiaga yra krakmolos.
9. „MDP LW Parafin. (590)“ – 590 kg/m³ tankio, lengvinta parafininė medienos drožlių plokštė. Ši plokštė atsparesnė drėgmės poveikiui, nes joje 4 % daugiau rišančiosios medžiagos – parafino.

Plokštės drėgmei matuoti naudojamas drėgnomatis „GANN Hydromette BL H 40“, pavaizduotas 16 paveikslėlyje.



16 pav. Drėgnomatis „GANN Hydromette BL H 40“ [28]

5.2. Tyrimo atlikimas

Tyrimą nuspręsta atlikti, nes dirbant su įranga pastebėta, jog įrenginio mechaninis reguliavimas, programinių parametru keitimas norint rasti tinkamiausius nustatymus kokybiškai jungčiai gauti, užima daug laiko, o kiekvienai skirtingai plokštei reikalingi skirtingi parametrai. Pradinis skirtingų parametru testavimas, prieš pradėdant dirbti su geromis detalėmis, užima labai daug laiko, reikalauja daug operatoriaus laiko ir yra nepatikimas dėl naudojamos nevientisos medžiagos, kurioje virinami kaiščiai. Kadangi „KOCH“ įrenginio vidinės programos, kuriose keičiama virinimo amplitudė, naudojama galia, pastūmos greitis, išlaikymo laikas ir pan., suprogramuotos įrenginio gamintojo

Vokietijoje – jų keisti negalima. Todėl nuspręsta atlikti tyrimą kurio principas yra keisti parametrus, kuriuos galima ir siekti kuo geresnių stipruminių bei kokybinių rezultatų.

Termoplastiko kaiščio gamintojas specifikacijoje yra nurodęs, jog siekiant, kad kaištis galėtų būti naudojamas pagal paskirtį ir atlaikytų apkrovas, suvirinus jį medienos plokštėje ir bandant ištraukti specialia įranga – šis turėtų atlaikyti mažiausiai 1000 N traukimo jėgą, tačiau siekiamybė yra daugiau nei 1500 N ištraukimo jėga. Šio tyrimo metu orientuojamasi į 1500 N ištraukimo jėgos pasiekimą.

Bandymai bei suvirinimas buvo atliekami normaliomis aplinkos sąlygomis, tai yra apie 50 % santykinėje drėgmėje ir 21 ± 2 °C temperatūroje.

Ruošiantis tyrimui, plokščių pjovimo staklėse, dalinimo pjūklų, supjaustytos medienos plokštės į anksčiau aprašytus mažesnių išmatavimų ruošinius (pagaliukus). Sekančiu žingsniu kaiščių virinimo įrenginys paruošiamas darbui, nuleidžiami detalių prispaudėjai, vibrobunkeryje patikrinamas kaiščių kiekis ir padavimas į sistemą, reguliuojamos liniuotės. Valdymo pulte nustatomas gręžimo atstumas nuo briaunos, šiuo atveju per vidurį briaunos, 30 mm nuo krašto, bei gręžimo gylis, parenkama darbinė programa. Prieš statant ruošinius į įrenginį, patikrinamas plokštės drėgnumas abiejuose galuose, kur bus virinami kaiščiai. Pilnas darbinis ciklas įvyksta, jei automatizuotas įrenginys tvirtai prispaudžia ruošinį, jame išgręžia skylę, įstato termoplastiko kaištį, suvirina kaištį medienos plokštėje jį spausdamas ir valdiklyje įsijungia žalia lemputė žyminti ciklo pabaigą. Kiekvienas kaištis po darbinio ciklo įvertinamas vizualine kokybės patikra – tikrinama ar kaištis nedeformuotas, ar prisiglaudęs prie plokštės, ar nesusilydžiusi kažkuri dalis ir viskas žymima specialioje dokumentacijoje (žr. priedus). Tada ruošiniai su kaiščiais paliekami atvėsti.

Sekančią dieną atliekamas kaiščių traukimas iš medienos plokščių, įrenginiu „FR84“ (žr. 15 pav.). Kaiščio galvutė įstatoma į specialų griebtuvą ir atrėmus ruošinį, didinant slėgį, pneumatinis cilindras pradeda traukti kaištį ne mažesniu nei 10 mm/min ir ne didesniu nei 200 mm/min greičiu. Ištraukiami abu kaiščiai – po vieną kaištį iš abiejų ruošinio galų. Traukimo jėga rodoma ir fiksuojama įrenginio ekrane. Po kiekvieno kaiščio ištraukimo, dokumentacijoje (žr. priedus) užrašoma pasiekta maksimali jėga.

Keičiant gręžtos skylės, į kurią įstatomas kaištis gylį ieškomos pradinės ribos, kurias pasiekus, skirtingo tankio plokštėse nebevykdomas pilnas darbinis suvirinimo ciklas arba kaištis pilnai neįkišamas į skylę, nesuvirinamas pagal reikalavimus. Radus pradinės ribas, gylis keičiamas vienodo dydžio žingsniais (pvz. po 0,2 mm) ir dokumentacijoje (žr. priedus) pildoma pradinė suvirinimo kokybės informacija. Taip pasiekama riba, kai kaištis vėl nebe suvirinamas tinkamai ir visi tarpiniai žingsniai (ruošiniai) iki galo ribos, testuojami traukimo testu.

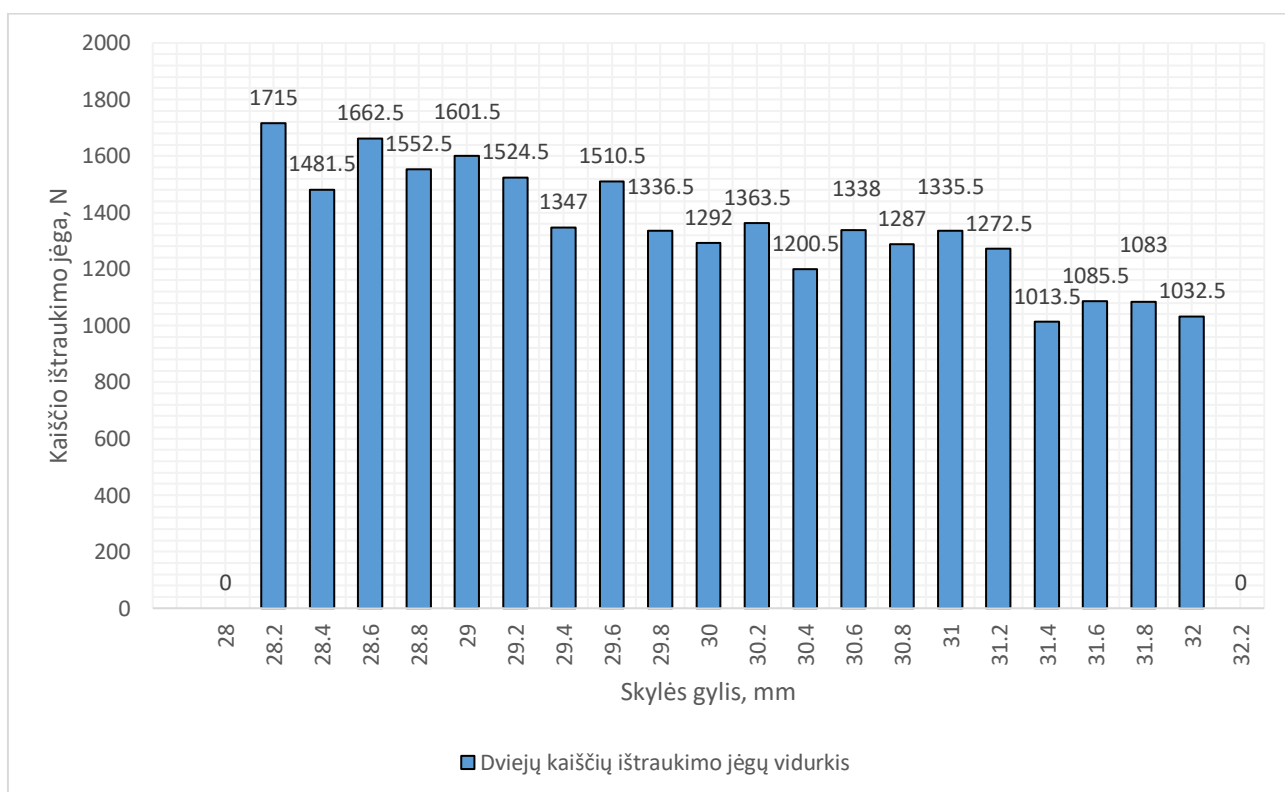
5.3. Eksperimentinio tyrimo sprendimai ir rezultatai

5.3.1. Lengvinta medienos drožlių plokštė

Tyrimui naudota plokštė „MDP LW (585)“ – 585 kg/m^3 tankio, lengvinta medienos drožlių plokštė. Tankis skaičiuotas sveriant vienodų išmatavimų ruošinius, o penkių atsitiktinai pasirinktų ruošinių tankių vidurkis užrašomas kaip bendras.

Baigus kaiščių suvirinimą ultragarsu ir traukimo testą, gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 1 priedą), o pagrindiniai kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 17 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm skersmens medienos gražtu su drožlių išpūtimu. Pagal surinktus duomenis pastebima, kad atsiranda ištraukimo jėgos priklausomybė nuo išgręžtos skylės plokštėje gylio. Tai patvirtina teoriją, kad kaiščio įsitvirtinimas medienos plokštėje priklauso nuo ertmės, kurioje virinant ultragarsu, susidariusi išsilydžiusi termoplastiko derva turi pasiskirstyti. Kuo skylės gylis didesnis, tuo silpnesnis suvirinto kaiščio įsitvirtinimas plokštėje ir jį lengviau ištraukti.

Taip pat pastebima, kad plokštėje suvirinimas vyksta sklandžiai, dažniausiai pasiekama gera suvirinimo kokybė – su šia plokšte lengva dirbti. Ištraukti kaiščiai – aplipę drožlėmis, o tai parodo, jog išsilydžiusi termoplastiko derva įsiskundė į plokštės ertmes ir apgaubė medienos daleles. Prasta suvirinimo kokybė pasižymi tuo, kad apsilydo kaiščio galvutė, tačiau pats kaištis nesugniuždomas.



17 pav. „MDP LW (585)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

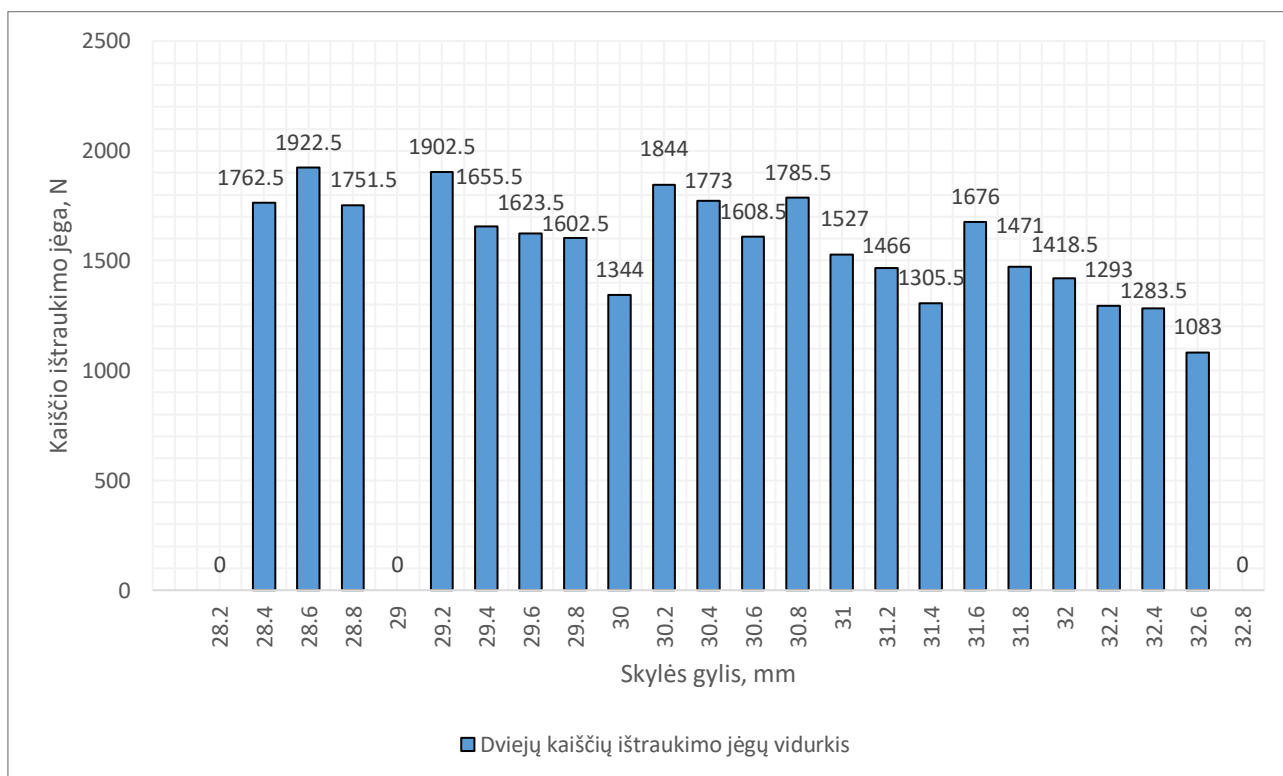
Pagal 17 pav. pateiktus duomenis matome, kad visais atvejais kaiščių ištraukimo jėga viršija 1000 N ribą (žiūrint į vidurkį). Taip pat matome, kad geriausi rezultatai, arčiausiai siekiamos 1500 N ištraukimo jėgos, gauti, kai skylės gylis nuo 28,2 mm iki 29,6 mm. Tačiau vertinant vizualinę patikrą, matome, kad geros kokybės suvirinimas gautas tik nuo 28,6 mm skylės gylio. Įvertinant ne vienodą plokštės tankio pasiskirstymą, pagal gautus duomenis, norint pasiekti gerą suvirinimo kokybę ir pakartojamumą, saugiausia gręžti 29 mm gylio skylę.

5.3.2. Standartinė medienos drožlių plokštė

Tyrimo metu naudota plokštė „MDP Standartas (630)“ – 630 kg/m³ tankio, standartinė medienos drožlių plokštė. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje

(žr. 2 priedą), o pagrindiniai duomenys pavaizduoti 18 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm skersmens medienos gražtu su drožlių išpūtimu.

Atliekant tyrimą, pastebėta, jog plokštėje kokybiškai suvirinti termoplastiko kaiščius yra sunkiau, dėl nuolat aplydomų kaiščių galvučių, tačiau patys kaiščiai su plokšte susilydo geriau – sudaro standesnes jungtis. Taip pat matoma, jog traukiant kaiščius, kai kurie jų nutrūksta – galvutė nulūžta nuo pagrindinio kūno (kaiščio koto) skylėje. Tai pastebėta mažesnio gylio skylėse ir ko gero vyksta dėl to, kad kaiščio kotas taip tvirtai susivirina su mediena, kad kaištis maksimalių įtempių zonoje tiesiog nutrūksta nepajėgęs ištraukti koto iš skylės.



18 pav. „MDP Standartas (630)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

Pagal gautus rezultatus matoma, jog didžiojoje dalyje bandinių, ištraukti kaiščiui prireikė didesnės nei ar artimos 1500 N jėgai, jėgos. Taip pat testavus porą bandinių, kuriuose gręžta 29 mm gylio skylė, gautas suvirinimo rezultatas buvo prastas, apsilydė kaiščio galvutės šonai ir dėl to kaiščio nebuvo įmanoma įstatyti į įrenginį „FR84“.

Pastebima, jog nebėra akivaizdžios tiesialinijinės kaiščio ištraukimo jėgos priklausomybės nuo išgręžtos skylės gylio. Duomenys labiau išsimėtę, tačiau ties mažiausiomis gylio parinktimis vis dar matomas didesnis kaiščio koto įsitvirtinimas skylėje nei žiūrint į bandinius, kuriuose gręžtos didžiausio gylio skylės.

Įvertinus vizualinės patikros rezultatus matoma, kad iki gylio 30,4 mm suvirinti kokybiškai kaištį sunku dėl mažos ertmės, kurioje termoplastiko derva turi pasiskirstyti. Norint pasiekti pakartojamą kokybišką suvirinimą, kur ištraukimo jėga viršija 1500 N, gręžiama skylė turėtų būti apie 30,8 mm gylio.

5.3.3. Sunkinta medienos drožlių plokštė

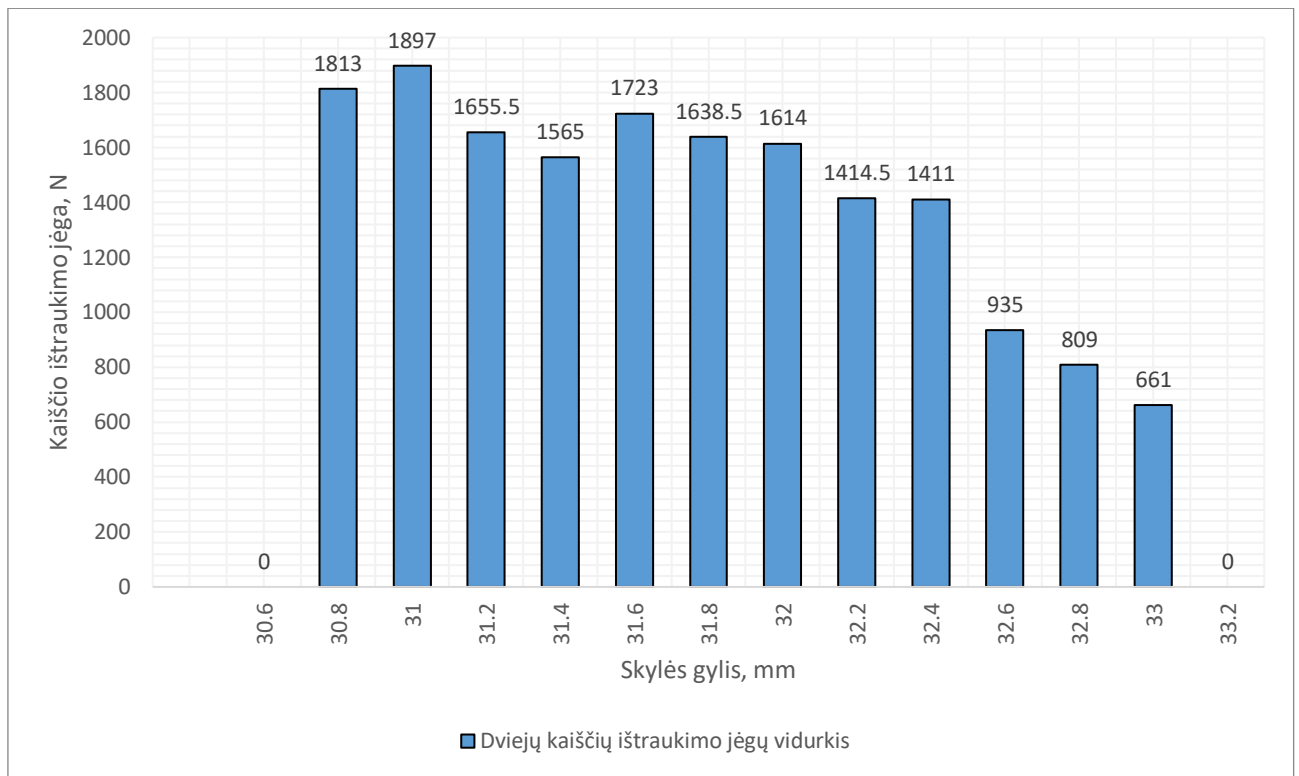
Tyrimo metu naudota plokštė „MDP Sunkinta (670)“ – 670 kg/m³ tankio, sunkinta medienos drožlių plokštė. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 3 priedą), o pagrindiniai duomenys pavaizduoti 20 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm skersmens medienos grąžtu su drožlių išpūtimu.

Tyrimo metu pastebėta, jog plokštėje kokybiškai suvirinti termoplastiko kaiščius yra labai sunku, gaunami rezultatai yra nepastovūs. Visą tai lemia aukštas plokštės tankis. Medienos dalelės tiek nesusispaudžia ir nejuda suvirinimo metu, kai kaištis spaudžiamas į plokštę, kiek juda mažesnio tankio plokštėse. Dėl šios priežasties, kaištis įstringa arba sunkiau lenda į Ø6 mm skylę, o to pasekmė – sulydyta ar visiškai deformuota kaiščio galvutė (žr. 19 pav.).



19 pav. Deformuota kaiščio galvutė po suvirinimo ultragarsu, sunkintoje medienos drožlių plokštėje

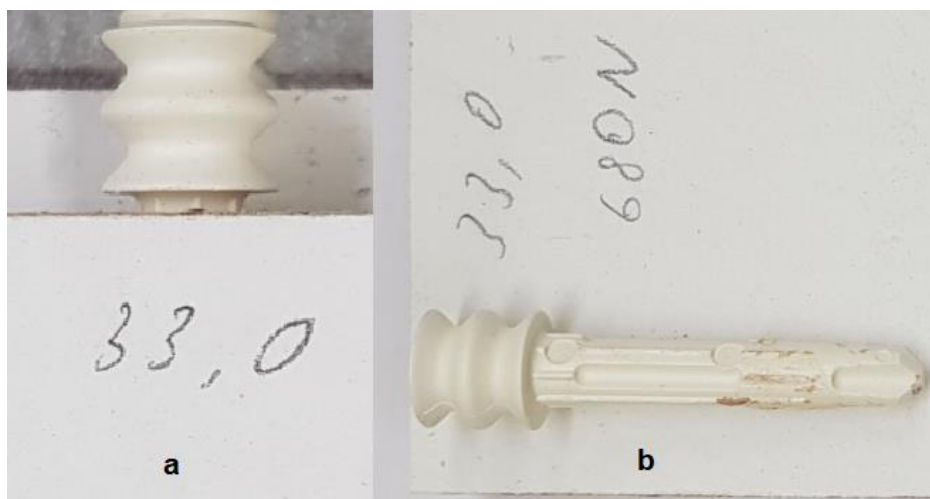
Galvutė virinimo proceso metu yra deformuojama, nes į ją remiasi „BRANSON 2000X“ darbinis antgalis ir po įstatymo į skylę, virindamas ultragarsu, stumia kaištį gilyn. Kaiščio kotas yra kūgiškas, ties sujungimu su galvute yra apie 6,5 mm diametro – platesnis nei skylės diameteras, o ties koto apačia yra apie 6,1 mm diametro. Todėl kišant kaištį į aukšto tankio plokštę – vyksta strigimas.



20 pav. „MDP Sunkinta (670)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

Rezultatai rodo, jog norint gerinti suvirinimo kokybę aukšto tankio plokštėse, gali tekti keisti ne tik skylių gylius, bet ir skersmenis, tokiu būdu didinant ertmę termoplastiko judėjimui. Taip pat, matoma, jog pasikartoja principas, kaip ir lengvintoje medienos drožlių plokštėje, kur kuo skylės gylis mažesnis, tuo tvirčiau susivirina kaištis (iki tam tikros ribos). Kaiščiai skylėje įsitvirtina gerai, 30,8–32 mm gylio ribose ištraukimo jėga viršija 1500 N, tačiau suvirinimo rezultatai šioje plokštėje yra nepastovūs žiūrint į kokybinius rodiklius, tad gręžti 6 mm diametro skylę reikėtų vengti. Ši plokštė parodė, jog aukšto tankio plokštėse reikalingas didesnio diametro grąžtas, kad kaištis galėtų lengviau judėti ir tinkamai įsitvirtinti.

Vertinant ištrauktus kaiščius, pastebima, jog kai kurie jų yra labai mažai susilydę ir minimaliai aplipę medienos dalelėmis (žr. 21 pav.). Taip pat pastebėta, jog dažnai kaiščiai nesustumiami pilnai į skylę, kad galvutė liestųsi su plokštės briauna. Tai rodo, jog kaiščiui netinka ertmė, kurioje turėtų pasiskirstyti išlydyto termoplastiko derva, kaištis nesilydo kaip turėtų ir suvirinama nekokybiškai.

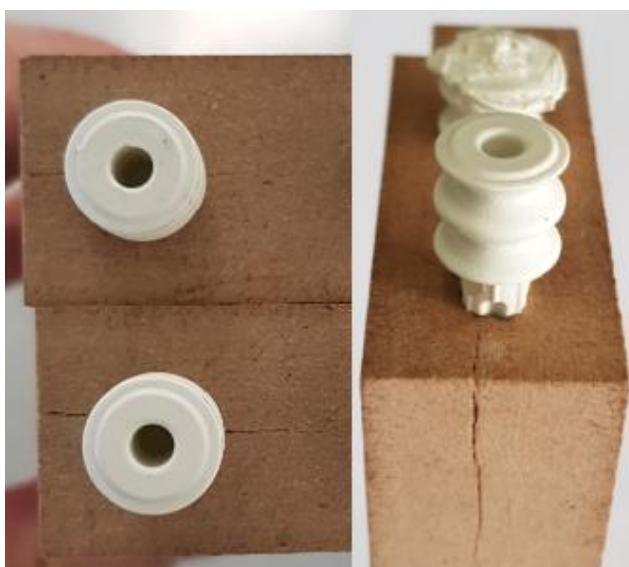


21 pav. a – ne pilnai į skylę sulindęs kaištis po suvirinimo operacijos; b – kaištis po ištraukimo iš sunkintos medienos drožlių plokštės

5.3.4. Standartinė medienos dulkių (plaušų) plokštė

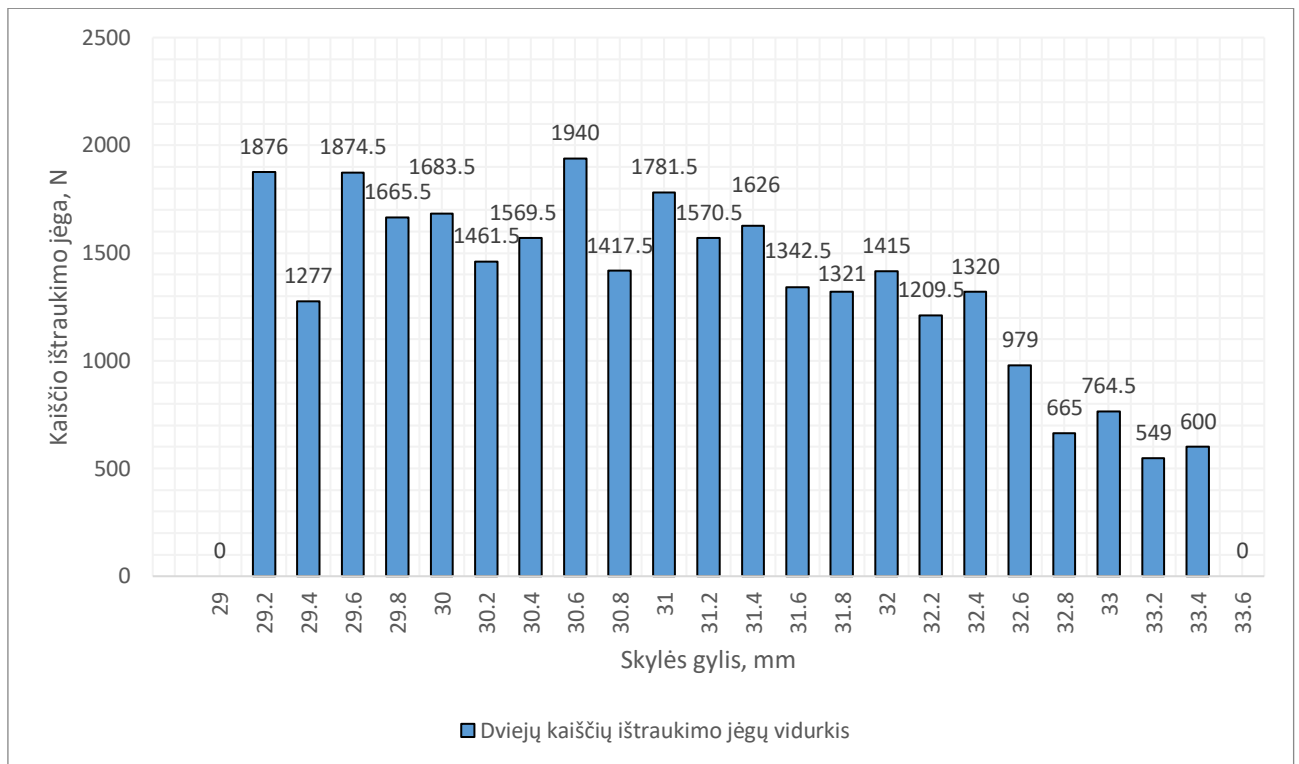
Tyrimui naudota plokštė „MDF Standartas (750)“ – 750 kg/m³ tankio, standartinė medienos dulkių (plaušų) plokštė. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 4 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 23 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos Ø6,3 mm medienos grąžtu su drožlių išpūtimu.

Pradžioje testo pabandyta gręžti 6 mm diametro skylę, kad įsitikinti ar tikrai reikalinga platesnė skylė, kaip buvo pastebėta dirbant su sunkinta medienos drožlių plokšte. Šie bandymai parodė dar vieną priežastį didelio tankio plokštėse gręžti didesnio diametro skylę – plokštės skilimas (žr. 22 pav.).



22 pav. Įskilimai medienos dulkių (plaušų) plokštėje

Tolesniems bandymams naudotas Ø6,3 mm grąžtas. Išanalizavus testo rezultatus (žr. 4 priedą), matoma, jog praplatinus skylę, suvirinti tapo lengviau, jungties kokybė ir vizualinė kaiščio išvaizda išlaikoma gera. Plokštėje suvirinimas vyksta sklandžiai, kaip lengvintoje medienos drožlių plokštėje.



23 pav. „MDF Standartas (750)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

Po didesnio diametro grąžto panaudojimo matome, kad aukšto tankio plokštėje kaiščiai įsitvirtina labai stipriai (žr. 24 pav.). O plokštės skilimas nebesikartoja. Didžioji dalis jungčių, skirtingo gylio skylėse, susivirina taip tvirtai, kad viršija 1000 N traukimo jėgą, o mažėjant skylės gyliui pastebimas dėsningumas jėgai augti. Peržengus 32,6 mm gylio ribą matoma, kad skylė per gili ir 35 mm ilgio kaiščio kotas turi per daug vietos skylės viduje, todėl kaištis prastai susivirina su aplink jį esančia mediena ir sudaro silpną jungtį (ištraukimo jėga <1000 N).



24 pav. Medienos dulkių plokštėje suvirinto termoplastiko kaiščio pjūvis

5.3.5. Sunkinta medienos dulkių (plaušų) plokštė

Tyrimo metu naudota plokštė „MDF PLUS (790)“ – 790 kg/m³ tankio, sunkinta medienos dulkių (plaušų) plokštė. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje

(žr. 5 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 26 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos $\varnothing 6,3$ mm medienos grąžtu su drožlių išpūtimu.

Panašiai, kaip ir standartinėje medienos dulkių plokštėje, po suvirinimo vizualiai matomi geri rezultatai, o pats suvirinimo procesas sklandus. Tačiau analizuojant 26 paveiksle pateiktus rezultatus matoma, kad didesnę nei 1500 N ištraukimo jėgą pasiekti virinant kaiščius šioje plokštėje labai sudėtinga. Galima manyti, kad tai nutiko dėl to, jog plokštė per daug tanki – išsilydžiusio termoplastiko derva nesugeba įsiskverbti į ertmes esančias tarp medienos dulkių dalelių. Taip teigiama, nes gręžtų skylių, kuriose virinami kaiščiai, gyliai yra beveik tie patys, kaip ir buvę standartinėje medienos dulkių plokštėje, skylių diametras taip pat vienodas, bet rezultatai labai skiriasi. Standartinėje medienos dulkių plokštėje ir sunkintoje medienos dulkių plokštėje suvirinti kaiščiai palyginimui pateikti 25 paveiksle. Matome, kad standartinės plokštės kaištis buvo geriau susivirinęs su mediena, prie jo prilipę daugiau plaušų.

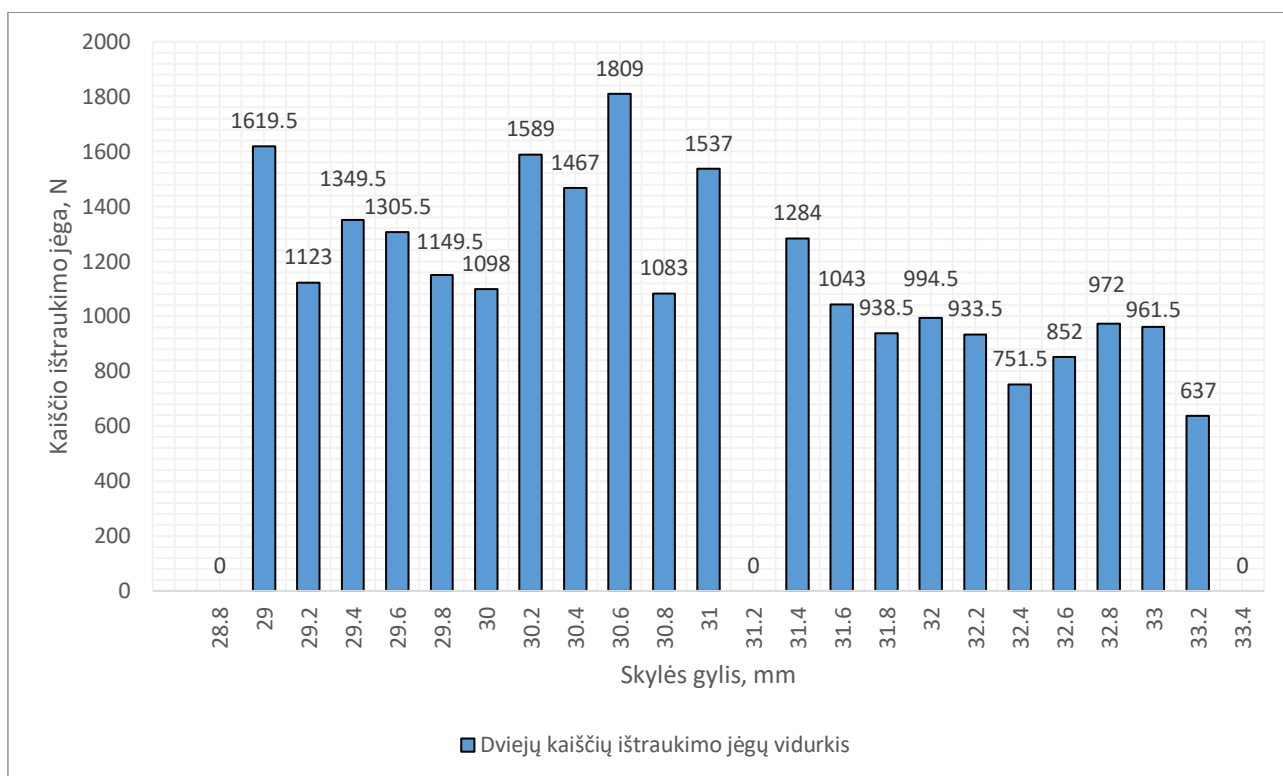


25 pav. a – kaištis ištrauktas iš „MDF Standartas (750)“ plokštės; b – kaištis ištrauktas iš „MDF PLUS (790)“ plokštės

Kaip pastebėta anksčiau aptarto mokslinio straipsnio [27] autorių, kontaktinio ploto dydis, ertmių ar gardelių tankis yra labai svarbus veiksnys, kalbant apie medžiagas, kurios virinimo metu, turi į jas sutekėti ir jose įsitvirtinti. Jei ertmės per didelės, termoplastiko derva suvirinimo metu pakankamai neįsitvirtina ir atsiranda rizika, kad traukiant kaištis lengvai išsitrauks. Priešingu atveju, kai ertmės per mažos, plokštės tankis per aukštas – termoplastiko derva suvirinimo metu nespėja sutekėti ir įsiskverbti į tarp plokštės dalelių esančias ertmes, nesusidaro mikromechaninės jungtys. O dėl to, kaištis neįsitvirtina pakankamai stipriai ir yra lengvai ištraukiamas. Todėl, manoma, jog taip nutiko šiuo atveju, dėl per aukšto plokštės tankio (790 kg/m^3).

Virinant kelis ruošinius, kuriuose buvo išgręžta 31,2 mm gylio skylė, visi bandymai buvo nesėkmingi – įranga nesuvirino kaiščio, ciklas neįvykdytas. Taip gali nutikti dėl ne vientisos kūno kuriame virinama sandaros. Norint sudaryti kokybišką ir tvirtą jungtį, geriausias skylės gylis virinant sunkintoje medienos dulkių plokštėje turėtų būti 30,2-30,6 mm. Dėl duomenų nepastovumo ir šuolių, norint gauti geros kokybės, tvirtą jungtį, palankiausia būtų rinktis mažiau tankią plokštę. Tačiau tokio tankio plokštės panaudojimas įrodė, kad kontaktinio ploto dydis (skylės geometrija, ertmių skylėje

tankumas ir dydis) yra labai svarbus veiksnys virinant medžiagą, kurios derva turi įsiskverbti ir įsitvirtinti kitoje medžiagoje.



26 pav. „MDF PLUS (790)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

5.3.6. Medienos drožlių plokštė „PB1“

Tyrimo metu naudota „PB1 (555)“ – 555 kg/m³ tankio, medienos drožlių plokštė. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 6 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 29 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm diametro medienos grąžtu su drožlių išpūtimu.

Prieš pradėdant tyrimą ir bandymus, gaminant plokštės ruošinius, buvo pastebėta, jog plokštė labai trupa. Plokštės tankis mažas, o medienos dalelės joje gan didelės, todėl plokštė nėra labai stipri ar patvari.

Virinant kaiščius ultragarsu pastebėta, kad darbinis ciklas įvykdomas lengvai, po suvirinimo kaiščių galvutės nepažeidžiamos, o skylių gylio diapazonas norint gauti gerą vizualinę kokybę – platus. Taip pat po kaiščių traukimo testo matoma, kad kaiščiai ištraukiami su labai daug prisivirinusiu plokštės dalelių ant koto (žr. 27 pav.). Pagal tai galima spręsti, jog išsilydžiusi termoplastiko derva, suvirinimo metu, subėga į plokštės skylėje esančias ertmes ir apgaubia daleles, o aušdama sudaro standžią jungtį.



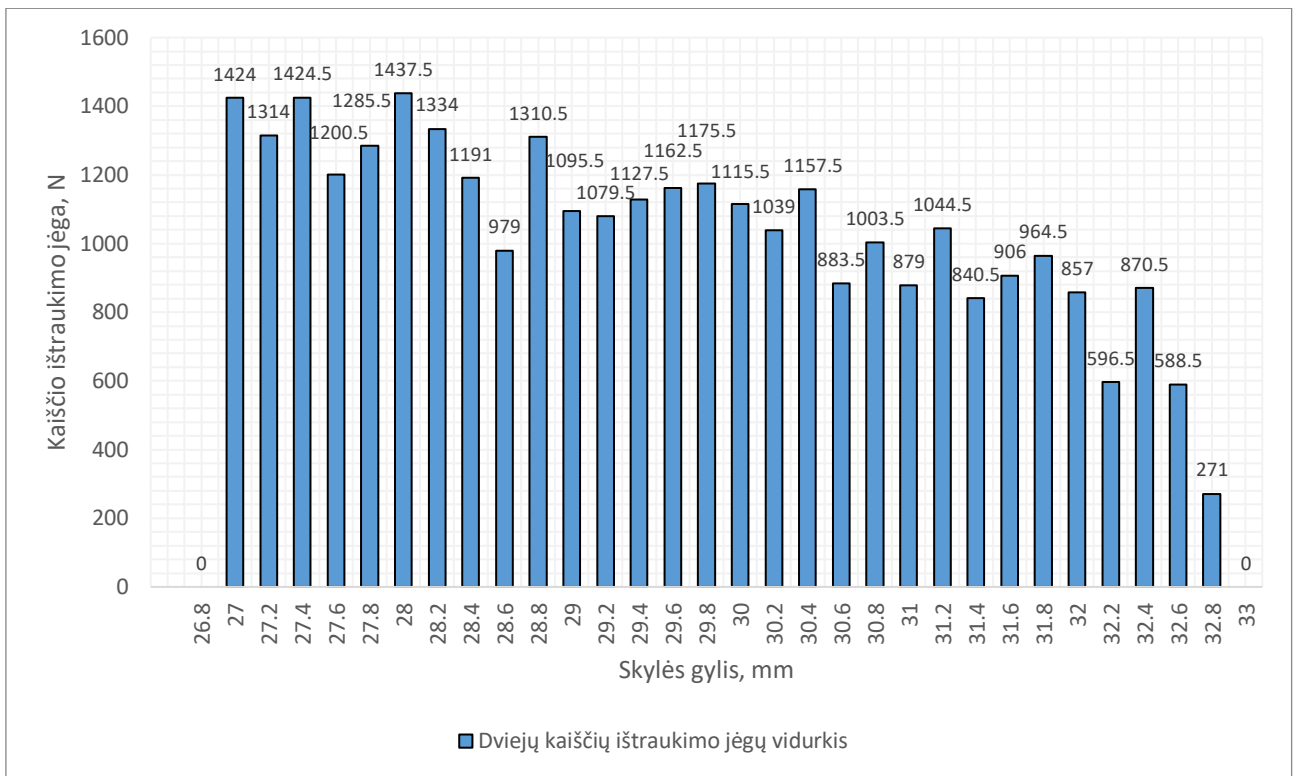
27 pav. Kaiščiai ištraukti iš „PB1“ plokštės

Kaip ir analizuojant jungtis kitose plokštėse, pastebėta kaiščio ištraukimo jėgos priklausomybė nuo gręžtos skylės gylio. Apžvelgiant rezultatus bendrai – kuo skylė gilesnė, tuo mažesnės jėgos prireikia kaiščiui ištraukti. Įvertinus kaiščių traukimo testo rezultatus, matoma, jog plokštės trapumas turi neigiamą poveikį plokštėje sudarytoms suvirintoms jungtims. Traukiant kaištį, nors jis ir būna tvirtai susivirinęs su aplink jį esančiomis medienos drožlėmis, drožlės esančios tolesniuose sluoksniuose yra nesuvaržytos pakankamai stipriai ir kaištis tiesiog išslysta iš plokštės. Tyrimo metu, traukiamas kaištis neretai pastebimai išjudindavo ir tolesniuose sluoksniuose esančias medienos drožles (žr. 28 pav.), o tai įrodo, kad šios plokštės tankis per mažas ir plokštės medienos drožlės ne pakankamai tvirtai surištos viena su kita.



28 pav. Vizualiai matomos išjudintos drožlės ruošinio gale, po kaiščių ištraukimo

29 paveiksle matomos šio proceso ir plokštės trapumo pasekmės. Aukštesnę nei 1500 N kaiščio ištraukimo jėgą pasiekti yra beveik neįmanoma. Nors aukštesnė jėga nei 1000 N pasiekama, tačiau dėl plokštės trapumo, sunku užtikrinti, jog ištraukus vieną kaištį, kitas kaištis bus identiškai įsitvirtinęs plokštėje. Todėl, gamyboje, virinimo ultragarsu procese šios plokštės reikėtų vengti. Parametrai labai priklauso nuo plokštės dalelių išsidėstymo jos tūryje, o to kontroliuoti operatorius virinantis kaiščius negali.



29 pav. „PB1 (555)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

5.3.7. Medienos drožlių plokštė „PB2“

Tyrimo metu naudota plokštė „PB2 (650)“ – 650 kg/m³ tankio, medienos drožlių plokštė. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 7 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 31 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm diametro medienos grąžtu su drožlių išpūtimu.

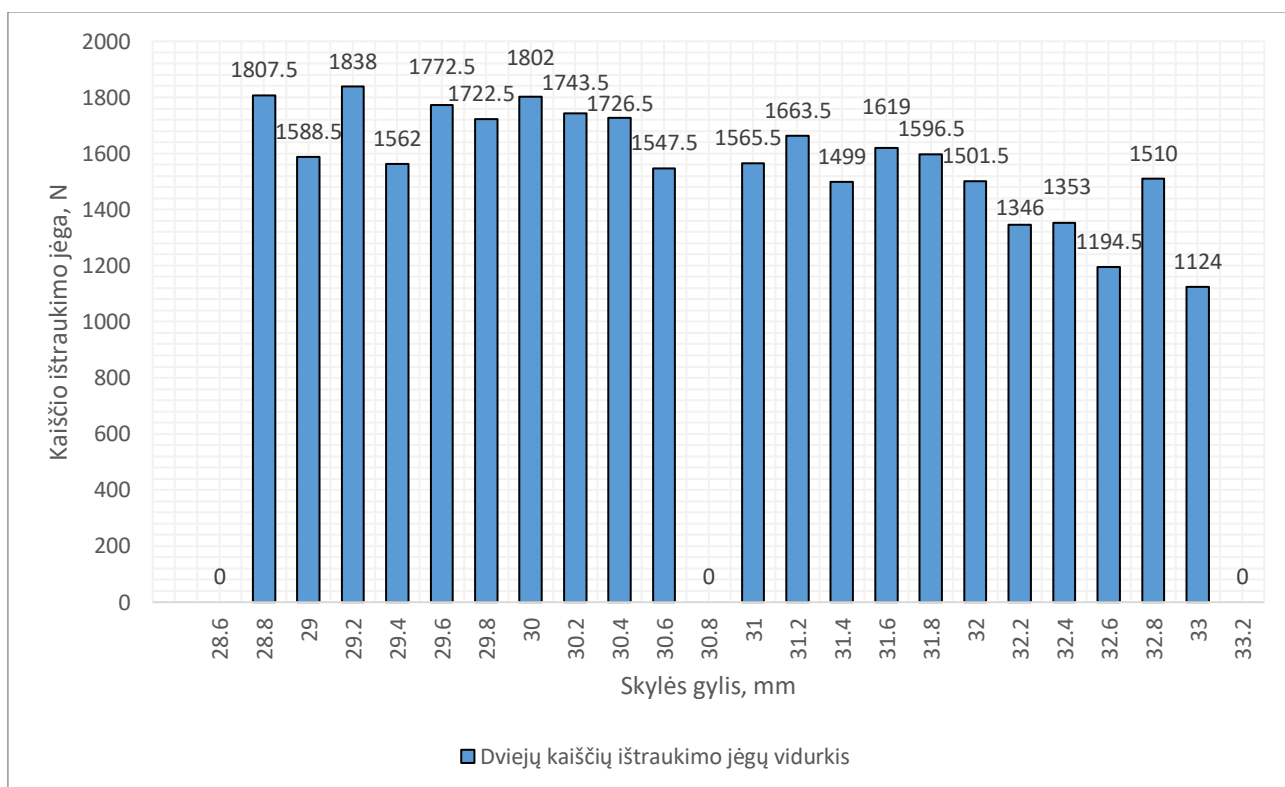
Matome, kad šios plokštės tankis yra tarp standartinės ir sunkintos medienos drožlių plokštės tankio. Pagal gautus suvirinimo vizualinės patikros bei kaiščių traukimo rezultatus, galima teigti, jog naudojamas 6 mm diametro medienos grąžtas šiai plokštei yra tinkamas. Taip teigiama todėl, kad įvertinus suvirinimo kokybę, matome, jog dauguma jungčių yra geros vizualios kokybės, o ištraukimo jėga, vertinant vidurkius, yra visada aukštesnė nei 1000 N. Didžiąjai daliai ištrauktų kaiščių prireikė aukštesnės nei 1500 N traukimo jėgos, todėl matome, jog „PB2“ plokštėje kaiščiai labai gerai suvirinami, puikiai susilieja į medienos poras ir apibendrinus – ši plokštė tinkama virinti termoplastiko kaiščius ultragarsu. Traukiant kaiščius 28,8 mm bei 29 mm gylio skylėse, vyko kaiščių nutrūkimas (lūžimas), o tai rodo, jog kaiščio kotas tikrai gerai ir tvirtai suvirintas su plokšte (žr. 30 pav.).



30 pav. Nutrūkusios kaiščių galvutės po traukimo testo „PB2 (650)“ plokštėje

Kaip ir anksčiau naudotose plokštėse, rastas skylės gylis, kuriame nepavyko suvirinti kaiščių. Šiuo atveju tai yra 30,8 mm gylio skylė (žr. 31 pav.). Tai ko gero įvyksta dėl įrangos, kuri netinkamai sureaguoja į tam tikrus parametrus (skylės gylį, kaiščio įstatymo lengvumą, pasipriešinimą prispaudimui ar virinimui) ir dėl to neįvykdo pilno darbinio suvirinimo ciklo. Tai yra retas reiškinys, tačiau gamyboje su juo susiduriama.

Taip pat pastebėta, jog šioje plokštėje, mažinant skylės gylį nuo 30,6 mm – gaunamos labai stiprios jungtys, kaiščiams ištraukti reikalinga labai didelė jėga (>1500 N). Tačiau ne visada šiose ribose suvirinami kaiščiai yra geros kokybės. Dėl to, norint pasiekti aukštą ištraukimo jėgą bei kokybišką suvirinimą, rekomenduojama rinktis 31–31,6 mm gylio skylės gręžimą.



31 pav. „PB2 (650)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

5.3.8. Medienos drožlių plokštė „ECO 1“

Tyrimo metu naudota plokštė „ECO 1 (660)“ – 660 kg/m³ tankio, naujos kartos, atspari drėgmei, medienos drožlių plokštė, kurios rišančioji medžiaga yra krakmolos. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 8 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 33 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm diametro medienos grąžtu su drožlių išpūtimu.

Dėl mažo turėto plokštės kiekio, gręžimas ruošiniuose buvo gilinamas po 0,3 mm tam, kad greičiau surasti ribas, kuriose visiškai nebeįmanoma suvirinti kaiščio su mediena.

Dirbant su plokšte buvo pastebėta, jog jos tankis artimas sunkintai medienos drožlių plokštei, tačiau kaiščiai virinasi kaip lengvintoje plokštėje. Prastas rezultatas vizualinės patikros metu buvo žymimas

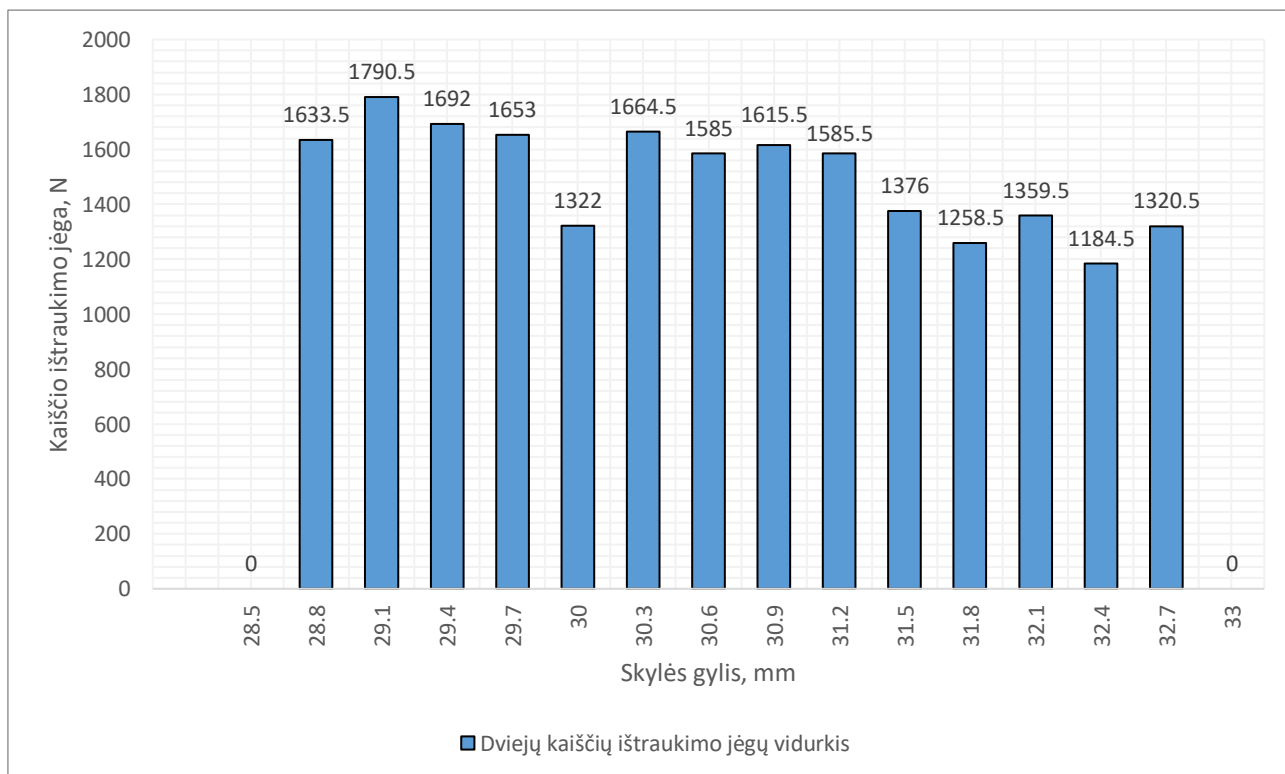
tik dėl aplydytų kaiščių viršūnėlių, tačiau sulydymas toks mažas ir sunkiai pastebimas, kad kaiščiai savo funkciją toliau atliko puikiai.

Kaiščiai buvo susivirinę su plokštės medienos dalelėmis ir suskystėjusi termoplastiko derva puikiai sunkėsi į ertmes skylėse, tai matėsi ištraukus kaištį, nes jis būdavo visas tankiai aplipęs drožlėmis (žr. 32 pav.).



32 pav. Kaištis ištrauktas iš "ECO 1" plokštės

Taip pat buvo pastebėta, kad nors plokštė laikyta su kitomis medienos drožlių plokštėmis toje pačioje patalpoje, „ECO 1“ plokštės drėgmė buvo šiek tiek aukštesnė – apie 6,2 proc. Su šiais ruošiniais buvo lengva dirbti ir geriausias suvirinimo stiprumo ir vizualios kokybės santykis gautas gręžiant 30,3–31,2 mm gylio skylės.

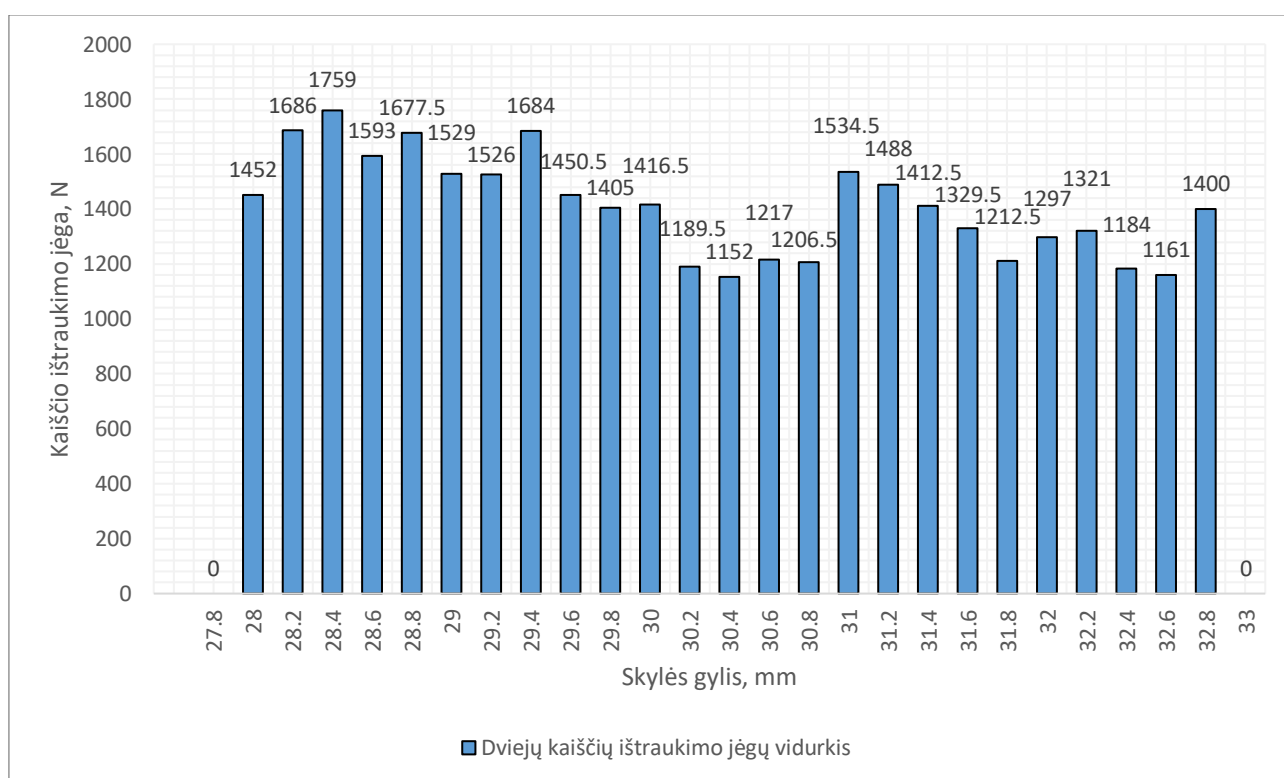


33 pav. „ECO 1 (660)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

5.3.9. Lengvinta parafininė medienos drožlių plokštė

Tyrimo metu naudota plokštė „MDP LW Parafin. (590)“ – 590 kg/m³ tankio, lengvinta parafininė medienos drožlių plokštė. Ši plokštė atsparesnė drėgmės poveikiui, nes joje 4 % daugiau rišančiosios medžiagos – parafino. Tyrimo tikslas yra palyginti šią parafininę plokštę su ne atsparia drėgmei lengvinta medienos drožlių plokšte. Norima išsiaiškinti ar papildomas parafino kiekis turi įtakos suvirinto termoplastiko ir medienos plokštės jungties kokybei. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 9 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 34 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm diametro medienos gražtu su drožlių išpūtimu.

Pastebėta, kad suvirinimas vyksta sklandžiai, kaip su paprasta lengvinta medienos drožlių plokšte, dažniausiai pasiekiami gera suvirinimo kokybė. Ištraukus kaiščius matoma, jog jie mažiau aplipę drožlėmis nei kaiščiai ištraukti iš ne parafininės medienos drožlių plokštės. Tačiau tai nereiškia, kad kaiščiai yra prasčiau įsitvirtinę plokštėje. Pagal kaiščių ištraukimo testų rezultatus (žr. 34 pav.) matoma, kad lyginant kaiščių ištraukimo jėgas iš vienodo gylio skylių abiejose plokštėse, jos yra labai panašios (skirtumas svyruoja apie 100–250 N ribose). Parafininė plokštė yra truputį tankesnė nei ne parafininė plokštė, jos sandara yra kitokia, o dėl to termoplastiko derva suvirinimo metu gali tvirtintis skylės ertmėse skirtingai. Verta paminėti, jog parafininės plokštės skirtingų gylių skylių, kuriose vis dar suvirinami kaiščiai intervalas yra platesnis nei paprastos lengvintos medienos drožlių plokštės.



34 pav. „MDP LW Parafin. (590)“ plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

Norint pasiekti gerą suvirinimo kokybę su stipria jungtimi, geriausia šioje plokštėje virinti 28,4–29,4 mm intervale. Gręžiant didesnio nei 30 mm gylio skylės, nereikėtų tikėtis jungties, kurios ištraukimo jėga aukštesnė nei 1500 N. Kadangi visais atvejais testo metu buvo gauta aukštesnė nei 1000 N kaiščių ištraukimo jėga, ši plokštė tinkama naudoti gamybos procesuose.

5.3.10. Standartinė medienos drožlių plokštė, laikyta aukštoje drėgmėje

Tyrimo metu naudota plokštė „MDP Standartas (630)“ – 630 kg/m³ tankio, standartinė medienos drožlių plokštė, kuri 24 valandas laikyta padidintos drėgmės bei temperatūros (85 % drėgmė, 28 °C) sąlygomis. Baigus kaiščių virinimą ir traukimo testą gauti rezultatai surašyti dokumentacijoje (žr. 10 priedą), o kaiščių traukimo testo duomenys pavaizduoti 36 paveiksle. Šioje plokštėje skylės gręžtos 6 mm diametro medienos gražtu su drožlių išpūtimu.

Šis tyrimas atliekamas dėl anksčiau aptartos mokslinės medžiagos [22] autoriaus pastebėjimų, jog didesnis drėgmės kiekis medžiagose turėjo neigiamą įtaką jungčių kokybei. Norint patikrinti ar šie pastebėjimai yra teisingi – naudojami ruošiniai iš tos pačios plokštės, kaip naudoti ankstesniame tyrime su „MDP Standartas (630)“ plokšte, kurioje drėgmė <5,5 %. Šių ruošinių vidinė drėgmė, po laikymo aukštesnės drėgmės bei temperatūros sąlygomis, pakilo iki 10,7–12 %.

Po išlaikymo drėgmėje, ruošiniai išsipūtė ir tapo storesni nei 16 mm, tačiau skylės buvo gręžiamos per apskaičiuotą storio centrą. Norint įvertinti ar yra pastebimas skirtumas suvirinimo procese bei suvirintų jungčių kokybėje, tyrimas atliekamas lygiai taip pat, kaip su kitomis, mažiau drėgnomis plokštėmis.

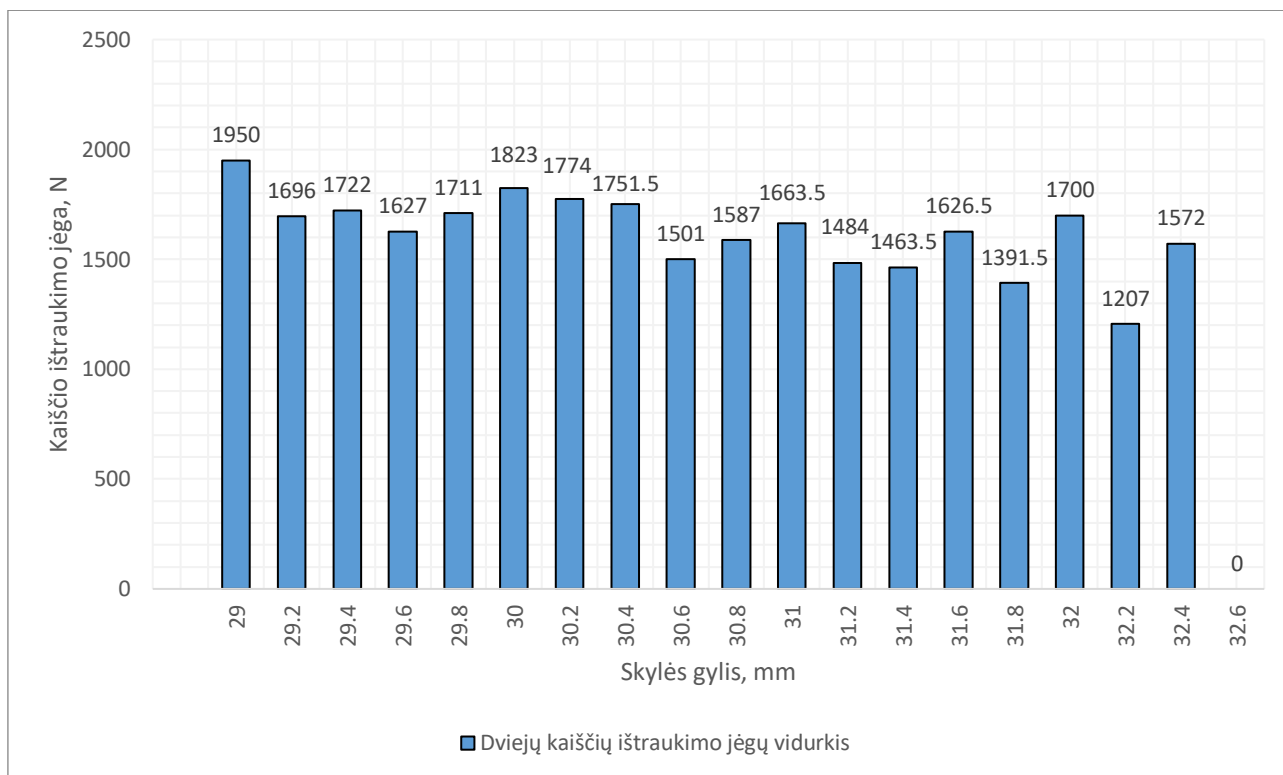
Pradėjus virinti kaiščius ultragarsu, iškart pastebėta, kad kaiščiai žymiai sunkiau virinasi, dažnai neįvykdomas pilnas darbinis ciklas, visiškai nesuvirinama ir nesudaroma jungtis (žr. 10 priedą), dažnai sulydomos ir deformuojamos kaiščių galvutės (žr. 35 pav.).



35 pav. Sulydytos ir deformuotos kaiščių galvutės

Vizualinės patikros rezultatai rodo, kad suvirinimo metu labai sunku pasiekti gerą kokybę. Dažnai pasikartojantis kaiščio nesuvirinimas ar deformavimas rodo duomenų nepastovumą – sunku rasti ribą, kurioje užtikrintai pasiekiamas geras rezultatas. Su drėgna plokšte našiai dirbti beveik neįmanoma, kadangi kiekvienas bandymas yra nenuspėjamas ir pateikia skirtingus rezultatus. Nors pagal 35 paveikslo duomenis atrodo, jog pasiekama gan aukšta ištraukimo jėga, sunku duomenis lyginti. Taip yra todėl, nes jei bent vienas kaištis suvirinamas gerai, jo ištraukimo jėga įrašoma į vidurkį, tačiau atsižvelgiant į vizualinės patikros duomenis matome, kad tas ruošinys netinkamas kokybiškam darbui.

Dėl šios plokštės suvirinimo rezultatų matome, kad ištraukimo jėgos priklausomybė nuo gręžtos skylės gylio yra mažiau pastebima. Abiejuose skylių gylio intervalo galuose pasiekama panašaus dydžio jėga, o pats intervalas, lyginant su sausąja plokšte yra pastebimai mažesnis.



36 pav. „MDP Standartas (630)“ drėgmėje laikytos plokštės kaiščių ištraukimo testo rezultatai

Galiausiai reikėtų pridurti, jog dirbant su medienos plokštėmis, privaloma atkreipti dėmesį į tai, kokiomis sąlygomis jos sandėliuojamos, o prieš naudojimą būtų naudinga matuoti plokščių drėgmę. Suvirinimo ultragarsu operacija yra labai jautri, reikalaujanti tikslumo, o padidėjęs drėgmės kiekis plokštėje gali lemti prastos kokybės rezultatą, didesnę medžiagos sunaudojimą dėl broko atsiradimo.

6. Rekomendacijos

Atlikus kaiščių ištraukimo testus, suvirintų jungčių analizę, buvo pastebėta sričių ar vietų, kur būtų galima surinkti daugiau informacijos ir toliau tirti, gilinti žinias suvirinimo ultragarsu srityje. Šių rekomendacijų tikslas yra paskatinti ateityje plačiau tirti šią temą, pildyti jau atliktus ar atlikti naujus tyrimus bei nukreipti tyrėją naujų, neištirtų sričių link. Baigus šį darbą, pastebėta, kad termoplastikų suvirinimas ultragarsu medienos plokštėse yra tikrai plati, mažai nagrinėta sritis, kurią tirti ir tobulinti būtų naudinga dėl technologijų tobulinimo, baldų ar medienos bei kitų gamybos pramonės šakų keitimo ir modernizavimo galimybių.

Rekomendacijos tolesniems tyrimams:

- Šio baigiamojo projekto tyrimai buvo atliekami gręžiant skylę neuždengtoje (atviroje) plokštės briaunoje. Būtų pravartu atlikti tyrimus, kai skylė išgręžiama ir kaištis įstatomas į skylę briaunoje, kuri padengta danga. Kadangi baldų pramonėje plačiai naudojamos skirtingų storių ABS plastiko, popierinės klijuojamos briaunos, jos gali trukdyti kaiščiui sulįsti į skylę virinimo metu ar sudaryti kitokias problemas. Dėl didesnio ABS plastiko tankio, nei medienos plokštės tankis, išgręžta skylė būtų tos pačios formos, tačiau lendant kaiščiui ABS plastikas neprasilpėtų kiek pati plokštė ir dėl to kaištis gali strigti suvirinimo metu.
- Šiame darbe ištirtas tam tikras kiekis įvairių medienos plokščių. Kadangi skirtingi gamintojai gamina skirtingos struktūros, tankio, kokybės medienos drožlių ar dulkių plokštes – būtų galima tirti suvirinimą ultragarsu kitose plokštėse. O ypač aktualu turėtų būti tirti suvirinimą ir parametrus medžio masyvo plokštėse. Pušis, beržas, uosis yra plačiai naudojami baldų pramonėje, todėl išsiaiškinti virinimo ultragarsu šiose medžiagose galimybes būtų naudinga.
- Dar vienas pakeitimas, kuris gali būti atliekamas tiriant suvirinimą medienos plokštėse – laiptuotų skylių gręžimas. Kadangi termoplastiko kaištis didžiąja dalimi susivirina ir įsitvirtina apatinėje kaiščio koto dalyje, būtų galima gręžti laiptuotą skylę, kurios giliausia vieta yra siauresnė nei viršus. Tada, manoma, kad kaištis įsistatytų į plokštę lengviau, tačiau susivirintų tvirtai ar gal net tvirčiau, nei šiame projekte tirtos jungtys.
- Taip pat būtų galima išbandyti kaiščius, kurie pagaminti iš kitokių termoplastikų. Pavyzdžiui, ABS plastikas yra gerų savybių medžiaga, kuri lengvai virinama ultragarsu. Todėl surinkus duomenis apie jungtis su PA66 termoplastiko kaiščiais būtų galima tą patį tyrimą atlikti su ABS termoplastiko kaiščiais ir nuspręsti ar gaunami rezultatai geresni, ar prastesni.

Išvados

1. Ultragarsu suvirinus termoplastiko kaiščius skirtingose medienos plokštėse, pastebėtas dėsningumas, kad didžiojoje dalyje plokščių, didinant gręžtos skylės gylį, mažėjo kaiščio ištraukimo jėgos dydis ir atvirkščiai, mažinant gylį, reikalinga kaiščiui ištraukti jėga – didėjo. Taip pat pastebėta, jog pagal plokštės tankį reikia parinkti visus parametrus, kurie veikia suvirinimo kokybę. Jei plokštės tankis per didelis, plokštė gali įskilti, kaištis joje gali nesusivirinti kokybiškai, todėl verta parinkti didesnio skersmens ar kitokio gylio skylę, kitą virinimo programą.
2. Suvirintos jungties kokybei didžiausią įtaką turi medienos plokštės tankis, dalelių surišimo kokybė, išgręžtos skylės gylis bei skersmuo. Išgręžtos skylės kontaktinio ploto dydis (skylės geometrija, ertmių skylėje tankumas ir dydis) yra labai svarbus, nes išsilydžiusio termoplastiko derva privalo turėti pakankamai erdvės, kur įsiskverbti ir įsitvirtinti, norint sudaryti tvirtą jungtį.
3. Anksčiau aptartos mokslinės medžiagos autorius pastebėjo, jog didesnis drėgmės kiekis medžiagose turi neigiamą įtaką jungčių kokybei [22]. Atlikus tyrimą su standartine medienos drožlių plokšte, kurios drėgmė dvigubai didesnė nei įprastos plokštės, pastebėta, kad kaiščiai žymiai sunkiau virinasi, dažnai neįvykdomas pilnas darbinis ciklas, visiškai nesusivirinama ir nesudaroma jungtis, dažnai sulydomos ir deformuojamos kaiščių galvutės. Dėl šių priežasčių, teiginys, kad drėgmė neigiamai veikia jungčių kokybę yra teisingas.
4. Dirbant su „ECO 1“ plokšte buvo pastebėta, jog jos tankis artimas sunkintai medienos drožlių plokštei, tačiau kaiščiai virinasi kaip lengvintoje plokštėje. Tai reiškia, kad lengvai pasiekama gera suvirinimo kokybė, sudaromos stiprios termoplastiko ir plokštės jungtys. Nors plokštės dalelių rišančioji medžiaga yra krakmolai – tai neigiamos įtakos suvirinimo operacijai neturi ir plokštė yra tinkama naudoti joje virinant termoplastiko kaiščius ultragarsu.

Literatūros sąrašas

1. Lietuvos baldų gamybos pramonė. [interaktyvus]
[žiūrėta 2019 – 04 – 05]. Prieiga per:
https://www.versli Lietuva.lt/uploads/media/59d5df393ef94/2017.10.05_baldu_pramone.pdf
2. PUKELIENĖ, Violeta; KARALIŪTĖ, Akvilė. Automatizuotų technologijų įtaka darbo paklausos pokyčiams Lietuvoje. Taikomoji ekonomika: sisteminiai tyrimai= Applied economics: systematic research. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas, 2016, T. 10, nr. 2, 2016.
3. BREHENY, Mary; STEPHENS, Christine. Spending time: The discursive construction of leisure in later life. *Annals of Leisure Research*, 2017, 20.1: 39-54.
4. JANKAUSKAITĖ, Virginija. Plastikų terminio formavimo metodai. Kaunas: KTU leidykla „Technologija“, 2016. ISBN 9786090212295.
5. DIZDAR, Nihat, et al. *Anchoring a joining element in an object*. U.S. Patent Application No 15/517,005, 2017.
6. RAZA, Syed Farhan. Ultrasonic welding of thermoplastics. 2015. PhD Thesis. University of Sheffield.
7. BENATAR, A. Ultrasonic welding of plastics and polymeric composites. In: *Power Ultrasonics*. Woodhead Publishing, 2015. p. 295-312.
8. ŠNIUOLIS, Raimondas. Medžiagų inžinerija, Vilnius. BMK leidykla, 2014. ISBN 978-609-468-007-6.
9. GAMAGE, N.; SETUNGE, S. Modelling of vertical density profile of particleboard, manufactured from hardwood sawmill residue. *Wood Material Science & Engineering*, 2015, 10.2: 157-167.
10. GAILIUS, Albinas; VĖJELIS, Sigitas. Akustinės ir termoizoliacinės medžiagos. Vilnius „Technika“, 2012. eISBN 978-609-457-395-8.
11. COSTA, Anahi Pereira da, et al. A review of welding technologies for thermoplastic composites in aerospace applications. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2012, 4.3: 255-265.
12. ESLAMI, Shayan; TAVARES, Paulo J.; MOREIRA, P. M. G. P. Friction stir welding tooling for polymers: review and prospects. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, 89.5-8: 1677-1690.
13. SHI, L.; WU, C. S.; LIU, X. C. Modeling the effects of ultrasonic vibration on friction stir welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, 222: 91-102.
14. TROUGHTON, Michael J. Handbook of plastics joining: a practical guide. William Andrew, 2009.
15. Headlight Assembly. [interaktyvus]
[žiūrėta 2019 – 04 – 12]. Prieiga per:
https://www.buyautoparts.com/autoparts/HeadLight_Assembly
16. When Vibration Welding is the Best Choice. [interaktyvus]
[žiūrėta 2019 – 04 – 12]. Prieiga per:
<https://plasticsdecorating.com/articles/2016/when-vibration-welding-is-the-best-choice/>
17. About Linear Vibration Welding. [interaktyvus]
[žiūrėta 2019 – 04 – 12]. Prieiga per:

- <http://www.forwardtech.com/plastic-assembly/vibration-welders/about-linear-vibration-welding>
18. KLEIN, Rolf. Laser welding of plastics: Materials, processes and industrial applications. John Wiley & Sons, 2012.
 19. How Does Laser Plastic Welding Work? [interaktyvus]
[žiūrėta 2019 – 04 – 10]. Prieiga per:
https://www.lpkfusa.com/products/laser_plastic_welding/learn_about_laser_plastic_welding/
 20. GERBER, Christophe; GFELLER, Balz. Joint connection with welded thermoplastic dowels and Wood Welding Technologies. In: World Conference on Timber Engineering. Conference proceedings. British Columbia, Canada. 2011.
 21. VILLEGAS, Irene Fernandez; BERSEE, Harald EN. Ultrasonic welding of advanced thermoplastic composites: An investigation on energy-directing surfaces. *Advances in Polymer Technology*, 2010, 29.2: 112-121.
 22. RAZA, Syed Farhan. Ultrasonic welding of thermoplastics. 2015. PhD Thesis. University of Sheffield.
 23. VILLEGAS, Irene Fernandez. Strength development versus process data in ultrasonic welding of thermoplastic composites with flat energy directors and its application to the definition of optimum processing parameters. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2014, 65: 27-37.
 24. RANI, R. M., et al. A statistical study of parameters in ultrasonic welding of plastics. *Experimental Techniques*, 2007, 31.5: 53-58.
 25. WAGNER, Guntram; BALLE, Frank; EIFLER, Dietmar. Ultrasonic welding of hybrid joints. *Jom*, 2012, 64.3: 401-406.
 26. FLOCK, Dea, et al. Ultrasonic welding of hybrid metal-plastic components with flame spraying of adhesion layer. *Journal of Plastics Technology*, 2011, 7.
 27. YEH, Ren-Yu; HSU, Ray-Quen. Development of ultrasonic direct joining of thermoplastic to laser structured metal. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2016, 65: 28-32.
 28. GANN Hydromette BL H 40. [interaktyvus]
[žiūrėta 2019 – 11 – 24]. Prieiga per:
<https://webshop.schachermayer.com/cat/de-AT/product/gann-hydromette-bl-h-40-fuer-holzfeuchte-messbereich-5-40/101167882>

Priedai

1 priedas. MDP LW (585)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDP LW (585)	1.	<5.5	28	P	-	-	-
MDP LW (585)	2.	<5.5	28.2	G/P	1715	-	1715
MDP LW (585)	3.	<5.5	28.4	G/P	1642	1321	1481.5
MDP LW (585)	4.	<5.5	28.6	G	1659	1666	1662.5
MDP LW (585)	5.	<5.5	28.8	G	1483	1622	1552.5
MDP LW (585)	6.	<5.5	29	G	1595	1608	1601.5
MDP LW (585)	7.	<5.5	29.2	G	1454	1595	1524.5
MDP LW (585)	8.	<5.5	29.4	G	1345	1349	1347
MDP LW (585)	9.	<5.5	29.6	G	1569	1452	1510.5
MDP LW (585)	10.	<5.5	29.8	G	1473	1200	1336.5
MDP LW (585)	11.	<5.5	30	G	1288	1296	1292
MDP LW (585)	12.	<5.5	30.2	G	1331	1396	1363.5
MDP LW (585)	13.	<5.5	30.4	G	1197	1204	1200.5
MDP LW (585)	14.	<5.5	30.6	G	1202	1474	1338
MDP LW (585)	15.	<5.5	30.8	G	1286	1288	1287
MDP LW (585)	16.	<5.5	31	G	1509	1162	1335.5
MDP LW (585)	17.	<5.5	31.2	G	1283	1262	1272.5
MDP LW (585)	18.	<5.5	31.4	G	1032	995	1013.5
MDP LW (585)	19.	<5.5	31.6	G	1097	1074	1085.5
MDP LW (585)	20.	<5.5	31.8	G	1204	962	1083
MDP LW (585)	21.	<5.5	32	G	993	1072	1032.5
MDP LW (585)	22.	<5.5	32.2	N	-	-	-
MDP LW (585)	23.						
MDP LW (585)	24.						
MDP LW (585)	25.						
MDP LW (585)	26.						
MDP LW (585)	27.						
MDP LW (585)	28.						
MDP LW (585)	29.						
MDP LW (585)	30.						
MDP LW (585)	31.						
MDP LW (585)	32.						
MDP LW (585)	33.						
MDP LW (585)	34.						
MDP LW (585)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvirinta				žausvas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			

Naudojama plokštė „MDP LW (585)“ – 585 kg/m³ tankio, lengvinta medienos drožlių plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 1.

2 priedas. MDP Standartas (630)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDP Stan. (630)	1.	<5.5	28.2	N	-	-	-
MDP Stan. (630)	2.	<5.5	28.4	P/P	1740	1785	1762.5
MDP Stan. (630)	3.	<5.5	28.6	P/G	1895	1950	1922.5
MDP Stan. (630)	4.	<5.5	28.8	G/P	1803	1700	1751.5
MDP Stan. (630)	5.	<5.5	29	P/P	-	-	-
MDP Stan. (630)	6.	<5.5	29.2	G	1921	1884	1902.5
MDP Stan. (630)	7.	<5.5	29.4	G/P	2064	1247	1655.5
MDP Stan. (630)	8.	<5.5	29.6	G	1550	1697	1623.5
MDP Stan. (630)	9.	<5.5	29.8	G	1783	1422	1602.5
MDP Stan. (630)	10.	<5.5	30	G/P	1344	-	1344
MDP Stan. (630)	11.	<5.5	30.2	G	1703	1985	1844
MDP Stan. (630)	12.	<5.5	30.4	N/G	-	1773	1773
MDP Stan. (630)	13.	<5.5	30.6	G	1657	1560	1608.5
MDP Stan. (630)	14.	<5.5	30.8	G	1792	1779	1785.5
MDP Stan. (630)	15.	<5.5	31	G	1581	1473	1527
MDP Stan. (630)	16.	<5.5	31.2	G	1499	1433	1466
MDP Stan. (630)	17.	<5.5	31.4	G	1405	1206	1305.5
MDP Stan. (630)	18.	<5.5	31.6	G	1736	1616	1676
MDP Stan. (630)	19.	<5.5	31.8	G	1539	1403	1471
MDP Stan. (630)	20.	<5.5	32	G	1163	1674	1418.5
MDP Stan. (630)	21.	<5.5	32.2	G	1400	1186	1293
MDP Stan. (630)	22.	<5.5	32.4	G	1189	1378	1283.5
MDP Stan. (630)	23.	<5.5	32.6	G/N	1083	-	1083
MDP Stan. (630)	24.	<5.5	32.8	N	-	-	-
MDP Stan. (630)	25.						
MDP Stan. (630)	26.						
MDP Stan. (630)	27.						
MDP Stan. (630)	28.						
MDP Stan. (630)	29.						
MDP Stan. (630)	30.						
MDP Stan. (630)	31.						
MDP Stan. (630)	32.						
MDP Stan. (630)	33.						
MDP Stan. (630)	34.						
MDP Stan. (630)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvirinta				Raudonas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			

Naudojama plokštė „MDP Standartas (630)“ – 630 kg/m³ tankio, standartinė medienos drožlių plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 2.

3 priedas. MDP Sunkinta (670)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDP Sunk. (670) 1.		<5.5	30.6	N	-	-	-
MDP Sunk. (670) 2.		<5.5	30.8	P/G	-	1813	1813
MDP Sunk. (670) 3.		<5.5	31	G	1883	1911	1897
MDP Sunk. (670) 4.		<5.5	31.2	G	1697	1614	1655.5
MDP Sunk. (670) 5.		<5.5	31.4	G	1554	1576	1565
MDP Sunk. (670) 6.		<5.5	31.6	P/G	-	1723	1723
MDP Sunk. (670) 7.		<5.5	31.8	P/G	1673	1604	1638.5
MDP Sunk. (670) 8.		<5.5	32	P/G	1687	1541	1614
MDP Sunk. (670) 9.		<5.5	32.2	G	1419	1410	1414.5
MDP Sunk. (670) 10.		<5.5	32.4	G	1445	1377	1411
MDP Sunk. (670) 11.		<5.5	32.6	G	310	1560	935
MDP Sunk. (670) 12.		<5.5	32.8	P	681	937	809
MDP Sunk. (670) 13.		<5.5	33	P	680	642	661
MDP Sunk. (670) 14.		<5.5	33.2	N	-	-	-
MDP Sunk. (670) 15.							
MDP Sunk. (670) 16.							
MDP Sunk. (670) 17.							
MDP Sunk. (670) 18.							
MDP Sunk. (670) 19.							
MDP Sunk. (670) 20.							
MDP Sunk. (670) 21.							
MDP Sunk. (670) 22.							
MDP Sunk. (670) 23.							
MDP Sunk. (670) 24.							
MDP Sunk. (670) 25.							
MDP Sunk. (670) 26.							
MDP Sunk. (670) 27.							
MDP Sunk. (670) 28.							
MDP Sunk. (670) 29.							
MDP Sunk. (670) 30.							
MDP Sunk. (670) 31.							
MDP Sunk. (670) 32.							
MDP Sunk. (670) 33.							
MDP Sunk. (670) 34.							
MDP Sunk. (670) 35.							
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvininta				Rausvas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			

Pastabos: reikalingas didesno diametro grąžtas (6.2 - 6.3 mm). Su 6 mm diametro grąžtu reiktų vengti gręžti šioje plokštėje.

Naudojama plokštė „MDP Sunkinta (670)“ – 670 kg/m³ tankio, sunkinta medienos drožlių plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 3.

4 priedas. MDF Standartas (750)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDF Stan. (750)	1.	~6	29	N	-	-	-
MDF Stan. (750)	2.	~6	29.2	P	1902	1850	1876
MDF Stan. (750)	3.	~6	29.4	G	1194	1360	1277
MDF Stan. (750)	4.	~6	29.6	P	1823	1926	1874.5
MDF Stan. (750)	5.	~6	29.8	G	1775	1556	1665.5
MDF Stan. (750)	6.	~6	30	G/P	1686	1681	1683.5
MDF Stan. (750)	7.	~6	30.2	G	1932	991	1461.5
MDF Stan. (750)	8.	~6	30.4	G	1501	1638	1569.5
MDF Stan. (750)	9.	~6	30.6	G	2051	1829	1940
MDF Stan. (750)	10.	~6	30.8	G	1399	1436	1417.5
MDF Stan. (750)	11.	~6	31	G	1764	1799	1781.5
MDF Stan. (750)	12.	~6	31.2	G	1612	1529	1570.5
MDF Stan. (750)	13.	~6	31.4	G	1715	1537	1626
MDF Stan. (750)	14.	~6	31.6	G	1362	1323	1342.5
MDF Stan. (750)	15.	~6	31.8	G	1469	1173	1321
MDF Stan. (750)	16.	~6	32	G	1369	1461	1415
MDF Stan. (750)	17.	~6	32.2	G	1024	1395	1209.5
MDF Stan. (750)	18.	~6	32.4	G	1227	1413	1320
MDF Stan. (750)	19.	~6	32.6	G	1034	924	979
MDF Stan. (750)	20.	~6	32.8	G	803	527	665
MDF Stan. (750)	21.	~6	33	G	755	774	764.5
MDF Stan. (750)	22.	~6	33.2	G	486	612	549
MDF Stan. (750)	23.	~6	33.4	G	531	669	600
MDF Stan. (750)	24.	~6	33.6	N	-	-	-
MDF Stan. (750)	25.						
MDF Stan. (750)	26.						
MDF Stan. (750)	27.						
MDF Stan. (750)	28.						
MDF Stan. (750)	29.						
MDF Stan. (750)	30.						
MDF Stan. (750)	31.						
MDF Stan. (750)	32.						
MDF Stan. (750)	33.						
MDF Stan. (750)	34.						
MDF Stan. (750)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvininta				Raudonas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			
Pastabos: Naudojamas 6.3 mm diametro grąžtas.							

Naudojama plokštė „MDF Standartas (750)“ – 750 kg/m³ tankio, standartinė medienos dulkių (plaušų) plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 3.

5 priedas. MDF PLUS (790)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDF PLUS (790)	1.	~6	28.8	N	-	-	-
MDF PLUS (790)	2.	~6	29	P	1691	1548	1619.5
MDF PLUS (790)	3.	~6	29.2	G	1090	1156	1123
MDF PLUS (790)	4.	~6	29.4	G	1274	1425	1349.5
MDF PLUS (790)	5.	~6	29.6	G	1251	1360	1305.5
MDF PLUS (790)	6.	~6	29.8	G	1097	1202	1149.5
MDF PLUS (790)	7.	~6	30	G	1153	1043	1098
MDF PLUS (790)	8.	~6	30.2	G	1786	1392	1589
MDF PLUS (790)	9.	~6	30.4	G	1244	1690	1467
MDF PLUS (790)	10.	~6	30.6	G	1681	1937	1809
MDF PLUS (790)	11.	~6	30.8	G	1063	1103	1083
MDF PLUS (790)	12.	~6	31	G	1475	1599	1537
MDF PLUS (790)	13.	~6	31.2	N	-	-	-
MDF PLUS (790)	14.	~6	31.4	G	1111	1457	1284
MDF PLUS (790)	15.	~6	31.6	G	1083	1003	1043
MDF PLUS (790)	16.	~6	31.8	G	886	991	938.5
MDF PLUS (790)	17.	~6	32	G	1004	985	994.5
MDF PLUS (790)	18.	~6	32.2	G	914	953	933.5
MDF PLUS (790)	19.	~6	32.4	G	741	762	751.5
MDF PLUS (790)	20.	~6	32.6	G	865	839	852
MDF PLUS (790)	21.	~6	32.8	G	988	956	972
MDF PLUS (790)	22.	~6	33	G	991	932	961.5
MDF PLUS (790)	23.	~6	33.2	G/P	637	-	637
MDF PLUS (790)	24.	~6	33.4	N	-	-	-
MDF PLUS (790)	25.						
MDF PLUS (790)	26.						
MDF PLUS (790)	27.						
MDF PLUS (790)	28.						
MDF PLUS (790)	29.						
MDF PLUS (790)	30.						
MDF PLUS (790)	31.						
MDF PLUS (790)	32.						
MDF PLUS (790)	33.						
MDF PLUS (790)	34.						
MDF PLUS (790)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvininta				raudonas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			
Pastabos: Naudojamas 6.3 mm diametro grąžtas.							

Naudojama plokštė „MDF PLUS (790)“ – 790 kg/m³ tankio, sunkinta medienos dulkių (plaušų) plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 3.

6 priedas. PB1 (555)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
PB1 (555)	1.	<5.5	26.8	N	-	-	-
PB1 (555)	2.	<5.5	27	G	1442	1406	1424
PB1 (555)	3.	<5.5	27.2	G	1153	1475	1314
PB1 (555)	4.	<5.5	27.4	G	1507	1342	1424.5
PB1 (555)	5.	<5.5	27.6	G	1198	1203	1200.5
PB1 (555)	6.	<5.5	27.8	G	1102	1469	1285.5
PB1 (555)	7.	<5.5	28	G	1506	1369	1437.5
PB1 (555)	8.	<5.5	28.2	G	1231	1437	1334
PB1 (555)	9.	<5.5	28.4	G	1114	1268	1191
PB1 (555)	10.	<5.5	28.6	G	869	1089	979
PB1 (555)	11.	<5.5	28.8	G	1378	1243	1310.5
PB1 (555)	12.	<5.5	29	G	1115	1076	1095.5
PB1 (555)	13.	<5.5	29.2	G	1096	1063	1079.5
PB1 (555)	14.	<5.5	29.4	G	1186	1069	1127.5
PB1 (555)	15.	<5.5	29.6	G	1168	1157	1162.5
PB1 (555)	16.	<5.5	29.8	G	1268	1083	1175.5
PB1 (555)	17.	<5.5	30	G	1062	1169	1115.5
PB1 (555)	18.	<5.5	30.2	G	1035	1043	1039
PB1 (555)	19.	<5.5	30.4	G	1208	1107	1157.5
PB1 (555)	20.	<5.5	30.6	G	981	786	883.5
PB1 (555)	21.	<5.5	30.8	G	1030	977	1003.5
PB1 (555)	22.	<5.5	31	G	753	1005	879
PB1 (555)	23.	<5.5	31.2	G	1097	992	1044.5
PB1 (555)	24.	<5.5	31.4	G	917	764	840.5
PB1 (555)	25.	<5.5	31.6	G	815	997	906
PB1 (555)	26.	<5.5	31.8	G	961	968	964.5
PB1 (555)	27.	<5.5	32	G	835	879	857
PB1 (555)	28.	<5.5	32.2	N/G	502	691	596.5
PB1 (555)	29.	<5.5	32.4	G	875	866	870.5
PB1 (555)	30.	<5.5	32.6	N/G	451	726	588.5
PB1 (555)	31.	<5.5	32.8	N/G	100	442	271
PB1 (555)	32.	<5.5	33	N	-	-	-
PB1 (555)	33.						
PB1 (555)	34.						
PB1 (555)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvirinta				Rausvas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			
Pastabos: Plokštė labai trupa.							

Naudojama plokštė „PB1 (555)“ – 555 kg/m³ tankio, medienos drožlių plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 1.

7 priedas. PB2 (650)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
PB2 (650)	1.	<5.5	28.6	N	-	-	-
PB2 (650)	2.	<5.5	28.8	P/G	1714	1901	1807.5
PB2 (650)	3.	<5.5	29	G	1773	1404	1588.5
PB2 (650)	4.	<5.5	29.2	G	1737	1939	1838
PB2 (650)	5.	<5.5	29.4	G/N	1562	-	1562
PB2 (650)	6.	<5.5	29.6	G/P	1602	1943	1772.5
PB2 (650)	7.	<5.5	29.8	P	1770	1675	1722.5
PB2 (650)	8.	<5.5	30	G	1794	1810	1802
PB2 (650)	9.	<5.5	30.2	G	1754	1733	1743.5
PB2 (650)	10.	<5.5	30.4	G	1780	1673	1726.5
PB2 (650)	11.	<5.5	30.6	G	1556	1539	1547.5
PB2 (650)	12.	<5.5	30.8	N	-	-	-
PB2 (650)	13.	<5.5	31	G	1709	1422	1565.5
PB2 (650)	14.	<5.5	31.2	G	1451	1876	1663.5
PB2 (650)	15.	<5.5	31.4	G	1602	1396	1499
PB2 (650)	16.	<5.5	31.6	G	1603	1635	1619
PB2 (650)	17.	<5.5	31.8	G/P	1573	1620	1596.5
PB2 (650)	18.	<5.5	32	G	1504	1499	1501.5
PB2 (650)	19.	<5.5	32.2	G	1467	1225	1346
PB2 (650)	20.	<5.5	32.4	G	1237	1469	1353
PB2 (650)	21.	<5.5	32.6	G	1121	1268	1194.5
PB2 (650)	22.	<5.5	32.8	G	1534	1486	1510
PB2 (650)	23.	<5.5	33	G/N	1465	783	1124
PB2 (650)	24.	<5.5	33.2	N	-	-	-
PB2 (650)	25.						
PB2 (650)	26.						
PB2 (650)	27.						
PB2 (650)	28.						
PB2 (650)	29.						
PB2 (650)	30.						
PB2 (650)	31.						
PB2 (650)	32.						
PB2 (650)	33.						
PB2 (650)	34.						
PB2 (650)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvirinta				Raudonas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			

Naudojama plokštė „PB2 (650)“ – 650 kg/m³ tankio, medienos drožlių plokštė.

Naudota suvirinimo programa – nr. 2.

8 priedas. ECO 1 (660)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)	
					1	2		
ECO 1 (660)	1.	6	28.5	N	-	-	-	
ECO 1 (660)	2.	6.2	28.8	P/G	1566	1701	1633.5	
ECO 1 (660)	3.	6.1	29.1	G	1754	1827	1790.5	
ECO 1 (660)	4.	6.2	29.4	P/N	1692	-	1692	
ECO 1 (660)	5.	6.2	29.7	G	1543	1763	1653	
ECO 1 (660)	6.	6	30	G/P	1493	1151	1322	
ECO 1 (660)	7.	6	30.3	G	1559	1770	1664.5	
ECO 1 (660)	8.	6.1	30.6	G	1617	1553	1585	
ECO 1 (660)	9.	6	30.9	G/P	1722	1509	1615.5	
ECO 1 (660)	10.	6.1	31.2	G	1664	1507	1585.5	
ECO 1 (660)	11.	6.1	31.5	G	1327	1425	1376	
ECO 1 (660)	12.	6.1	31.8	G	1363	1154	1258.5	
ECO 1 (660)	13.	6.3	32.1	G	1441	1278	1359.5	
ECO 1 (660)	14.	6.2	32.4	G	1209	1160	1184.5	
ECO 1 (660)	15.	6.3	32.7	G	1340	1301	1320.5	
ECO 1 (660)	16.	6.1	33	N	-	-	-	
ECO 1 (660)	17.							
ECO 1 (660)	18.							
ECO 1 (660)	19.							
ECO 1 (660)	20.							
ECO 1 (660)	21.							
ECO 1 (660)	22.							
ECO 1 (660)	23.							
ECO 1 (660)	24.							
ECO 1 (660)	25.							
ECO 1 (660)	26.							
ECO 1 (660)	27.							
ECO 1 (660)	28.							
ECO 1 (660)	29.							
ECO 1 (660)	30.							
ECO 1 (660)	31.							
ECO 1 (660)	32.							
ECO 1 (660)	33.							
ECO 1 (660)	34.							
ECO 1 (660)	35.							
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvininta				Šausvas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant				

Pastabos: Tankis kaip sunkintos plokštės, tačiau kaiščiai virinasi kaip lengvintoje plokštėje.

Naudojama plokštė „ECO 1 (660)“ – 660 kg/m³ tankio, naujos kartos, atspari drėgmei, medienos drožlių plokštė, kurios rišančioji medžiaga yra krakmolos.

Naudota suvirinimo programa – nr. 2.

9 priedas. MDP LW Parafin. (590)

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDP LW P. (590)	1.	<5.5	27.8	N	-	-	-
MDP LW P. (590)	2.	<5.5	28	G	1461	1443	1452
MDP LW P. (590)	3.	<5.5	28.2	G	1593	1779	1686
MDP LW P. (590)	4.	<5.5	28.4	G	1738	1780	1759
MDP LW P. (590)	5.	<5.5	28.6	G	1430	1756	1593
MDP LW P. (590)	6.	<5.5	28.8	G	1729	1626	1677.5
MDP LW P. (590)	7.	<5.5	29	G	1451	1607	1529
MDP LW P. (590)	8.	<5.5	29.2	G	1423	1629	1526
MDP LW P. (590)	9.	<5.5	29.4	G	1673	1695	1684
MDP LW P. (590)	10.	<5.5	29.6	G	1621	1280	1450.5
MDP LW P. (590)	11.	<5.5	29.8	G	1521	1289	1405
MDP LW P. (590)	12.	<5.5	30	G	1364	1469	1416.5
MDP LW P. (590)	13.	<5.5	30.2	G/P	1322	1057	1189.5
MDP LW P. (590)	14.	<5.5	30.4	G	1063	1241	1152
MDP LW P. (590)	15.	<5.5	30.6	G	1051	1383	1217
MDP LW P. (590)	16.	<5.5	30.8	G	1124	1289	1206.5
MDP LW P. (590)	17.	<5.5	31	G	1558	1511	1534.5
MDP LW P. (590)	18.	<5.5	31.2	G	1514	1462	1488
MDP LW P. (590)	19.	<5.5	31.4	G/P	1376	1449	1412.5
MDP LW P. (590)	20.	<5.5	31.6	G	1336	1323	1329.5
MDP LW P. (590)	21.	<5.5	31.8	G	1373	1052	1212.5
MDP LW P. (590)	22.	<5.5	32	G	1285	1309	1297
MDP LW P. (590)	23.	<5.5	32.2	G	1304	1338	1321
MDP LW P. (590)	24.	<5.5	32.4	G	1237	1131	1184
MDP LW P. (590)	25.	<5.5	32.6	G	1143	1179	1161
MDP LW P. (590)	26.	<5.5	32.8	G/N	1400	-	1400
MDP LW P. (590)	27.	<5.5	33	N	-	-	-
MDP LW P. (590)	28.						
MDP LW P. (590)	29.						
MDP LW P. (590)	30.						
MDP LW P. (590)	31.						
MDP LW P. (590)	32.						
MDP LW P. (590)	33.						
MDP LW P. (590)	34.						
MDP LW P. (590)	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvininta				Raudonas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			
Pastabos: Mažiau plokštės dalelių įsitvirtinę ant ištrauktų kaiščių nei paprastoje MDP LW plokštėje.							

Naudojama plokštė „MDP LW Parafin. (590)“ – 590 kg/m³ tankio, lengvinta parafininė medienos drožlių plokštė. Ši plokštė atsparesnė drėgmės poveikiui, nes joje 4 % daugiau rišančiosios medžiagos – parafino.

Naudota suvirinimo programa – nr. 1.

10 priedas. MDP Standartas (630) drėgna

Medžiaga	Pagaliuko nr.	Drėgmė (%)	Skylės gylis (mm)	Suvirinimo kokybė	Ištraukimo jėga (N)		Vidurkis (N)
					1	2	
MDP St. (630) dr	1.	12	29	N/P	-	1950	1950
MDP St. (630) dr	2.	10.7	29.2	P/G	-	1696	1696
MDP St. (630) dr	3.	11.2	29.4	G	1675	1769	1722
MDP St. (630) dr	4.	11.5	29.6	G	1703	1551	1627
MDP St. (630) dr	5.	11.5	29.8	N/G	-	1711	1711
MDP St. (630) dr	6.	12	30	N/G	-	1823	1823
MDP St. (630) dr	7.	11.9	30.2	G/P	1774	-	1774
MDP St. (630) dr	8.	11.4	30.4	P	1617	1886	1751.5
MDP St. (630) dr	9.	11.4	30.6	P/G	-	1501	1501
MDP St. (630) dr	10.	10.9	30.8	N/G	-	1587	1587
MDP St. (630) dr	11.	11.5	31	P/G	1654	1673	1663.5
MDP St. (630) dr	12.	11.2	31.2	G	1555	1413	1484
MDP St. (630) dr	13.	11.3	31.4	G	1421	1506	1463.5
MDP St. (630) dr	14.	11.5	31.6	G/P	1716	1537	1626.5
MDP St. (630) dr	15.	10.8	31.8	G	1442	1341	1391.5
MDP St. (630) dr	16.	11.6	32	P	1700	-	1700
MDP St. (630) dr	17.	11.9	32.2	G	1069	1345	1207
MDP St. (630) dr	18.	11.5	32.4	G/N	1572	-	1572
MDP St. (630) dr	19.	11.5	32.6	N	-	-	-
MDP St. (630) dr	20.						
MDP St. (630) dr	21.						
MDP St. (630) dr	22.						
MDP St. (630) dr	23.						
MDP St. (630) dr	24.						
MDP St. (630) dr	25.						
MDP St. (630) dr	26.						
MDP St. (630) dr	27.						
MDP St. (630) dr	28.						
MDP St. (630) dr	29.						
MDP St. (630) dr	30.						
MDP St. (630) dr	31.						
MDP St. (630) dr	32.						
MDP St. (630) dr	33.						
MDP St. (630) dr	34.						
MDP St. (630) dr	35.						
Suvirinimo kokybė: G - Gera / P - Prasta / N - Nesuvirinta				Rausvas fonas žymi lūžusį kaištį traukiant			

Naudojama plokštė „MDP Standartas (630)“ – 630 kg/m³ tankio, standartinė medienos drožlių plokštė, kuri 24 valandas laikyta padidintos drėgmės bei temperatūros (85 % drėgmė, 28 °C) sąlygomis.

Naudota suvirinimo programa – nr. 2.