



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lengvinto korinio skydo kokybinių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Giedrė Petkutė
Projekto autorė

Doc. Rūta Rimašauskienė
Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lengvinto korinio skydo kokybinių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Giedrė Petkutė

Projekto autorė

Doc. Rūta Rimašauskienė

Vadovė

Lekt. Ingrida Venytė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Giedrė Petkutė

Lengvinto korinio skydo kokybinių savybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autorius ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamąjo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Giedrė Petkutė

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentei – Giedrei Petkutei

1. Projekto tema –

Lengvinto korinio skydo kokybinių savybių tyrimas

(Lietuviškai)

Qualitative Analysis of Lightweight Honeycomb Panels

(Angliškai)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas: identifikuoti lengvinto skydo parametrų kokybės neatitikimų atsiradimo priežastis, analizuojant technologinį procesą ir kokybines savybes.

Uždaviniai:

1. Išskirti gamyboje dažniausiai pasitaikančias neatitiktis gaminant lengvinta korinį skydą.
2. Nustatyti kokybines korio savybes palyginant skirtingas medžiagas ir gamybos būdus.
3. Nustatyti aplinkos parametrų įtaką ruošinio kokybei.
4. Išanalizuoti netolygaus klijų užtepimo įtaką ruošinio kokybei.

3. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Gautus eksperimentinius duomenis, pateikti lentelėse ir grafikuose, pateikiant skirtingomis sąlygomis gamintų skydų skirtumus. Atlikti bandymus, ištiriant medžiagos kokybinius parametrus. Atlikti bandymus ištiriant, skydo kokybinius parametrus. Paskaičiuoti laiko ir materialinę naudą, atlikus tyrimus.

Projekto autorė

Giedrė Petkutė

2021-10-04

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vadovė

Rūta Rimašauskienė

2021-10-04

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Krypties studijų
programų vadovė

Regita Bendikienė

2021-10-04

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Giedrė Petkutė. Lengvinto korinio skydo kokybinių savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Rūta Rimašauskienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: popierinis korinis užpildas, gamyba, analizė.

Kaunas, 2022. 68 p.

Santrauka

Šiame magistro baigiamajame darbe yra analizuojama lengvinto korinio skydo gamyba ir kokybinės skydo savybės. Gaminant lengvintą korinį skydą susiduriama su įvairiais defektais. Defektams pašalinti ieškoma jau atliktų mokslinių tyrimų, tačiau susidūrus su informacijos trūkumu yra iškeliamas darbo tikslas, kuris yra atrasti kokybės neatitikimų priežastis analizuojant gamybos procesą ir medžiagų kokybines savybes. Stebėjimo metodu ištyrus gamybos procesą ir atlikus kokybinę analizę, atrasta pagrindinė defekto rūšis gaminant lengvintą korinį skydą. Pagrindinio defekto atsiradimo priežastys surasti, atlikti moksliniai tyrimai tiek su popieriniu koriniu užpildu, tiek su jau pagamintu skydu.

Atlikus tyrimus, išsiaiškinta koks popierinio korinio užpildo drėgnis yra tinkamiausias gaminiui ir kokio tipo popierių geriausia naudoti. Ištirta kokie aplinkos parametrai yra geriausi gaminant ir kondicionuojant lengvintą korinį skydą. Nustatomas mažiausias klijų kiekio skirtumas tarp plokštumų, norint gaminti lygias detales. Atliktas tyrimas, kurio metu nustatytas trumpiausias gaminių kondicionavimo laikas. Pateikiami gaminio kokybiniai skirtumai gaminant skydus tiek karštuoju, tiek šaltuoju būdu. Nustačius parametrus, kurie tinkamiausi lengvinto skydo gamybai, atliekami pakeitimai gamybos įmonėje. Atlikus pakeitimus, pateikiami skaičiavimai, kurie įrodo tiek defektų sumažėjimą, tiek gamybos našumo padidėjimą, tiek piniginę naudą.

Magistro baigiamojo projekto pabaigoje pateikiamos šio darbo išvados, bei rekomendacijos tolimesniems tyrimams atlikti.

Petkutė Giedrė. Qualitative Analysis of Lightweight Honeycomb Panels. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Rūta Rimašauskienė; 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: paper honeycomb, manufacturing, analysis.

Kaunas, 2022. 68 p.

Summary

In this master thesis, the production of lightweight honeycomb panel and the qualitative properties of the panel is examined. Various defects are found in the manufacture of lightweight honeycomb panels. To eliminate the defects, existing research is searched for, but in the face of a lack of information, the aim of the work is to discover the causes of the quality discrepancies by analyzing the manufacturing process and the qualitative properties of the materials. The main type of defect in the production of the lightweight honeycomb panel has been identified through observation of the production process and qualitative analysis. To find the cause of the main defect, research has been done on both the paper honeycomb filler and the manufactured panel.

The studies have shown which moisture content of the paper honeycomb filler is most suitable for the product and which type of paper is best to use. It has been investigated which environmental parameters are best for the production and conditioning of lightweight honeycomb panels. Determine the minimum difference in adhesive content between surfaces to produce flat parts. A study was carried out to determine the shortest conditioning time for the products. Product quality differences are presented for both hot and cold panel production. Once the parameters most suitable to produce a lightweight panel have been identified, changes are made in the production company. After the modifications have been made, calculations are presented which demonstrate both the reduction in defects and the increase in production efficiency and the financial benefits.

At the end of the thesis there are recommendations and conclusions summarizing the master's thesis.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Lengvinto skydo populiarumo augimas	13
1.2. Lengvinto skydo medžiagų ir procesų tyrimai	14
1.2.1. Lengvinto skydo gamyba	14
1.2.2. Lengvinto skydo tyrimai.....	17
1.3. Medžiagų kokybė	22
2. Metodologinė dalis.....	29
2.1. Tyrimams naudotos medžiagos	29
2.2. Medžiagų paruošimas	29
2.3. Bandymų metodai.....	30
2.4. Formulės, naudojamos rezultatams apdoroti	34
3. Eksperimentinė dalis	36
3.1. Neatitikčių analizė gamyboje	36
3.2. Medžiagų tyrimas	38
3.2.1. Popierinio korinio užpildo drėgnumo nustatymas.....	38
3.2.2. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui.....	39
3.2.3. Vilgumo kampo nustatymas	40
3.2.4. Popieriaus atsparumas lankstymui	43
3.2.5. Korio drėgnumo įtaka sanklijos stipriui	44
3.3. Lengvinto korinio skydo tyrimai	47
3.3.1. Aplinkos parametrų įtaka ruošinio kokybei	47
3.3.2. Popierinio korinio užpildo įdėjimo į rėmelį įtaka kokybei ir mechaniniam atsparumui.....	49
3.3.3. Netolygaus klijų užtepimo įtaka ruošinio kokybei.....	51
3.3.4. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio drėgniui ir mechaniniam stipriui.....	54
4. Tyrimo nauda.....	57
4.1. Popierinio korinio užpildo parametrų nustatymas.....	57
4.2. Popierinio korinio užpildo įdėjimo kontrolė	57
4.3. Tolygaus klijų užtepimo įvedimas į gamybą.....	59
4.4. Aplinkos parametrų kontroliavimas gamyboje	59
4.5. Naudos skaičiavimas pakeitus medžiagų ir aplinkos parametrus.....	60
4.6. Kondicionavimo trukmės sutrumpinimo naudos skaičiavimas	61
5. Rekomendacijos.....	63
6. Išvados	64
7. Literatūros sąrašas	65
Priedai.....	68
1 Priedas. Medžiagų specifikacijos	68
2 Priedas. Popierinio korinio užpildo absoliučios drėgmės tyrimai	68
3 Priedas. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai.....	69
4 Priedas. Sanklijos stiprio skaičiavimai	74
5 Priedas. Skirtingų aplinkos parametrų ir skirtingo gamybos būdo įtaka ruošinio kokybei.....	80
6 Priedas. Popierinio korinio užpildo įdėjimo įtaka ruošinio kokybei	83

7	Priedas. Klijų užnešimo ant HDF įtaka ruošinio kokybei	84
8	Priedas. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio kokybei.....	85
9	Priedas. Popierinio korinio užpildo parametrų pakeitimo įtaka neatitikčių kiekiui	94

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Gamybos būdų skirtumai	18
2 lentelė. Ruošinių pavadinimai pagal testuojamą tipą.....	23
3 lentelė. Analizuoto popieriaus savybės.....	29
4 lentelė. Vilgumo kampo ir vilgumo laipsnio ryšys.....	32
5 lentelė. Proceso kokybės būklės apibendrinimas pagal C_p rodiklio vertę.....	35
6 lentelė. Proceso stabilumo vertinimas pagal C_{pk} rodiklio vertę.....	35
7 lentelė. Surinkti duomenys Pareto diagramai atlikti.....	39
8 lentelė. Kljavimo proceso įdubų/neužpildymų priežastys.....	40
9 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio matavimas.....	41
10 lentelė. Vilgumo kampo popierinio korinio užpildo rezultatai.....	43
11 lentelė. Popieriaus atsparumo lankstymui rezultatai.....	45
12 lentelė. Statinės apkrovos bandymo rezultatų apibendrinimas.....	53
13 lentelė. Neatitikčių kiekis pakeitus popierinio korinio užpildo parametrus.....	58
14 lentelė. Popierinio korinio užpildo sąnaudų kitimas.....	59
15 lentelė. Popierinio korinio užpildo įdėjimo įtaka defektui kiekiui.....	59
16 lentelė. Neatitikčių kiekio kitimas, esant stabiliam kljvų užnešimo procesui.....	60
17 lentelė. Neatitikčių kiekio kitimas įvedus stabilius aplinkos parametrus.....	61
18 lentelė. Nuostolių skaičiavimas.....	61

Paveikslų sąrašas

1 pav. Baldas pagamintas su popieriniu koriniu užpildu [3].....	13
2 pav. Medžiagų pavyzdžiai: 1 – popierinis korys [3]; 2 – medienos drožlių plokštė [10]; 3 – didelio tankio medienos plaušų plokštė [12]; 4 – polivinilacetatinė dispersija [13]	15
3 pav. Klijų tepimo įrenginys [13]	15
4 pav. Popierinio korinio būsenos kitimas iki pilno išdžiovinimo [14]	16
5 pav. Ruošinių kondicionavimas	17
6 pav. L – tipo jungtis [17].....	18
7 pav. Absoliutaus medžiagų drėgnio skirtumai [17]	18
8 pav. Jungčių stiprumas [17]	19
9 pav. Lentynų įlinkis esant: a) T=26°C; H=40%; b) T=28°C, H=85% [18]	19
10 pav. Tiriamų akučių formos: a) B; b) C; c) D; d) E; e) A [19]	20
11 pav. Įtempių skaičiavimas esant skirtingo dydžio akutėms [20].....	20
12 pav. Testuojamos akutės: a) taisyklingo šešiakampio formos; b) stačiakampio formos [20].....	21
13 pav. Elastingumo modulis lengvinto skydo plokštėms skirtingoms kryptims: a) L ir b) P [20] ..	21
14 pav. Lenkimo stipris [20]	22
15 pav. Korio ištempimo procesas [4]	22
16 pav. Korinio atsparumas gniuždymui naudojant skirtingo aukščio ir skirtingo storio korinį užpildą [5]	23
17 pav. Elipsės formos akutė, kurios dydis 22mm (raudona) ir taisyklingo šešiakampio formos akutės, kurios dydis 26,1mm (mėlyna) palyginimas [22].....	24
18 pav. Stiprumo palyginimo rezultatai [23]	24
19 pav. Skirtumas tarp klijų skverbimosi į medžiagas [25].....	25
20 pav. Klijų klampumo palyginimas esant skirtingoms klijų temperatūroms [26].....	25
21 pav. D3 PVAc atviro išlaikymo modelis, turint skirtingas sąlygas: a) klijų ir medžiagų temperatūra 23°C, b) klijų ir medžiagų temperatūra 33°C [26].....	26
22 pav. Sanklijos kokybė esant skirtingam atviram surinkimo laikui [27].....	26
23 pav. Klijų kiekio palyginimo rezultatai [28]	27
24 pav. Vilgumo kampo rezultatai, testuojant skirtingus PVAc klijų tipus [29]	28
25 pav. „EDOK“ popierinio korio džiovinimo - ištempimo įrenginys [14]	29
26 pav. Korinio skydo gamybos principinė schema	30
27 pav. Vilgumo nustatymo kampo įrangos principinė schema [14]	30
28 pav. Kontaktinis lašelio kampas ant kieto paviršiaus: (a) kieto kūno ir skysčio sąveika stipri, (b) vidutinė sąveika, (c) vidutinė/silpna sąveika, (d) silpna sąveika, (e) silpna sąveika [34]	31
29 pav. Atsparumo gniuždymui matavimo įranga	32
30 pav. Testavimo metodas [26]	32
31 pav. Ruošinio schema	34
32 pav. Lapas duomenų rinkimui atlikti	36
33 pav. Pareto diagrama.....	37
34 pav. Žuvies kaulo diagrama paviršiaus įdubų ir išlinkusių detalių priežastims rasti	38
35 pav. Popierinio korinio užpildo absoliutaus drėgnio matavimai.....	39
36 pav. Popierinio korinio užpildo apkrovų skirtumai: a) perdirbto popieriaus apkrovos; b) neperdirbto popieriaus	40
37 pav. Ruošinio stiprio priklausomybė nuo popierinio korinio užpildo drėgnio	40

38 pav. Vilgumo kampo rezultatai: a) nedžiovinas perdirbtas popierinis korinis užpildas; b) nedžiovinas neperdirbtas popierinis korinis užpildas; c) džiovinas perdirbtas popierinis korinis užpildas; d) džiovinas neperdirbtas popierinis korinis užpildas.....	42
39 pav. Vilgumo kampo skirtumai tarp skirtingų žaliavų.....	42
40 pav. Atsparumo lankstymui rezultatai. P - perdirbtas popierinis korinis užpildas; PN – neperdirbtas popierinis korinis užpildas.....	43
41 pav. Plyšio vieta: a) perdirbtas popierius; b) neperdirbtas popierius.....	44
42 pav. Perdirbto popierinio korinio užpildo skylimas į du sluoksnius.....	44
43 pav. Sanklijos stiprio priklausomybė nuo popierinio korinio užpildo drėgčio.....	45
44 pav. Korio adhezijos tikrinimo rezultatai.....	46
45 pav. Popierinio korinio užpildo palyginimas tarpusavyje.....	46
46 pav. Stiprio palyginimas esant skirtingam drėgnumui.....	47
47 pav. Karštuoju būdu pagamintų ruošinių įlinkio priklausomybė nuo aplinkos sąlygų.....	48
48 pav. Šaltu būdu pagamintų ruošinių įlinkio priklausomybė nuo aplinkos sąlygų.....	48
49 pav. Tamprumo modulio kitimas detalių pagamintų karštuoju būdu esant skirtingoms sąlygoms.....	49
50 pav. Tamprumo modulio kitimas detalių pagamintų šaltuoju būdu esant skirtingoms sąlygoms.....	49
51 pav. Popierinio korinio užpildo įdėjimas į rėmelį. 1 - akutės ištemptos tinkamai, nesugniuždytos; 2 – popierinio korio akutės yra sugniuždytos prie rėmelio; 3 – popierinis korinis užpildas yra sugniuždytas.....	50
52 pav. Neužpildymo defektai. a) mechaninis pažeidimas pagamintas 2 būdu; b) neužpildymo defektai ant detalių, kurios pagamintos 3 būdu.....	50
53 pav. Vidutinis medžiagų stipris.....	51
54 pav. Užnešamo klijų kiekio sklaida matuojant skirtingose zonose.....	52
55 pav. Klijų kiekis tenkantis bandiniams.....	53
56 pav. Įlinkio rezultatai.....	53
57 pav. Kondicionavimo trukmės įtaka drėgmės kiekiui.....	54
58 pav. Apkrovos jėga kintanti nuo kondicionavimo trukmės.....	55
59 pav. Skirtingais būdų pagamintų ruošinių mechaninio stiprio priklausomybė nuo kondicionavimo laiko.....	56
60 pav. Popierinio korinio užpildo įdėjimo į ruošinį instrukcija.....	58
61 pav. Neatitikčių kiekio palyginimas prieš pakeitimus ir po pakeitimų.....	60

Įvadas

Nuo seniausių laikų baldai yra viena pagrindinių buities priemonių. Pirmieji baldai pradėti naudoti jau 5000 metų prieš Kristų. Tuo metu baldai atliko tik laikymo funkciją. Baldai pradėti gaminti iš akmens, vėliau gaminti naudojant natūralią medieną. Bandant išsaugoti vis daugiau miškų, buvo ieškoma naujų būdų kaip galima pagaminti daugiau baldų naudojant kuo mažiau medžiagų. Taip pradėta gaminti medienos drožlių plokštė, medienos plaušų plokštė ir tuo pačiu pradedama vis plačiau naudoti popierinį korinį užpildą, kuris yra lengvai perdirbamas ir gali būti naudojamas iš antrinių popieriaus žaliavų [1].

Didėjant tokio produkto poreikiui, kiekvienas gamintojas nori pagaminti daugiau per vis mažesnę laikotarpį. Nors žaliavos skirtos korinio skydo gamybai yra greitai paruošiamos, tačiau skirtingų žaliavų klįjavimo procesas stabdo greitą produktų gamybą. Būtent klįjavimo etapas ir žaliavos neretai nulemia gaminio kokybę. Teisingai parinktos medžiagos, užlaidos ir technologiniai parametrai yra labai svarbūs rodikliai gaminant korinio skydo plokštę.

Šiai plokštei pagaminti naudojama keli tipai žaliavų bei skirtingi technologiniai parametrai. Todėl labai svarbu atkreipti dėmesį į plokštės elgseną naudojant skirtingas medžiagas, skirtingus gamybos režimus ar aplinkos poveikį. Tik bendra šių visų tinkamai parinktų etapų visuma daro įtaką bendram gaminio rezultatui.

Projekto tikslas: identifikuoti lengvinto skydų parametrų kokybės neatitikimų atsiradimo priežastis, analizuojant technologinį procesą ir kokybines savybes.

Projekto uždaviniai:

1. Ištirti gamybos procesą ir išskirstyti lengvinto skydo neatitiktis pagal tipus.
2. Nustatyti kokybines korio savybes palyginant skirtingas medžiagas ir gamybos būdus.
3. Nustatyti aplinkos parametrų įtaką ruošinio kokybei.
4. Išanalizuoti netolygaus klijų užtepimo įtaką ruošinio kokybei.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Lengvinto skydo populiarumo augimas

Popierinio korinio užpildo skydas yra lengvai perdirbamas, taip pat gali būti gaminamas iš perdirbtų žaliavų. Todėl dėl pasaulyje augančio žmonių skaičiaus, vis didėjantis IKEA baldų poreikis, skatina ieškoti patvarių ir ekologiškų žaliavų. Iš tokių žaliavų pagaminti baldai gali būti perdirbami ir naudojami daug kartų.

Pasaulyje, 48 šalyse yra 389 IKEA parduotuvės. Labiausiai šiuo metu apyvarta padidėjo Kinijoje, Australijoje, Kanadoje ir Lenkijoje. Iš viso 2019 metais IKEA parduotuvėse visame pasaulyje apsilankė 783 mln. žmonių [2]. Todėl augant pigių baldų poreikiui, ieškoma būdų kaip galima gaminti baldus iškertant kuo mažiau medienos pasaulyje. Vienas iš šių sprendimo būdų yra naudoti popierinį korinį užpildą.



1 pav. Baldas pagamintas su popieriniu koriniu užpildu [3]

Popierinis korinis užpildas balde užima 70% viso baldo tūrio. Ši medžiaga yra lengvai perdirbama ir pati gali būti gaminama naudojant perdirbtas žaliavas, todėl vis daugiau baldų bandoma gaminti naudojant popierinį korinį užpildą. Šios medžiagos gamintojai teigia, jog tokie baldai yra stiprūs, lengvi, todėl tokius baldus yra lengva transportuoti iš vienos vietos į kitą. Taip pat naudojant šią medžiagą galima labai plati aukščio bei pločio amplitudė, todėl labai lengva korį pritaikyti baldų gamyboje [3]. Nors ir sakoma, jog lengvinto skydo tvirtumas yra toks pats kaip ir medienos drožlių plokštės, tačiau I. Barboutis ir V. Vassiliou tirdami tokio skydo stiprumines savybes įrodė, kad atsparumas gniuždymui yra 4 kartus mažesnis, nei 16mm medienos drožlių plokštės. Tačiau atsparumas lenkimui lengvinto skydo yra didesnis 2 kartus nei drožlių plokštės [4]. Todėl korinio užpildo skydas yra galimas naudoti baldų pramonėje.

Popieriniam koriniam užpildui naudojami technologiniai parametrai, kurie mažina gamybos našumą. Popierinio korinio užpildo gamintojai skydus, pagamintus su popieriniu koriu siūlo kondicionuoti mažiausiai 12 valandų, kol skydo temperatūra bei drėgnis nusistovės iki aplinkos parametru. Tačiau vis didėjanti gamybos apimtis ir tempai priverčia keisti tam tikrus technologinius parametrus. Todėl

šiuo darbe siekiama išsiaiškinti šio skydo kokybinius parametrus bei tinkamiausius technologinius nustatymus [5].

1.2. Lengvinto skydo medžiagų ir procesų tyrimai

Lengvinto skydo plokštė gaminama iš medienos drožlių plokštės, didelio tankio medienos plaušų plokštės, popierinio korinio užpildo. Dėl savo lengvos konstrukcijos ir stiprių mechaninių savybių yra plačiai naudojama baldų pramonėje. Vis auganti tokių skydų paklausa skatina didinti gamybos našumą bei ieškoti būdų kaip pagaminti tokius skydus itin kokybiškus.

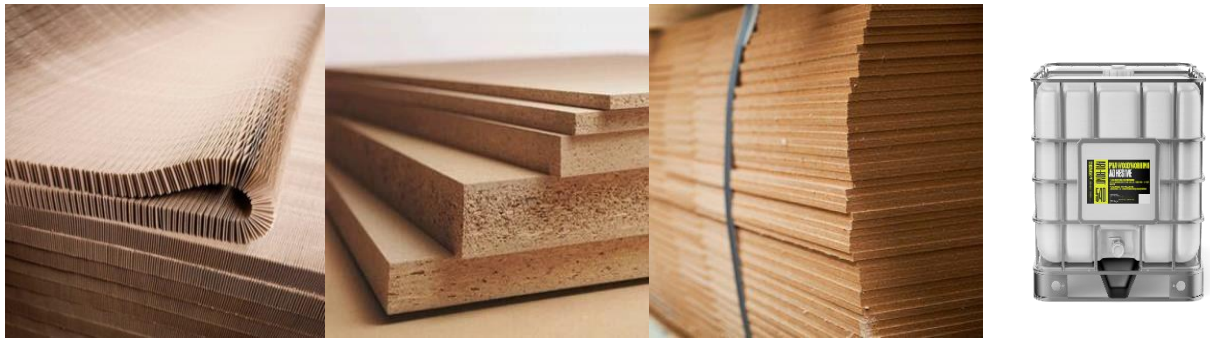
Popierinis korinis užpildas jau pradėtas naudoti 1950 metais, tačiau tada ši medžiaga buvo naudojama tik lėktuvų pramonėje. Po 10 metų, tai yra 1960 metais, popierinis užpildas pradėtas naudoti durų pramonėje, nuo to laiko vis daugiau įmonių duris pradėjo gaminti naudodamos popierinį korinį užpildą. 1980 metais ši medžiaga pradėta naudoti ir kituose gaminiuose, tokiuose kaip baldai ir mašinos. Tačiau tuo metu vyravo medienos drožlių plokštės maža kaina, todėl popierinis užpildas nebuvo labai populiarus medžiaga. Nuo 2000 metų, kai buvo atlikti tyrimai, jog popierinis korinis užpildas yra tokia pati stipri medžiaga kaip ir plokštė, šios medžiagos populiarumas pradėjo vis augti [5].

Popierinis korinis užpildas išrastas prieš daug metų, tačiau daugiausia dėmesio skiriama koriui, kuris pagamintas iš metalo. Mokslininko Gibsono tyrimas tiriant korines medžiagas turėjo didelės įtakos tolimesnių korinių medžiagų tyrimams ir vystymui. Mokslininkas ištyrė 2 medžiagų tipus, tačiau popierinis korinis užpildas tyrimuose nebuvo paminėtas [5]. Mokslininkas Wierzbicki pateikė metodą, pagrįstą energijos absorbcija su minimaliu pasipriešinimu korinio skydo paviršiui. Šis metodas leido įvertinti metalinio paviršiaus įtempius [6]. Kadangi metalas yra kitokia medžiaga nei popierius, todėl rezultatai ir metodai negali būti sulyginti su popieriaus tyrimais. Wangas pateikė skaičiavimo modelį, įvertinti šešiakampės korio struktūros įtempius ir šis modelis vėliau buvo išplėtotas trikampio ir kvadrato formos skaičiavimams [7]. Mokslininko Yu tyrimas įrodė, jog aliuminio korinio užpildo paviršiaus įtempiai tiriant ruošinį dinamiu būdu yra didesni nei statiniu [8]. Apvalios formos aliuminio korio deformacijos greitis buvo ištyrtas eksperimentiniu būdu. Rezultatas įrodė, kad smūgio greitis turi didelę įtaką vietiniam įlinkiui, o įtempiai didės didėjant deformacijos greičiui [8]. Taip pat mokslininkas Kobayashi studijavo polipropileno korinio užpildo statines ir dinamines savybes, taip įrodydamas, kad korys atsparesnis yra gniuždant korį dinamiu būdu [9].

Tyrimų su koriniu užpildu yra daug, tačiau aiškiai matoma tendencija, jog didžiausias dėmesys skiriamas koriniam užpildui, kuris pagamintas iš metalo ir dauguma tyrimų atlikti tiriant korį statiniu būdu. Tokie tyrimai daro įtaką popierinio korinio užpildo tyrimams, tačiau metalinio korinio užpildo tyrimų rezultatų negalima lyginti su popieriumi, kadangi medžiagos yra visiškai skirtingos [5].

1.2.1. Lengvinto skydo gamyba

Lengvinto skydo gamybos procesą sudaro keli etapai: 1 – medžiagų gamyba; 2 – medžiagų paruošimas; 3 – klijavimo procesas; 4 – kondicionavimas; 5 – krašto juostos uždėjimas; 6 – gręžimas; 7 – apdaila. Lengvintas korinis skydas gaminamas iš medienos drožlių plokštės (MDP), popierinio korinio užpildo, didelio tankio medienos plaušų plokštės (HDF) ir polivinilacetatinės dispersijos (PVAc) (žr. 2 pav.). Visos medžiagos yra perkamos iš anksto, todėl šiame darbe jų gamyba nebus aprašoma.



2 pav. Medžiagų pavyzdžiai: 1 – popierinis korys [3]; 2 – medienos drožlių plokštė [10]; 3 – didelio tankio medienos plaušų plokštė [12]; 4 – polivinilacetatinė dispersija [13]

Medžiagos yra sandėliuojamos iki tol, kol produktai transportuojami į pjovimo operaciją. Pjovimo procesas yra tikslus bei našus, tačiau dėl žmoniškųjų klaidų ar ne laiku pakeistų pjūklų išpjautų tašelių kokybė kinta. Tašeliai reikalingi lengvinto skydo rėmelių gamybai. Neteisingai išpjauti ruošiniai, tai yra: skirtingi pločiai, netikslūs matmenys ar stačiakampiškumo nuokrypiai, daro įtaką rėmelio kokybei. Todėl labai svarbu, jog pjovimo operacija būtų tinkamai prižiūrima ir kontroliuojama.

Po medžiagų supjovimo reikalingos medžiagos transportuojamos į klijavimo procesą. Klijavimo procesas yra dviejų tipų: šaltasis ir karštasis. Esminis skirtumas tarp šių tipų yra, jog šaltuoju būdu presuojant nenaudojamas šilumos agentas, karštuoju – naudojamas šilumos agentas - vanduo, kuris įkaitina preso plokštes iki 70 °C temperatūros. Klijavimo procesas yra itin paprastas, jis gali būti skirstomas į kelis etapus:

1. Medžiagų padavimas ir klijų užnešimas;
2. Popierinio korinio užpildo džiovinimas;
3. Ruošinių formavimas;
4. Presavimas;
5. Ruošinių nukrovimas.

Pirmame etape HDF paduodamas į klijų veleną „OSAMA S2R“ (žr. 3 pav.). Klijų tepimo mašinoje yra du klijavimo volai ir klijų padavimo įrenginys. Fiksuotas 18 m./min. greitis. Darbinis plotis yra 1600 mm., o klijavimo volai yra 185 mm skersmens [13]. Klijai užnešami volų pagalba tiesiai ant HDF ruošinio.



3 pav. Klijų tepimo įrenginys [13]

Antrame etape popierinis korinis užpildas išdžiovinamas popieriaus užpildo džiovinimo – ištempimo staklėmis „EDOK“ kurios skirtos: popieriaus užpildo džiovinimui, ištempimui, formavimui, storio kalibravimui ir popieriaus užpildo pjovimui. Popierių paduodamas iš paletės, kol gaunamas reikalingo dydžio ruošinys (žr. 4 pav.). Dėka šių staklių taikymo yra gaminamos aukštos kokybės

korinis užpildas[14]. Džiovinimo sistema remiasi uždaryto priverstinio karšto oro cirkuliavimo taikymu, kurį užtikrina didelio našumo karšto oro ventiliatoriai, elektriniai kaitintuvai, gariniai kaitintuvai bei džiovinimo kameros konstrukcija. Automatinė sistema kontroliuoja ekonomišką nustatytos džiovinimo temperatūros palaikymą ir valdo ilgio matavimo, pjovimo bei popieriaus transportavimo operacijas.

„EDOK“ džiovinimo įrenginio plėtimo ir džiovinimo procesą sudaro šie veiksmai [14]:

1. Padėklas su neišplėstuoju korėtuoju kartonu padedamas po padavimo stalu;
2. Produktas paduodamas į įrenginį, preso ir tiekimo ritinėlių pagalba;
3. Guminė pralaidos juosta išplečia korėtąjį kartoną;
4. Kreiptuvai suformuoja reikiamą produkto plotį;
5. Konvejerio juosta transportuoja produktą pro džiovinimo bloką;
6. Išdžiovintas produktas džiovinimo bloko gale praeina pro pjaustymo įrenginį ir yra supjaustomas reikiamu ilgiu;
7. Produktas nukreipiamas į išdavimo stalą ir yra nuimamas operatoriaus.



4 pav. Popierinio korinio būsenos kitimas iki pilno išdžiovinimo [14]

Trečiame etape operatorius ima kljais suteptą HDF, tada šis ruošinys dedamas ant formavimo stalo. Imamas suklijuotas medienos drožlių plokštės rėmelis, kuris dedamas tiesiai ant kljais sutepto HDF. Išdžiovintas korys įdedamas į rėmelį ir ruošinys uždaromas HDF ruošiniu. Šis formavimas tęsiamas tol, kol suformuojamas pilnas presas. Tai yra ruošinių kiekis prese priklauso nuo gaminių dydžio, optimaliausias preso užpildymas 80%.

Ketvirtame etape suformuoti ruošiniai presuojami karštame prese nuo 180s ir šaltame prese nuo 480s [15]. Skirtumas tarp šių dviejų presų yra tik tai, karštame prese plokščių temperatūra siekia 70°C. Pagrindiniai gamybos skirtumai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Gamybos būdų skirtumai [16]

Parametras	Karštasis gamybos būdas	Šaltasis gamybos būdas
Preso plokštės	Karštos (70°C)	Šaltos
Spaudimas (N/cm ²)	Apskaičiuojamas	Apskaičiuojamas
Klijų kiekis, g	95-110	100-120
Klijavimo trukmė prese, s	Nuo 180	Nuo 480
Išlaikymas po preso iki kitos mechaninės operacijos, h	6	8
Vienu metu supresuojamų detalių, vnt.	12-24	108-240

Penktame etape ruošiniai yra sukraunami į rietuvę ir ruošiniai kondicionuojami aplinkos temperatūroje. Iki tol, kol gaminiai atvėsta iki aplinkos temperatūros ir kol drėgnis nusistovi gaminyje (žr. 5 pav.).



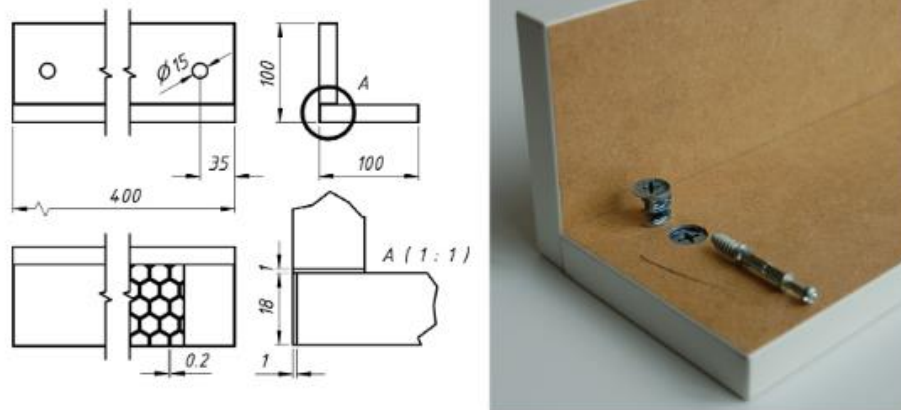
5 pav. Ruošinių kondicionavimas

1.2.2. Lengvinto skydo tyrimai

Lengvinto skydo kokybė labai priklauso nuo aplinkos sąlygų, tik tinkamomis sąlygomis laikomas baldas yra ilgaamžis. Mokslininkai J. Smardzewski, M. Slonina ir M. Maslej išsiaiškino ar Europos klimatu (kai santykinė oro drėgmė yra 40%, o aplinkos temperatūra 26°C) pagaminti ruošiniai yra tinkami tropinėmis sąlygomis (kai santykinė oro drėgmė nuo 65% iki 85% ir temperatūra – 22 - 29°C) laikomiems baldams [17].

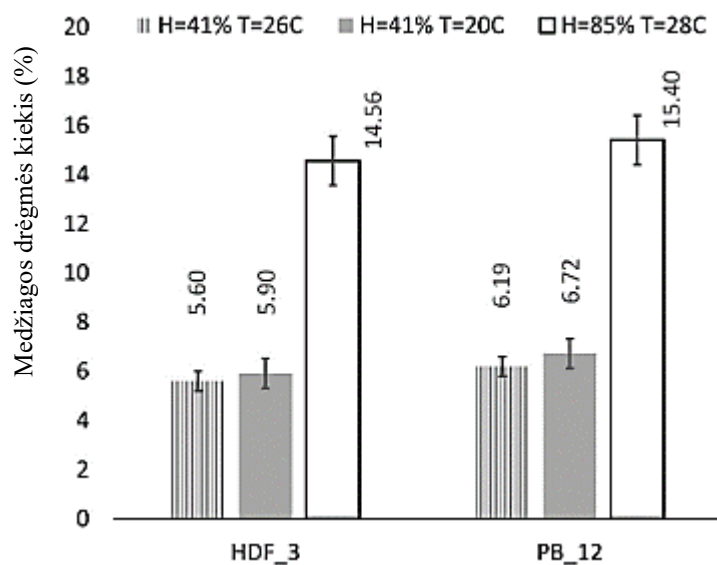
Mokslininkai ištyrė klimato poveikį medienos standumui ir kampinių jungčių stiprumui. Eksperimentui mokslininkai paruošė L-tipo ruošinį (žr. 6 pav.). Ruošiniui naudojamas 12mm aukščio korys, 3mm HDF, PB-2 medienos drožlių plokštės (P2 – baldinė plokštė skirta vidaus baldams) ir PVAc klijai. Paruošti 72 ruošiniai, kurie pagaminti tokiomis oro sąlygomis: santykinis oro drėgnumas 41% ir oro temperatūra 26°C. Ruošiniai kondicionuojami 3 sąlygomis [17]:

1. Kai ruošiniai laikomi gamavimo sąlygomis;
2. Kai santykinė oro drėgmė 85% ir oro temperatūra 28°C;
3. Kai santykinė oro drėgmė 40% ir temperatūra 20°C.



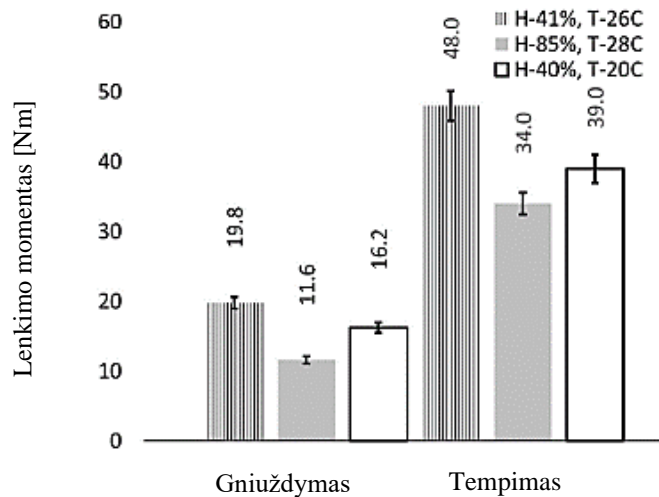
6 pav. L – tipo jungtis [17]

Skirtingomis sąlygomis laikomos medžiagos (HDF ir Pb-2) skyrėsi absoliutaus drėgnumo kiekiu ruošinyje. Pastebėta, jog medžiagos laikomos 20-26°C temperatūroje ir 41% santykinėje aplinkos drėgmėje yra panašaus absoliutaus drėgnumo, tai yra HDF drėgnis yra 5,6% ir 5,9%, o medienos drožlių plokštės drėgnis – 6,19% ir 6,72%. Tačiau tropinėmis sąlygomis laikomi ruošinių drėgnis yra 14,56% ir 15,4%, tai net 62% didesnis nei Europietiško klimato (žr. 7 pav.) [17]. Todėl galima teigti, jog šios medžiagos lengvai pasisavina drėgmę iš aplinkos sąlygų.



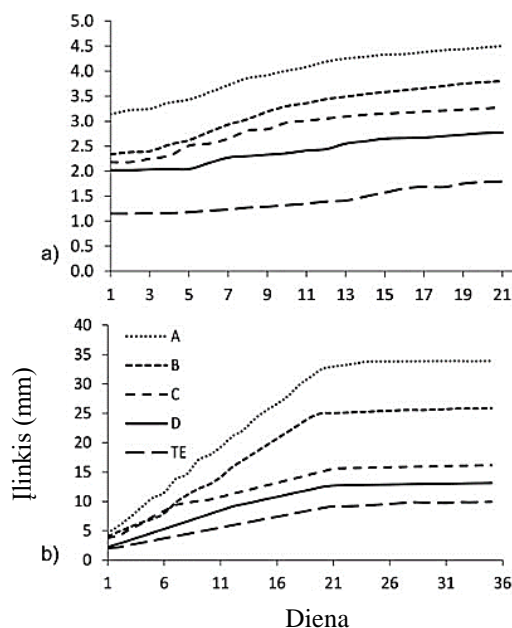
7 pav. Absoliutaus medžiagų drėgno skirtumai [17]

Autoriai taip pat nustatė, eksperimentinės jungties stiprumą. Šiuo tikslu jie apskaičiavo lenkimo momentą. Matyti, jog su oro drėgmės ir temperatūros padidėjimu pastebimai sumažėjo jungties stiprumas. Pavyzdžiai, kurie buvo laikyti įprastomis sąlygomis (santykinė oro drėgmė=41% ir T=26°C), parodė didžiausią atsparumą lenkimui 19,8Nm ir šiomis sąlygomis laikoma medžiaga yra atsparesnė tempimui 48Nm (žr. 8 pav.) [17]. Galima teigti, kad medžiagos savybės gniuždant ir tempiant yra tada, kai medžiagos yra laikomos Europietiškomis sąlygomis.



8 pav. Jungčių stiprumas [17]

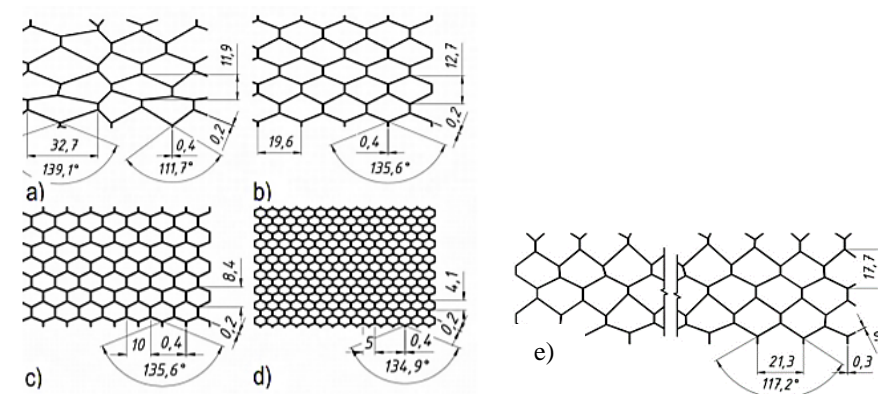
Taip pat atliktas bandymas, kai mokslininkas J. Smardzewski ir kolega D. Kramski ištyrė aplinkos poveikį plokštės ilgaamžiškumui. Tyrimui naudotos tokios sąlygos: kai ruošiniai laikomi gaminimo sąlygomis; kiti ruošiniai laikomi, kai santykinė oro drėgmė 85% ir oro temperatūra 28°C; bei kai santykinė oro drėgmė 40% ir temperatūra 20°C. Lentynos apkrautos 38kg svarmenimis (1476 N/m²) ir viršutiniam elementui uždėtas 18kg svarmuo (630.6 N/m²). Ruošiniai laikyti 21 dieną nurodytomis sąlygomis. Po 21 dienų kondicionavimo įprastomis sąlygomis (T=26°C; H=40%) didžiausios įlinkio vertė buvo A lentynai (viršutinė lentyna), tačiau viršutinis elementas pasižymėjo didžiausiu standumu. Didėjant laikymo trukmei įlinkis didėjo, tačiau didėjimas nebuvo proporcingas. Didesnė drėgmė ir aukštesnė oro temperatūra (T=28°C; H=85%) lėmė spartesnę deformacijų padidėjimą, tačiau įlinkių didėjimas nebuvo proporcingas. Didžiausias įlinkis užfiksuotas A tipo lentynoms, mažiausias – D tipo lentynoms (žr. 9 pav.) [18]. Didėjant aplinkos drėgmeniui ir temperatūrai didėja ruošinio įlinkis.



9 pav. Lentynų įlinkis esant: a) T=26°C; H=40%; b) T=28°C, H=85% [18]

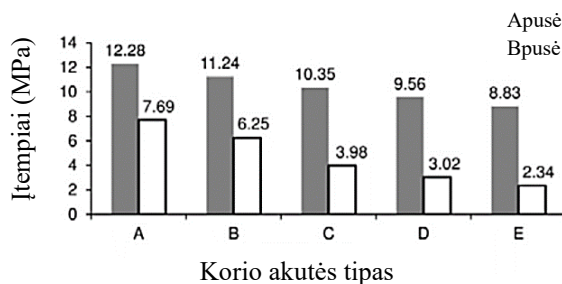
Remiantis šių bandymų rezultatais galima teigti, jog lengvintas skydas yra geriausios kokybės, kai aplinkos temperatūra yra 26°C ir santykinė oro drėgmė 40%. Tokios sąlygos yra naudingiausios lengvinto skydo eksploatacijai. Atogrąžų klimatą primenančios sąlygos nebuvo tinkamos šioms konstrukcijoms.

Mokslininkas Jerzy Smardzewski įrodė, jog lengvinto skydo plokštė yra tokių mechaninių savybių, kurios tinkamos baldams. Tyrimui naudojama 3mm HDF plokštė ir popierinis korinis užpildas, kurio aukštis 12mm, popieriaus gramatūra 140g/m². Skydas buvo paruoštas laboratorinėmis sąlygomis, naudojant kljus PVAc. Iš viso matuota 15 ruošinių, kurių išmatavimai (50mm pločio ir 50 mm ilgio) atitinka EN310:1993 standarto reikalavimus. Standartas nurodo plokščių elementų elastingumo modulį. Eksperimento metu palyginamo akučių formos įtaka galutinio ruošinio kokybei (žr. 10 pav.) [19].



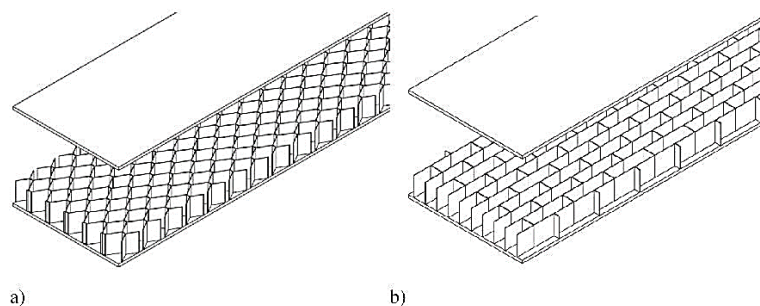
10 pav. Tiriamų akučių formos: a) B; b) C; c) D; d) E; e) A [19]

Rezultatai įrodė, jog A ir B tipų plokštėse (netaisyklingos akutės) atsparumas gniuždymui yra maždaug 12,28 ir 11,24 MPa. Kito tipo plokštėms C, D, E įprastai naudojamoms akutėms skirtumas siekia iki 6,5MPa. Todėl galima teigti, kad netaisyklingos formos akutė kompensuoja įtempius (žr. 11 pav.) [20]. Kuo didesnis korinio užpildo storis, tai yra jei gaminyje yra daugiau akučių ir sienelių, tuo įtempiai ruošinyje yra mažesni.



11 pav. Įtempių skaičiavimas esant skirtingo dydžio akutėms [20]

Mokslininkas Smardzewski įrodė, jog popierinio korinio užpildo dydis daro įtaką ruošinio įtempiams. Kiti jo kolegos Adam Gajecki ir Marlena Wojnowska įrodė skirtumus tarp taisyklingo šešiakampės akutės ir kvadratinės akutės popieriniame koriniame užpilde. Ruošiniai suklijuojami HDF plokštė ir laikomi 2 savaites. Pirmi pavyzdžiai ruošiami pagal EN 310 standartą, išpjaunami 50mm pločio ir 50mm ilgio. Antri pavyzdžiai išpjaunami 100mm ilgio ir 50mm pločio. Akutės buvo dedamos dviem kryptimis pagal ilgąjį kraštą (L) ir trumpąjį kraštą (P) (žr. 12 pav.) [20].



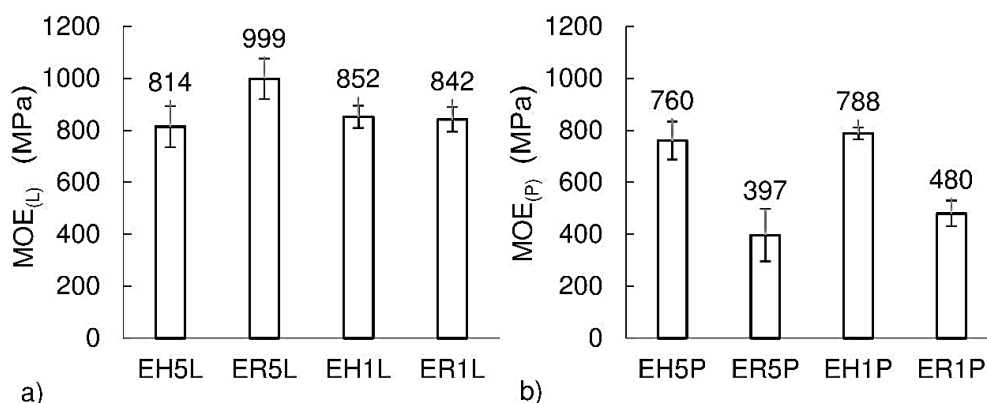
12 pav. Testuojamos akutės: a) taisyklingo šešiakampio formos; b) stačiakampio formos [20]

Testuojamiems ruošiniams suteikiami kodai, kurie nurodyti 2 lentelėje.

2 lentelė. Ruošinių pavadinimai pagal testuojamą tipą [20]

Akutės forma	Pavyzdžio plotis	Akučių orientacija	Kodas
Taisyklingas šešiakampis	50 mm	Plotis	EH5P
		Ilgis	EH5L
	100 mm	Plotis	EH1P
		Ilgis	EH1L
Stačiakampis	50 mm	Plotis	ER5P
		Ilgis	ER5L
	100 mm	Plotis	ER1P
		Ilgis	ER1L

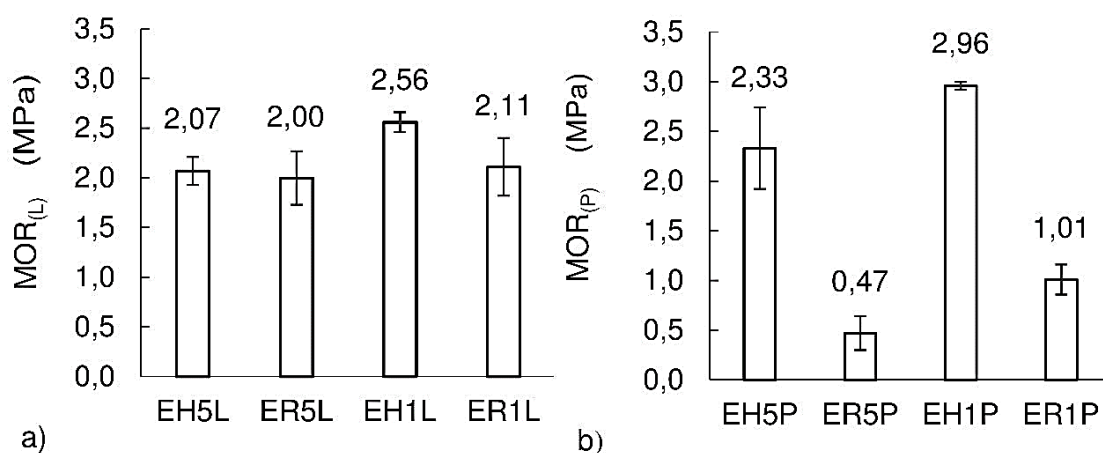
Ruošiniams nustatomi elastingumo modulis ir lenkimo stipris. Rezultatai lyginami tarpusavyje. Gauti rezultatai parodo, jog plokštė su taisyklingo šešiakampio formos akutėmis pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis. Geriausias elastingumo modulis apskaičiuotas ER5L ruošiniui 999MPa, mažiausi ER5P – 397MPa. Todėl galima teigti, jei akutės bus orientuotos trumpąją kryptimi ir taisyklingo šešiakampio formos, tada ruošinys bus mechaniškai stipresnis (žr. 13 pav.) [20].



13 pav. Elastingumo modulis lengvinto skydo plokštėms skirtingoms kryptims: a)L ir b) P [20]

14 paveikslėlyje nurodomi lenkimo stiprio testavimo rezultatai. L kryptimi didžiausia lenkimo stipriui vertė buvo užfiksuota 100mm pločio ruošinyje su šešiakampe šerdimi 2,56MPa. Tokio paties pločio, bet su stačiakampe šerdimi pasižymėjo 20% mažesniu stiprumu – 2,11 MPa. 50mm pločio bandinių

rezultatų vertės buvo panašios viena į kitą, atitinkamai 2,07MPa ir 2,00MPa. Plokščių su P orientuotomis akutėmis lenkimo stipris buvo įvairesnis. Didžiausia vidutinė vertė nustatyta 100mm pločio bandiniui su šešiakampe akute 2,96MPa, tuo tarpu bandinio su stačiakampe šerdimi vertė buvo 1,01 MPa [20].

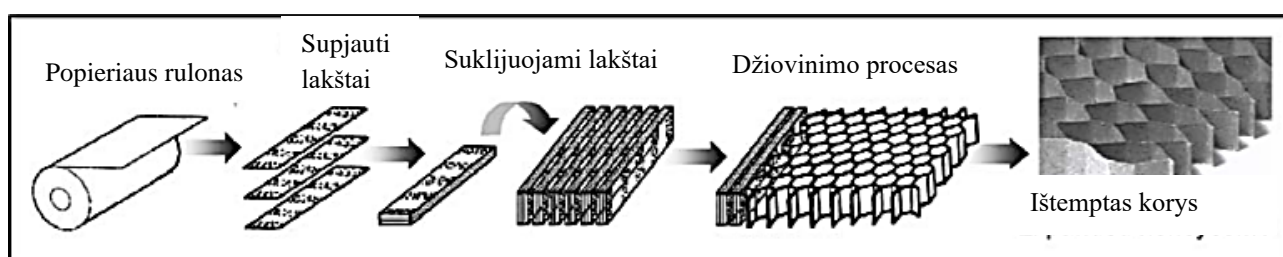


14 pav. Lenkimo stipris [20]

Taigi mokslininkai įrodė, jog šešiakampės formos akutės popierinis korinis užpildas yra didesnio standumo nei stačiakampio formos ruošinio.

1.3. Medžiagų kokybė

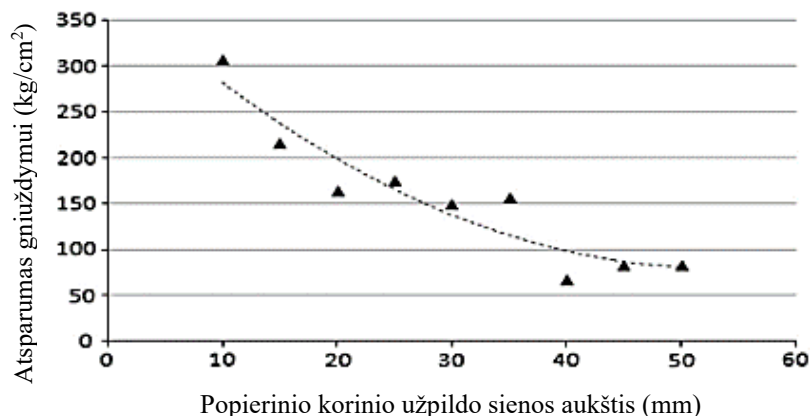
Popierinis korinis užpildas daro labai didelę įtaką ruošinio kokybei, todėl labai svarbu, jog korinis užpildas būtų kokybiškas ir tinkamai paruoštas. Popierinis korinis užpildas baldų gamybai gaminamas naudojant klijus. Popieriaus rulonas yra supjaustomas į reikalingo pločio ir ilgio juosteles. Juostelės suklijuojamos tarpusavyje tam tikrose vietose, taip gaunamas „kilimas“. Gaminant baldus „kilimas“ džiovinimo proceso metu yra ištempiamas ir išdžiovinamas, tam kad produktas įgautų korio formą (žr. 15 pav.) [5].



15 pav. Korio ištempimo procesas [4]

Kaip ir minėta anksčiau labai mažai straipsnių yra tiriančių popierinį korinį užpildą, tačiau nepaisant to yra keletas mokslininkų, kurie tyrė popierinio užpildo savybes. Mokslininkai W. Dongmei ir B. Ziyu tyrė popierinio korinio užpildo atsparumą gniuždymui, naudojant skirtingą medžiagos aukštį (10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mm, 40mm, 45mm, 50mm), bei skirtingą popieriaus storį (0,025mm, 0,031mm, 0,035mm, 0,042mm, 0,045mm). Tyrimo metu nustatyta, jog didžiausią apkrovą statiniu ir dinaminiu būdu gali atlaikyti mažiausio aukščio 10mm ir storesnės sienos 0,035mm popierinis korinis užpildas (žr. 16 pav.). Grafike vaizduojama kreivė rodo, jog kuo plonesnė korio siena, tuo gaminys yra mažiau atsparus gniuždymui. Tiriant skirtumus tarp gaminių sienų

pastebėta, jog geriausias popieriaus storis yra 0,031mm ir 0,035mm, tada korys gali atlaikyti apie 150kg į kvadratinį centimetrą. Galima teigti, jog gaminys gali atlaikyti didesnes mechanines apkrovas, kai korio aukštis yra 10mm ir popieriaus sienos aukštis yra 0,035mm. Mažiausias mechanines apkrovas gali atlaikyti 50mm aukščio korys [5].

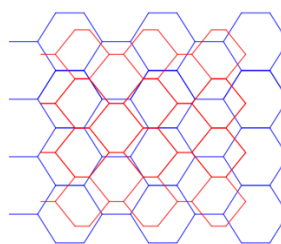


16 pav. Korinio atsparumas gniuždymui naudojant skirtingo aukščio ir skirtingo storio korinį užpildą [5]

Tiriant mokslininkų darbus atkreiptas dėmesys, jog medžiagos atsparumas mechaninėms savybėms yra tiesiogiai priklausomas nuo medžiagos akutės dydžio bei formos. Mokslininkas Weichao Yang su kolegomis tyrė korinio užpildo akutės dydžio įtaką gniuždymui. Naudoti 5 skirtingi akutės dydžiai, kurie dažniausiai pasitaiko baldų pramonėje. Taigi naudotas 32mm aukščio korinis užpildas skirtas baldų pramonei, kurio akučių dydis parinktas: 14mm, 18mm, 20mm, 24mm ir 26mm. Mokslininkai įrodė, kad turint 14mm akutės korį gaminys gali atlaikyti iki 220kg/m², 18mm – 180kg/m², 20mm – 170kg/m², 24mm – 145kg/m² ir 26mm – 123kg/m² apkrovas. Taigi galima teigti, jog kuo gaminys turi mažesnę akutę, tuo jis yra mechaniškai stipresnis [21].

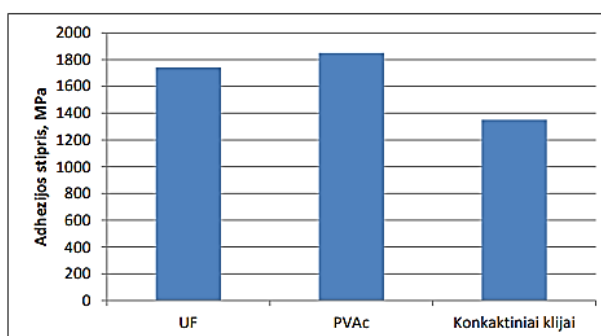
Tačiau mokslininkai Genzhun Feng, Shi Li, Lijun Xiao ir Weidong Song įrodė, kad netik akutės dydis daro svarbią įtaką gaminio kokybei. Popierinio korio akutės forma gaminį padaro 1,5 karto stipresnį. Elipsės formos akutė gali atlaikyti 1,5 karto mažiau kilogramų į kvadratinį centimetrą apkrovas nei taisyklingo šešiakampio akutės popierinis korinis užpildas. Naudojant taisyklingo šešiakampio formos akutę, galima naudoti didesnės akutės korį ir galima gauti tą pačią kokybę kaip ir naudojant mažesnės akutės elipsės formos korinį užpildą (žr. 17 pav.). Įrodyta, jog 220kPa gali atlaikyti 22mm akutės elipsės formos korys ir 26,1mm akutės taisyklingo šešiakampio formos korys. Toks mokslininkų tyrimas leidžia turėti gamyboje didesnę amplitudę gaminių, įvertinant gaminių kainą, nes didesnė akutė leidžia sutaupyti žaliavų gaminant korį, todėl popierinis korinis užpildas yra pigesnis [22].

CS22
CS26.1



17 pav. Elipsės formos akutė, kurios dydis 22mm (raudona) ir taisyklingo šešiakampio formos akutės, kurios dydis 26,1mm (mėlyna) palyginimas [22]

Klijavimo procese gaminio kokybei daro netik popierinis korinis užpildas, tačiau ir klijai su kuriais medžiaga yra klijuojama. Turkų mokslininkai ištyrė 3 tipų klijus: PVAc, karbamido-formaldehido (UF) klijus ir kontaktinius klijus (kaučiuko pagrindu). Tyrimas atliktas klijuojant 0,6mm lukštą, 0,9mm storio laminatą ir 18mm MDP ir MDF su pušies, ąžuolo, medienos drožlių plokšte (MDP) ir vidutinio tankio medienos plaušų plokšte (MDF). Bandiniai laikomi kameroje, kurioje nustatyti parametrai: $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ šilumos ir $65\pm 3\%$ sąlyginio drėgnumo sąlygomis. Nustatyta, jog stipriausia adhezija gauta naudojant PVAc klijus, tuo tarpu kaučiuko pagrindo klijai turi mažiausią adheziją. Nedidelis skirtumas pastebėtas tarp PVAc ir UF klijų (žr. 18 pav.) [23].



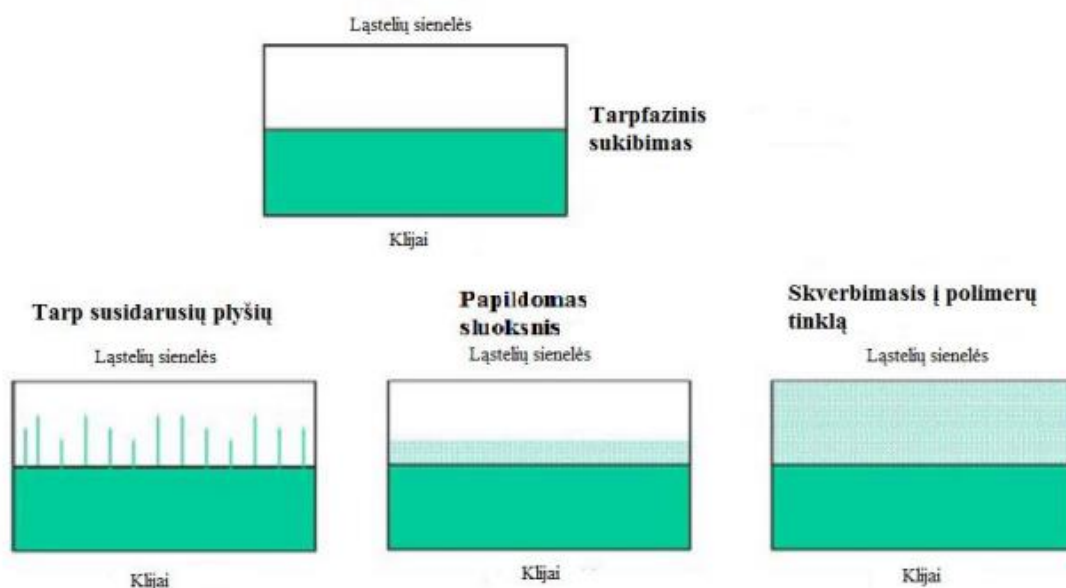
18 pav. Stiprumo palyginimo rezultatai [23]

Norint gauti geros kokybės produktą, reikia ne tik parinkti tinkamas medžiagas, tačiau ir išanalizuoti klijų veikimo principą. Klijavimo režimas skirstomas į pagrindinius ir šalutinius. Pagrindiniai režimai daugiausia atspindi klijavimo proceso būklę ir aspektus, tačiau labai svarbu atkreipti dėmesį ir į šalutinius, nes jie yra labai svarbūs norint turėti labai stiprią klijų sanklijos kokybę. Pagrindiniai klijavimo veiksniai yra: klijavimo temperatūra, klijavimo slėgis, klijavimo trukmė. Šalutiniai veiksniai yra: klijų būklė, klijų kiekis, aplinkos būklė, klijuojamo paviršiaus kokybė, atviro ir uždaro išlaikymo trukmė, išlaikymas po suklijavimo. Gaminys bus kokybiškas, jei visi parametrai ir veiksniai bus teisingai parinkti ir nustatyti [24].

Adhezija yra sritis, kuri nagrinėjama skirtingose srityse ir su skirtingais produktais. Adhezijai nagrinėti daugiausia taikoma adsorbcinė ir termodinaminė teorija. Šios teorijos aiškina adhezinį ryšį tarp molekulinų jėgų, klijų. Klijavimo procesas susideda iš dviejų stadijų [25]:

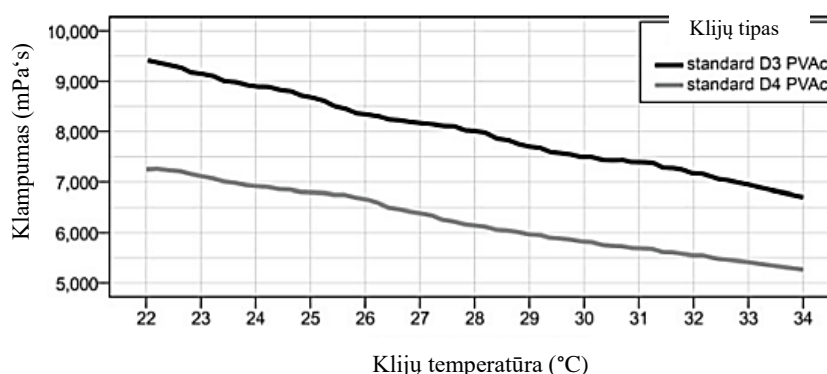
1. Polimero molekulės iš tirpalo migruoja prie substrato paviršiaus. Šis etapas vyksta pirmąsias klijavimo minutes, kai klijai yra užtepami jau ant gaminio paviršiaus.
2. Klijai skverbiasi į substrato vidų, taip skverbdamiesi į polimerų tinklą.

Vandens pagrindo klėjai, tokie kaip PVAc, kietėja tada, kai vanduo fiziškai pilnai būna išiskverbęs į medienos medžiagą. Klėjai suformuoja sausų liekanų plėvelę, kuri lieka medžiagos paviršiuje (žr. 19 pav.) [25].



19 pav. Skirtumas tarp klėjų skverbimosi į medžiagas [25]

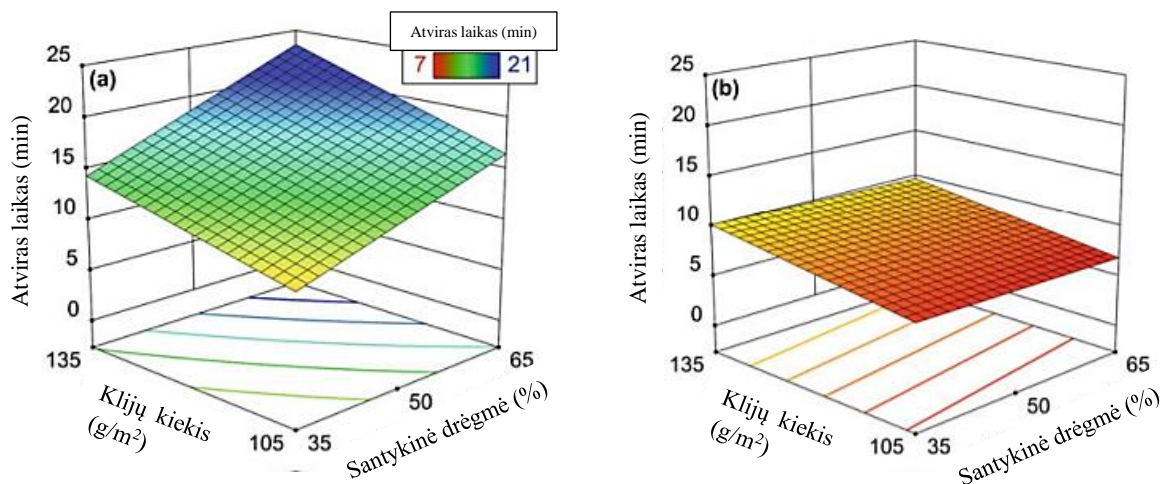
PVAc klėjai formuoja plėvelę iškart po užtepimo ant medžiagos paviršiaus. Todėl norint turėti tvirtą sukibimą HDF su popieriniu koriniu užpildu labai svarbus yra PVAc klėjų kiekis ant medžiagos paviršiaus, bei atviras formavimo laikas. Mokslininkas Bliem ir kolegės įrodė, jog aplinkos temperatūra ir medžiagos būseną, taip pat medžiagos kiekis daro įtaką atviram laikui. 23°C temperatūros MDF ruošinys yra testuojamas skirtingomis oro sąlygomis: santykinis oro drėgnumas 35%, 50% ir 65% ir kai temperatūra 23-33°C. Tyrimas įrodė, jog kuo aukštesnė medžiagų temperatūra, tuo klėjų klampumas mažėja, tai yra įgeriamumas į medžiagą sumažėja (žr. 20 pav.). Taigi, jei medžiagos, tai yra PVAc, temperatūra yra 22°C, tada galima teigti, jog klėjų klampumas yra didžiausias 9500mPa/s [26].



20 pav. Klėjų klampumo palyginimas esant skirtingoms klėjų temperatūroms [26]

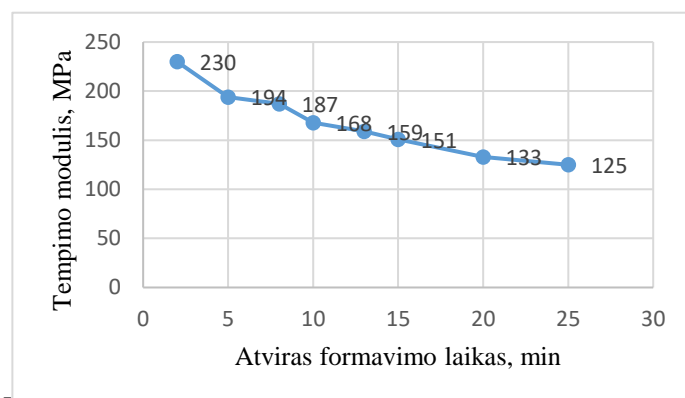
Gaminant lengvintą skydą naudojama D3 klasės klėjai. Mokslininko Bliem tyrimas įrodė, kai medžiagų (MDF ir PVAc) temperatūra yra 23°C, tada atviras klėjų veikimo laikas yra iki 23min (žr. 21 pav.). Turint aukštesnę temperatūrą, tai yra 33°C atviras klėjų veikimo laikas sumažėja iki 10min.

Taigi, jei klijų kiekis yra 135 g/m^2 , santykinė drėgmė 65%, medžiagų temperatūra 23°C , tada atviras laikas galimas iki 25min. Tačiau jei klijų kiekis yra 135 g/m^2 , santykinė drėgmė 65%, medžiagų temperatūra 33°C , tada atviras laikas – 10min. Medžiagų temperatūra yra labai svarbus rodiklis klijų veikimo procese [26].



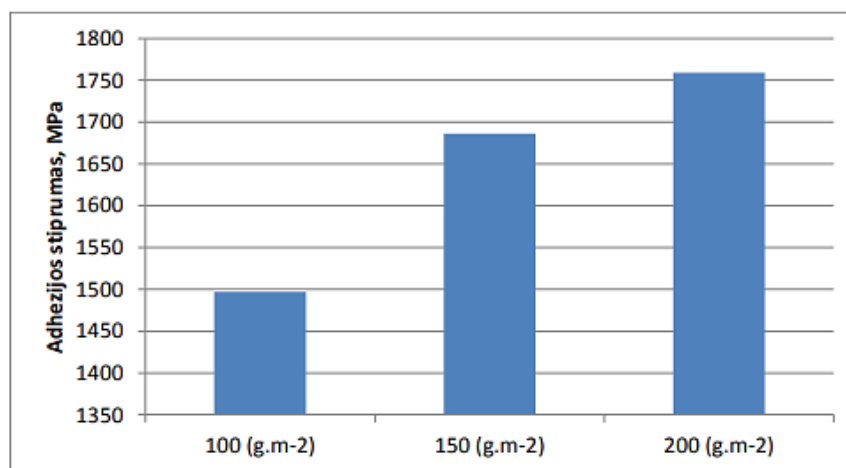
21 pav. D3 PVAc atviro išlaikymo modelis, turint skirtingas sąlygas: a) klijų ir medžiagų temperatūra 23°C , b) klijų ir medžiagų temperatūra 33°C [26]

Mokslininkai P.Bliem, H.W.G. van Herwijnen, R.Meissl, W. Stadlbauer ir J. Konnerth ištyrė D3 klasės klijų sanklijos stiprumą esant skirtingam atviram formavimo laikui. Atviras formavimo laikas vadinamas laikas, kai klijai yra užnešami ant medžiagos paviršiaus iki kontakto su kita žaliava [16]. Testuojamuose klijuose sausos medžiagos kiekis yra 49,5%. Klijai užnešami ant MDP plokštės pavyzdžių, kurių ilgis 100mm ir plotis 20mm. Sanklijos stiprumas tikrinamas tempimo įranga. Ruošiniai tikrinami po 24 valandų, kai gaminiai laikomi 24°C temperatūros ir 45% santykinės oro drėgmės aplinkoje. Gauti rezultatai, jog kuo ilgesnis atviras laikas, tuo silpnesnė suklijavimo siūlės kokybė, tai yra jei gaminys formuojamas 25min, tada gaminio suklijavimas yra silpnesnis. Dažniausiai PVAc rekomenduojamas atviras formavimo laikas yra iki 8 minučių, tada tempimo modulis yra 187MPa. Jei atviras laikas ilgėja 2minutėmis, tada sanklijos kokybė mažėja 10% (žr. 22 pav.)[27].



22 pav. Sanklijos kokybė esant skirtingam atviram surinkimo laikui [27]

Klijų kiekis daro įtaką adhezijos kokybei. Mokslininkas Mehmet Budakci tirdamas adhezijos stiprumą ištyrė, jog kuo didesnis klijų kiekis ant medžiagos paviršiaus, tuo sanklija yra tvirtesnė. Adhezijos stiprumas tirtas medienos drožlių plokštės kvadratinio metro dydžio ruošiniams. Testuoti 3 dažniausiai naudojami klijų kiekiai 100g/m², 150g/m² ir 200g/m². Nustatyta, kad didžiausias stiprumas yra tada, kai vienam kvadratiniam metrui naudojamas didžiausias klijų kiekis, tai yra 200g/m². Naudojant tokį klijų kiekį gaunamas 4% stipresnė adhezija nei naudojant 150g ir 15% geresnis nei naudojant 100g klijų vienam kvadratiniam metrui (žr. 23 pav.) [28].

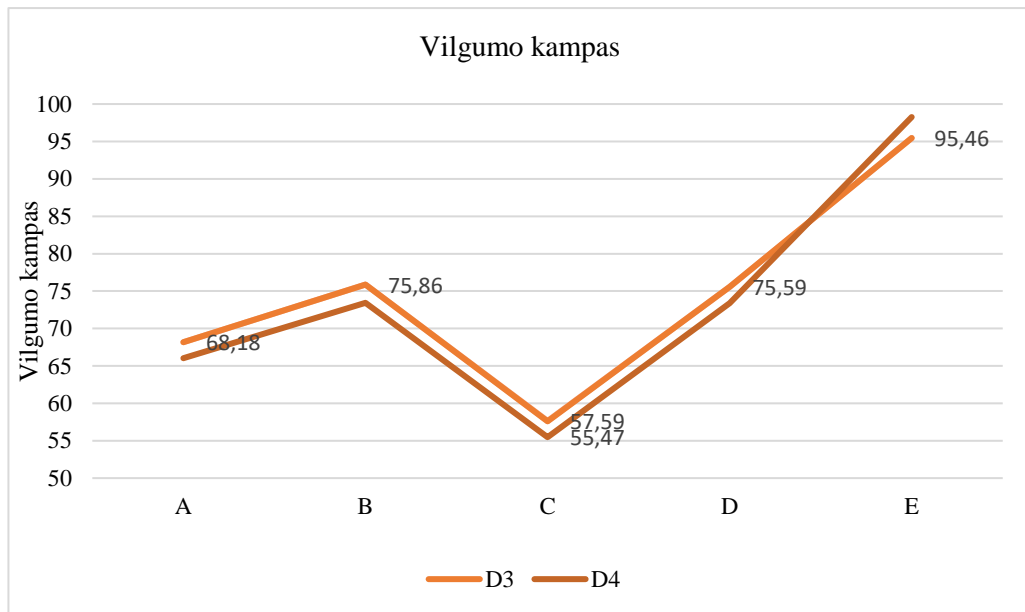


23 pav. Klijų kiekio palyginimo rezultatai [28]

Kroatų mokslininkai ištyrė PVAc klijų elgseną su popieriumi, kurio gramatūra yra 80g/m². Popierius imamas be jokių papildomų priedų, tai yra neperdirbta žaliava. Išmatuotas popieriaus šiurkštumas, drėgnumas, pelenų ir CaCO₃ kiekis, gauti rezultatai pateikti 3 lentelėje. Pavyzdžiai ištirti su skirtingais klijų tipais: D3 ir D4. Taigi, kai popieriaus drėgnumas yra 5,10% ir šiurkštumas 2,83 μm, tada medžiaga geriau sugeria klijus, tai yra vilgumo kampas yra ~55,47°. Popieriaus sudėtis ir parametrai daro didelę įtaką klijų įgeriamumui, klijų tipas įgeriamumui įtakos nedaro. Matoma, jog skirtingų klasių klijai rodo vienodus rezultatus su skirtingais ruošiniais (žr. 24 pav.) [29].

3 lentelė. Analizuoto popieriaus savybės [29]

Popieriaus pavyzdys	Popieriaus matavimo rezultatai					
	Šiurkštumas (μm)	Drėgnumas (%)	Pelenų kiekis (%)	CaCO ₃ kiekis (%)	CaO kiekis (%)	Neorganinių medžiagų likučiai (%)
A	2,83	4,66	11,39	17,85	10,76	0,63
B	2,56	4,78	13,67	20,55	13,33	0,34
C	2,83	5,10	11,51	20,27	11,16	0,35
D	3,04	4,40	16,63	30,01	16,60	0,03
E	5,33	5,11	0,00	0,00	0,00	0,00



24 pav. Vilgumo kampo rezultatai, testuojant skirtingus PVAc klijų tipus [29]

Remiantis išanalizuotais moksliniais straipsniais, galima teigti, kad gaminant skydą su popieriniu koriniu užpildu svarbiausi parametrai yra medžiagos, technologiniai parametrai ir aplinkos sąlygos. Parinkus tinkamai klijavimo režimą ir klijavimo technologiją, gaunami aukštos kokybės gaminiai, kurie gali būti ilgaamžiai. Apžvelgus mokslininkų darbus pastebėta, jog tiriamos atskiros medžiagos, tačiau ne skydas, todėl suformuoti uždaviniai, kurie tikimasi padės išsiaiškinti tinkamiausius parametrus gaminant lengvintą korinį skydą.

2. Metodologinė dalis

2.1. Tyrimams naudotos medžiagos

Tyrimams naudojamos medžiagos, kurios naudojamos lengvinto korinio skydo gamybai:

4. PVAc klijai: vienkomponenčiai vandens pagrindo polivinilacetato (PVAc) klijai su efektyviais priedais [30]. Gamintojas „Synthos Group“, klijų pavadinimas „Woodmax SW 12.47“ D2 klasė.
5. Aukšto tankio medienos plaušų plokštė (HDF): medienos plaušų plokštė, kuri naudojama kaip lengvinto skydo pagrindas. Medžiagos storis 2,5mm [31].
6. Popierinis korinis užpildas: ši medžiaga sudaryta iš visiškai natūralaus perdirbto arba neperdirbto popieriaus ir vandens pagrindo klijų, kurie naudojami šešiakampeį ląstelių struktūrai sukurti [32]. Gamintojai „Axxor GmbH“ ir „Honicel GmbH“. Tyrimo metu naudojami 150g/m² popierinis korinis užpildas. Dviejų tipų: perdirbtas ir neperdirbtas.
7. Medienos drožlių plokštė (MDP): tai trijų sluoksnių, supresuota, nušlifluota medienos drožlių plokštė, atitinkanti EN312. Plokštės storis 22mm. Lenkimo stiprumas – 10,5MPa. Gamintojas „Kronospan Riga“ [33].

Medžiagų techninės specifikacijos pateiktos prieduose (žr. 1 priedą).

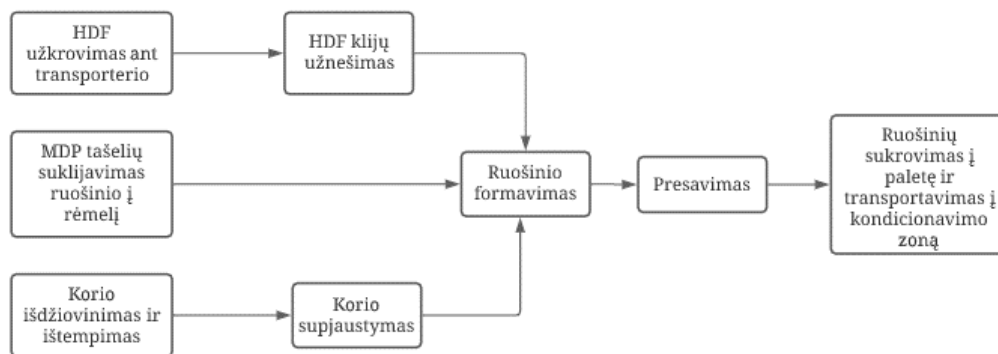
2.2. Medžiagų paruošimas

Tyrimams naudojamas jau pagamintas skydas, bei atskirų medžiagų komponentai. Popierinio korinio užpildui tyrimui naudojamas ištemptas ir išdžiovinamas korys. Korys džiovinamas popieriaus užpildo džiovinimo – ištempimo staklės „EDOK“, kurios yra skirtos: popieriaus užpildo džiovinimui, ištempimui, formavimui, storio kalibravimui ir popieriaus užpildo pjovimui. Džiovinimo sistema remiasi uždaryto priverstinio karšto oro cirkuliavimo taikymu, kurį užtikrina didelio našumo karšto oro ventiliatoriai, elektriniai kaitintuvai, gariniai kaitintuvai bei džiovinimo kameros konstrukcija. Automatinė sistema kontroliuoja ekonomišką nustatytos džiovinimo temperatūros palaikymą ir valdo ilgio matavimo, pjovimo bei popieriaus transportavimo operacijas (žr. 25 pav.) [14]. Popierius džiovinamas 90°C temperatūroje iki tam tikro drėgnumo.



25 pav. „EDOK“ popierinio korio džiovinimo - ištempimo įrenginys [14]

Lengvinto skydo tyrimui naudojami suklijuoti ruošiniai, kurie yra supjaunami į tyrimams reikalingus dydžio ruošinius. Klijavimo proceso režimai yra parenkami pagal testuojamus parametrus ir yra nurodomi kiekvieno tyrimo metu. Korinio skydo gamybos principinė schema vaizduojama diagramoje (žr. 26 pav.). Presavimas vykdomas 70°C temperatūroje ir vėsina iki aplinkos temperatūros.

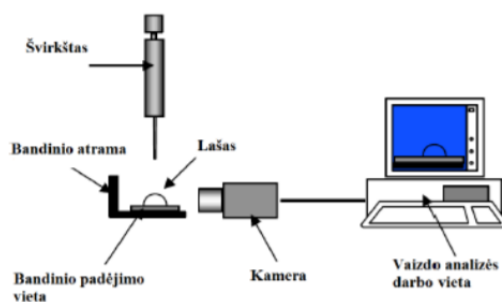


26 pav. Korinio skydo gamybos principinė schema

2.3. Bandymų metodai

Medžiagų drėgnis nustatomas naudojant elektrinę krosnelę SNOL 25/2M ir laboratorines svarstyklės EK-i. Popierinio korinio užpildo, kurio matmenys 100x100mm kaitinami 100°C laipsnių temperatūroje 4h. Nustatoma bandinių masė prieš kaitinimą ir matuojama absoliučiai sausos medžiagos masės. Iš gautų duomenų apskaičiuotas medžiagos drėgnis. Absoliučiai sausa masė gaunama tada, kai po trijų skirtingų matavimų gaunama ta pati masė.

Vilgumo kampas nustatomas naudojant kišeninį goniometrą „PG-3“. Tyrimas atliekamas naudojant perdirbto ir neperdirbto popieriaus (100x10mm) bandinius. Naudojant prietaisą užlašinamas distiliuotas vanduo ir matuojamas lašo kampas. Užlašinus lašą jis į popierių arba įsigeria arba suformuoja lašelį. Lašas suformuoja tam tikrą kampą, o toks kampo dydis priklauso nuo paviršiaus bei skysčio paviršiaus įtempio. Paviršiaus įtempiai nusako popieriaus gebėjimą drėkti ir prilipti prie paviršiaus. Kuo mažesnis kontaktinis kampas, tuo geresnis vilgumas (žr. 4 Lentelę), tai yra tuo medžiaga turi geresnį įgeriamumą. Kuomet $\Theta = 0$, skystis drėkina kietą kūną pilnai. Todėl galima teigti, jog kūnas daugiau ar mažiau drėkinamas, kai kampas yra smailas [14]. Vilgumo nustatymo principinė schema vaizduojama 27 paveikslėlyje.



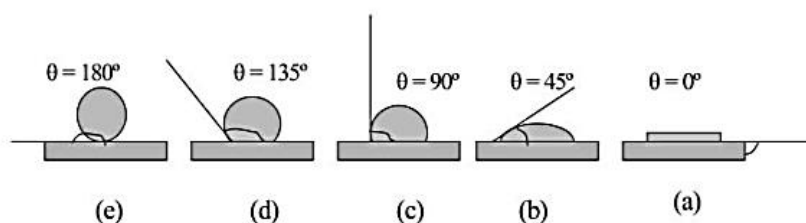
27 pav. Vilgumo nustatymo kampo įrangos principinė schema [14]

Rezultatai analizuojami pagal 4 lentelę.

4 lentelė. Vilgumo kampo ir vilgumo laipsnio ryšys [34].

Vilgumo kampas	Vilgumo laipsnis	Kieto kūno ir skystčio sąveikos stipris
$\Theta = 0$	Puikus	Stiprus
$0 < \Theta < 90^\circ$	Didelis	Stiprus/vidutinis
$90^\circ \leq \Theta < 180^\circ$	Menkas	Silpnas
$\Theta = 180^\circ$	Visiškai nederkinama	Silpnas

Vilgumo bandymo metu skystis suformuoja lašelį, kuris leidžia nustatyti medžiagos gebėjimą drėkti. Lašelio būsenos vaizduojamas (žr. 28 pav.).



28 pav. Kontaktinis lašelio kampas ant kieto paviršiaus: (a) kieto kūno ir skystčio sąveika stipri, (b) vidutinė sąveika, (c) vidutinė/silpna sąveika, (d) silpna sąveika, (e) silpna sąveika [34]

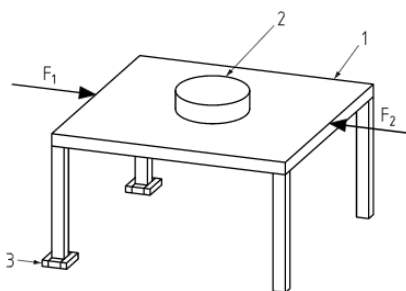
Popierinio korinio užpildo palyginimui naudojamas atsparumo lankstymui testas. Šis testas gali nusakyti popieriaus ilgaamžiškumą. Šiam testui atlikti naudojamas prietaisas H-1-3. Naudojami bandiniai, kurių ilgis 100mm ir plotis 15mm. Šie bandiniai įdedami į lankstymo įrenginį. Popieriaus atsparumas lankstymui išreiškiamas dvigubų lenkimų skaičiumi. Šį bandymą reglamentuoja ISO 2493-2:2020 standartas. Perdirbto ir neperdirbto popieriaus rezultatai lyginami tarpusavyje [35].

Popierinio korinio užpildo ir lengvinto skydo testams naudojama universali testavimo įranga „Plywood Tensile compression bending internal Bonding Universal test Machine“ (žr. 29 pav.). Siekiant išsiaiškinti drėgnio įtaką popierinio korinio užpildo mechaniniam atsparumui naudojami iki tam tikro drėgnio išdžiovinamas popierinis korinis užpildas, kurio matmenys yra 50mm ilgio ir 50mm pločio. Šie matmenys parinkti vadovaujantis ISO 1924-2 standartu [37]. Pagal gautą didžiausią jėgą F_{max} yra apskaičiuojamas mechaninis stipris. Taip pat popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka ruošiniui įrodoma testuojant sanklijos stiprį. Popierinis korinis užpildas yra dedamas ant PVAc klijuais užtepto HDF ir dedamas presuoti į presą 70°C temperatūroje ir 105s. Suklijuotų bandinių matmenys yra 50x500mm, ruošiniai po 24h yra supjaustomi į 35x40mm dydžio bandinius. HDF atplėšimas atliekamas ta pačia universalia mašina, puansono judėjimo greitis 11mm/min. Pagal gautą didžiausią jėgą F_{max} apskaičiuojamas sanklijos stipris.



29 pav. Atsparumo gniuždymui matavimo įranga

Aplinkos parametrų įtaka ruošinio kokybei testuojama pagal EN1730:2012 standartą, 6.2 punktą. Testavimui naudojami 800mm ilgio ir 400 pločio ruošiniai, kurie gaminti naudojant: 100g/m² PVAc klijus; HDF, kurio temperatūra 22 laipsniai, popierinį korinį užpildą, kurio drėgnis 4,2%. Ruošiniai presuojami karštuoju būdu, kai presuojama 70°C temperatūroje ir prese išlaikomi 2min ir šaltuoju būdu, kai presuojama tik suspaudus ruošinius 8min. Ant pagamintos detalės uždedamas 50kg svarmuo, kuris dedamas ruošinio centre (žr. 30 pav.) [38]. Ruošiniai gaminami skirtingomis oro sąlygomis, oro sąlygos yra užtikrinamos oro drėkintuvų, matuojamos laboratorijoje instaliuotų sensorių pagalba.



30 pav. Testavimo metodas [26]

Detalės įlinkis yra matuojamas 0,1mm tikslumu kasdien tą pačią valandą. Siekiant išsiaiškinti ruošinio gamybos būdo ir aplinkos parametrų įtaką ruošinio kokybei yra apskaičiuojamas tamprumo modulis.

Korys į ruošinį įdedamas skirtingu būdu, todėl siekiant išsiaiškinti popierinio korinio užpildo įdėjimo įtaką ruošinio stipriui atliekamas mechaninio stiprumo testas. Pagaminti trys skydų variantai, kurių plotis yra 400mm, ilgis – 800mm ir storis 40mm. Korys įdedamas į medienos drožlių plokštės rėmelį ir uždengiami dviem 2,5mm dydžio HDF skydais. Popierinio korinio užpildo aukštis yra 35mm. Klijų kiekis ant HDF ruošinio - 95g/m². Aplinkos parametrai 21°C temperatūra ir 54% santykinė drėgmė. Po 24h ruošiniai buvo išpjauti į 40mmx50mmx50mm dydžio ruošinius. Jėga matuojama 0,01N tikslumu. Testuojama universalia testavimo įranga, ruošinius gniuždant tol kol gaunama didžiausia jėga F_{max} . Ruošiniai sulyginami apskaičiuojant medžiagos stiprį.

Pastebėta, jog ruošinius gaminant šaltuoju būdu klijų užnešimas yra svarbus veiksnys norint turėti lygias detales. Klijų veleno dydis yra 2600mm, todėl turint tokį dydžio veleną klijų kiekio reguliavimas yra labai sudėtingas procesas. Pirmiausia, sveriamas klijų kiekis kiekvieno klijų užnešimo veleno pusėje. Klijų kiekis gaunamas praleidus HDF ruošinį (250x250mm). Užnešus klijus

ant HDF ruošinio, ruošinys dedamas ant svarstyklių. Apskaičiuojamas kiekis kvadratiniam metrui. Atlikus matavimus apskaičiuojamos C_p ir C_{pk} reikšmės. C_p rodiklis nustato specifikacijos pasiskirstymą proceso plotyje. Kadangi šis rodiklis nusako sklaidos apibendrinimą, todėl galima pritaikyti klijų užnešimo proceso kokybės būklės vertinimui (žr. 5 lentelę). C_{pk} rodiklis parodo, kaip procesas yra pasiskirstęs specifikacijos ribose [38].

5 lentelė. Proceso kokybės būklės apibendrinimas pagal C_p rodiklio vertę [38]

Proceso kokybės būklė	C_p vertė
Procesas viršija nustatytas minimalias reikšmes	$1 \leq C_p = 2,00$
Puikus (procesas atitinka reikalavimus)	$C_p = 1$
Procesas negali gaminti gaminio nustatytoje specifikacijoje	$0,75 = C_p \leq 1$

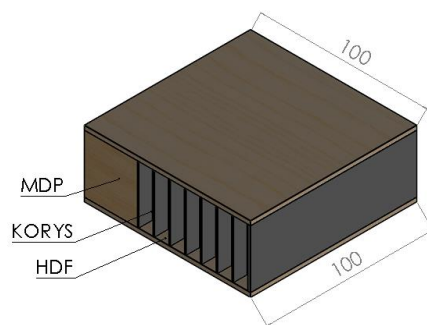
Rodiklis C_{pk} parodo ar procesas stabilus užduotose specifikacijos ribose (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Proceso stabilumo vertinimas pagal C_{pk} rodiklio vertę [38]

Proceso kokybės būklė	C_p vertė
Procesas nestabilus (siauros ribos)	$1 = C_{pk} \leq 1$
Procesas stabilus	$C_p = 1$
Procesas nestabilus (rezultatai pasiskirstę plačiai)	$0,6 = C_p \leq 1$

Nustačius klijų veleno užnešimo kokybę, ruošiniai pagaminami trijose skirtingose klijų užnešimo veleno zonose. Gaminiai gaminami dešinėje ir kairėje pusėse, bei per vidurį. Klijų matavimai atliekami po kiekvieno ruošinio pagaminimo. Pagaminti iš viso po 10 ruošinių kiekvienoje zonoje, ruošinio matmenys – 800x400x40mm. Ant pagamintų ruošinių per vidurį (žr. 30 pav.) yra uždedamas 50kg svarmuo. Įlinkis matuojamas iškart po svarmens uždėjimo ir po 24h tą pačią valandą. Ruošiniai kondicionuojami 25°C temperatūros ir 54% santykinio drėgno aplinkoje. Rezultatai analizuojami vertinant įlinkio dydį.

Moksliniuose šaltiniuose atrasta, jog suklijuotų ruošinių kondicionavimo laikas yra 12h. Nuspręsta ištirti medžiagų drėgmės kiekio kitimą ir mechaninį stiprį ruošiniuose esant skirtingam kondicionavimui laikui. Tiriant drėgno kiekį ruošinyje, medžiagos suklijuotos karštuoju ir šaltuoju būdu. 800x400x40mm dydžio ruošiniai išlaikomi atitinkamą valandų kiekį: 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 ir 1. Tam tikrą laiką išlaikyti ruošiniai yra supjaunami į ruošinius, kurių dydis 100x100x40mm. Iš viso paruošta 360 ruošinių. Ruošinio svėrimui pjaunami ruošiniai į kurių patenka HDF, MDP, popierinis korinis užpildas ir PVAc klijai. Principinė schema pavaizduota (žr. 31 pav.). Gaminant karštu būdu preso plokštės temperatūra 70°C. PVAc klijų kiekis 98g/m² gaminant abiem būdais. Gaminų gaminimo ir kondicionavimo aplinkos parametrai yra 22-24°C, santykinė oro drėgmė 52-55%.



31 pav. Ruošinio schema

Pirmiausia tikrinamas absoliutaus drėgnio kiekis ruošinyje. Drėgnis skaičiuojamas svėrimo būdu ruošinius, naudojant elektrinę krosnelę SNOL 25/2M ir laboratorines svarstyklas EK-i. Duomenys pagaminti dviem būdais palyginami tarpusavyje.

Papildomai paruošiami ruošiniai, kurių dydis 50x50x40mm. Ruošiniai imami kai ruošiniai buvo kondicionuoti atitinkamą laiko tarpą: 2, 4, 6, 8, 10 ir 12. Matmenys parinkti pagal EN310 standartą. Kiekvienam išlaikymui yra imami dviem būdais pagaminti ruošiniai, įvertinimui skirta po 10 ruošinių. Testui naudojama „Plywood Tensile compression bending internal Bonding Universal test Machine“ testavimo įranga. Gaunama didžiausia jėga F_{max} , pagal kurią skaičiuojamas mechaninis stipris. Rezultatai lyginami tarpusavyje.

2.4. Formulės, naudojamos rezultatams apdoroti

Medžiagų drėgnis yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\omega = \frac{m_{\omega} - m_0}{m_0} \times 100; \quad (1)$$

Čia:

m_{ω} – pradinė medžiagos masė, g;

m_0 –absoliučiai sauso medžiagos masė, g.

Bandinių stipris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T = \frac{F_{max}}{A}; \quad (2)$$

Čia:

T – sanklijos stipris, MPa;

F_{max} – didžiausia jėga, N;

A – bandinio paviršiaus plotas, mm².

Rezultatai statistiškai apdorojami skaičiuojant standartinį nuokrypį ir variacijos koeficientą:

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - n \times \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (3)$$

Čia:

σ_{n-1} – vidutinis standartinis nuokrypis;

x – įvertinama sanklijos stiprio reikšmė;

\bar{x} – visų sanklijos reikšmių vidurkis;

n – bandinių skaičius.

$$V = \frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}}; \quad (4)$$

Čia:

V – variacijos koeficientas;

σ_{n-1} – vidutinis standartinis nuokrypis;

x – visų sanklijos stiprių reikšmių vidurkis.

Jei variacijos koeficientas $V \leq 5 - 10\%$ tai laikoma, kad rezultatų sklaida nedidelė; $V = 15 - 20\%$ - normali; $V \geq 20\%$ - didelė.

Tamprumo modulis yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3d}; \quad (5)$$

Čia:

E – tamprumo modulis, MPa;

F – apkrova, N;

L – ruošinio ilgis, mm;

b – bandinio plotas, mm²;

h – bandinio aukštis (storis), mm;

d – įlinkis, mm.

Rodiklis C_p apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Cp = \frac{USL-LSL}{6\sigma}; \quad (6)$$

Čia:

σ – standartinis proceso nuokrypis;

USL – viršutinė proceso leistinų nuokrypių riba (110g/m²);

LSL – apatinė proceso leistinų nuokrypių riba (95g/m²).

Rodiklis C_{pk} apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Cpk = \frac{USL-\bar{x}}{3\sigma}; \quad (7)$$

Čia:

\bar{x} – visų gautų reikšmių vidurkis.

3. Eksperimentinė dalis

Klijavimo procese nesilaikant technologinių parametrų ar dirbant su netinkamos eksploatacijos įrengimu galimos įvairios defektų priežastys. Dažniausiai aptinkamos šios: HDF atsiklijavimas, paviršiaus įdubos, įspaudimai, pasislinkęs HDF, mechaniniai pažeidimai, išlinkusi detalė. Viena ar kita priežastis lemia kitos operacijos našumą bei galutinio produkto kokybę.

Atliekant krašto juostos uždėjimą bei gręžimą dažniausiai atsiranda šių mechaninių pažeidimų: krašto juostos atsiklijavimas, plyšys tarp plokštumos ir krašto, krašto juostos trūkumas, ištrupėjimas prie krašto juostos ir netikslus gręžimas. Apdailos medžiagos užnešamos velenais, todėl detalių netolygumas daro labai didelę įtaką ruošinio paviršiaus kokybei. Apdailos metu išskiriami šie defektai: pažeidimai, dulkės, šiukšlės, dangos prašlifavimas, išilginės ir skersinės veleno žymės.

Kiekviena operacija yra labai svarbi ir daro labai didelę įtaką produkto kokybei. Procesai yra labai priklausomi vienas nuo kito, tačiau didžiausią įtaką daro klijavimo operacija. Todėl didžiausias dėmesys skiriamas šiai operacijai aprašyti bei ištirti.

Gaminant lengvintą skydą svarbiausią savybę yra atsparumas gniuždymui ir paviršiaus tolygumas. Ši savybė labai priklauso nuo teisingo popierinio korinio užpildo parinkimo, bei klijavimo proceso parametrų. Todėl tiriant popierinį korinį užpildą ir lengvintą skydą daugiausia tyrimų atliekama tiriant mechanines savybes.

3.1. Neatitikių analizė gamyboje

Lengvinto skydo neatitikties problemos dažniausiai išryškėja apdailos metu, kai detalės yra padengiamos balta arba juoda apdaila. Klijavimo metu paviršiaus problemas sunku pastebėti dėl didelio tankio medienos plaušų plokštės spalvos, todėl analizė atliekama nekokybiškų detalių po apdailos proceso. Sukuriamas lapas duomenų rinkimui (žr. 32 pav.). Informacija renkama tik paviršiaus kokybės problemoms fiksuoti. Neatitikių tipai pateikiami iš anksčiau gamyboje atrastų nekokybiškų detalių.

Detalės kodas		Pagaminimo data:	
Partijos dydis, vnt.:		Nekokybiškų detalių kiekis, vnt.:	
NEKOKYBIŠKŲ DETALIŲ RŪŠIAVIMAS PAGAL DEFEKTO TIPĄ			
Neatiktis		Kiekis, vnt.	
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius			
Įspaudimai (iki 5cm)			
Išlinkusi detalė			
Dulkės, šiukšlės paviršiuje			
Dangos prašlifavimas			
Išilginės/skersinės veleno žymės			
Spalvos neatiktis			

32 pav. Lapas duomenų rinkimui atlikti

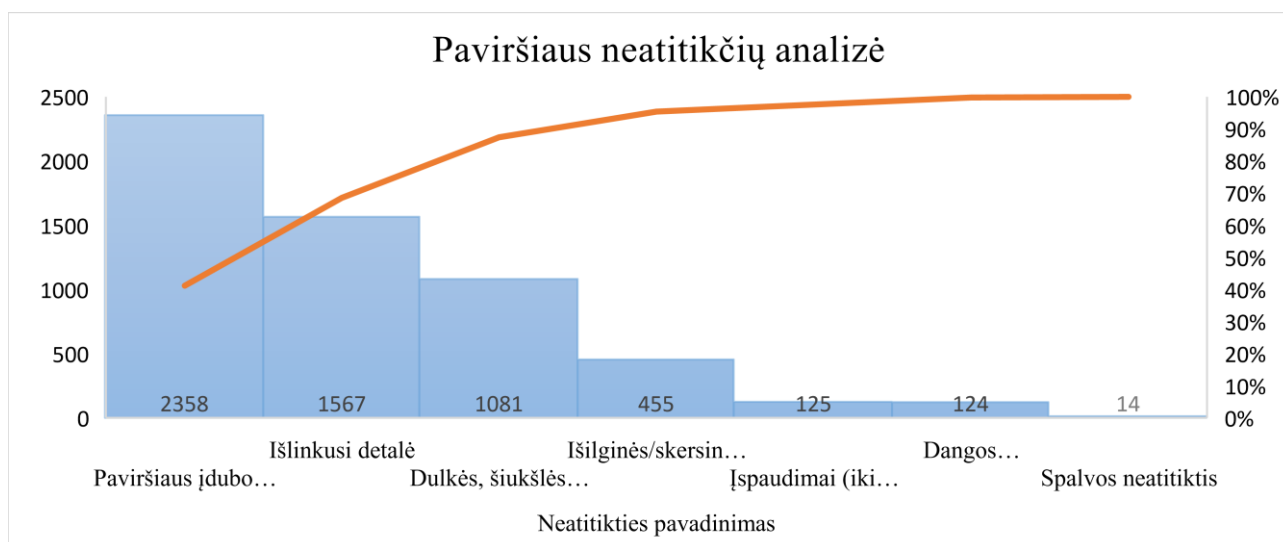
Renkami duomenys savaitę, dėl gamybos apimties toks laikotarpis yra pakankamas duomenų analizei atlikti. Iš surinktų duomenų pasirinktos detalės, kurioms nekokybiškų detalių kiekis yra didžiausias.

Surinkti duomenys yra suvedami lentelėje, atliekant duomenų analizę naudojama Pareto diagrama. Iš viso gauta 30000 detalių, neatitikčių kiekis pateiktas 7 lentelėje. Iš viso nekokybiškų detalių surinkta 5724 vienetai, detalės išrūšiuotos pagal defekto tipą.

7 lentelė. Surinkti duomenys Pareto diagramai atlikti

Neatiktis	Kiekis, vnt.	Kiekis, %
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	2358	41,19
Įspaudimai (iki 5cm)	125	2,18
Išlinkusi detalė	1567	27,38
Dulkės, šiukšlės paviršiuje	1081	18,89
Dangos prašlifavimas	124	2,17
Išilginės/skersinės veleno žymės	455	7,95
Spalvos neatiktis	14	0,24

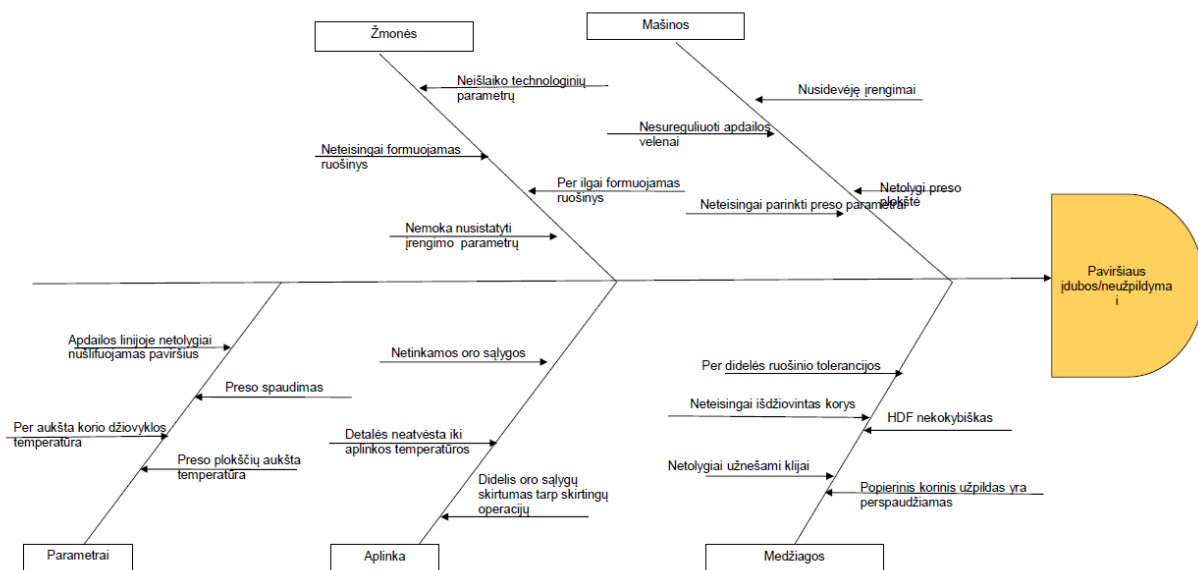
Iš gautų duomenų parengiama Pareto diagrama (žr. 33 pav.). Galima matyti, jog didžiausia problema vyraujanti gamyboje yra paviršiaus įdubos/neužpildymai. Šio tipo nekokybiškos detalės apima 41,19% viso broko. Antroje vietoje užfiksuotas defektas - išlinkusios detalės (27,38%), taip pat detalės su dulkėmis ar šiukšlėmis paviršiuje, net 18,89%. Nuspręsta, jog bus ieškomos paviršiaus įdubų/neužpildymo ir išlinkusių detalių priežastys.



33 pav. Pareto diagrama

Paviršiaus neužpildymo ir išlinkusių detalių atsiradimo priežastims rasti yra sukuriama grupė, kuri pildo „žuvies kaulo“ diagramą. Rezultatai pateikti 34 paveikslėlyje. Veiksniai dėl kurių gali atsirasti nekokybiškos detalės yra: žmonės, mašinos, medžiagos, aplinka ir parametrai. Šiems penkiems veiksniams, surašomos priežastys problemai atsirasti. Kadangi problemų atsiradimo priežastys yra ieškomos kljavimo operacijoje, tolimesniam tyrimui pasirenkamos tie veiksniai, kurie susiję su kljavimo operacija. Šiuo atveju aptarta, jog neužpildytas paviršius gali atsirasti nuo: netinkamos kokybės įrengimų, netolygios preso plokštės, neišlaikytų technologinių parametru, per ilgai formuojamų ruošinių, neteisingai formuojamo ruošinio, per aukštos korio džiovnyklos temperatūros, preso spaudimo, preso plokščių aukštos temperatūros, netinkamų oro sąlygų, detalių neatvėsimo iki aplinkos temperatūros, didelio oro sąlygų skirtumo tarp skirtingų operacijų, per didelės ruošinių

tolerancijos, neteisingai išdžiovinto korio, netolygaus klijų užtepimo, popierinio korio perspaudimo. Šios visos priežastys vienodai reikšmingos klijavimo operacijai.



34 pav. Žuvies kaulo diagrama paviršiaus įdubų ir išlinkusių detalių priežastims rasti

Taigi, išsirinkus klijavimo proceso problemos priežastis, šios suskirstomos pagal veiksnius, suskirstymas pateiktas 8 lentelėje. Kiekviena priežastis tiriama atskirai, tyrimo rezultatai pritaikomi gamyboje, vėliau perskaičiuojant naujai pagamintų detalių neatitikčių skaičių.

8 lentelė. Klijavimo proceso įdubų/nužpildymų ir išlinkusių detalių priežastys

Medžiagos	Aplinka	Parametrai	Mašinos	Žmonės
Popierinis korinis užpildas neteisingai įdedamas	Didelis oro sąlygų skirtumas tarp skirtingų operacijų	Preso plokščių aukšta temperatūra	Nekokybiški įrengimai	Neišlaikyti technologiniai parametrai
HDF nekokybiškas (mechaniniai pažeidimai)	Detalės neatvėsta iki aplinkos temperatūros	Per aukšta korio džiovyklos temperatūra	Netolygi preso plokštė	Per ilgą ruošinio formavimo laiką
Netolygiai užnešami klijai	Netinkamos oro sąlygos	-	-	Neteisingas ruošinio formavimas
Neteisingas išdžiovintas korys	-	-	-	-
Ruošinio tolerancijos	-	-	-	-

3.2. Medžiagų tyrimas

3.2.1. Popierinio korinio užpildo drėgnumo nustatymas

Ištyrus mokslinius straipsnius nustatyta, jog popieriaus geriausia adhezija pasiekama tada, kai medžiagos drėgnumas yra 3,8-6%.

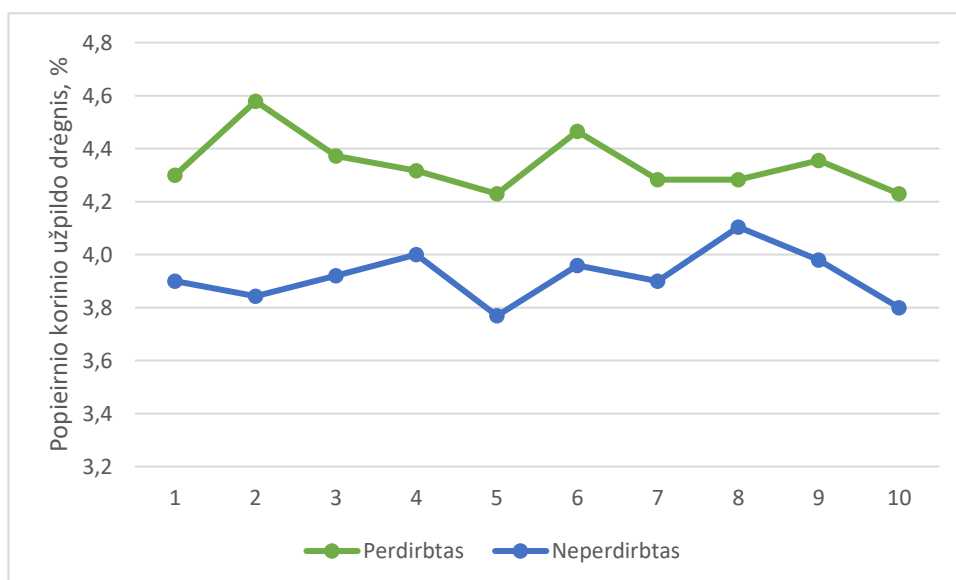
Popieriaus absoliučiam drėgniui nustatyti naudojamas perdirbtas ir neperdirbtas popierinis korinis užpildas, kurio matmenys 100 x 100mm. Rezultatai tikrinami tarpusavyje. Drėgniui nustatyti

matuojama po 10 bandinių. Medžiagos džiovinamos 90° temperatūroje 4h iki tol kol medžiaga 3 svėrimus rodo tą patį svorį. Rezultatų vidurkis pateiktas 9 lentelėje, visi matavimai pateikiami priede (žr. 2 Priedas).

9 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio matavimas

Popieriaus tipas	Popierinio korinio užpildo masė, g		Popieriaus drėgnis ω , %
	m_0 , g	m_ω , g	
Perdirbtas	0,059	0,318	4,3
Neperdirbtas	0,05	0,245	3,9

Popierinis korinis užpildas džiovinamas tokiomis pat sąlygomis, todėl drėgnis yra labai panašus. Tačiau perdirbto popieriaus drėgnumas yra 3,9%, tai net 9% daugiau nei neperdirbto. Kiekvieno matavimo metu gauti skirtingi rezultatai, todėl galima teigti, kad popieriaus džiovinimo procesas yra nestabilus procesas (žr. 35 pav.).



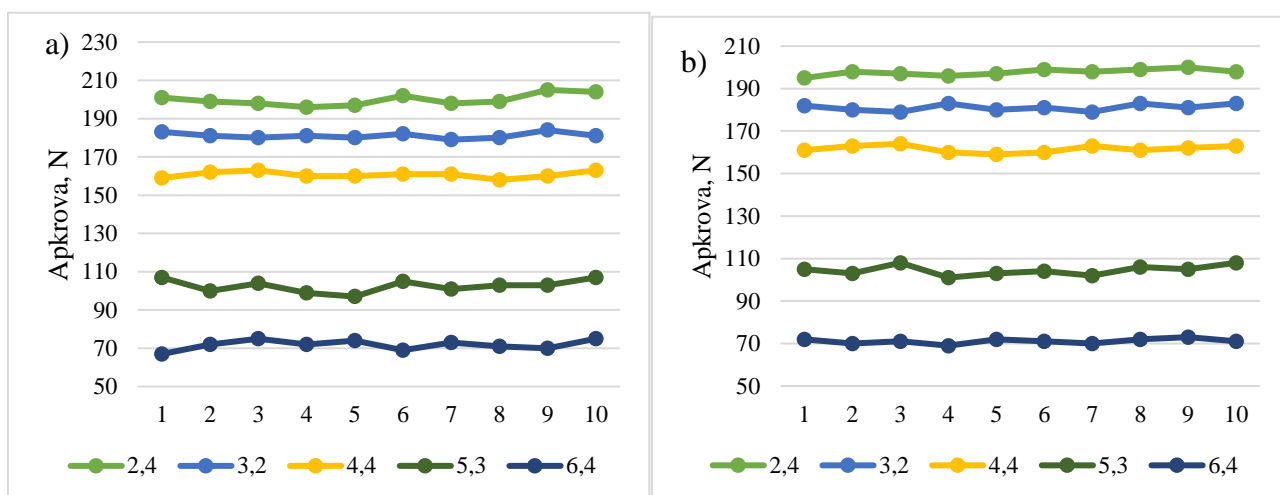
35 pav. Popierinio korinio užpildo absoliutaus drėgnio matavimai

Tiriamo popierinio korinio užpildo kiekvienos rūšies drėgnis yra tinkamas klijavimo procesui, kadangi kiekvienu matavimu drėgnis neviršija rekomenduojamų normų.

3.2.2. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui

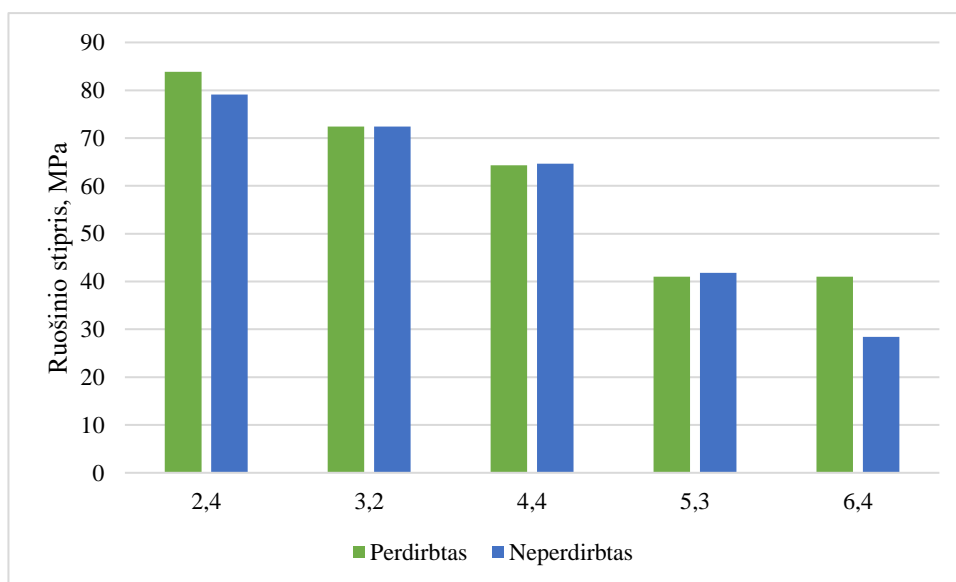
Analizuojant mokslinius tyrimus nustatyta, jog geriausias atsparumas gniuždymui yra tada kai popierinio korio akutė yra mažiausia. Parinkus kuo mažesnę akutę, gaminys gali atlaikyti stipresnes apkrovas. Tačiau norint parinkti gaminiui popierinį korinį užpildą, svarbu netik maža akutė, bet ir korinio užpildo drėgnis. Nustačius bandinių popierinio korinio užpildo drėgnį, atliekami atsparumo gniuždymui matavimai. Matavimui naudojami 50mm ilgio ir 50 pločio ruošiniai, kurie atitinka EN310 standartą. Taigi, gauta, jog didžiausią apkrovą gali atlaikyti iki 2,4% drėgnio išdžiovintas popierinis korinis užpildas, tada apkrovos vidurkis yra 199,9N perdirbto popieriaus ir 195,6N neperdirbto popieriaus. Didėjant popierinio korinio užpildo drėgniui mažėja apkrova, tai yra gaminys yra mažiau mechaniškai atsparus. Lyginant 2,4% drėgnį ir 6,4% drėgnį apkrova skiriasi 2,8 karto (žr. 36 pav.). Tarp skirtingų medžiagų skirtumas yra labai minimalus, pavyzdžiui apkrova tarp perdirbto

ir neperdirbto popieriaus skiriasi 1%. Todėl galima teigti, jog perdirbtas popierius yra 1% mechaniškai atsparesnis nei neperdirbtas. Visi matavimai pateikti priede (žr. 3 Priedas).



36 pav. Popierinio korinio užpildo apkrovų skirtumai: a) perdirbto popieriaus apkrovos; b) neperdirbto popieriaus

Analizuojant popierinio korinio užpildo medžiagos stiprį pastebėta, jog skydas, kuris pagamintas su 2,4% drėgnio popieriniu koriniu užpildu yra mechaniškai stipriausias. Palyginami rezultatai su kitais drėgniais, palyginimas pateiktas 37 paveikslėlyje. Didžiausias medžiagų stiprio skirtumas pastebimas, kai perdirbto korio drėgnis yra 6,4%, tada ruošinio stipris yra 41MPa. Ruošinio, kurio neperdirbtas popierinis korinis užpildas drėgnis yra 6,4% – 28MPa. Taigi, galima teigti, jog popierinis užpildas išdžiovintas iki 2,4% atlaikys didžiausias mechanines apkrovas. Visi matavimai pateikti priede (žr. 3 Priedas).



37 pav. Ruošinio stiprio priklausomybė nuo popierinio korinio užpildo drėgnio

3.2.3. Vilgumo kampo nustatymas

Išanalizavus mokslininkų tyrimus nustatyta, kad popieriaus vilgumas priklauso nuo popieriaus sudėties, drėgnumo ir medžiagos šiurkštumo. Vilgumo kampas matuojamas perdirbtam ir

neperdirbtam popieriui bei skirtingam medžiagos išdžiovinimui. Laikoma, jog popierius yra nedžiovinatas, nes absoliutus drėgnis – 10% ir džiovintas – 5%. Tirtoms medžiagoms suteikti kodai:

1. Džiovinatas perdirbtas popierinis korinis užpildas (DP);
2. Nedžiovinatas perdirbtas popierinis korinis užpildas (NP);
3. Džiovinatas neperdirbtas popierinis korinis užpildas (DN);
4. Nedžiovinatas neperdirbtas popierinis korinis užpildas (NN).

Matavimai atlikti su visų tipų popieriniais užpildais, rezultatai pateikti 10 lentelėje. Rezultatai gauti, jog nedžiovinato perdirbto popierinio korinio užpildo vilgumo kampas yra 52,8° (žr. 38 pav. a), nedžiovinato neperdirbto – 55,4° (žr. 38 pav. b). Matoma, jog skirtumas tarp medžiagų yra labai minimalus, todėl teigti, kad medžiagos skirtingos negalima. Džiovinato perdirbto popierinio korinio užpildo vilgumo kampas yra 65,3° (žr. 38 pav. c), kai džiovinto neperdirbto popieriaus kampas – 60,5° (38 pav. d). Šis tyrimas patvirtino, jog išdžiovinato korio vilgumo kampas yra mažesnis nei neišdžiovinato korio, todėl kuo daugiau medžiaga išdžiovinata tuo sąveika su klijais yra silpnesnė. Skirtumo tarp perdirbto ir neperdirbto popieriaus nepastebėta, todėl galima teigti, jog popieriaus perdirbimas įtakos adhezijai neturi.

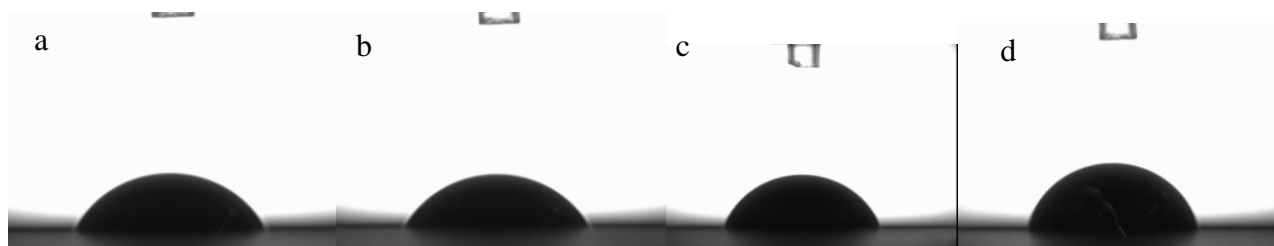
10 lentelė. Vilgumo kampo popierinio korinio užpildo rezultatai

Matavimo Nr.	Korio tipas	Vilgumo kampas	Lašo tūris	Lašo aukštis
1	NP	55,8	3,03	0,79
2	NP	58,6	3,52	0,86
3	NP	52,9	3,67	0,81
4	NP	51,6	3,99	0,93
5	NP	56,5	2,95	0,79
6	NP	58,4	3,55	0,86
7	NP	60,9	5,11	1,12
8	NP	57,9	3,61	0,86
9	NP	51,7	3,52	0,84
	Vidurkis:	52,8	3,66	0,87
11	NN	44,6	2,6	0,64
12	NN	40,3	2,26	0,57
13	NN	51,4	1,75	1,17
14	NN	52	4,88	0,88
15	NN	62,9	4,75	1
16	NN	67,5	5,55	1,11
17	NN	65,1	5,09	1,05
18	NN	59,4	3,92	0,90
19	NN	55,8	5,61	0,97
	Vidurkis:	55,44	4,04	0,89
20	DP	53,3	2,89	0,75
21	DP	66,9	3,98	1,33
22	DP	67,6	4,73	1,34

Tęsinys pateikiamas kitame puslapyje.

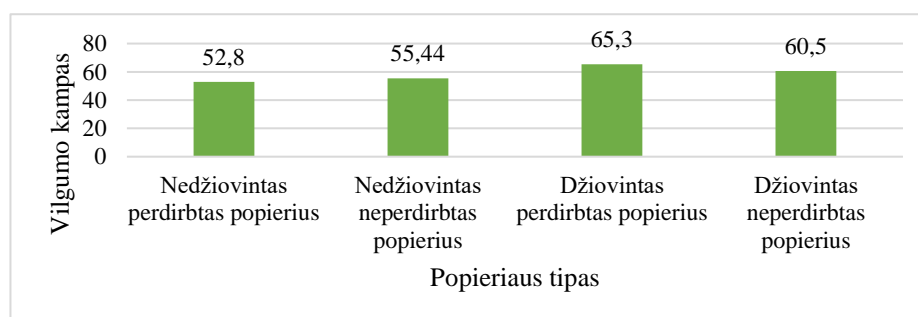
10 lentelės tęsinys. Vilgumo kampo popierinio korinio užpildo rezultatai

23	DP	70,1	3,69	1,42
24	DP	64,9	4,72	1,3
25	DP	63,8	3,19	1,26
26	DP	68,6	3,98	1,41
27	DP	67,5	4,01	1,26
28	DP	65,4	4,23	1,3
	Vidurkis:	65,3	3,93	1,26
29	DN	55,9	4,81	1,17
30	DN	64,4	4,21	1,27
31	DN	65	4,47	1,29
32	DN	64,1	4,52	1,8
33	DN	58,1	3,42	1,05
34	DN	48,3	4,39	0,96
35	DN	63,7	4,8	1,24
36	DN	63,1	3,75	1,23
37	DN	62,5	3,93	1,23
	Vidurkis:	60,5	4,26	1,24



38 pav. Vilgumo kampo rezultatai: a) nedžiovinas perdirbtas popierinis korinis užpildas; b) nedžiovinas neperdirbtas popierinis korinis užpildas; c) džiovinas perdirbtas popierinis korinis užpildas; d) džiovinas neperdirbtas popierinis korinis užpildas.

Taigi tyrimo metu nustatyta, jog nedžiovinto popieriaus gebėjimas sugerti medžiagą yra geresnis nei džiovinatos medžiagos. Skirtumai vaizduojami 39 paveikslėlyje. Kadangi gamyboje naudojamas tik džiovinas popierius galima teigti, jog naudojant perdirbtą popierių medžiaga pasisavina klįjus geriau.



39 pav. Vilgumo kampo skirtumai tarp skirtingų žaliavų

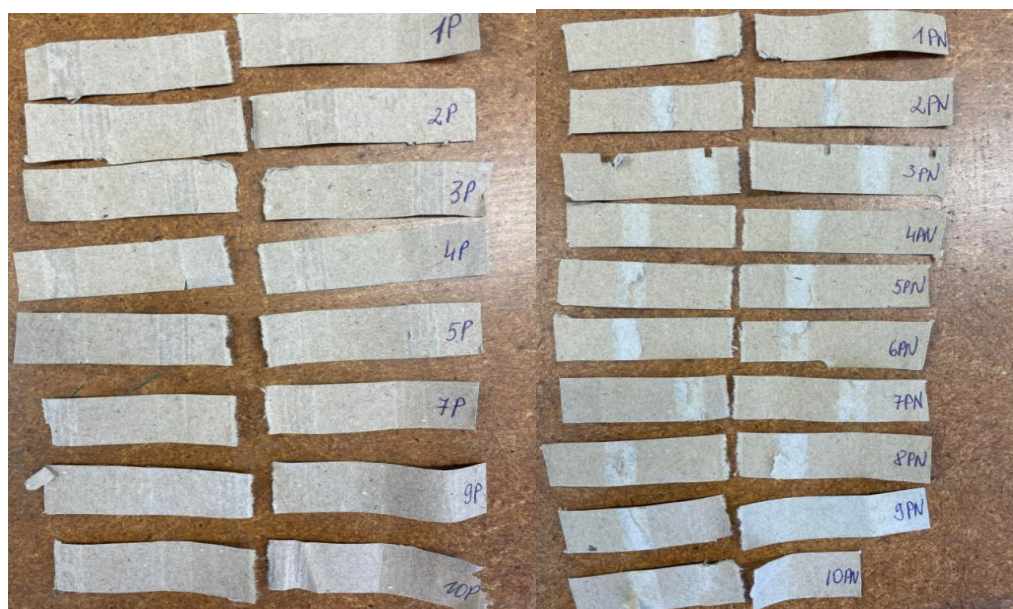
3.2.4. Popieriaus atsparumas lankstymui

Lyginami dviejų skirtingų popieriaus tipų – gamintojo „Axxor GmbH“ perdirbtas ir gamintojo „Honicel GmbH“ neperdirbtas popierinis korinis užpildas. Tyrimas atliekamas norint išanalizuoti popieriaus ilgaamžiškumą. Popierius yra kieta medžiaga, kurios stiprumas labai priklauso nuo popieriaus sudėties ir storio. Popieriaus atsparumas lankstymui matuojamas kartais, rezultatai pateikti 11 lentelėje.

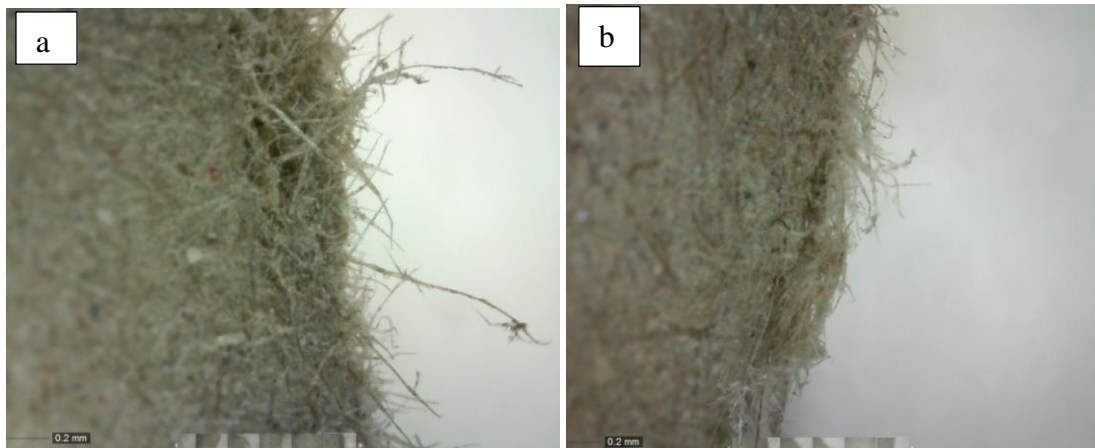
11 lentelė. Popieriaus atsparumo lankstymui rezultatai

Bandymo matavimas, Nr.	Perdirbtas popierius	Neperdirbtas popierius
1	60	53
2	63	54
3	68	51
4	64	52
5	60	51
6	68	50
7	65	49
8	69	52
9	62	53
10	61	49
Vidurkis:	64	51

Nustatoma, jog perdirbtas popierius yra ilgaamžiškesnis, tačiau plyšimo vieta neperdirbto popierinio korinio užpildo yra tvirtesnė. Tai yra plyšio vietoje matomas mažesnis atplaišų kiekis (žr. 40-41 pav.).



40 pav. Atsparumo lankstymui rezultatai. P - perdirbtas popierinis korinis užpildas; PN – neperdirbtas popierinis korinis užpildas



41 pav. Plyšio vieta: a) perdirbtas popierius; b) neperdirbtas popierius

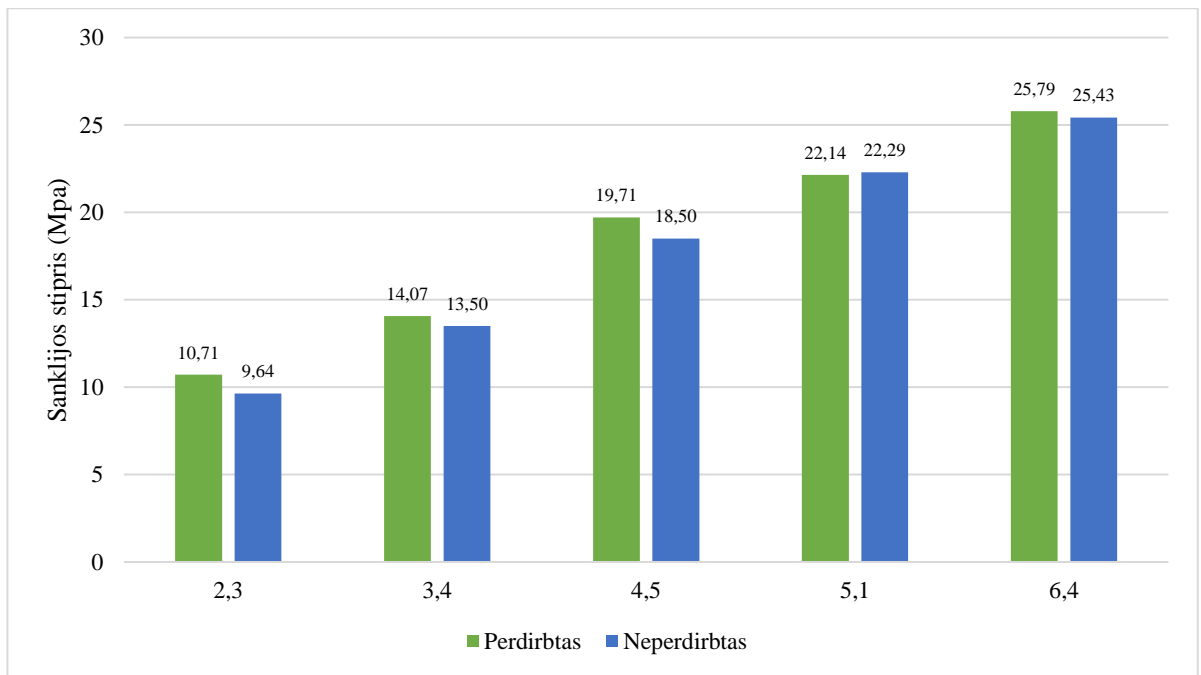
Tyrimo metu nustatyta, jog perdirbtas popierius yra atsparesnis lankstymui 20%. Todėl galima teigti, jog perdirbtas popierinis korinis užpildas yra ilgaamžiškesnis. Tyrimo metu pastebėta, jog atliekant bandymą perdirbtas popierinis korinis užpildas lankstymo metu skyla į 2 sluoksnius (žr. 42 pav.), todėl toks popierinis korinis užpildas yra tvirtesnis.



42 pav. Perdirbto popierinio korinio užpildo skylimas į du sluoksnius

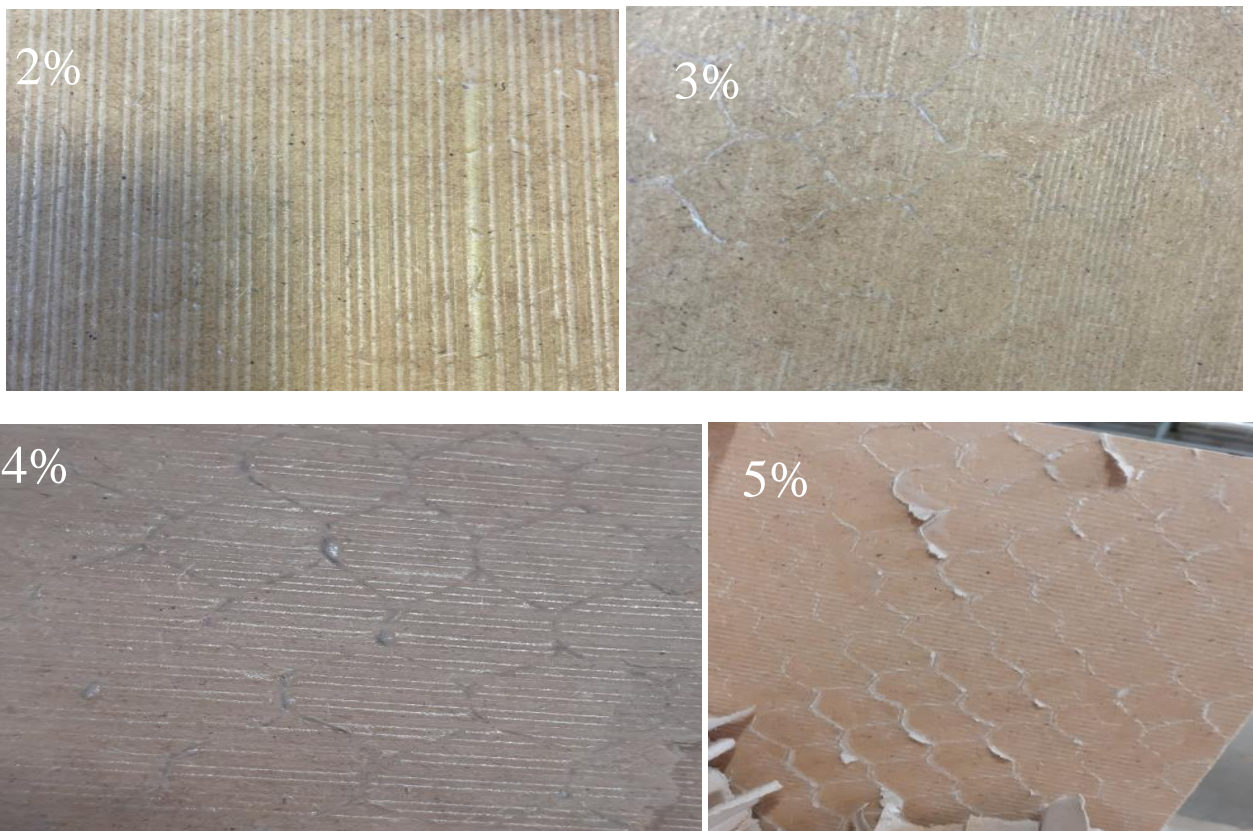
3.2.5. Korio drėgnumo įtaka sanklijos stipriui

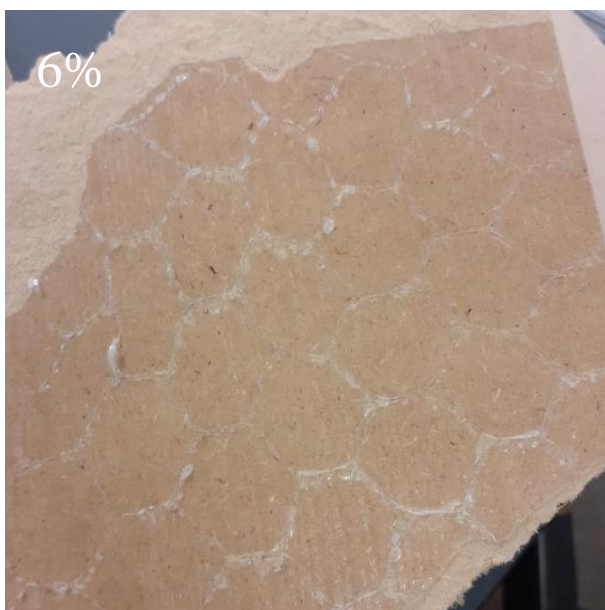
Popierinis korinis užpildas yra viena pagrindinių medžiagų, kuri daro įtaką lengvinto skydo gaminio kokybei. Išsiaiškinta, jog popierinio korinio užpildo geriausios adhezinės savybės yra tada kai popierinis korinis užpildas yra nedžiovinatas, tai yra drėgnis turi būti kuo didesnis. Testuojamas sanklijos stipris siekiant išsiaiškinti kokio drėgnumo korys turi geriausią sankliją su HDF medžiaga. Dviejų tipų popierinis korinis užpildas išdžiovinatas iki 2,3%, 3,4%, 4,5%, 5,1%, 6,4% drėgnumo. Kiekvienam drėgniui ir popieriaus tipui atliekama po 10 matavimų. Geriausia adhezija tarp medžiagų užfiksuota, kai popierinio korinio užpildo drėgnis 6,4%, kai vidutinis klijavimo stipris 25MPa. Skirtumas tarp perdirbto ir neperdirbto popieriaus yra minimalus - 0,36MPa. Silpniausia adhezija tarp HDF ir popierinio korinio užpildo užfiksuota, kai popierinio korinio užpildo drėgnis yra 2,3%, tada vidutinis klijavimo stipris 10,71MPa. Skirtumas tarp perdirbto ir neperdirbto popierinio korinio užpildo užfiksuotas 1,07MPa (žr. 43 pav.). Matavimų rezultatai pateikti priede (žr. 4 Priedą).



43 pav. Sanklijos stiprio priklausomybė nuo popierinio korinio užpildo drėgnio

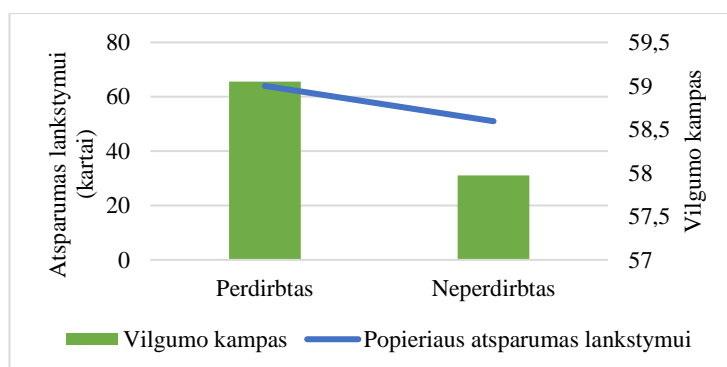
Popierinis korinis užpildas, kurio drėgnis 2,3%, turi labai silpną adheziją. Vertinant suirimo vietą, pastebėta, jog medžiaga iršta per klijų siūlę. Geriausia adhezija užfiksuota esant 4,5%, 5,1% ir 6,4% drėgniui, tada ruošinys iršta per HDF medžiagą (žr. 44 pav.). Todėl galima teigti, jog geriausias sanklijos stipris bus tada, kai popierinio korinio užpildo drėgnis bus nuo 4,5%.





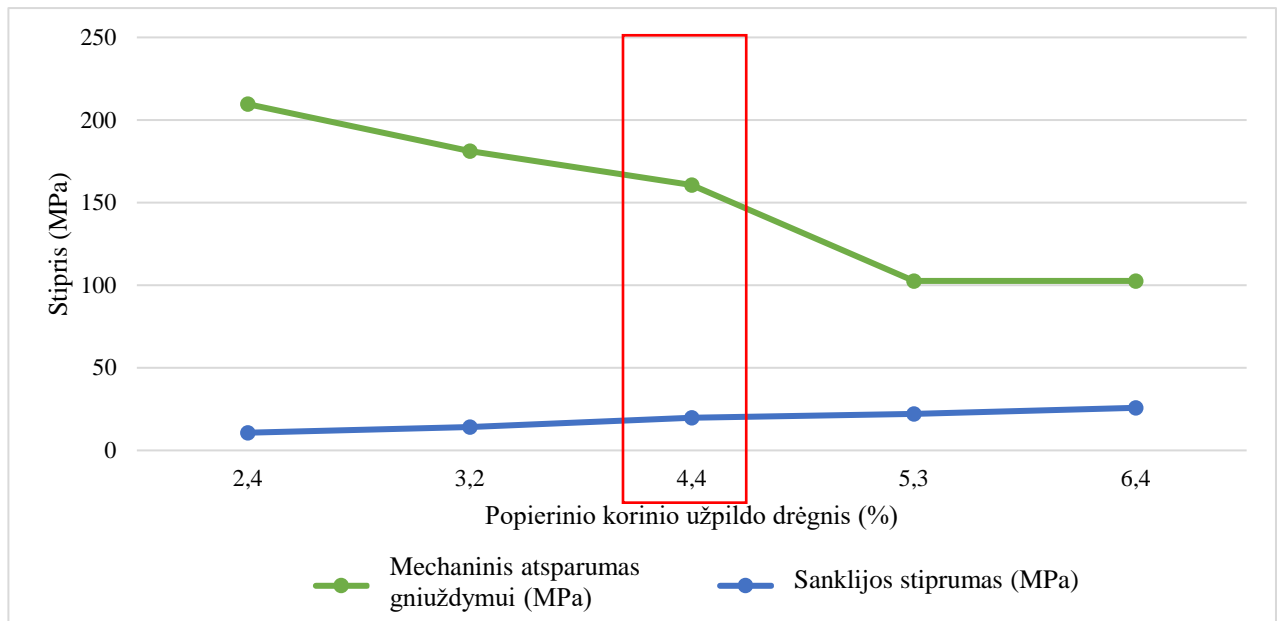
44 pav. Korio adhezijos tikrinimo rezultatai.

Taigi, ištyrus dvi skirtingas popierinio korinio užpildo rūšis, nustatyta, jog gamyboje geriausia naudoti perdirbtą popierių. Dėl savo gamybos būdo perdirbtas popierius yra ilgaamžiškesnis ir sugeba geriau sąveikauti su skystomis medžiagomis (žr. 45 pav.).



45 pav. Popierinio korinio užpildo palyginimas tarpusavyje

Norint jog gaminamas produktas būtų mechaniškai stiprus, popierinis korinis užpildas turi būti kuo labiau išdžiovintas, tai yra kuo mažesnis drėgnis tuo medžiaga yra mechaniškai atsparesnė. Tačiau norint, jog popierinis korinis užpildas turėtų kuo geresnę adheziją su klijuojama medžiaga, popierius turi būti kuo mažiau išdžiovintas. Todėl norint gauti geros kokybės gaminį popierinį korinį užpildą reikia džiovinti iki 4,4% drėgnio, taip produktas bus mechaniškai tvirtas ir turės pakankamai tvirtą adheziją su HDF medžiaga (žr. 46 pav.).



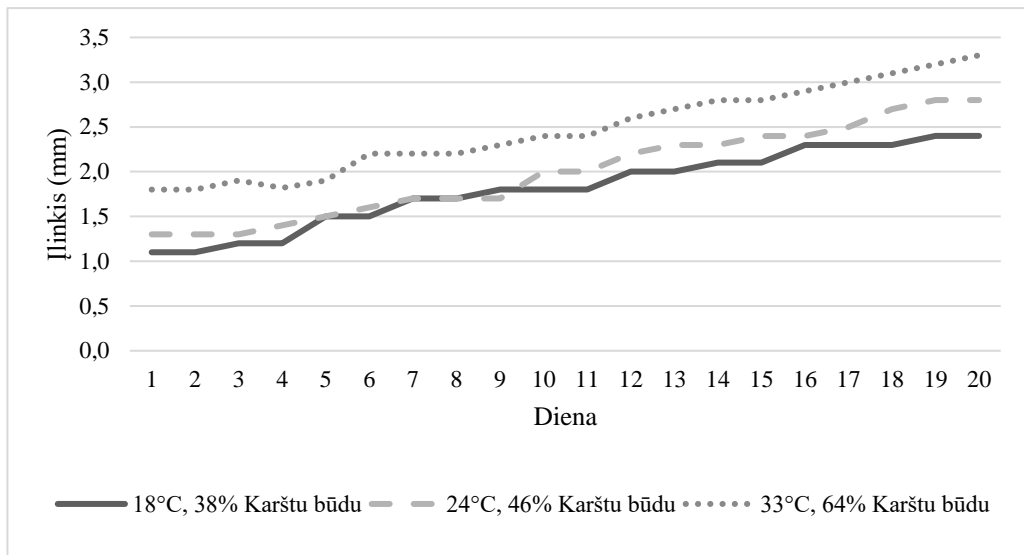
46 pav. Stiprio palyginimas esant skirtingam drėgnumui

3.3. Lengvinto korinio skydo tyrimai

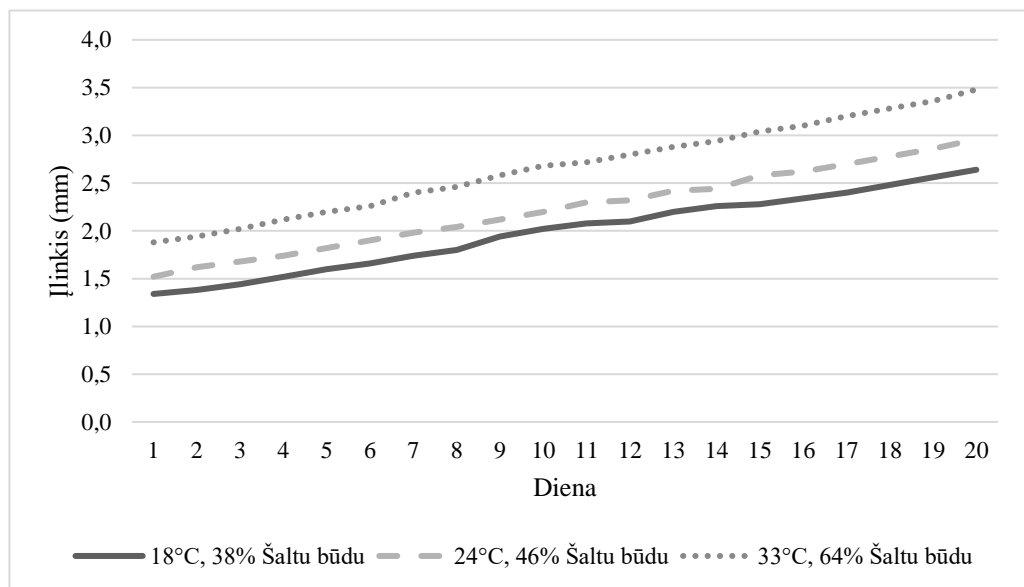
Išanalizavus mokslinius straipsnius, pastebėta, jog didžiausias dėmesys skiriamas atskiriems lengvinto skydo komponentams. Daugiausia tyrimų atlikta atskiriems komponentams: popieriniam koriniam užpildui, PVAc klijamis ir medienos drožlių plokštei. Tačiau tyrimų su jau pagamintu skydu yra itin maži.

3.3.1. Aplinkos parametrų įtaka ruošinio kokybei

Išanalizavus mokslinę literatūrą nustatyta, kad ruošinio kokybė priklauso nuo aplinkos sąlygų. Paruošti ruošiniai skirtingose oro sąlygose, kai oro temperatūra 18°C, 24°C, 33°C ir santykinė oro drėgmė 38%, 46%, 64%. Ruošiniai pagaminti dviem būdais: karštuoju ir šaltuoju. Po to ruošiniai kondicionuojami kameroje 21 dieną esant toms pačioms sąlygoms kaip ir buvo pagaminti. Kiekvieną dieną tuo pačiu metu pamatuojamas rezultatų įlinkis (žr. 47-48 pav.). Taigi, pastebėta, jog po 20 dienų didžiausias įlinkis užfiksuotas šaltuoju būdu pagamintiems ir 33°C ir 64% aplinkos sąlygose laikytiems ruošiniams, įlinkis siekė 3,5mm. Tose pačiose sąlygose laikomų, tačiau karštuoju būdu pagamintų ruošinių įlinkis užfiksuotas 3,3mm. Rezultatai įrodė, jog karštuoju būdu ir šaltuoju būdu skirtingomis sąlygomis laikomi ruošiniai skyrėsi 0,2mm, tai yra šaltuoju būdu pagamintos detalės išlanko labiau. Pastebėta, jog mažiausi įlinkiai užfiksuoti esant 18°C ir 38% santykiname oro drėgnume, didžiausi - 33°C ir 64%. Todėl gaminius geriausia gaminti ir kondicionuoti 18°C ir 38% sąlygose, tada detalės bus lygesnės. Įlinkių matavimai pateikiami priede (žr. 5 Priedą).

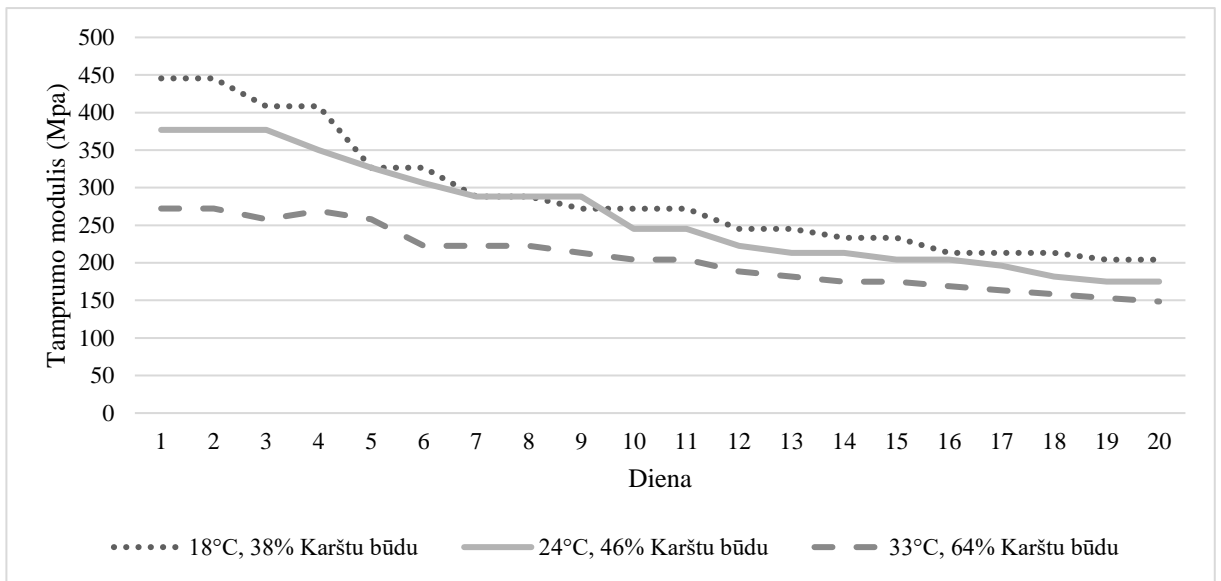


47 pav. Karštuoju būdu pagamintų ruošinių įlinkio priklausomybė nuo aplinkos sąlygų

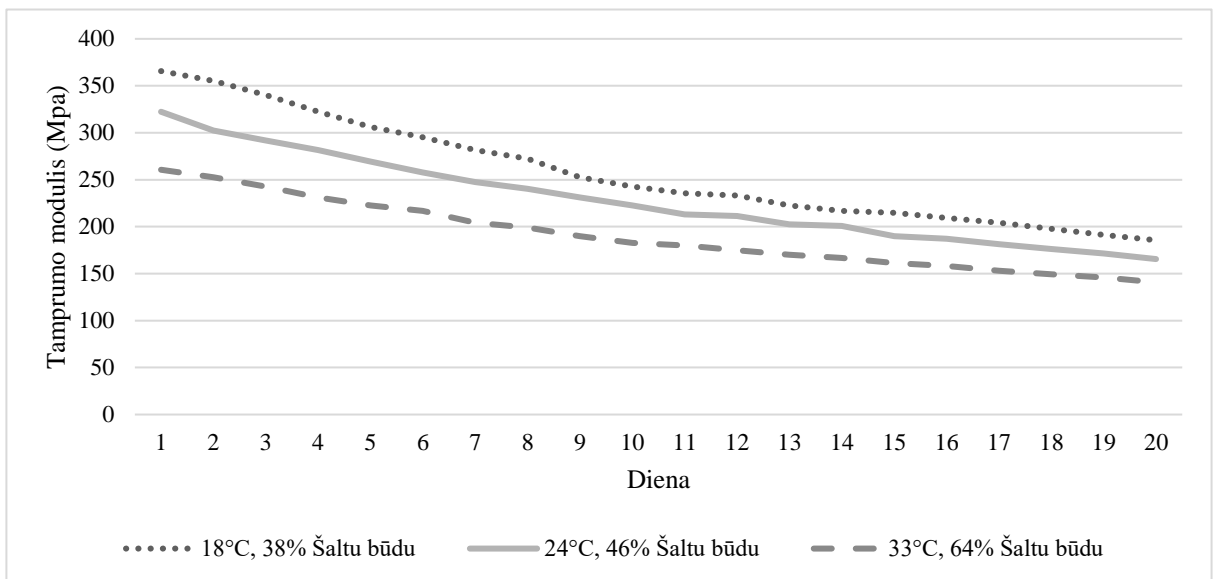


48 pav. Šaltu būdu pagamintų ruošinių įlinkio priklausomybė nuo aplinkos sąlygų

Apskaičiuojamas tamprumo modulis kiekvienos dienos rezultatui. Rezultatai rodo, jog pačią pirmą dieną tamprumo modulis karštuoju būdu pagamintiems ruošiniams ir skirtingomis sąlygomis laikomiems gaminiams buvo: kai $T=18^{\circ}\text{C}$, $H=38\%$ - 339MPa, kai $T=24^{\circ}\text{C}$, $H=46\%$ - 286MPa, kai $T=33^{\circ}\text{C}$, $H=64\%$ - 207MPa. Gauta, jog pirmomis sąlygomis pagamintas ir laikomas ruošinys yra geriausio standumo. Šaltuoju būdu pagaminti ruošiniai ir laikomi skirtingomis rezultatai buvo: kai $T=18^{\circ}\text{C}$, $H=38\%$ - 278MPa, kai $T=24^{\circ}\text{C}$, $H=46\%$ - 245MPa, kai $T=33^{\circ}\text{C}$, $H=64\%$ - 198MPa. Detalės įlinkis su lyg kiekviena diena didėjo. Po 20 dienų karštuoju būdu pagamintų detalių tamprumo modulis sumažėjo atitinkamai 54%, 52% ir 45%, šaltuoju būdu – 49%, 48% ir 45% (žr. 49-50 pav.). Apskaičiavus rezultatus gauta, jog didesnis tamprumo modulis yra karštuoju būdu pagamintiems ruošiniams. Skaičiavimų rezultatai pateikiami priede (žr. 5 Priedą).



49 pav. Tampromo modulio kitimas detalių pagamintų karštuoju būdu esant skirtingoms sąlygoms

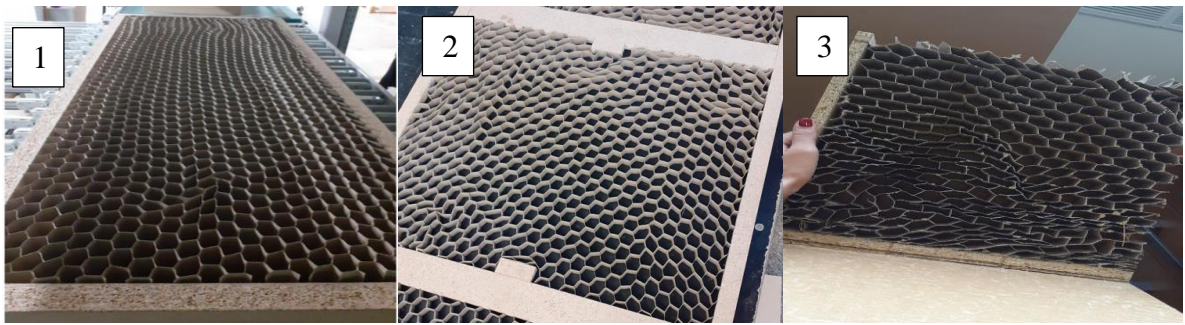


50 pav. Tampromo modulio kitimas detalių pagamintų šaltuoju būdu esant skirtingoms sąlygoms

Matant mechaninius pokyčius tarp skirtingų gamybos būdų ir skirtingų klimato sąlygų, galima patvirtinti jog šie veiksniai daro įtaką korinio lengvinto skydo kokybei.

3.3.2. Popierinio korinio užpildo įdėjimo į rėmelį įtaka kokybei ir mechaniniam atsparumui

Stebėjimo metu užfiksuota, jog labai skirtingai yra įdedamas popierinis korinis užpildas į ruošinį. Iš viso nustatyti trys popieriaus užpildymo variantai (žr. 51 pav.). Tokie ištempimai gaunami jei naudojamas 20% didesnis korys nei reikalingas, taip pat kai formavimo operatoriai neteisingai įdeda korį, bei kai rėmelis turi kaladėles. Siekiant išsiaiškinti ar toks įdėjimas daro įtaką įduboms bei paviršiaus neužpildymams, kiekvienu būdu yra pagaminami po 50 ruošinių, kurie praleidžiami pro apdailos liniją, taip siekiant išsiaiškinti paviršiaus užpildymo kokybę. Ruošiniai gaminami tomis pačiomis sąlygomis. PVAc klijų kiekis 95g/m^2 , medžiagų temperatūra 23°C , presavimo temperatūra 70°C .



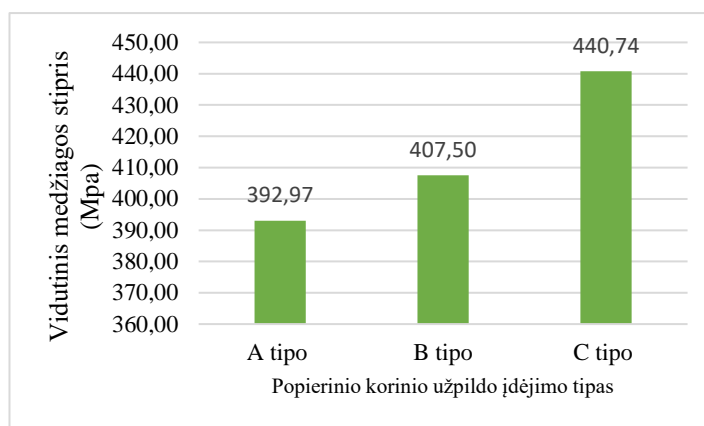
51 pav. Popierinio korinio užpildo įdėjimas į rėmelį. 1 - akutės ištemptos tinkamai, nesugniuždytos; 2 – popierinio korio akutės yra sugniuždytos prie rėmelio; 3 – popierinis korinis užpildas yra sugniuždymas

Tyrimo metu pagaminami gaminiai, kuriuose korys yra įdedamas visais trim būdais. Nustatyta, kad kai korys įdedamas 1 ir 2 būdu, tada apdailos kokybei tai įtakos nedaro. 1 būdu pagaminti ruošiniai po apdailos užnešimo jokių defektų neturėjo, iš 50 vienetų visi puikios kokybės. 2 būdu pagaminti ruošiniai po apdailos užnešimo akivaizdžių defektų neturėjo, nes iš 50 vienetų tik 1 yra išbrokuotas dėl mechaninio pažeidimo (žr. 52 pav. a), todėl teigti, kad defektas atsirado dėl korio – negalima. 3 būdu pagaminti ruošiniai yra mažiau kokybiški, nes iš 50 detalių išbrokuota 15 vienetų (žr. 52 pav. b ir c). Taigi, pirmu būdu pagaminti gaminiai 0% nekokybiškų detalių, antru būdu – 4% ir trečiu būdu – 30%. Todėl gamyboje rekomenduojama korį dėti pirmuoju ir antruoju būdu.



52 pav. Neužpildymo defektai. a) mechaninis pažeidimas pagamintas 2 būdu; b) neužpildymo defektai ant detalių, kurios pagamintos 3 būdu

Analizuojant popierinio korio įdėjimo įtaką ruošinio mechaniniam stipriui yra atliekamas bandymas. Kiekvienam įdėjimo būdui yra sukuriamas žymėjimas (žr. 53 pav.): 1 būdas – A; 2 būdas – B; 3 būdas – C. Didžiausia apkrova, kurią atlaikė ruošinys buvo C tipui, kai jėga siekė net 1110,69N. A tipo maksimali jėga buvo 987,69N, B – 1025,11N. Apskaičiuojamas vidutinis ruošinio stipris kiekvienam būdui, gauti rezultatai, jog mechaniškai stipriausias ruošinys yra tada kai popierinis korinis užpildas yra įdedamas būdu C, tada vidutinis medžiagos stipris siekia 440MPa. Kitais būdais pagaminti ruošiniai yra mažiau mechaniškai atsparūs B tipo ruošinys – 407,5MPa, A – 392,97MPa. A ir C tipo ruošiniai mechaninis stiprio skirtumas siekia 12%. Skaičiavimai pateikti priede (žr. 6 Priedą).



53 pav. Vidutinis medžiagų stipris

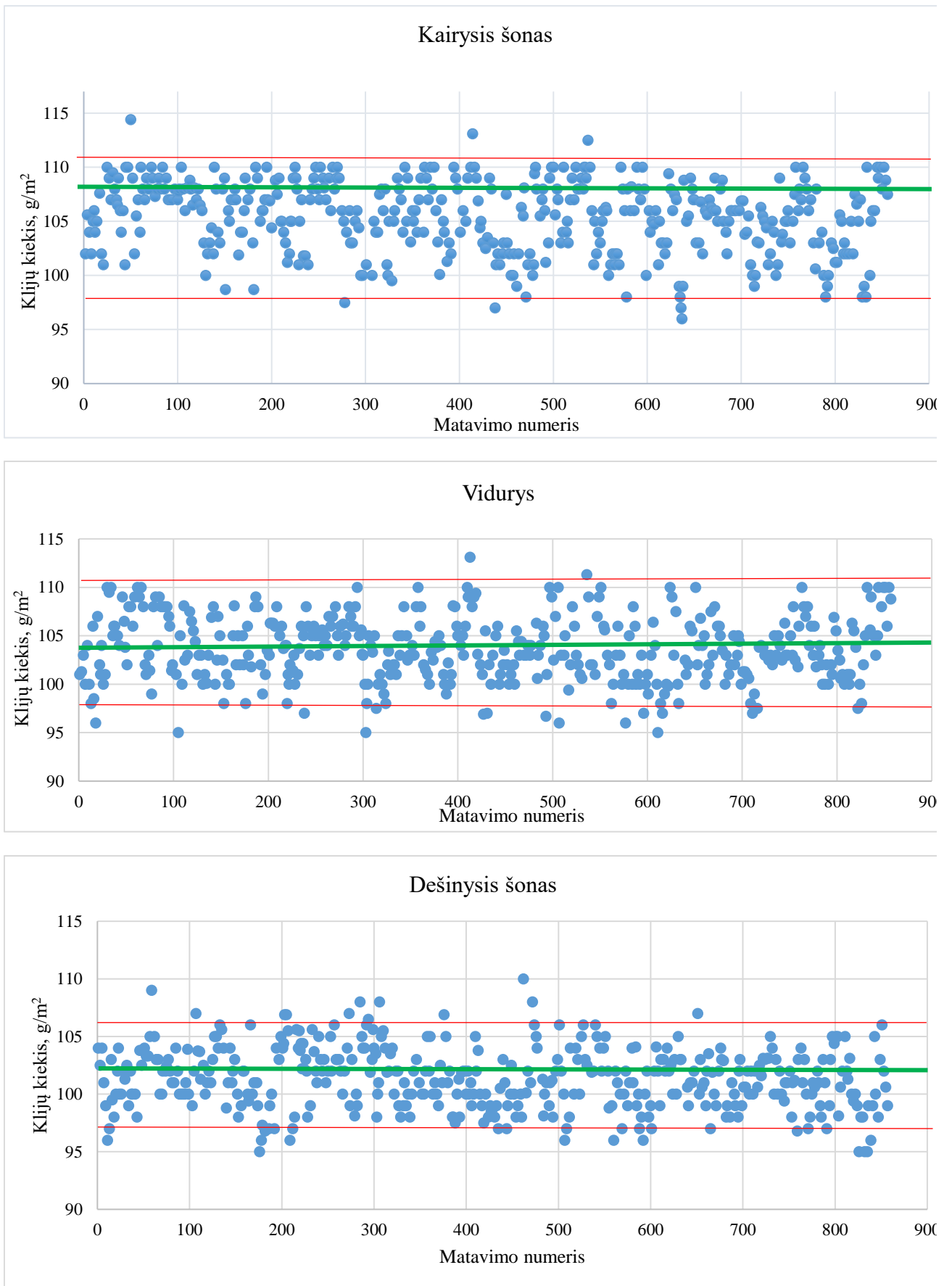
Tyrimo metu nustatyta, jog 3 būdu (C tipo) pagamintas ruošinys yra mechaniškai stipresnis. Tačiau, gaminant šiuo būdu detalės yra sunkiau užnešamos apdailos medžiagomis, nes anksčiau padaryti tyrimai parodė, jog 3 būdu pagamintus ruošinius nekokybiški produktai sudaro 30% visų detalių. Galima teigti, kuo popierinio korinio užpildo yra daugiau, tuo mechaninis atsparumas statinei apkrovai yra didesnis, nes paviršiaus plotas yra užpildytas daugiau. Tačiau dėl netolygaus korio įdėjimo yra gaminamas nekokybiškas gaminys, bei sunaudojama daugiau popierinio korinio užpildo (žr. 12 lentelėje).

12 lentelė. Statinės apkrovos bandymo rezultatų apibendrinimas

1 įdėjimo būdas	2 įdėjimo būdas	3 įdėjimo būdas
Maksimali apkrova 987,69N	Maksimali apkrova 1025,11N	Maksimali apkrova 1110,69N
Korio dydis: 320 x 750 mm	Korio dydis: 380 x 780 mm	Korio dydis: 430 x 820 mm

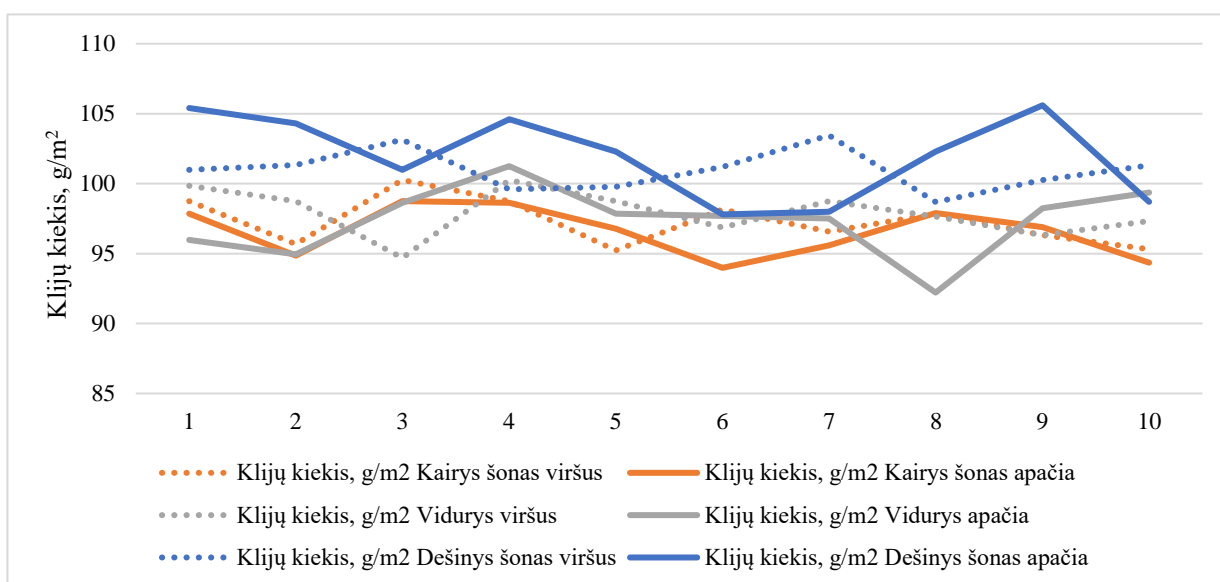
3.3.3. Netolygaus klijų užtepimo įtaka ruošinio kokybei

Proceso stebėjimo metu pastebėta, jog PVAc klijai ant HDF yra užnešami labai netolygiai. Atliekami klijų matavimai mėnesį, kai matuojamos skirtingos velenų zonos. Surinkus duomenis apskaičiuojami C_p ir C_{pk} reikšmės duomenų sklaidai išreikšti. Iš viso matuojamos 3 zonos: kairysis šonas, vidurys ir dešinysis šonas. Gauti rezultatai, jog kairiojo šono duomenų aritmetinis vidurkis yra $105,47g/m^2$, vidurio – $103,63g/m^2$ ir dešiniojo šono – $101,3g/m^2$. Apskaičiavus C_p ir C_{pk} , reikšmės gautos, jog kairiojo šono $C_p=0,77$ $C_{pk}=0,46$, vidurio – $C_p=0,75$ $C_{pk}=0,63$ ir dešiniojo šono – $C_p=0,82$ $C_{pk}=0,47$. Matome, jog klijų kiekis neatitinka užduotų tolerancijų. Užduotos tolerancijos gamyboje yra $95-110g/m^2$. Taip pat galima matyti, jog duomenų sklaida yra didelė, todėl galima teigti, jog klijų užnešimas velenais yra nestabilus procesas (žr. 54 pav.).



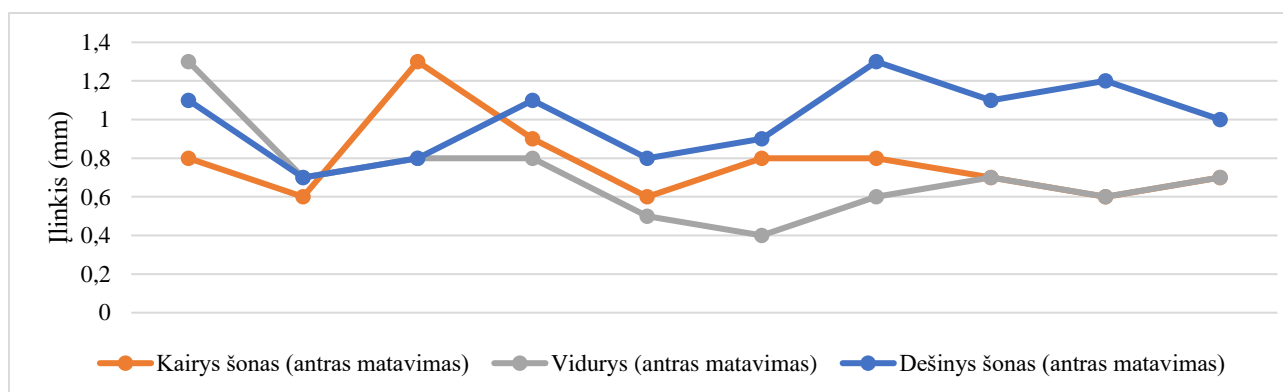
54 pav. Užnešamo klijų kiekio sklaida matuojant skirtingose zonose

Tyrimo metu užfiksuota didelė klijų kiekio ant HDF sklaida, atliktas bandymas siekiant įvertinti tamprumo modulį gaminant skydus skirtingose zonose. Po kiekvienos detalės klijų kiekis pamatuojamas iš naujo, kad tiksliai žinoti koks klijų kiekis tenka ruošiniui. Atlikus 10 matavimų pastebėta, jog matavimai yra netolygūs, pasiskirstę nevienodai. Paskaičiuotas aritmetinis vidurkis kiekvieno matavimo imčiai, gauti rezultatai, jog kairiojo šono klijų kiekio vidurkis yra 97,29g/m², vidurio 97,92g/m². Tačiau dešiniojo šono vidurkis yra 3,6% didesnis, nei kitų matavimų, vidurkis – 100,97g/m² (žr. 55 pav.). Galima taip pat stebėti tendenciją, kad viršaus ir apačios rezultatai yra visiškai skirtingi. Viršus nuo apačios skiriasi 3%. Matavimo rezultatai pateikti priede (žr. 7 priedą).



55 pav. Klijų kiekis tenkantis bandiniams

Atlikus įlinkių matavimus, gauti rezultatai, jog dešinėje pusėje gaminami ruošiniai turi didžiausius įlinkius. Net 7 matavimai iš 30 užfiksuoti didesni nei 1mm. Didžiausias įlinkis užfiksuotas 1,3mm, kuris užfiksuotas gaminyje, kurio viršutinio ir apatinio HDF klijų kiekio skirtumas buvo 5,46g/m². Mažiausias įlinkis užfiksuotas 0,4mm, kai viršutinio ir apatinio HDF klijų kiekio skirtumas 0,82g/m². Pastebėta, jog didžiausi įlinkiai užfiksuoti visose zonose (1,3mm), todėl taikyti, jog detalės daugiausia linksta dėl skirtingose zonose gaminamų ruošinių – negalima. Tačiau siekiant, jog detalės turėtų mažiausią įlinkį, tai yra 0,4-0,6mm, klijų kiekio skirtumas tarp viršutinio ir apatinio HDF neturi viršyti 0-2,5g/m² (žr. 56 pav.).



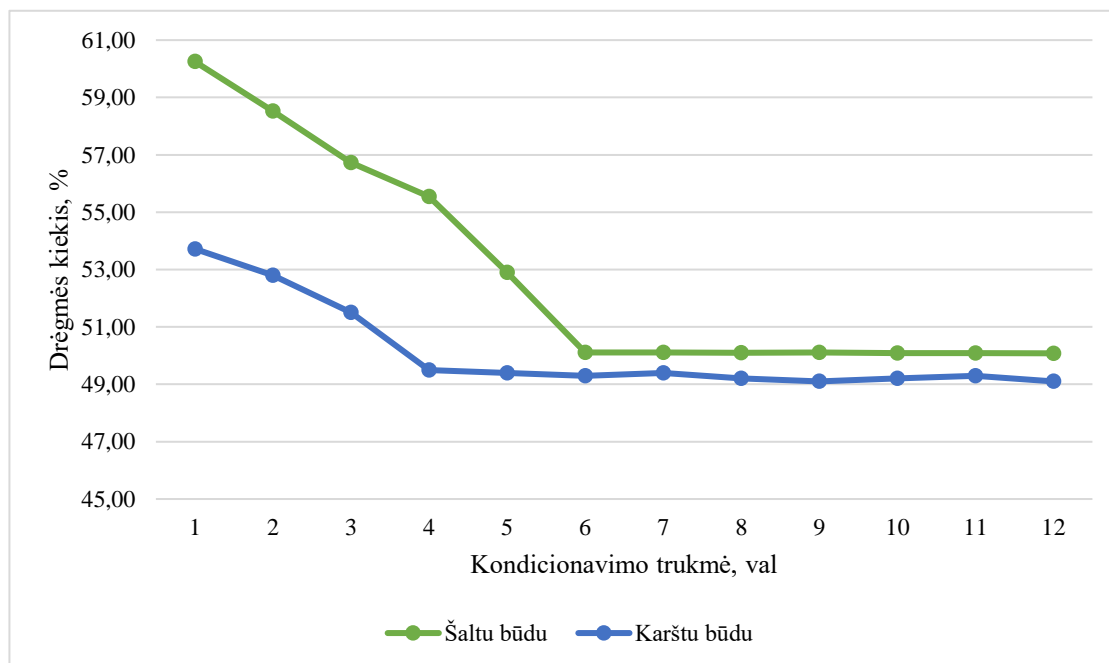
56 pav. Įlinkio rezultatai

Gauti rezultatai įrodė, jog klijų tolygus užtepimas ant ruošinio yra svarbus parametras norint gauti kokybišką ruošinį. Kadangi PVAc klijai užnešami velenais 2500mm pločio ir neretai pasitaiko, jog dirba tik viena pusė, tai pasiūlyta įsivesti osciliaciją klijų velenams.

3.3.4. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio drėgmeniui ir mechaniniam stipriui

Ištyrus mokslinę literatūrą ir gavus tiekėjų rekomendacijas, pastebėta, jog minimalus lengvinto korinio skydo išlaikymas po klijavimo operacijos yra 12 valandų. Tačiau gamybos įmonėse pastebėta, jog išlaikymo laikas iki kitos operacijos, jei gaminama karštuoju būdu yra 6 valandos, jeigu šaltuoju būdu – 10 valandų. Taigi šio tyrimo tikslas yra išsiaiškinti kaip ruošinių drėgnis ir mechaniniam stipriui kinta esant skirtingam išlaikymui po klijavimo operacijos.

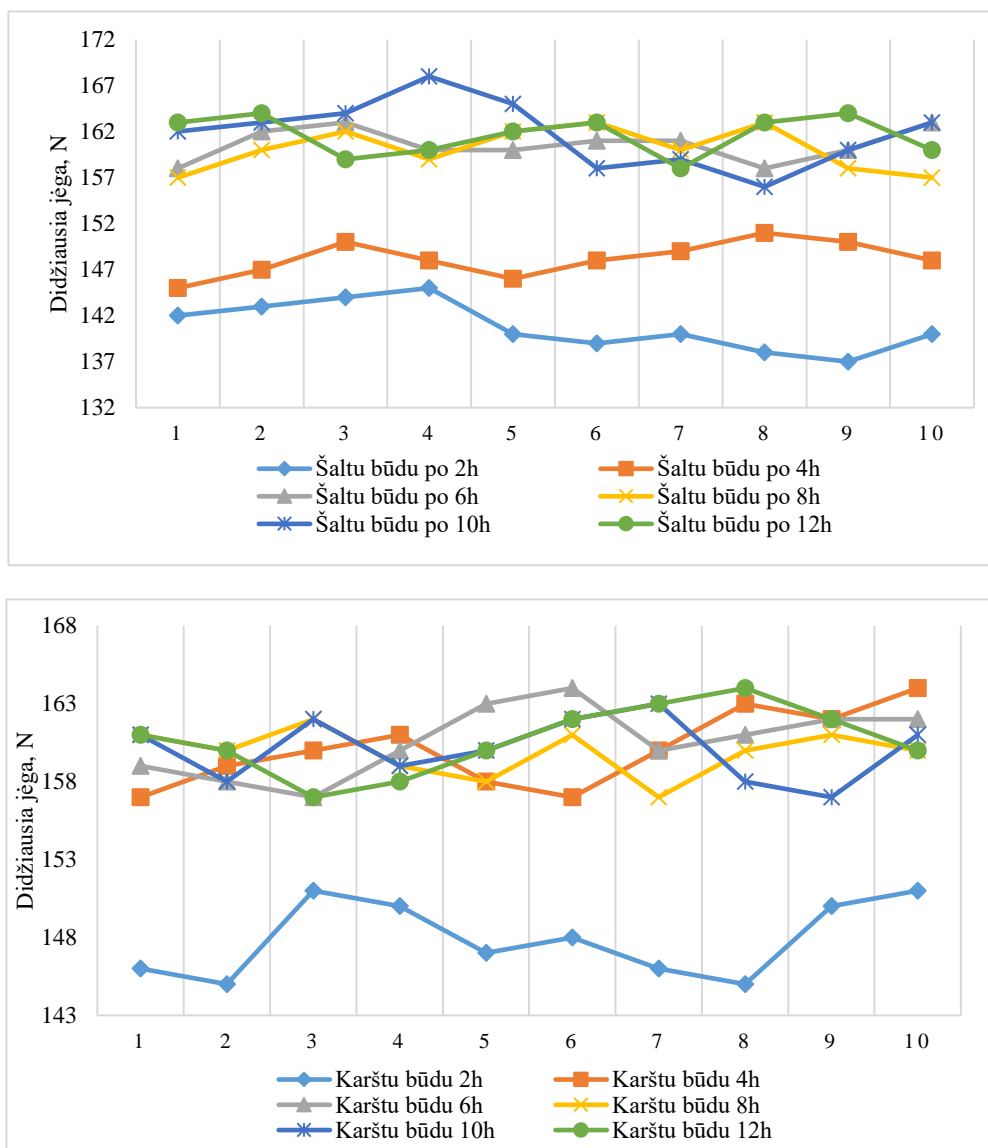
Gauti rezultatai, jog didžiausias ruošinio drėgnis yra po valandos kondicionavimo. Gaminant ruošinį šaltuoju būdu ruošinio drėgnis yra 60,25%, tačiau karštuoju būdu – 53,72%. Taigi, iškart matoma tendencija, jog gaminant ruošinius karštuoju būdu drėgmės kiekis būna 7% mažesnis. Pastebėta, jog gaminant abiem būdais drėgmės kiekis ruošinyje proporcingai mažėja didėjant kondicionavimo trukmei. Karštuoju būdu gaminami ruošiniai po 4 valandų pasiekė 49,5% drėgnį, toliau kondicionuojant ruošinius drėgmės kiekis pavyzdžiuose kito labai panašiai. Galima teigti, jog ruošinius gaminant karštuoju būdu, minimalus kondicionavimas galimas 4 valandos iki sekančios mechaninės operacijos. Šaltuoju būdu gaminami ruošinių drėgnis nusistovėjo iki 50,11%. Po 6 valandų drėgmės kiekis ruošinyje nusistovėjo, nepaisant ilgesnio kondicionavimo laiko. Todėl galima teigti, jog ruošinius gaminant šaltuoju būdu galima detales kondicionuoti iki sekančios operacijos 6 valandas (žr. 57 pav.). Absoliutaus drėgnumo kiekio skaičiavimo rezultatai pateikti priede (žr. 8 Priedą).



57 pav. Kondicionavimo trukmės įtaka drėgmės kiekiui

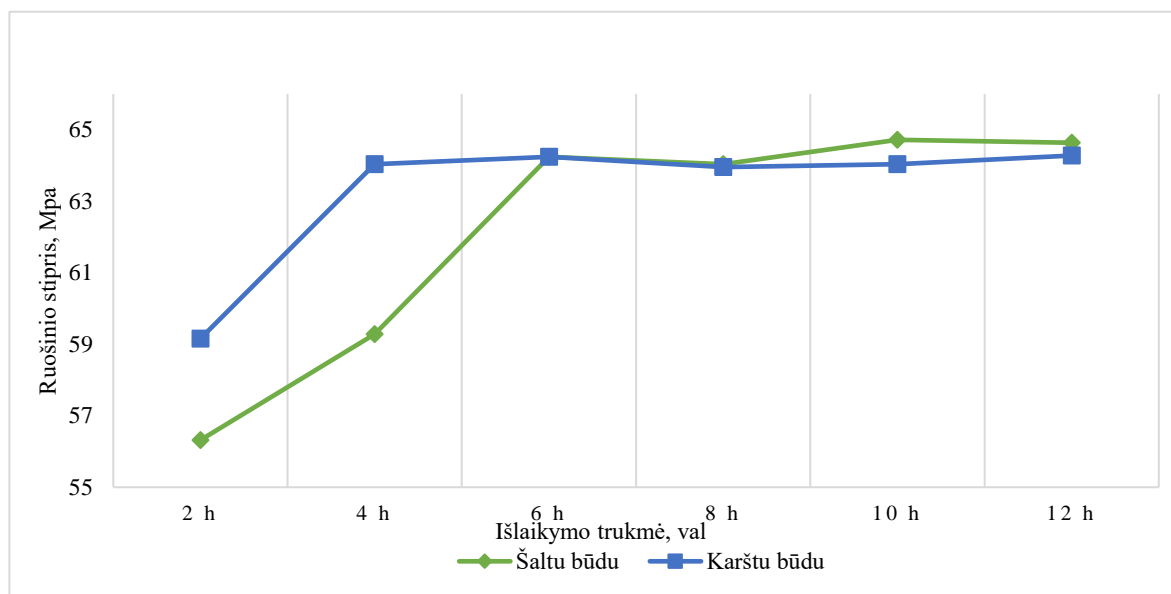
Ištyrus 240 ruošinių, gauta tendencija, jog absoliučios drėgmės kiekis ruošinyje skiriasi esant skirtingam kondicionavimui laikui. Todėl atliekamas tyrimas siekiant įvertinti mechaninio stiprio priklausomybę esant skirtingam kondicionavimui laikui. Tyrimo metu tiriami 50x50x40mm dydžio

ruošiniai, tačiau verta paminėti, jog į ruošinį patenkantis popierinio korinio užpildo kiekis yra nekontroliuojamas. Atlikus bandymus ruošiniams, kurie pagaminti šaltuoju būdu, pastebėta, jog apkrovos jėga didėja nuo išlaikymo trukmės. Gauta, jog po 2 valandų kondicionavimo ruošinio apkrovos jėga vyravo nuo 137 iki 145 N. Po 6 valandų kondicionavimo ruošinio apkrovos jėga buvo nuo 158 iki 163N, po 12 valandų – nuo 158 iki 164N. Todėl galima teigti, jog nuo 6 valandų ruošinio maksimali apkrovos jėga yra labai panaši, tai yra ruošinys sutvirtėja po 6 valandų. Didžiausia jėga užfiksuota 168N, ruošiniams, kurie buvo kondicionuojami 10 valandų, tačiau išardžius ruošinį pastebėta, kad ruošinyje yra didelis kiekis korio, todėl didžiausia apkrovos jėga užfiksuota dėl popierinio korinio užpildo kiekio ruošinyje. Ruošinius gaminant karštuoju būdu, ruošinio apkrova po 2 valandų vyravo nuo 145 iki 151N. Po 6 valandų kondicionavimo ruošinių apkrovos reikšmė buvo nuo 157 iki 164N, po 12 valandų – nuo 157 iki 164N. Pastebėta, kad ruošinius pagamintus karštuoju būdu, išlaikius aplinkos temperatūroje 4 valandas maksimali apkrovos jėga supanašėja su 12 valandų išlaikytais ruošiniais. Todėl galima teigti, jog karštuoju būdu pagaminti ruošiniai gali būti išlaikomi 4 valandas iki kitos mechaninės operacijos (žr. 58 pav.). Skaičiavimai pateikiami priede (žr. 8 Priedą).



58 pav. Apkrovos jėga kintanti nuo kondicionavimo trukmės

Ruošinio stipris gaminant skirtingais būdais supanašėja maždaug po 6 valandų. Matoma aiški tendencija, jog karštuoju būdu pagaminti ruošiniai po 2 valandų yra mechaniškai stipresni, tai yra mechaninis stipris siekia 59,16MPa. Kai šaltuoju būdu pagamintų ruošinių mechaninis stipris po 2 valandų – 56,32MPa. Po 4 valandų kondicionavimo karštuoju būdu pagamintų ruošinių mechaninis stipris padidėja 4,88MPa, tai yra mechaninis stipris siekė 64,04MPa. Šaltuoju būdu pagamintų ruošinių mechaninis stipris padidėja po 6 valandų kondicionavimo, tada mechaninis stipris siekia 64,24MPa. Kadangi mechaninis stipris maksimalus užfiksuotas apie 64MPa, tai galima teigti jog karštuoju būdu pagaminti ruošiniai iki kitos mechaninės operacijos gali būti išlaikomi 4 valandas, šaltuoju būdu – 6 valandas (žr. 59 pav.).



59 pav. Skirtingais būdų pagamintų ruošinių mechaninio stiprio priklausomybė nuo kondicionavimo laiko

Taigi, gaminant lengvintą korinį skydą 18°C aplinkos temperatūroje ir 38% santykiname oro drėgnume, ruošiniai gaunami geros kokybės, tai detalės gaunamos lygios ir apdailos operacijoje yra padengiamos lengviau. Verta stebėti popierinio korinio skydo įdėjimą į rėmelį, nes įdėjimas daro labai didelę įtaką paviršiaus kokybei. Taip pat klijų užnešimas ant HDF ruošinio turi būti tolygus ir skirtumas tarp viršutinio ir apatinio HDF turi būti labai minimalus. Tik atsižvelgus į šiuos visus niuansus gaunami geros kokybės ruošiniai.

4. Tyrimo nauda

Išanalizavus procesą ir atlikus tyrimus apskaičiuota, jog didžiausia lengvinto korinio skydo problema yra paviršiaus kokybė. Tai yra net 41,19% visų defektų yra neužpildytas paviršius. Apdailos linijoje sunku padengti nelygius ruošinius, todėl didelis dėmesys skiriamas aptikti paviršiaus kokybės defektų priežastis.

Atlikti tyrimai su popieriniu koriniu užpildu medžiagos, aplinkos parametrais, popierinio korinio užpildo įdėjimo ir klijų kiekio įtaka ruošinio kokybei. Gavus rezultatus, nustatyti geriausi parametrai pritaikyti gamyboje. Kiekvienas nustatytas parametras įvestas po vieną, tam kad žinoti tikslią naudą. Nauda skaičiuojama defektų kiekiu sumažėjimu, vėliau sumažėjimas išreiškiamas pinigine nauda.

4.1. Popierinio korinio užpildo parametrų nustatymas

Tyrimo metu nustatyta, jog geriausias savybes demonstruoja perdirbtas korinis popierinis užpildas, kurio drėgnumas yra 4,4 - 4,5%. Gamyboje šiuo metu naudojamas perdirbtas ir neperdirbtas popierinis korinis užpildas, kurio drėgnumas yra nuo 4 iki 5%. Taigi, pradėtas naudoti tik perdirbtas popierius ir popierinis korinis užpildas turi būti džiovinamas iki 4,4 - 4,5% drėgno.

Pagaminta 10000 detalių, naudojant pakeistus parametrus. Gauti pastebėjimai, jog paviršiaus kokybė pagerėjo ir padengus detales apdailos medžiagomis gauti rezultatai, kurie pateikti 13 lentelėje. Kadangi popierinis korinis užpildas daro didelę įtaką paviršiaus kokybei, pakeitus parametrus gautas jau 6,21% pagerėjimas. Prieš tai pagamintų detalių neatitikčių kiekis siekė 11,79%, pakeitus korio drėgnį 5,58%.

13 lentelė. Neatitikčių kiekis pakeitus popierinio korinio užpildo parametrus

Neatitikties pavadinimas	Neatitikčių kiekis prieš tai, %	Neatitikčių kiekis su naujais parametrais, %
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	11,79	5,58
Įspaudimai (iki 5cm)	0,63	0,62
Išlinkusi detalė	7,8	7,8
Dulkės, šiukšlės paviršiuje	5,4	1,2
Dangos prašlifavimas	0,62	0,89
Išilginės/skersinės veleno žymės	2,28	0,65
Spalvos neatitikimas	0,07	0,12

4.2. Popierinio korinio užpildo įdėjimo kontrolė

Pastebėjus, jog popierinio korinio užpildo įdėjimas į rėmelį daro labai didelę įtaką ruošinio paviršiaus kokybei. 2 savaites skiriamas dėmesys formavimo procesui, kai popierinis korinis užpildas įdedamas į rėmelį. Pirmiausia, atliktas stebėjimas, kurio metu stebėti tokie aspektai kaip: popierinio korinio užpildo akutės sugniuždymo dažnis ir operatorių mokėjimas įdėti korį. Stebėjimo metu pastebėta, jog iš 20 ruošinių net 12-kai ruošinių yra sugniuždoma akutė, tai yra korys įdedamas sugniuždytas. Nuspręsta atlikti mokymus formavimo operatoriams, kurių metu:

1. Mokoma įdėjimo į rėmelį technika;
2. Rodomi blogi įdėjimo pavyzdžiai;

3. Paruošiama įdėjimo instrukcija;
4. Instruktuojama apie popierinio korinio užpildo įtaką ruošinio paviršiaus kokybei.

Formuotojoms prie formavimo stalo prikljuojamos instrukcijos, kurioje vaizduojamas blogas ir geras įdėjimas (žr. 60 pav.). Turint instrukcijas prieš akis, pastebėta akivaizdus pagerėjimas ties korio sąnaudomis ir paviršiaus kokybe apdailoje.



60 pav. Popierinio korinio užpildo įdėjimo į ruošinį instrukcija

Taigi, skyrus dėmesį darbuotojams 2 savaites. Atliktas stebėjimas, kurio metu paskaičiuota kiek iš 20-ties detalių yra sugniuždoma popierinio korinio užpildo akutė. Gauta, jog iš 20 ruošinių 5-iems yra dedamas sugniuždytas popierinis korinis užpildas. Skaičiuojant sąnaudas, seniau sunaudojamas medžiagos kiekis buvo 3075,6 m² gaminant 10000 detalių. Šiuo metu sąnaudos gaminant 10000 detalių yra 2737,8 m². Taigi, apmokius darbuotojus popierinio korinio užpildo sąnaudos sumažėjo 11%, tai yra 337,8 m² (žr. 14 lentelę).

14 lentelė. Popierinio korinio užpildo sąnaudų kitimas

Popierinio korinio užpildo sąnaudos	Seniau, m ²	Dabar, m ²
gaminant 10000 detalių	3075,6	2737,8

Įvertinus neatitiktį kiekį gamyboje, pastebima taip pat didžiulė nauda. Gauta, jog neužpildyto paviršiaus defektų kiekis sumažėjo 4,08%. Tai yra seniau defektų kiekis siekė 558 vienetų, dabar – 151. Taigi, vien popierinio korinio užpildo kiekis sumažino paviršiaus neužpildymų kiekį perpus (žr. 15 lentelę).

15 lentelė. Popierinio korinio užpildo įdėjimo įtaka defektui kiekiui

Neatiktis	Defektų kiekis dabar		Defektų kiekis dabar	
	Kiekis, vnt.	Kiekis, %	Kiekis, vnt.	Kiekis, %
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	558	5,58	151	1,51
Įspaudimai (iki 5cm)	62	0,62	34	0,34
Išlinkusi detalė	789	7,89	689	6,89
Dulkės, šiukšlės paviršiuje	120	1,20	58	0,58
Dangos prašlifavimas	89	0,89	74	0,74
Išilginės/skersinės veleno žymės	65	0,65	45	0,45
Spalvos neatiktis	12	0,12	10	0,10

4.3. Tolygaus klijų užtepimo įvedimas į gamybą

Ištyrus, jog klijų užnešimas ant HDF daro didelę įtaką ruošinio kokybei. Įvestas osciliacijos procesas klijų velenams ir abi pusės privalo dirbti visada kartu, tai yra pilnai turi būti išnaudojamas visas veleno ilgis. Osciliacija, tai per lygius laiko tarpus pasikartojantis svyravimas, virpesys [39].

Įvedus pakeitimus, atlikta 20 klijų svėrimų kiekvienoje pusėje. Atlikus matavimus, apskaičiuotos C_p ir C_{pk} reikšmės. Kairėje pusėje $C_p=1,01$ ir $C_{pk}=0,99$, kai prieš tai šios reikšmės buvo: $C_p=0,77$, $C_{pk}=0,46$. Viduryje šiuo metu – $C_p=1$ ir $C_{pk}=1,03$, kai buvo $C_p=0,75$, $C_{pk}=0,63$. Dešinėje šios reikšmės dabar – $C_p=1,07$ ir $C_{pk}=1,01$, kai buvo $C_p=0,82$, $C_{pk}=0,47$. Todėl galima teigti, kad šiuo metu procesas yra gana stabilus ir rezultatai atitinka užduotą toleranciją.

Iki pakeitimų išlinkusių detalių kiekis buvo fiksuojamas atskiru kodu, tai yra išlinkusios detalės buvo atidedamos kaip neatitiktinis produktas. Todėl atlikta analizė, siekiant išsiaiškinti kaip šie pakeitimai pagerino situaciją su išlinkusiomis detalėmis. Kaip pastebėta, seniau išlinkusių detalių kiekis buvo 689 vienetai (6,89%), kai dabar išlinkusių detalių kiekis sumažėjo 304 vienetais (3,04%). Taigi, galima teigti, jog šie veiksmai pagerino detalių kokybę (žr. 16 lentelę).

16 lentelė. Neatitiktinių kiekių kitimas, esant stabiliam klijų užnešimo procesui

Neatitiktis	Defektų kiekis prieš tai		Defektų kiekis dabar	
	Kiekis, vnt.	Kiekis, %	Kiekis, vnt.	Kiekis, %
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	151	1,51	121	1,21
Įspaudimai (iki 5cm)	34	0,34	30	0,30
Išlinkusi detalė	689	6,89	385	3,85
Dulkės, šiukšlės paviršiuje	58	0,58	48	0,48
Dangos prašlifavimas	74	0,74	68	0,68
Išilginės/skersinės veleno žymės	45	0,45	42	0,42
Spalvos neatitiktis	10	0,10	11	0,11

4.4. Aplinkos parametrų kontroliavimas gamyboje

Ištyrus mokslinę literatūrą ir atlikus tyrimus, išsiaiškinta, jog aplinkos parametrai yra vieni svarbiausių rodiklių norint turėti aukštos kokybės gaminius. Gauta, jog geriausia temperatūra detalėms yra 18°C, į gamybą įvedamos galimos tolerancijos 18 - 22°C. Santykinis drėgnumas tinkamiausias detalėms – 38%, įvedamos tolerancijos 38 - 42%.

Gamyboje įvesta sistema, kuri kas 3 minutes fiksuoja aplinkos parametrus. Radus neatitiktumus, drėkinimo ir šildymo sistema automatiškai koreguoja parametrus, tam kad aplinkos parametrai atitiktų nurodytus.

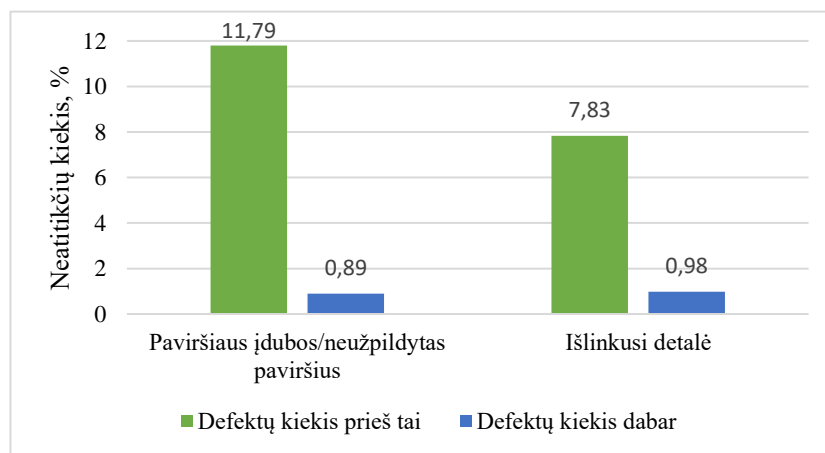
Įvedus šią sistemą, atlikta analizė siekiant išsiaiškinti ar detalių kokybė pagerėjo. Gauta, jog prieš tai išlinkusių detalių kiekis buvo 385 vienetai, dabar nekokybiškų detalių kiekis siekia 98 vienetais. Taigi gaunama, jog išlinkusių detalių kiekis sumažėjo 2,87%. Todėl galima teigti, jog labai svarbu turėti stabilius aplinkos parametrus gamyboje, nes nekokybiškų detalių kiekis nusistovi iki minimumo (žr. 17 lentelę).

17 lentelė. Neatitikčių kiekio kitimas įvedus stabilius aplinkos parametrus

Neatiktiktis	Defektų kiekis prieš tai		Defektų kiekis dabar	
	Kiekis, vnt.	Kiekis, %	Kiekis, vnt.	Kiekis, %
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	121	1,21	89	0,89
Įspaudimai (iki 5cm)	30	0,30	30	0,30
Išlinkusi detalė	385	3,85	98	0,98
Dulkės, šiukšlės paviršiuje	48	0,48	47	0,47
Dangos prašlifavimas	68	0,68	69	0,69
Išilginės/skersinės veleno žymės	42	0,42	45	0,45
Spalvos neatiktiktis	11	0,11	13	0,13

4.5. Naudos skaičiavimas pakeitus medžiagų ir aplinkos parametrus

Atlikus skaičiavimus, įrodyta, jog kiekvienas etapas po truputį mažino nekokybiškų detalių kiekį. Kiekviename etape skaičiuojamas tam tikras detalių kokybės pagerėjimas. Atlikti skaičiavimai, kurie gauti palyginus situaciją nekokybiškų detalių prieš pakeitimus ir po. Lyginant defekto – neužpildyto paviršiaus defektus, procentinis pagerėjimas yra 10,9%. Analizuojant išlinkusių detalių kiekis sumažėjo 6,85%. Todėl galima teigti, jog šie pakeitimai procentine prasme padarė didelę įtaką kokybiškoms detalėms (žr. 61 pav.).



61 pav. Neatitikčių kiekio palyginimas prieš pakeitimus ir po pakeitimų

Apskaičiuojamas nuostolių sumažėjimas, kuris gaunamas pakeitus gamybos parametrus į nurodytus. Imama, jog vidutinė gaminio kaina yra 3,21Eur. Taigi pastebėta, jog pakeitus parametrus nuostolių suma, gauta iš detalių su neužpildytu paviršiumi, sumažėjo 3498,9Eur. Nuostolių suma patirta iš išlinkusių detalių sumažėjo iki 3198,85Eur. Viso nuostoliai patirti dėl nekokybiškų detalių sumažėjo iki 5698,75Eur (žr. 18 lentelė).

18 lentelė. Nuostolių skaičiavimas

Defekto pavadinimas	Defektų kiekis prieš tai, vnt.	Patirti nuostoliai, Eur	Defektų kiekis dabar, vnt.	Patirti nuostoliai, Eur
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	1179	3784,59	89	285,69
Išlinkusi detalė	783	2513,43	98	314,58

4.6. Kondicionavimo trukmės sutrumpinimo naudos skaičiavimas

Kaip ir minėta anksčiau gamybos įmonėje taikomas kondicionavimo laikas, kai ruošiniai gaminami karštuoju būdu yra 6 valandos, kai šaltuoju – 10 valandų. Atlikus bandymus, nuspręsta šiuos kondicionavimo laikus atitinkamai mažinti iki 4 ir 6 valandų. Pirmiausia skaičiuojamas detalių kiekis, kuris pagaminamas per 1 valandą karštuoju ir šaltuoju būdu.

Pasirenkamas gaminys, kurio plotis 1200mm, ilgis 400mm ir storis 32mm. Vienu ciklu karštas presas užpresuoja 20 detalių, šaltas presas – 102 detales. Imama, jog šiam gaminiui presavimo laikas ruošinius gaminant karštuoju būdu yra 180s, šaltuoju būdu – 480s.

Taigi gaunama, jog 1 detalę karštuoju ir šaltuoju būdu pagaminame per:

$$K_{karštuoju} = \frac{T}{S} = \frac{180}{20} = 9 \frac{s}{det}; \quad (8)$$

$$K_{šaltuoju} = \frac{T}{S} = \frac{480}{102} = 4,7 \frac{s}{det}; \quad (9)$$

Čia:

K – našumo skaičiavimas, s/detalei;

T – laikas, per kurį pagaminamas tam tikras detalių skaičius, s;

S – detalių kiekis, pagaminamas per tam tikrą laiko tarpą, vnt.

Skaičiuojama kiek detalių per valandą pagamina karštasis ir šaltasis presas:

$$Kiekis_{karštuoju} = \frac{T_p}{T_c} = \frac{60}{3} = 20presų; \quad (10)$$

$$Kiekis_{šaltuoju} = \frac{T_p}{T_c} = \frac{60}{8} = 7,5presų; \quad (11)$$

Čia:

T_p – skaičiuojama trukmė, min;

T_c – ciklo trukmė, min.

Detalių kiekis pagaminamas per valandą:

$$V_{karštu} = Kiekis_{karštuoju} \times S = 20 \times 20 = 400detalių/valandą; \quad (12)$$

$$V_{karštu} = Kiekis_{šaltuoju} \times S = 7,5 \times 102 = 765detalių/valandą; \quad (13)$$

Čia:

$V_{karštu}$ – detalių kiekis pagaminamas per valandą.

Taigi gavus vienos detalės pagaminimo laiką (žr. 8-9 formules), apskaičiuojamas vienos detalės pagaminimo laikas įvertinus kondicionavimo laiką. Gaminius gaminant karštuoju būdu 20 detalių pagaminama per 180s, prie šio laiko pridedamas kondicionavimo laikas 21600s. Taigi, karštuoju būdu 20 detalių pagaminame per 21780s (363min). Gaminius gaminant šaltuoju būdu 102 detalės pagaminamos per 480s, prie šio laiko pridedamas kondicionavimo laikas 28800s. Gauname, jog 102 detales pagaminame 29280s (488min). Galima teigti, jog per parą pagaminamas ruošinių kiekis gaminant karštuoju ir šaltuoju būdu yra:

$$Kiekis_{karštuoju} = \frac{T_{para} \times T_{min}}{T_{detalių}} = \frac{24 \times 60}{363} \times 20 = 79,33detalės/parą; \quad (14)$$

$$Kiekis_{šaltuoju} = \frac{T_{para} \times T_{min}}{T_{detalių}} = \frac{24 \times 60}{488} \times 102 = 300,9detalės/parą; \quad (15)$$

Čia:

T_{para} – paros trukmė valandomis, val.;

T_{min} – valandos trukmė minutėmis, min;

$T_{detalių}$ – detalių pagaminimo laikas, min.

Sumažinus kondicionavimo laiką 2 valandom kiekvienam gamybos būdui, gauta, jog gaminius gaminant karštuoju būdu 20 detalių pagaminama per 180s, prie šio laiko pridedamas kondicionavimo laikas 14400s. Taigi, karštuoju būdu 20 detalių pagaminame per 14580s (243min). Gaminus gaminant šaltuoju būdu 102 detalės pagaminamos per 480s, prie šio laiko pridedamas kondicionavimo laikas 21600s. Gauname, jog 102 detales pagaminame 22080s (368min). Galima teigti, jog dabar pagamintų ruošinių kiekis yra:

$$Kiekis_{karštuoju} = \frac{T_{para} \times T_{min}}{T_{detalių}} = \frac{24 \times 60}{243} \times 20 = 118,52 \text{ detalės/para}; \quad (16)$$

$$Kiekis_{šaltuoju} = \frac{T_{para} \times T_{min}}{T_{detalių}} = \frac{24 \times 60}{368} \times 102 = 399,13 \text{ detalės/para}; \quad (17)$$

Taigi, sutrumpinus kondicionavimo laiką gaunamas pagerėjimas gaminant tiek karštuoju, tiek šaltuoju būdu. Detalių pagaminimas karštuoju būdu, sutrumpinus kondicionavimo laiką, pagerėjo 33%. Detalių pagaminimas šaltuoju būdu, sutrumpinus kondicionavimo laiką, pagerėjo 25%. Todėl galima teigti, jog šis pokytis įmonei atnešė didžiulę naudą.

5. Rekomendacijos

1. Tyrimo metu daugiausia dėmesio skirta popieriniam koriniam užpildui, tačiau kaip įtariama didelę įtaką paviršiaus kokybei daro ir aukšto tankio medienos plaušų plokštė. Todėl rekomenduojama atlikti tyrimus, naudojant skirtingų gamintojų ir skirtingo paviršiaus kokybės didelio tankio medienos plaušų plokštę.
2. Tyrimo metu ištirti aplinkos parametrai, medžiagos ir žmonių įtaka ruošinio kokybei. Verta ištirti taip pat ir įrengimo parametrų: spaudimo, preso plokštės temperatūros ir popieriaus džiovinimo, įtaką ruošinio kokybei.

6. Išvados

1. Atlikus tyrimą nustatyta, kad gaminant korinį lengvintą skydą dažniausiai pasitaikančios neatitiktys yra paviršiaus defektai, tokie kaip: įdubos, neužpildytas paviršius, įspaudimai, išlinkusi detalė, dulkės, šiukšlės, dangos prašlifavimas, veleno žymės, spalvos neatitiktis.
2. Atlikus eksperimentinius tyrimus popieriniam koriniam užpildui, nustatyta, jog skydas atlaikytų apkrovą iki 163N ir sanklijos stipris būtų 19,72MPa, gaminiui geriausia naudoti perdirbtą ir iki 4,4 – 4,5% absoliutaus drėgnio išdžiovintą popierinį korinį užpildą. Ruošinys gali atlaikyti 164N apkrovą, kai šaltuoju būdu pagaminti ruošiniai iki kitos mechaninės operacijos yra kondicionuojami 6 valandas, karštuoju – 4 valandas.
3. Nustatyta, kad didėjant aplinkos temperatūrai ir santykiniam oro drėgniui didėja lengvinto korinio skydo įlinkis ir mažėja tamprumo modulis. Didžiausias tamprumo modulis - 339MPa ir mažiausias įlinkis - 2,4mm yra, kai ruošiniai pagaminti karštuoju būdu 18°C aplinkos temperatūroje bei 38% santykiniam ore drėgnume.
4. Atlikus eksperimentą nustatyta, kad netolygus klijų užnešimas ant HDF ruošinio daro įtaką lengvinto korinio skydo įlinkiui. Kuo didesnis PVAc klijų kiekio skirtumas tarp viršutinio ir apatinio HDF, tuo ruošinio įlinkis yra didesnis. Nustatyta jog siekiant gauti mažiausią detalės įlinkį, tai yra 0,4 - 0,6mm, klijų kiekio skirtumas tarp viršutinio ir apatinio HDF neturi viršyti 0-2,5 g/m².

7. Literatūros sąrašas

1. SOFFRITTI, C. ir CHICCA, H., NERI A. *Cast iron street furniture: A historical review* [interaktyvus]. Endeavour, 2020 [žiūrėta 2021-09-24]. Prieiga per: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0160932720300387?token=6F8FBEEA409B33095578229D2123361E973A54E826890667BDF5F563628B04459BFEAF10A5609E173E7BA9E30106E8F6&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211113100144>
2. *Kas augančiai korporacijai garantuos reikiamą kiekį ir žemą kainą?* [interaktyvus]. Lietuva, 2016 [žiūrėta 2021-09-24]. Prieiga per: <https://www.gyvasmiskas.lt/kodel-ikea-reikia-1-pasaulio-medienos-arba-kaip-ikea-susijusi-su-urediju-reforma/>
3. *Paper Honeycomb Furniture* [interaktyvus]. Lenkija, 2021 [žiūrėta 2021-09-24]. Prieiga per: <https://axxor.com/applications/furniture/>
4. BARBOUTIS, I. Ir V. VASSILIOU. *Strenght properties of lightweight paper honeycomb panels for the furniture* [interaktyvus]. Greece: Aristotle University of Thessaloniki, 2017 [žiūrėta 2021-10-01]. Prieiga per: <http://users.auth.gr/~jbarb/Publications/lightweight%20honeycomb%20furniture.pdf>
5. DONGMEI, W. ir B. ZIYOU. Mechanical property of paper honeycomb structure under dynamic compression [interaktyvus]. *Materials & Design*. 2015, t. 77, pp. 59-64. Prieiga per: Mechanical property of paper honeycomb structure under dynamic compression - ScienceDirect
6. WIERZBICKI, T. Crushing analysis of metal honeycomb [interaktyvus]. *International Journal of Impact Engineering*. 2014, t.1, pp 157-174. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734743X83900040>
7. YINGJIAN, W. *Elastic collapse of honeycombs under out-of-plane pressure*. Kinija, 2014.
8. YU, J.L., J.R. LI ir HU S.S. *Strain-rate effect and micro-structural optimization of cellural metal* [interaktyvus]. China: Mechanichs of Materials, 2010 [žiūrėta 2021-10-02]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/222428498_Strain-rate_effect_and_micro-structural_optimization_of_cellular_metals
9. KOBAYASHI, H., M. DAIMARUYA ir KOBAYASHI, T. *Dynamic and static compression test for paper honeycomb cores and absorbed energy*. Kinija: Muroran Technological Institute, 2002.
10. *Mediniai miegamojo baldai: kodėl verta rinktis medžio masyvą* [interaktyvus]. Lietuva, 2020 [žiūrėta 2021-10-07]. Prieiga per: https://naturbaldai.lt/Mediniai_miegamojo_baldai:_kodel_verta_rinktis_medzio_masyv
11. *The advantages of an HDF core ind wood flooring* [interaktyvus]. From the Forest, 2020 [žiūrėta 2021-10-08]. Prieiga per: <https://www.fromtheforest.com/blogs/fromtheforest/the-advantages-of-an-hdf-core-in-wood-flooring>
12. *Product overview: ARO-BOND 535* [interaktyvus]. Bristol: Ureka, 2021 [žiūrėta 2021-10-07]. Prieiga per: <https://www.thenamethatsticks.com/products/aro-bond-535-laminate-d3-pva-adhesive/>
13. *Automatic rollers gluing machine* [interaktyvus]. Italija, 2021 [žiūrėta 2021-10-07]. Prieiga per: S2R - Automatic 2 rollers gluing machine (osama-tech.com)
14. *Processing* [interaktyvus]. Nyderlandai: Honicel, 2021 [žiūrėta 2021-10-08]. Prieiga per: <http://www.honicel.com/page/1049/processing.html>
15. *Eurolight Lightweight boards* [interaktyvus]. Didžioji Britanija: EGGER, 2021 [žiūrėta 2021-10-09]. Prieiga per: https://www.egger.com/shop/en_GB/interior/product-detail/LIGHTWEIGHTBOARD

16. *Innovations and implementations* [interaktyvus]. Lenkija: Synthos, 2021 [žiūrėta 2021-10-09]. Prieiga per: <https://www.synthosgroup.com/>
17. SMARDZEWSKI, J., M. SLONINA ir MASLEJ, M. Stiffness and failure behaviour of wood based honeycomb sandwich corner joints in different climates [interaktyvus]. *Composite Structures*. 2017, t. 168, pp. 153-163. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822316329270>
18. SMARDZEWSKI, J. ir D. KRAMSKI. Modelling stiffness of furniture manufactured from honeycomb panels depending on changing climate conditions [interaktyvus]. *Thin-Walled Structures*. 2019, t. 137, pp. 295-331. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263823118309625>
19. SMARDZEWSKI, J. *Modelling of thin paper honeycomb panels for furniture* [interaktyvus]. Lenkija: Poznanės universitetas, 2016 [žiūrėta 2021-10-10]. Prieiga per: Microsoft Word - Uvodni dio problem pdf sadrzaj.doc (researchgate.net)
20. WOJNOWKA, M. ir A. GAJECKI. *Investigation of elastic properties of paper honeycomb panels with rectangular cells* [interaktyvus]. Lenkija: Poznanės universitetas, 2019 [žiūrėta 2021-10-11]. Prieiga per: PEER-REVIEW ARTICLE (ncsu.edu)
21. SHAN, J. ir P. WANG. Dynamic fracture of aramid paper honeycomb subjected to impact loading [interaktyvus]. *Composite Structures*. 2019, t. 223. Prieiga per: Dynamic fracture of aramid paper honeycomb subjected to impact loading - ScienceDirect
22. FENG, G., S. LI ir SONG, W. Energy absorption performance of honeycombs with curved cell walls under quasi-static compression [interaktyvus]. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2021, t. 210. Prieiga per: Energy absorption performance of honeycombs with curved cell walls under quasi-static compression - ScienceDirect
23. BUDAKCI, M. *The Determination of adhesion strenght of wood veneer and synthetic resin panel (laminat) adhesives*. Turkija: Duzce universitetas, 2010 [žiūrėta 2021-10-15]. Prieiga per: (PDF) The determination of adhesion strength of wood veneerand synthetic resin panel (laminat) adhesives (researchgate.net)
24. CHARLES, B. *Wood handbook – wood as an engineering material*. Didžioji Britanija: Forest Products Laboratory, 2002. ISBN-13: 978-0898750829
25. NARUŠYTĖ, E. *Faneravimo kokybės vertinimas* [interaktyvus]. Kaunas: Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, 2017. Prieiga per: content (elaba.lt)
26. BLIEM, Peter, Hendrikus HERWIJNEN, Robert MEISSL, Walter STADLBAUER ir Johannes KONNERTH. *Oper assembly time of water-borne polyvinyl acetate wood adhesives affected by various factors*. Austria: Competence Centre for Wood Composites and Wood Chemistry, 2021. ISSN 2731-0221.
27. BLIEM, Peter, Hendrikus HERWIJNEN, Robert MEISSL, Walter STADLBAUER ir Johannes KONNERTH. Engineering of open assembly time of water-based polyvinyl acetate (PVAc) wood adhesives by post-addition of additives [interaktyvus]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2021, t.5. Prieiga per: Engineering of open assembly time of water-based polyvinyl acetate (PVAc) wood adhesives by post-addition of additives - ScienceDirect
28. BUDAKCI MEHMET. *The determination of adhesion strenght of wood veneer and synthetic resin panel adhesives* [interaktyvus]. Turkija: Duzce universitetas, 2010 [žiūrėta 2021-10-15]. Prieiga per: (PDF) The Determination of Adhesion Strength of Wood Veneer and Synthetic Resin Panel (Laminat) Adhesives | Mehmet Budakci - Academia.edu
29. PETKOVIC, G., M. ROŽIC, M. VUKOJE ir S.P. PREPOTIC. *Interactions in polyvinyil acetate-paper adhesive joint and influence on its adhesion parameters* [interaktyvus]. Kroatija: Zagrebo

- universitetas, 2016 [žiūrėta 2021-10-19]. Prieiga per:
<https://www.researchgate.net/publication/344283602>
30. *Products: Woodmax* [interaktyvus]. Lenkija: Synthos, 2021 [žiūrėta 2021-10-19]. Prieiga per: Woodmax® wood adhesives (synthosadhesives.com)
 31. *Hdf HOMADUR raw technical information* [interaktyvus]. Vokietija: Homanit, 2021 [žiūrėta 2021-10-20]. Prieiga per: HDF-Homadur_Raw_B1.pdf (homanit.org)
 32. *Paper honeycomb* [interaktyvus]. Olandija: Axxor, 2021 [žiūrėta 2021-10-20]. Prieiga per: Paper honeycomb - Axxor - the best in honeycomb
 33. *Eksploatacinių savybių deklaracija: MDP* [interaktyvus]. Latvija: Kronospan, 2019 [žiūrėta 2021-10-21]. Prieiga per: Konica2-20131112121822 (trukme.lt)
 34. ZHOU, X.B. ir J.TH.M. DE HOSSON. Influence of surface roughness on the wetting angle. *Journal of Materials Research*. 2011, t.10. Prieiga per:
<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-materials-research/article/abs/influence-of-surface-roughness-on-the-wetting-angle/5C10B7CEA3941BB1629FAFF8FA7CCCD2>
 35. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. [ISO 2493-2:2020], *Paper and board – Determination of resistance to bending*. 2020.
 36. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 310:1999], *Medienos skydai. Tamprumo modulio lenkiant ir stiprio lenkiant nustatymas (EN 310:1999) = Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength: Europos standartas EN 310:1999 turi Lietuvos standarto statusą*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1999.
 37. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. [ISO EN 1730:2012], *Furniture - Tables - Test methods for the determination of stability, strength and durability*. 2020
 38. ŽIUPKA, Š. *Šaltai deformuotų detalių gamybos procesų technologinių parametru analizė ir tyrimas*. Vilnius: Vilniaus Gedimino Technikos universitetas, 2018.
 39. *Osciliacija žodžio reikšmė* [interaktyvus]. Lietuva, 2021 [žiūrėta 2021-11-20]. Prieiga per:
<https://www.zodziai.lt/reiksme&word=Osciliacija&wid=14261>

Priedai

1 Priedas. Medžiagų specifikacijos

1 lentelė. PVAc klijų specifikacija [30]

Parametrai	Reikšmė
Sausųjų dalelių kiekis	48±1 %
Klumpumas	11000-15000 mPas
pH	3,5-4,5

2 lentelė. HDF medžiagos specifikacija [31]

Savybė	Bandymo metodas	Reikšmė
Tankis	EN 323	830 Kg/m ³
Lenkiamasis stipris	EN 310	40 N/mm ²
Vidinė sankiba	EN 319	0,7 N/mm ²
Drėgnis	EN 322	5%
Tamprumo modulis	EN 310	3800 N/mm ²

3 lentelė. MDP plokštės specifikacija [33]

Savybė	Bandymo metodas	Reikšmė
Tankis	EN 323	530 Kg/m ³
Lenkiamasis stipris	EN 310	11 N/mm ²
Vidinė sankiba	EN 319	0,3 N/mm ²
Drėgnis	EN 322	6%
Tamprumo modulis	EN 310	1500 N/mm ²

2 Priedas. Popierinio korinio užpildo absoliučios drėgmės tyrimai

4 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgmės nustatymas

Popieriaus tipas	m _ω , g	m ₀ , g	ω, %
perdirbtas	0,318	0,06	4,3
perdirbtas	0,318	0,057	4,6
perdirbtas	0,317	0,059	4,4
perdirbtas	0,319	0,06	4,3
perdirbtas	0,319	0,061	4,2
perdirbtas	0,317	0,058	4,5
perdirbtas	0,317	0,06	4,3
perdirbtas	0,317	0,06	4,3
perdirbtas	0,316	0,059	4,4
perdirbtas	0,319	0,061	4,2
neperdirbtas	0,245	0,05	3,9

Lentelės tęsinys kitame puslapyje.

4 lentelės tęsinys. Popierinio korinio užpildo drėgmės nustatymas

neperdirtas	0,247	0,051	3,8
neperdirtas	0,246	0,05	3,9
neperdirtas	0,245	0,049	4,0
neperdirtas	0,248	0,052	3,8
neperdirtas	0,243	0,049	4,0
neperdirtas	0,245	0,05	3,9
neperdirtas	0,245	0,048	4,1
neperdirtas	0,244	0,049	4,0
neperdirtas	0,246	0,051	3,8

3 Priedas. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai

5 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas perdirbtas popierius 2,4%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P2,4 1	298	50	50	2500	119,2
P2,4 2	199	50	50	2500	79,6
P2,4 3	198	50	50	2500	79,2
P2,4 4	196	50	50	2500	78,4
P2,4 5	197	50	50	2500	78,8
P2,4 6	202	50	50	2500	80,8
P2,4 7	198	50	50	2500	79,2
P2,4 8	199	50	50	2500	79,6
P2,4 9	205	50	50	2500	82
P2,4 10	204	50	50	2500	81,6
Mažiausias medžiagos stipris, T_{min}					78,4
Didžiausias medžiagos stipris, T_{max}					119,2
Vidutinis medžiagos stipris, T_{vid}					83,84
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					12,48
Variacijos koeficientas, V					12,5%

6 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas perdirbtas popierius 3,2%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P3,2 1	183	50	50	2500	73,2
P3,2 2	181	50	50	2500	72,4

Lentelės tęsinys kitame puslapyje.

6 lentelės tęsinys. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas perdirbtas popierius 3,2%

P3,2 3	180	50	50	2500	72
P3,2 4	181	50	50	2500	72,4
P3,2 5	180	50	50	2500	72
P3,2 6	182	50	50	2500	72,8
P3,2 7	179	50	50	2500	71,6
P3,2 8	180	50	50	2500	72
P3,2 9	184	50	50	2500	73,6
P3,2 10	181	50	50	2500	72,4
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					71,60
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					73,60
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					72,44
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,61
Variacijos koeficientas, V					6%

7 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas perdirbtas popierius 4,4%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F _{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P4,4 1	159	50	50	2500	63,6
P4,4 2	162	50	50	2500	64,8
P4,4 3	163	50	50	2500	65,2
P4,4 4	160	50	50	2500	64
P4,4 5	160	50	50	2500	64
P4,4 6	161	50	50	2500	64,4
P4,4 7	161	50	50	2500	64,4
P4,4 8	158	50	50	2500	63,2
P4,4 9	160	50	50	2500	64
P4,4 10	163	50	50	2500	65,2
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					63,2
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					65,2
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					64,28
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,65
Variacijos koeficientas, V					7%

8 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas perdirbtas popierius 5,3%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P5,3 1	107	50	50	2500	42,8
P5,3 2	100	50	50	2500	40
P5,3 3	104	50	50	2500	41,6
P5,3 4	99	50	50	2500	39,6
P5,3 5	97	50	50	2500	38,8
P5,3 6	105	50	50	2500	42
P5,3 7	101	50	50	2500	40,4
P5,3 8	103	50	50	2500	41,2
P5,3 9	103	50	50	2500	41,2
P5,3 10	107	50	50	2500	42,8
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					38,8
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					42,8
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					41,04
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,34
Variacijos koeficientas, V					13%

9 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas perdirbtas popierius 6,4%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P6,4 1	107	50	50	2500	42,8
P6,4 2	100	50	50	2500	40
P6,4 3	104	50	50	2500	41,6
P6,4 4	99	50	50	2500	39,6
P6,4 5	97	50	50	2500	38,8
P6,4 6	105	50	50	2500	42
P6,4 7	101	50	50	2500	40,4
P6,4 8	103	50	50	2500	41,2
P6,4 9	103	50	50	2500	41,2
P6,4 10	107	50	50	2500	42,8
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					38,8
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					42,8
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					41,04
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,34
Variacijos koeficientas, V					13%

10 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas neperdirbtas popierius 2,4%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP2,4 1	195	50	50	2500	78
NP2,4 2	198	50	50	2500	79,2
NP2,4 3	197	50	50	2500	78,8
NP2,4 4	196	50	50	2500	78,4
NP2,4 5	197	50	50	2500	78,8
NP2,4 6	199	50	50	2500	79,6
NP2,4 7	198	50	50	2500	79,2
NP2,4 8	199	50	50	2500	79,6
NP2,4 9	200	50	50	2500	80
NP2,4 10	198	50	50	2500	79,2
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					78
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					80
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					79,08
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,60
Variacijos koeficientas, V					6%

11 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas neperdirbtas popierius 3,2%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP3,2 1	182	50	50	2500	72,8
NP3,2 2	180	50	50	2500	72
NP3,2 3	179	50	50	2500	71,6
NP3,2 4	183	50	50	2500	73,2
NP3,2 5	180	50	50	2500	72
NP3,2 6	181	50	50	2500	72,4
NP3,2 7	179	50	50	2500	71,6
NP3,2 8	183	50	50	2500	73,2
NP3,2 9	181	50	50	2500	72,4
NP3,2 10	183	50	50	2500	73,2
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					71,6
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					73,2
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					72,44
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,64
Variacijos koeficientas, V					6%

12 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas neperdirbtas popierius 4,4%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP4,4 1	161	50	50	2500	64,4
NP4,4 2	163	50	50	2500	65,2
NP4,4 3	164	50	50	2500	65,6
NP4,4 4	160	50	50	2500	64
NP4,4 5	159	50	50	2500	63,6
NP4,4 6	160	50	50	2500	64
NP4,4 7	163	50	50	2500	65,2
NP4,4 8	161	50	50	2500	64,4
NP4,4 9	162	50	50	2500	64,8
NP4,4 10	163	50	50	2500	65,2
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					63,6
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					65,6
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					64,64
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,66
Variacijos koeficientas, V					7%

13 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas neperdirbtas popierius 5,3%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP5,3 1	105	50	50	2500	42
NP5,3 2	103	50	50	2500	41,2
NP5,3 3	108	50	50	2500	43,2
NP5,3 4	101	50	50	2500	40,4
NP5,3 5	103	50	50	2500	41,2
NP5,3 6	104	50	50	2500	41,6
NP5,3 7	102	50	50	2500	40,8
NP5,3 8	106	50	50	2500	42,4
NP5,3 9	105	50	50	2500	42
NP5,3 10	108	50	50	2500	43,2
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					40,4
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					43,2
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					41,8
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,95
Variacijos koeficientas, V					9%

13 lentelė. Popierinio korinio užpildo drėgnio įtaka mechaniniam atsparumui skaičiavimai, kai testuojamas neperdirbtas popierius 6,4%

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP6,4 1	72	50	50	2500	28,8
NP6,4 2	70	50	50	2500	28
NP6,4 3	71	50	50	2500	28,4
NP6,4 4	69	50	50	2500	27,6
NP6,4 5	72	50	50	2500	28,8
NP6,4 6	71	50	50	2500	28,4
NP6,4 7	70	50	50	2500	28
NP6,4 8	72	50	50	2500	28,8
NP6,4 9	73	50	50	2500	29,2
NP6,4 10	71	50	50	2500	28,4
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					27,6
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					29,2
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					28,44
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,48
Variacijos koeficientas, V					5%

4 Priedas. Sanklijos stiprio skaičiavimai

14 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 2,3% drėgnumo perdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P2,3 1	17	40	35	1400	12,14
P2,3 2	15	40	35	1400	10,71
P2,3 3	16	40	35	1400	11,43
P2,3 4	18	40	35	1400	12,86
P2,3 5	12	40	35	1400	8,57
P2,3 6	12	40	35	1400	8,57
P2,3 7	14	40	35	1400	10,00
P2,3 8	13	40	35	1400	9,29
P2,3 9	15	40	35	1400	10,71
P2,3 10	18	40	35	1400	12,86
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					8,57
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					12,86
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					10,71
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,61
Variacijos koeficientas, V					16%

15 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 3,4% drėgnumo perdirtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P3,4 1	17	40	35	1400	12,14
P3,4 2	19	40	35	1400	13,57
P3,4 3	21	40	35	1400	15,00
P3,4 4	20	40	35	1400	14,29
P3,4 5	20	40	35	1400	14,29
P3,4 6	20	40	35	1400	14,29
P3,4 7	21	40	35	1400	15,00
P3,4 8	20	40	35	1400	14,29
P3,4 9	19	40	35	1400	13,57
P3,4 10	20	40	35	1400	14,29
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					12,14
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					15,00
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					14,07
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,83
Variacijos koeficientas, V					8%

16 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 4,5% drėgnumo perdirtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P4,5 1	29	40	35	1400	20,71
P4,5 2	27	40	35	1400	19,29
P4,5 3	26	40	35	1400	18,57
P4,5 4	29	40	35	1400	20,71
P4,5 5	28	40	35	1400	20,00
P4,5 6	27	40	35	1400	19,29
P4,5 7	26	40	35	1400	18,57
P4,5 8	28	40	35	1400	20,00
P4,5 9	29	40	35	1400	20,71
P4,5 10	27	40	35	1400	19,29
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					18,57
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					20,71
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					19,71
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,84
Variacijos koeficientas, V					8%

17 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 5,1% drėgnumo perdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
P 5,1 1	31	40	35	1400	22,14
P 5,1 2	30	40	35	1400	21,43
P 5,1 3	30	40	35	1400	21,43
P 5,1 4	30	40	35	1400	21,43
P 5,1 5	33	40	35	1400	23,57
P 5,1 6	32	40	35	1400	22,86
P 5,1 7	32	40	35	1400	22,86
P 5,1 8	31	40	35	1400	22,14
P 5,1 9	30	40	35	1400	21,43
P 5,1 10	31	40	35	1400	22,14
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					21,43
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					23,57
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					22,14
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,75
Variacijos koeficientas, V					8%

18 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 6,4% drėgnumo perdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, Mpa
P6,4 1	36	40	35	1400	25,71
P6,4 2	37	40	35	1400	26,43
P6,4 3	38	40	35	1400	27,14
P6,4 4	36	40	35	1400	25,71
P6,4 5	35	40	35	1400	25,00
P6,4 6	35	40	35	1400	25,00
P6,4 7	34	40	35	1400	24,29
P6,4 8	36	40	35	1400	25,71
P6,4 9	37	40	35	1400	26,43
P6,4 10	37	40	35	1400	26,43
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					24,29
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					27,14
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					25,79
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,86
Variacijos koeficientas, V					9%

19 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 2,3% drėgnumo neperdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP2,3 1	13	40	35	1400	9,29
NP2,3 2	12	40	35	1400	8,57
NP2,3 3	11	40	35	1400	7,86
NP2,3 4	15	40	35	1400	10,71
NP2,3 5	14	40	35	1400	10,00
NP2,3 6	13	40	35	1400	9,29
NP2,3 7	12	40	35	1400	8,57
NP2,3 8	15	40	35	1400	10,71
NP2,3 9	14	40	35	1400	10,00
NP2,3 10	16	40	35	1400	11,43
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					7,86
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					11,43
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					9,64
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,13
Variacijos koeficientas, V					11%

20 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 3,4% drėgnumo neperdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP3,4 1	16	40	35	1400	11,43
NP3,4 2	17	40	35	1400	12,14
NP3,4 3	17	40	35	1400	12,14
NP3,4 4	19	40	35	1400	13,57
NP3,4 5	19	40	35	1400	13,57
NP3,4 6	20	40	35	1400	14,29
NP3,4 7	21	40	35	1400	15,00
NP3,4 8	21	40	35	1400	15,00
NP3,4 9	20	40	35	1400	14,29
NP3,4 10	19	40	35	1400	13,57
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					11,43
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					15,00
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					13,50
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,23
Variacijos koeficientas, V					12%

21 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 4,5% drėgnumo neperdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP4,5 1	25	40	35	1400	17,86
NP4,5 2	25	40	35	1400	17,86
NP4,5 3	26	40	35	1400	18,57
NP4,5 4	24	40	35	1400	17,14
NP4,5 5	26	40	35	1400	18,57
NP4,5 6	27	40	35	1400	19,29
NP4,5 7	29	40	35	1400	20,71
NP4,5 8	26	40	35	1400	18,57
NP4,5 9	26	40	35	1400	18,57
NP4,5 10	25	40	35	1400	17,86
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					17,14
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					20,71
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					18,50
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,98
Variacijos koeficientas, V					10%

22 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 5,1% drėgnumo neperdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
NP5,1 1	30	40	35	1400	21,43
NP5,1 2	29	40	35	1400	20,71
NP5,1 3	29	40	35	1400	20,71
NP5,1 4	31	40	35	1400	22,14
NP5,1 5	31	40	35	1400	22,14
NP5,1 6	33	40	35	1400	23,57
NP5,1 7	32	40	35	1400	22,86
NP5,1 8	32	40	35	1400	22,86
NP5,1 9	32	40	35	1400	22,86
NP5,1 10	33	40	35	1400	23,57
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					20,71
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					23,57
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					22,29
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,05
Variacijos koeficientas, V					11%

23 lentelė. Sanklijos stiprio skaičiavimai, kai tiriamas 6,4% drėgnumo neperdirbtas popierinis korinis užpildas

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm²	Medžiagos stipris T, MPa
NP6,4 1	34	40	35	1400	24,29
NP6,4 2	35	40	35	1400	25,00
NP6,4 3	35	40	35	1400	25,00
NP6,4 4	36	40	35	1400	25,71
NP6,4 5	34	40	35	1400	24,29
NP6,4 6	37	40	35	1400	26,43
NP6,4 7	39	40	35	1400	27,86
NP6,4 8	36	40	35	1400	25,71
NP6,4 9	37	40	35	1400	26,43
NP6,4 10	33	40	35	1400	23,57
Mažiausias medžiagos stipris, T _{min}					23,57
Didžiausias medžiagos stipris, T _{max}					27,86
Vidutinis medžiagos stipris, T _{vid}					25,43
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,27
Variacijos koeficientas, V					13%

5 Priedas. Skirtingų aplinkos parametrų ir skirtingo gamybos būdo įtaka ruošinio kokybei

24 lentelė. Aplinkos parametrų ir gamybos būdo įtaka įlinkių rezultatui

Gamybos būdas ir ruošinio Nr.	Įlinkis(mm)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18°C, 38% Karštu būdu 1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	2	2	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,3	2,5	2,5	2,7
18°C, 38% Karštu būdu 2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	2	2	2	2,3	2,3	2,3	2,7	2,7	2,7
18°C, 38% Karštu būdu 3	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7	2	2	2	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2,7	2,7	2,7
18°C, 38% Karštu būdu 4	1	1,1	1,1	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2	2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5
18°C, 38% Karštu būdu 5	1,1	1,1	1,2	1,2	1,5	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	2	2	2,1	2,1	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
18°C, 38% K.B. vidurkis	1,1	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,3	2,3	2,3	2,5	2,6	2,6
24°C, 46% Karštu būdu 1	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7	2	2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,6	2,6	2,8	2,8
24°C, 46% Karštu būdu 2	1,1	1,1	1,3	1,3	1,6	1,6	1,8	1,8	2	2	2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,8	2,8
24°C, 46% Karštu būdu 3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9
24°C, 46% Karštu būdu 4	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6	1,8	1,8	2	2	2,2	2,3	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	3
24°C, 46% Karštu būdu 5	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	2	2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	2,8
24°C, 46% K.B. vidurkis	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	1,9	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
33°C, 64% Karštu būdu 1	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	2	2	2,1	2,1	2,3	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,9	3	3	3,1	3,1
33°C, 64% Karštu būdu 2	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,7	2,7	2,9	2,9	3	3
33°C, 64% Karštu būdu 3	1,5	1,6	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,8	2,8	2,8	3	3	3,2
33°C, 64% Karštu būdu 4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,3	2,5	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,8	3,1	3,1
33°C, 64% Karštu būdu 5	1,6	1,8	1,8	1,9	2	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,9	3	3,1	3,2	3,2
33°C, 64% K.B. vidurkis	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1
18°C, 38% Šaltu būdu 1	1,3	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5

Lentelės tęsinys kitame puslapyje.

24 lentelės tęsinys. Aplinkos parametrų ir gamybos būdo įtaka įlinkių rezultatui

18°C, 38% Šaltu būdu 2	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	2	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6
18°C, 38% Šaltu būdu 3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6
18°C, 38% Šaltu būdu 4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	2	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
18°C, 38% Šaltu būdu 5	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,5	2,5	2,7
18°C, 38% Š.B. vidurkis	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6
24°C, 46% Šaltu būdu 1	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
24°C, 46% Šaltu būdu 2	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	3
24°C, 46% Šaltu būdu 3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	2	2	2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,9	2,9	3	3
24°C, 46% Šaltu būdu 4	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8
24°C, 46% Šaltu būdu 5	1,6	1,8	1,8	1,9	2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1
24°C, 46% Š.B. vidurkis	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
33°C, 64% Šaltu būdu 1	1,8	1,8	1,9	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,2	3,4	3,4
33°C, 64% Šaltu būdu 2	1,9	2	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,8	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6
33°C, 64% Šaltu būdu 3	1,8	1,9	2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,4
33°C, 64% Šaltu būdu 4	1,9	2	2	2,1	2,1	2,2	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3	3	3,1	3,2	3,2	3,3
33°C, 64% Šaltu būdu 5	2	2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3	3	3,2	3,2	3,3	3,5	3,5	3,7
33°C, 64% Š.B. vidurkis	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5

Tamprumo skaiĉiavimai atliekami pagal formulę:

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3d} = \frac{490 \times 800^3}{4 \times 800 \times 400 \times 40 \times 1,1} = 4455 \text{MPa};$$

25 lentelė. Aplinkos parametru ir gamybos būdo įtaka tamprumo moduliui

Gamybos būdas	Tamprumo modulis (MPa)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18°C, 38% Karštu būdu	4455	4455	4083	4083	3267	3267	2882	2882	2722	2722	2722	2450	2450	2333	2333	2130	2130	2130	2042	2042
24°C, 46% Karštu būdu	3769	3769	3769	3500	3267	3063	2882	2882	2882	2450	2450	2227	2130	2130	2042	2042	1960	1815	1750	1750
33°C, 64% Karštu būdu	2722	2722	2579	2692	2579	2227	2227	2227	2130	2042	2042	1885	1815	1750	1750	1690	1633	1581	1531	1485
18°C, 38% Šaltu būdu	3657	3551	3403	3224	3063	2952	2816	2722	2526	2426	2356	2333	2227	2168	2149	2094	2042	1976	1914	1856
24°C, 46% Šaltu būdu	3224	3025	2917	2816	2692	2579	2475	2402	2311	2227	2130	2112	2025	2008	1899	1870	1815	1763	1713	1655
33°C, 64% Šaltu būdu	2606	2526	2426	2311	2227	2168	2042	1992	1899	1828	1801	1750	1701	1667	1612	1581	1531	1494	1458	1408

6 Priedas. Popierinio korinio užpildo įdėjimo įtaka ruošinio kokybei

26 lentelė. Popierinio korinio užpildo įdėjimo A būdu į ruošinį įtaka mechaniniam stipriui

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
A 1	980,21	50	50	2500	392,08
A 2	987,69	50	50	2500	395,08
A 3	978,54	50	50	2500	391,42
A 4	985,65	50	50	2500	394,26
A 5	980,98	50	50	2500	392,39
A 6	983,44	50	50	2500	393,38
A 7	981,12	50	50	2500	392,45
A 8	982,32	50	50	2500	392,93
A 9	980,2	50	50	2500	392,08
A 10	984,11	50	50	2500	393,64
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					391,42
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					395,08
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					392,97
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,12
Variacijos koeficientas, V					11%

28 lentelė. Popierinio korinio užpildo įdėjimo B būdu į ruošinį įtaka mechaniniam stipriui

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
B1	1019,44	50	50	2500	407,78
B2	1009,97	50	50	2500	403,99
B3	1021,56	50	50	2500	408,62
B4	1025,11	50	50	2500	410,04
B5	1021,09	50	50	2500	408,44
B6	1015,09	50	50	2500	406,04
B7	1021,11	50	50	2500	408,44
B8	1014,23	50	50	2500	405,69
B9	1018,66	50	50	2500	407,46
B10	1021,3	50	50	2500	408,52
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					403,99
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					410,04
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					407,50
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,78
Variacijos koeficientas, V					18%

29 lentelė. Popierinio korinio užpildo įdėjimo C būdu į ruošinį įtaka mechaniniam stipriui

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, Mpa
C1	1100,51	50	50	2500	440,20
C2	1102,12	50	50	2500	440,85
C3	1110,69	50	50	2500	444,28
C4	1098,98	50	50	2500	439,59
C5	1099,01	50	50	2500	439,60
C6	1101,21	50	50	2500	440,48
C7	1103,98	50	50	2500	441,59
C8	1102,45	50	50	2500	440,98
C9	1099,45	50	50	2500	439,78
C10	1099,98	50	50	2500	439,99
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					439,59
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					444,28
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					440,74
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,40
Variacijos koeficientas, V					14%

7 Priedas. Klijų užnešimo ant HDF įtaka ruošinio kokybei

30 lentelė. Klijų kiekio tenkančio ruošiniui matavimai

Matavimo Nr.	Klijų kiekis, g/m ²					
	Kairys šonas viršus	Kairys šonas apačia	Vidurys viršus	Vidurys apačia	Dešinys šonas viršus	Dešinys šonas apačia
1	98,75	97,85	99,85	95,98	100,98	105,4
2	95,68	94,85	98,75	94,95	101,32	104,3
3	100,26	98,75	94,69	98,62	103,14	100,98
4	98,75	98,62	100,25	101,25	99,58	104,6
5	95,23	96,78	98,75	97,85	99,78	102,3
6	98,14	93,98	96,87	97,69	101,2	97,8
7	96,58	95,58	98,75	97,52	103,45	97,99
8	97,85	97,89	97,65	92,21	98,69	102,3
9	96,32	96,89	96,32	98,25	100,25	105,6
10	95,32	94,35	97,32	99,36	101,3	98,7
Vidurkis	97,29	96,55	97,92	97,37	100,97	102,00

31 lentelė. Klijų kiekio įtaka įlinkiui matavimai

Klijų užtepimo vieta	Įlinkio rezultatai (mm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kairys šonas (pirmas matavimas)	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,6	0,5	0,3	0,5
Kairys šonas (antras matavimas)	0,8	0,6	1,3	0,9	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7
Vidurys (pirmas matavimas)	0,7	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
Vidurys (antras matavimas)	1,3	0,7	0,8	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7
Dešinys šonas (pirmas matavimas)	0,4	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3
Dešinys šonas (antras matavimas)	1,1	0,7	0,8	1,1	0,8	0,9	1,3	1,1	1,2	1,0

8 Priedas. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio kokybei**32 lentelė.** Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio drėgniui

Gamybos būdas ir kondicionavimo laikas	m _ω , g	m ₀ , g	ω, %	Gamybos būdas ir kondicionavimo laikas	m _ω , g	m ₀ , g	ω, %
Šaltu būdu po 1h	0,161	0,100	60,28	Karštu būdu po 1h	0,157	0,102	52,80
Šaltu būdu po 1h	0,160	0,101	58,42	Karštu būdu po 1h	0,156	0,101	54,46
Šaltu būdu po 1h	0,159	0,099	60,61	Karštu būdu po 1h	0,158	0,104	51,92
Šaltu būdu po 1h	0,160	0,100	60,00	Karštu būdu po 1h	0,155	0,100	55,00
Šaltu būdu po 1h	0,161	0,098	64,29	Karštu būdu po 1h	0,156	0,101	54,46
Šaltu būdu po 1h	0,159	0,099	60,61	Karštu būdu po 1h	0,157	0,103	52,43
Šaltu būdu po 1h	0,160	0,101	58,42	Karštu būdu po 1h	0,157	0,104	50,96
Šaltu būdu po 1h	0,161	0,100	61,00	Karštu būdu po 1h	0,156	0,102	52,94
Šaltu būdu po 1h	0,160	0,102	56,86	Karštu būdu po 1h	0,155	0,101	53,47
Šaltu būdu po 1h	0,159	0,100	58,22	Karštu būdu po 1h	0,158	0,104	51,92
Šaltu būdu po 2h	0,153	0,098	55,53	Karštu būdu po 2h	0,157	0,103	51,50
Šaltu būdu po 2h	0,153	0,099	54,55	Karštu būdu po 2h	0,156	0,104	50,00
Šaltu būdu po 2h	0,152	0,098	55,10	Karštu būdu po 2h	0,158	0,105	50,48
Šaltu būdu po 2h	0,154	0,098	57,14	Karštu būdu po 2h	0,157	0,104	50,96
Šaltu būdu po 2h	0,155	0,099	56,57	Karštu būdu po 2h	0,156	0,106	47,17
Šaltu būdu po 2h	0,152	0,098	55,10	Karštu būdu po 2h	0,158	0,099	59,60
Šaltu būdu po 2h	0,153	0,097	57,73	Karštu būdu po 2h	0,157	0,100	57,00
Šaltu būdu po 2h	0,152	0,100	52,00	Karštu būdu po 2h	0,157	0,102	53,92
Šaltu būdu po 2h	0,154	0,098	57,14	Karštu būdu po 2h	0,158	0,104	51,92
Šaltu būdu po 2h	0,152	0,097	56,70	Karštu būdu po 2h	0,156	0,105	48,57
Šaltu būdu po 3h	0,153	0,100	53,72	Karštu būdu po 3h	0,145	0,097	49,50
Šaltu būdu po 3h	0,152	0,100	52,00	Karštu būdu po 3h	0,144	0,098	46,94
Šaltu būdu po 3h	0,151	0,098	54,08	Karštu būdu po 3h	0,146	0,098	48,98
Šaltu būdu po 3h	0,150	0,099	51,52	Karštu būdu po 3h	0,145	0,099	46,46
Šaltu būdu po 3h	0,150	0,100	50,45	Karštu būdu po 3h	0,144	0,097	48,45
Šaltu būdu po 3h	0,153	0,097	57,73	Karštu būdu po 3h	0,144	0,096	50,00

Lentelės tęsinys kitame puslapyje.

32 lentelės tęsinys. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio drėgniui

Šaltu būdu po 3h	0,152	0,096	58,33	Karštu būdu po 3h	0,145	0,099	46,46
Šaltu būdu po 3h	0,151	0,098	54,08	Karštu būdu po 3h	0,146	0,098	48,98
Šaltu būdu po 3h	0,153	0,099	54,55	Karštu būdu po 3h	0,147	0,097	51,55
Šaltu būdu po 3h	0,152	0,099	53,54	Karštu būdu po 3h	0,146	0,098	48,98
Šaltu būdu po 4h	0,153	0,100	52,54	Karštu būdu po 4h	0,152	0,101	49,40
Šaltu būdu po 4h	0,154	0,099	55,56	Karštu būdu po 4h	0,151	0,102	48,04
Šaltu būdu po 4h	0,153	0,098	56,12	Karštu būdu po 4h	0,150	0,098	53,06
Šaltu būdu po 4h	0,152	0,097	56,70	Karštu būdu po 4h	0,149	0,103	44,66
Šaltu būdu po 4h	0,154	0,099	55,56	Karštu būdu po 4h	0,151	0,104	45,19
Šaltu būdu po 4h	0,153	0,100	53,00	Karštu būdu po 4h	0,152	0,103	47,57
Šaltu būdu po 4h	0,152	0,101	50,50	Karštu būdu po 4h	0,148	0,099	49,49
Šaltu būdu po 4h	0,155	0,103	50,49	Karštu būdu po 4h	0,152	0,101	50,50
Šaltu būdu po 4h	0,154	0,099	55,56	Karštu būdu po 4h	0,151	0,099	52,53
Šaltu būdu po 4h	0,152	0,100	52,00	Karštu būdu po 4h	0,150	0,100	50,00
Šaltu būdu po 5h	0,152	0,101	49,90	Karštu būdu po 5h	0,147	0,098	49,30
Šaltu būdu po 5h	0,151	0,100	51,00	Karštu būdu po 5h	0,146	0,099	47,47
Šaltu būdu po 5h	0,150	0,101	48,51	Karštu būdu po 5h	0,145	0,101	43,56
Šaltu būdu po 5h	0,152	0,099	53,54	Karštu būdu po 5h	0,148	0,097	52,58
Šaltu būdu po 5h	0,152	0,100	52,00	Karštu būdu po 5h	0,145	0,099	46,46
Šaltu būdu po 5h	0,150	0,101	48,51	Karštu būdu po 5h	0,144	0,098	46,94
Šaltu būdu po 5h	0,151	0,102	48,04	Karštu būdu po 5h	0,145	0,097	49,48
Šaltu būdu po 5h	0,152	0,100	52,00	Karštu būdu po 5h	0,146	0,098	48,98
Šaltu būdu po 5h	0,151	0,099	52,53	Karštu būdu po 5h	0,147	0,098	50,00
Šaltu būdu po 5h	0,150	0,099	51,52	Karštu būdu po 5h	0,147	0,096	53,13
Šaltu būdu po 6h	0,147	0,099	48,11	Karštu būdu po 6h	0,151	0,101	49,30
Šaltu būdu po 6h	0,147	0,100	47,00	Karštu būdu po 6h	0,150	0,100	50,00
Šaltu būdu po 6h	0,146	0,098	48,98	Karštu būdu po 6h	0,149	0,099	50,51
Šaltu būdu po 6h	0,147	0,099	48,48	Karštu būdu po 6h	0,147	0,098	50,00
Šaltu būdu po 6h	0,148	0,101	46,53	Karštu būdu po 6h	0,150	0,101	48,51
Šaltu būdu po 6h	0,146	0,099	47,47	Karštu būdu po 6h	0,149	0,100	49,00
Šaltu būdu po 6h	0,145	0,098	47,96	Karštu būdu po 6h	0,148	0,099	49,49
Šaltu būdu po 6h	0,147	0,100	47,00	Karštu būdu po 6h	0,149	0,098	52,04
Šaltu būdu po 6h	0,146	0,099	47,47	Karštu būdu po 6h	0,150	0,101	48,51
Šaltu būdu po 6h	0,147	0,101	45,54	Karštu būdu po 6h	0,151	0,102	48,04
Šaltu būdu po 7h	0,149	0,100	48,11	Karštu būdu po 7h	0,152	0,101	49,40
Šaltu būdu po 7h	0,148	0,101	46,53	Karštu būdu po 7h	0,150	0,102	47,06
Šaltu būdu po 7h	0,149	0,099	50,51	Karštu būdu po 7h	0,149	0,103	44,66
Šaltu būdu po 7h	0,147	0,101	45,54	Karštu būdu po 7h	0,152	0,101	50,50

Lentelės tęsinys kitame puslapyje.

32 lentelės tęsinys. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio drėgniui

Šaltu būdu po 7h	0,148	0,100	48,00	Karštu būdu po 7h	0,151	0,100	51,00
Šaltu būdu po 7h	0,149	0,101	47,52	Karštu būdu po 7h	0,148	0,099	49,49
Šaltu būdu po 7h	0,146	0,100	46,00	Karštu būdu po 7h	0,148	0,098	51,02
Šaltu būdu po 7h	0,146	0,099	47,47	Karštu būdu po 7h	0,150	0,098	53,06
Šaltu būdu po 7h	0,148	0,101	46,53	Karštu būdu po 7h	0,150	0,099	51,52
Šaltu būdu po 7h	0,146	0,099	47,47	Karštu būdu po 7h	0,149	0,101	47,52
Šaltu būdu po 8h	0,149	0,100	48,10	Karštu būdu po 8h	0,147	0,098	49,20
Šaltu būdu po 8h	0,148	0,099	49,49	Karštu būdu po 8h	0,150	0,100	50,00
Šaltu būdu po 8h	0,148	0,099	49,49	Karštu būdu po 8h	0,151	0,101	49,50
Šaltu būdu po 8h	0,150	0,101	48,51	Karštu būdu po 8h	0,146	0,099	47,47
Šaltu būdu po 8h	0,147	0,098	50,00	Karštu būdu po 8h	0,148	0,098	51,02
Šaltu būdu po 8h	0,149	0,099	50,51	Karštu būdu po 8h	0,149	0,100	49,00
Šaltu būdu po 8h	0,148	0,101	46,53	Karštu būdu po 8h	0,150	0,102	47,06
Šaltu būdu po 8h	0,150	0,099	51,52	Karštu būdu po 8h	0,151	0,101	49,50
Šaltu būdu po 8h	0,148	0,098	51,02	Karštu būdu po 8h	0,146	0,097	50,52
Šaltu būdu po 8h	0,148	0,097	52,58	Karštu būdu po 8h	0,147	0,097	51,55
Šaltu būdu po 9h	0,148	0,100	48,11	Karštu būdu po 9h	0,147	0,099	49,10
Šaltu būdu po 9h	0,147	0,099	48,48	Karštu būdu po 9h	0,148	0,100	48,00
Šaltu būdu po 9h	0,149	0,100	49,00	Karštu būdu po 9h	0,149	0,099	50,51
Šaltu būdu po 9h	0,150	0,098	53,06	Karštu būdu po 9h	0,150	0,101	48,51
Šaltu būdu po 9h	0,148	0,099	49,49	Karštu būdu po 9h	0,146	0,098	48,98
Šaltu būdu po 9h	0,147	0,098	50,00	Karštu būdu po 9h	0,151	0,101	49,50
Šaltu būdu po 9h	0,149	0,099	50,51	Karštu būdu po 9h	0,150	0,099	51,52
Šaltu būdu po 9h	0,150	0,097	54,64	Karštu būdu po 9h	0,149	0,097	53,61
Šaltu būdu po 9h	0,147	0,100	47,00	Karštu būdu po 9h	0,148	0,102	45,10
Šaltu būdu po 9h	0,146	0,099	47,47	Karštu būdu po 9h	0,147	0,101	45,54
Šaltu būdu po 10h	0,150	0,101	48,09	Karštu būdu po 10h	0,145	0,097	49,20
Šaltu būdu po 10h	0,151	0,101	49,50	Karštu būdu po 10h	0,147	0,100	47,00
Šaltu būdu po 10h	0,148	0,103	43,69	Karštu būdu po 10h	0,148	0,099	49,49
Šaltu būdu po 10h	0,147	0,102	44,12	Karštu būdu po 10h	0,146	0,101	44,55
Šaltu būdu po 10h	0,150	0,100	50,00	Karštu būdu po 10h	0,150	0,102	47,06
Šaltu būdu po 10h	0,148	0,102	45,10	Karštu būdu po 10h	0,149	0,100	49,00
Šaltu būdu po 10h	0,149	0,100	49,00	Karštu būdu po 10h	0,146	0,090	62,22
Šaltu būdu po 10h	0,146	0,101	44,55	Karštu būdu po 10h	0,145	0,098	47,96
Šaltu būdu po 10h	0,147	0,099	48,48	Karštu būdu po 10h	0,148	0,099	49,49
Šaltu būdu po 10h	0,149	0,097	53,61	Karštu būdu po 10h	0,147	0,099	48,48
Šaltu būdu po 11h	0,148	0,100	48,09	Karštu būdu po 11h	0,140	0,094	49,30
Šaltu būdu po 11h	0,147	0,099	48,28	Karštu būdu po 11h	0,141	0,093	51,61

Lentelės tęsinys kitame puslapyje.

32 lentelės tęsinys. Kondicionavimo trukmės įtaka ruošinio drėgniui

Šaltu būdu po 11h	0,147	0,098	50,31	Karštu būdu po 11h	0,142	0,096	47,92
Šaltu būdu po 11h	0,146	0,097	50,52	Karštu būdu po 11h	0,146	0,098	48,98
Šaltu būdu po 11h	0,145	0,098	47,96	Karštu būdu po 11h	0,142	0,097	46,39
Šaltu būdu po 11h	0,147	0,100	47,00	Karštu būdu po 11h	0,143	0,096	48,96
Šaltu būdu po 11h	0,146	0,101	44,55	Karštu būdu po 11h	0,140	0,096	45,83
Šaltu būdu po 11h	0,148	0,100	48,00	Karštu būdu po 11h	0,142	0,094	51,06
Šaltu būdu po 11h	0,145	0,099	46,46	Karštu būdu po 11h	0,141	0,095	48,42
Šaltu būdu po 11h	0,146	0,100	46,00	Karštu būdu po 11h	0,140	0,092	52,17
Šaltu būdu po 12h	0,146	0,098	48,08	Karštu būdu po 12h	0,147	0,098	49,10
Šaltu būdu po 12h	0,145	0,099	46,46	Karštu būdu po 12h	0,145	0,099	46,46
Šaltu būdu po 12h	0,147	0,100	47,00	Karštu būdu po 12h	0,142	0,095	49,47
Šaltu būdu po 12h	0,146	0,097	50,52	Karštu būdu po 12h	0,145	0,097	49,48
Šaltu būdu po 12h	0,145	0,098	47,96	Karštu būdu po 12h	0,141	0,094	50,00
Šaltu būdu po 12h	0,147	0,099	48,48	Karštu būdu po 12h	0,146	0,099	47,47
Šaltu būdu po 12h	0,148	0,097	52,58	Karštu būdu po 12h	0,145	0,097	49,48
Šaltu būdu po 12h	0,145	0,098	47,96	Karštu būdu po 12h	0,144	0,095	51,58
Šaltu būdu po 12h	0,146	0,099	47,47	Karštu būdu po 12h	0,143	0,096	48,96
Šaltu būdu po 12h	0,147	0,097	51,55	Karštu būdu po 12h	0,145	0,097	49,48

33 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai šaltu būdu pagamintiems ir 2h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuoto s dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Šaltu būdu 2h	142	50	50	2500	56,80
Šaltu būdu 2h	143	50	50	2500	57,20
Šaltu būdu 2h	144	50	50	2500	57,60
Šaltu būdu 2h	145	50	50	2500	58,00
Šaltu būdu 2h	140	50	50	2500	56,00
Šaltu būdu 2h	139	50	50	2500	55,60
Šaltu būdu 2h	140	50	50	2500	56,00
Šaltu būdu 2h	138	50	50	2500	55,20
Šaltu būdu 2h	137	50	50	2500	54,80
Šaltu būdu 2h	140	50	50	2500	56,00
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	54,80
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	58,00
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	56,32
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	1,05
				Variacijos koeficientas, V	10%

34 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai šaltu būdu pagamintiems ir 4h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Šaltu būtu 4h	145	50	50	2500	58
Šaltu būtu 4h	147	50	50	2500	58,8
Šaltu būtu 4h	150	50	50	2500	60
Šaltu būtu 4h	148	50	50	2500	59,2
Šaltu būtu 4h	146	50	50	2500	58,4
Šaltu būtu 4h	148	50	50	2500	59,2
Šaltu būtu 4h	149	50	50	2500	59,6
Šaltu būtu 4h	151	50	50	2500	60,4
Šaltu būtu 4h	150	50	50	2500	60
Šaltu būtu 4h	148	50	50	2500	59,2
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	58,00
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	60,40
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	59,28
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,75
				Variacijos koeficientas, V	7%

35 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai šaltu būdu pagamintiems ir 6h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Šaltu būdu 6h	158	50	50	2500	63,2
Šaltu būdu 6h	162	50	50	2500	64,8
Šaltu būdu 6h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 6h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 6h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 6h	161	50	50	2500	64,4
Šaltu būdu 6h	161	50	50	2500	64,4
Šaltu būdu 6h	158	50	50	2500	63,2
Šaltu būdu 6h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 6h	163	50	50	2500	65,2
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	63,2
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	65,2
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	64,24
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,71
				Variacijos koeficientas, V	7%

36 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai šaltu būdu pagamintiems ir 8h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Šaltu būdu 8h	157	50	50	2500	62,8
Šaltu būdu 8h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 8h	162	50	50	2500	64,8
Šaltu būdu 8h	159	50	50	2500	63,6
Šaltu būdu 8h	162	50	50	2500	64,8
Šaltu būdu 8h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 8h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 8h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 8h	158	50	50	2500	63,2
Šaltu būdu 8h	157	50	50	2500	62,8
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					62,8
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					65,2
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					64,04
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,93
Variacijos koeficientas, V					9%

37 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai šaltu būdu pagamintiems ir 10h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Šaltu būdu 10h	162	50	50	2500	64,8
Šaltu būdu 10h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 10h	164	50	50	2500	65,6
Šaltu būdu 10h	168	50	50	2500	67,2
Šaltu būdu 10h	165	50	50	2500	66
Šaltu būdu 10h	158	50	50	2500	63,2
Šaltu būdu 10h	159	50	50	2500	63,6
Šaltu būdu 10h	156	50	50	2500	62,4
Šaltu būdu 10h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 10h	163	50	50	2500	65,2
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					62,4
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					67,2
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					64,72
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					1,43
Variacijos koeficientas, V					14%

38 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai šaltu būdu pagamintiems ir 12h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuoto s dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Šaltu būdu 12h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 12h	164	50	50	2500	65,6
Šaltu būdu 12h	159	50	50	2500	63,6
Šaltu būdu 12h	160	50	50	2500	64
Šaltu būdu 12h	162	50	50	2500	64,8
Šaltu būdu 12h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 12h	158	50	50	2500	63,2
Šaltu būdu 12h	163	50	50	2500	65,2
Šaltu būdu 12h	164	50	50	2500	65,6
Šaltu būdu 12h	160	50	50	2500	64
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					63,2
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					65,6
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					64,64
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,87
Variacijos koeficientas, V					9%

39 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai karštu būdu pagamintiems ir 2h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuoto s dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Karštu būdu 2h	146	50	50	2500	58,4
Karštu būdu 2h	145	50	50	2500	58
Karštu būdu 2h	151	50	50	2500	60,4
Karštu būdu 2h	150	50	50	2500	60
Karštu būdu 2h	147	50	50	2500	58,8
Karštu būdu 2h	148	50	50	2500	59,2
Karštu būdu 2h	146	50	50	2500	58,4
Karštu būdu 2h	145	50	50	2500	58
Karštu būdu 2h	150	50	50	2500	60
Karštu būdu 2h	151	50	50	2500	60,4
Mažiausias medžiagos stipris, Tmin					58
Didžiausias medžiagos stipris, Tmax					60,4
Vidutinis medžiagos stipris, T vid					59,16
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S					0,97
Variacijos koeficientas, V					10%

40 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai karštu būdu pagamintiems ir 4h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuoto s dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Karštu būdu 4h	157	50	50	2500	62,8
Karštu būdu 4h	159	50	50	2500	63,6
Karštu būdu 4h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 4h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 4h	158	50	50	2500	63,2
Karštu būdu 4h	157	50	50	2500	62,8
Karštu būdu 4h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 4h	163	50	50	2500	65,2
Karštu būdu 4h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 4h	164	50	50	2500	65,6
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	62,8
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	65,6
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	64,04
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,97
				Variacijos koeficientas, V	0,10

50 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai karštu būdu pagamintiems ir 6h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuoto s dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Karštu būdu 6h	159	50	50	2500	63,6
Karštu būdu 6h	158	50	50	2500	63,2
Karštu būdu 6h	157	50	50	2500	62,8
Karštu būdu 6h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 6h	163	50	50	2500	65,2
Karštu būdu 6h	164	50	50	2500	65,6
Karštu būdu 6h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 6h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 6h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 6h	162	50	50	2500	64,8
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	62,8
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	65,6
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	64,24
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,89
				Variacijos koeficientas, V	0,09

60 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai karštu būdu pagamintiems ir 8h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Karštu būdu 8h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 8h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 8h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 8h	159	50	50	2500	63,6
Karštu būdu 8h	158	50	50	2500	63,2
Karštu būdu 8h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 8h	157	50	50	2500	62,8
Karštu būdu 8h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 8h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 8h	160	50	50	2500	64
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	62,8
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	64,8
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	63,96
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,61
				Variacijos koeficientas, V	0,06

70 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai karštu būdu pagamintiems ir 10h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Karštu būdu 10h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 10h	158	50	50	2500	63,2
Karštu būdu 10h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 10h	159	50	50	2500	63,6
Karštu būdu 10h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 10h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 10h	163	50	50	2500	65,2
Karštu būdu 10h	158	50	50	2500	63,2
Karštu būdu 10h	157	50	50	2500	62,8
Karštu būdu 10h	161	50	50	2500	64,4
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	62,8
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	65,2
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	64,04
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,81
				Variacijos koeficientas, V	0,08

71 lentelė. Mechaninio stiprio skaičiavimai karštu būdu pagamintiems ir 12h kondicionuotiems ruošiniams

Bandinio Žymėjimas ir Nr.	Didžiausi a jėga, Fmax, N	Suklijuoto s dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Bandomo paviršiaus plotas A, mm ²	Medžiagos stipris T, MPa
Karštu būdu 12h	161	50	50	2500	64,4
Karštu būdu 12h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 12h	157	50	50	2500	62,8
Karštu būdu 12h	158	50	50	2500	63,2
Karštu būdu 12h	160	50	50	2500	64
Karštu būdu 12h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 12h	163	50	50	2500	65,2
Karštu būdu 12h	164	50	50	2500	65,6
Karštu būdu 12h	162	50	50	2500	64,8
Karštu būdu 12h	160	50	50	2500	64
				Mažiausias medžiagos stipris, Tmin	62,8
				Didžiausias medžiagos stipris, Tmax	65,6
				Vidutinis medžiagos stipris, T vid	64,28
				Vidutinis kvadratinis nuokrypis, S	0,87
				Variacijos koeficientas, V	0,09

9 Priedas. Popierinio korinio užpildo parametų pakeitimo įtaka neatitikčių kiekiui

72 lentelė. Popierinio korinio užpildo parametų pakeitimo įtaka neatitikčių kiekiui

Neatitiktis	Defektų kiekis prieš tai		Defektų kiekis dabar	
	Kiekis, vnt.	Kiekis, %	Kiekis, vnt.	Kiekis, %
Paviršiaus įdubos/neužpildytas paviršius	1179	11,79	558	5,58
Įspaudimai (iki 5cm)	63	0,63	62	0,62
Išlinkusi detalė	783	7,83	789	7,89
Dulkės, šiukšlės paviršiuje	540	5,4	120	1,20
Dangos prašlifavimas	62	0,62	89	0,89
Išilginės/skersinės veleno žymės	227	2,27	65	0,65
Spalvos neatitiktis	7	0,07	12	0,12