



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Ieva Keršulytė

**SUKLIJAVIMO STIPRIO, PRIKLAUSOMAI NUO KLIJŲ TECHNINIŲ
PARAMETRŲ, KOKYBĖS TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF THE GLUING STRENGTH DEPENDING ON
THE GLUE PARAMETERS**

Baigiamasis magistro darbas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H74001

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGARFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Ieva Keršulytė

**SUKLIJAVIMO STIPRIO, PRIKLAUSOMAI NUO KLIJŲ TECHNINIŲ
PARAMETRŲ, KOKYBĖS TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF THE GLUING STRENGTH DEPENDING ON
THE GLUE PARAMETERS**

Baigiamasis magistro darbas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H74001

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

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

(Parašas)

Konsultantas

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

(Parašas)

Lietuvių kalbos konsultantas

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

(Parašas)

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H74001

(Parašas)

prof. dr. Vytautas Turla

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.

Vilnius

Studentei **Ievai Keršulytei**

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **Suklijavimo stiprio, priklausomai nuo klijų techninių parametrų, kokybės tyrimas**

patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 13 d. dekanų potvarkiu Nr. 113 me

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2016 m. gegužės mėn. 25 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Padaryti panašių tyrimų apžvalgą, išskiriant adhezijos teorijas, paaiškinant substrato ir klijų atskyrimo mechanizmą, suklijavimo kokybę sąlygojančius faktorius (parametrus). Atlikti eksperimentinį tyrimą, kurio metu būtų nustatyta suklijavimo stiprio priklausomybė nuo klijų techninių parametrų, popieriaus struktūros (šiurkštumo), klijų sluoksnio storio. Atlikti tyrimo duomenų analizę ir pagal gautus rezultatus nustatyti skirtingų techninių parametrų klijų tinkamumą skirtingos struktūros kartonams.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....

.....

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

Vadovas

.....

(Paraša)

dr. Rimantas Stonkus

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

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

.....

(Vardas, pavardė)

.....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Mechanikos fakultetas Poligrafinių mašinų katedra	ISBN ISSN Egz. sk. Data*.....*.....
Antrosios pakopos studijų Spaudos inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Suklijavimo stiprio, priklausomai nuo klijų techninių parametru, kokybės tyrimas Autorius Ieva Keršulytė Vadovas Rimantas Stonkus	
Kalba: lietuvių	
Anotacija Baigiamajame magistro darbe tirtas suklijavimo stiprumas naudojant skirtingas medžiagas. Pasirinktas dviejų rūšių kartonas, kurį dažniausiai naudoja pakuočių gamyboje ir trijų rūšių dispersiniai klijai. Klijai pasirinkti stengiantis atsižvelgti į skirtingus klijų parametrus. Klijai parinkti iš skirtingų kainų kategorijų, siekiant nustatyti ekonomiškumą. Atlikus bandymus gauti rezultatai, kad klijuojant GC1 Arktika kreidinių balintą kartoną, geriausia naudoti PVAC dispersijos klijus, o klijuojant GD1 Multiboard iš makulatūros pagamintam kartoną geriausia naudoti VAE dispersijos klijus. Pagal šias išvadas pateiktos rekomendacijos. Darbo apimtis: 51 p. be priedų, 45 iliustracijos, 16 bibliografiniai šaltiniai.	
Prasminiai žodžiai: adhezija, klijai, klijų užtepimas, popierius, suklijavimas, suklijavimo stiprumas.	

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Printing Machines

ISBN ISSN
Copies No.
Date*.....*.....

Master Degree Studies **Printing Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Investigation of the Gluing Strength Depending on the Glue Parameters**

Author **Ieva Keršulytė**

Academic supervisor **Rimantas Stonkus**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The strength of gluing using different types of glues was investigated in the master work. Two different types of cardboard, which is used for making packages, and three types of dispersive glues were used. The glues were chosen depending on their different parameters. They were also chosen depending on different prices to find out economical effect. The research revealed that glue of PVAC dispersion is the best for gluing GC1 Arktika chalky bleached cardboard and glue of VAE dispersion is the best for gluing GD1 Multiboard cardboard, which is made of recycled paper. Recommendations were given depending on the conclusions of this work.

Keywords: Adhesion, glue, gluing, gluing strength, paper

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ieva Keršulytė, 20101782

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Mechanikos fakultetas

(Fakultetas)

Spaudos inžinerija, SPIfm-14

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. gegužės 25 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Suklijavimo stiprio, priklausomai nuo klijų techninių parametrų, kokybės tyrimas“ patvirtintas 2016 m. gegužės 13 d. dekanų potvarkiu Nr. 113me, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas dr. Rimantas Stonkus.

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

(Parašas)
pavardė)

Ieva
Keršulytė
(Vardas ir

Turinys

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas	9
IVADAS	11
1. APŽVALGA	13
1.1. Popierius	13
1.1.1. Popieriaus struktūra.....	14
1.1.2. Naudojimo sritys	15
1.1.3. Popieriaus paviršiaus charakteristikos	16
1.1.4. Popieriaus mechaninės savybės	17
1.1.5. Popieriaus sąveika su skysčiu	17
1.2. Klijai	19
1.2.1. Klijų rūšys	20
1.2.1.1. Dispersiniai klijai.....	20
1.2.1.2. Termoplastiniai klijai.....	20
1.2.1.3. Polimeriniai klijai	21
1.2.2. Adhezijos teorijos.....	21
2. TYRIMO METODIKA.....	23
2.1. Tyrimo objektai.....	23
2.1.1. Klijai.....	23
2.1.2. Popierius.....	24
2.2. Popieriaus šiurkštumo tyrimas	25
2.3. Klijų užtepimas	26
2.4. Suspaudimas	27
2.5. Tempimas.....	28
2.6. Trinties tyrimai	29
3. REZULTATŲ ANALIZĖ	29
3.1. Šiurkštumo tyrimų rezultatai	29
3.2. Trinties bandymų rezultatai	31
3.3. Tempimo bandymų rezultatai	32
IŠVADOS	50
Literatūros sąrašas	51

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Popieriaus naudojimo sritys.....	15
2 lentelė. Klijų techniniai duomenys.....	24
3 lentelė. Volelių „ <i>The K Hand Coated</i> “ techniniai duomenys.....	27
4 lentelė. Šiurkštumo bandymų duomenys.....	30

Paveikslų sąrašas

1 pav. Popieriaus struktūra (skersinis pjūvis): a – be užpildo; b – su užpildu	15
2 pav. Popieriaus paviršiaus variantai	17
3 pav. Vilgymo kampas: kairėje – skystis nevilgo paviršiaus; dešinėje – skystis vilgo paviršių	18
4 pav. Kairėje paviršius hidrofobinis, dešinėje paviršius hidrofilinis	19
5 pav. Termoplastinių klijų pavyzdžiai	21
6 pav. Klijų sluoksnio įsiskverbimas į substrato poras (Lukoševičienė, K.; Sivakova, B. 2001.)	22
7 pav. Kairėje - adhezinis atsiskyrimas, viduryje – kohezinis atsiskyrimas, dešinėje - mišrus atsiskyrimas	23
8 pav. „Parker Print – Surface“ (PPS) popieriaus šiurkštumo matavimo galvutė	25
9 pav. PPS matavimo prietaisas „L&W SE 165 PPS Tester“	26
10 pav. „The K Hand Coater“ volelių rankinis įrenginys	26
11 pav. Sumbel Regent suspaudimo įrenginys	27
12 pav. Mecmesim Multitest 2.5 tempimo ir gniuždymo įrenginys	28
13 pav. Trinties jėgos tarp dviejų kietų kūnų priklausomybė nuo laiko (Garoff 2002)	29
14 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> paviršių vaizdai mikroskopu. Kairėje – dengtas paviršius. Dešinėje – nedengtas paviršius	30
15 pav. Kartono <i>GC1 Multiboard</i> ir <i>GC1 Arktika</i> PPS šiurkštumo tyrimo rezultatai	31
16 pav. Trinties bandymų rezultatai	32
17 pav. a – nekokybiškas („blogas“) suklijavimas, b – kokybiškas („geras“) suklijavimas	33
18 pav. Atšokimo atveju jėgos priartėjimas prie 0 reikšmės	33
19 pav. Suklijavimo siūlės vieta ant <i>GD1 Multiboard</i> kartono skirtingų paviršių. Kairėje - nedengtas paviršius. Dešinėje - dengtas.	34
20 pav. Klijų sluoksnio vaizdas per mikroskopą, po plyšimo per klijų sluoksnį	34
21 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir PVAC-e klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai ...	35
22 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir PVAC-e klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai	35
23 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir PVAC-e klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai	36
24 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir VAE klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai	37
25 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir VAE klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai	37
26 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir VAE klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai	38
27 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir PVAC klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai	39

28 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir PVAC klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai	39
29 pav. Kartono <i>GD1 Multiboard</i> ir PVAC klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai.....	40
30 pav. Popieriaus vidinių sluoksnių atsiskyrimas	40
31 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir PVAC-e klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai	41
32 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir PVAC-e klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai	41
33 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir PVAC-e klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai	42
34 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir VAE klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai	42
35 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir VAE klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai.....	43
36 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir VAE klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai	43
37 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir PVAC klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai.....	44
38 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir PVAC klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai	44
39 pav. Kartono <i>GC1 Arktika</i> ir PVAC klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai	45
40 pav. Maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant <i>GD1 Multiboard</i> iš makulatūros pagamintą kartoną ir trijų rūšių klijus.....	46
41 pav. Vidutinės apkrovos rezultatai, naudojant <i>GD1 Multiboard</i> iš makulatūros pagamintą kartoną ir trijų rūšių klijus	46
42 pav. Poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant <i>GD1 Multiboard</i> iš makulatūros pagamintą kartoną ir trijų rūšių klijus.....	47
43 pav. Maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant <i>GC1 Arktika</i> kreidinį kartoną ir trijų rūšių klijus	48
44 pav. Vidutinės apkrovos rezultatai, naudojant <i>GC1 Arktika</i> kreidinį kartoną ir trijų rūšių klijus	48
45 pav. Poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant <i>GC1 Arktika</i> kreidinį kartoną ir trijų rūšių klijus	49

IVADAS

Temos aktualumas

Spaudos pramonė visame pasaulyje užima didelę rinkos dalį. Šioje pramonės šakoje nuosmukis yra labai mažas. Taigi, norint įsitvirtinti, išlikti ir būti konkurencingam, reikia užsakovams pateikti ne tik kokybišką, naujausiomis technologijomis gaminamą produkciją, bet ir atsižvelgti į siūlomą produkcijos kainą.

Vis didesnę spaudos pramonės vietą užima reklaminė produkcija ir pakuotė. Pakuotės skiriasi ne tik dizainu ir keliamais reikalavimais, bet ir naudojamomis medžiagomis. Šiame magistro darbe tiriami kelių rūšių klijai, reikalingi klijuoti pakuotei skirtą kartoną. Norint nustatyti, kokius klijus optimalu naudoti, kad jų išeiga būtų mažiausia, gaunamas suklijavimas kokybiškas, o išlaidos klijams minimalios bei kokį klijų sluoksnio storį tikslinga naudoti, norint pasiekti geriausią sukibimą.

Ištirtumo laipsnis

Tirinėjant suklijavimo kokybę buvo atlikta nemažai tyrimų, tačiau juose dažniausiai tiriami termoplastiniai klijai, naudojami knygų gamyboje. Tokius bandymus tiriant knygos viršelio ar priešlapio priklijavimą atliko Renata Antanavičiūtė savo magistro darbe (Poligrafijos produkcijos suklijavimo stiprio tyrimas, 2011) ir Vitoldas Šidlovski magistro darbe (Besiūlio įrišimo kokybės tyrimas, 2008). Įvertinus, kad bandymų su vandens pagrindo dispersijos klijais nėra, nuspręsta šią sritį panagrinėti plačiau. Panašumų būtų galima rasti Kristinos Lukoševičienės ir Birutės Sivakovos darbe „Popieriaus restauravimui naudojamų klijų adhezija“, tačiau šis darbas nėra analogiškas.

Tyrimo tikslai ir uždaviniai

Šio darbo tikslas – ištirti dviejų pasirinktų kartonų (GD1 ir GC1) suklijavimo stiprumą naudojant skirtingų rūšių klijus, pagal gautus rezultatus pateikti rekomendacijas, kokius klijus ir kaip naudoti, kad būtų gaunamas kokybiškas suklijavimas.

Darbo tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

- atlikti kartono šiurkštumo bandymus ir nustatyti kartono paviršių, kontaktuojančių su klijais, šiurkštumą;
- atlikti kartono trinties bandymus ir nustatyti trintį tarp kontaktuojančių kartono paviršių;

- suklijuoti bandinius ir nustatyti jėgas, kurias pasiekus prasideda suklijuoto sujungimo irimas bei jėgą, prie kurių vyksta tolimesnis suklijuotos jungties ardymas
- atlikti bandinių analizę mikroskopu;
- atlikti tyrimo duomenų analizę, apibendrinti rezultatus ir suformuluoti išvadas bei pateikti rekomendacijas.

Darbo metodika

Visi rezultatai gauti eksperimentiniu būdu. Pasirinktos aktualios medžiagos, kurios dažnai naudojamos dėžučių gamyboje. Šiurkštumo bandymams atlikti naudotas PPS metodas. Tempimo ir trinties bandymai atlikti *Mecmesim Multitest 2.5* įrenginiu.

Darbo rezultatų pristatymas

Darbo rezultatai pristatyti ir aptarti kasmetinėje 19-oje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ (Vilnius, 2016 m. balandžio 28 d.).

1. APŽVALGA

Lietuvoje daugiausiai nagrinėjami termoplastiniai klėjai, bandymų metu tiriamas besiūlis įrišimas, tokius tyrimus atliko Renata Antanavičiūtė (2011) ir Vitoldas Šidlovski (2008). Taip pat buvo atliktas tyrimas (Duncan *et al.* 2005) apie termoplastinių klijų padengimą ir sklaidą. Pateiktos rekomendacijos darbui su termoplastiniais klėjais. Panašių rekomendacijų darbui su dispersiniais klėjais nėra.

Klijavimo procese naudojamos dvi pagrindinės medžiagos – klėjai ir klijuojamoji medžiaga. Kadangi tyrimui aktualiausias buvo popierius, jo klijavimo procesas ir bus tiriamas. Trumpai bus apžvelgiamos klijavimo procese dalyvaujančios medžiagos.

1.1. Popierius

Spaudos popierius naudojamas įvairiai poligrafinei produkcijai gaminti: laikraščiams, žurnalams, knygoms, vokams, atvirutėms, dokumentams, pakuotėms ir kt. Popierius parenkamas pagal technologines specifikacijas, kad būtų optimalus variantas visam gamybos procesui. Tačiau visais atvejais popierius turi atitikti tokius reikalavimus:

- būti tolygios struktūros, lygaus paviršiaus;
- pakankamai baltas, neskaidrus, atsparus šviesos poveikiui;
- be skirtingų atspalvių, vientisos spalvos;
- atitikti keliamus mechaninius reikalavimus, galintis deformotis be žymių liekamųjų deformacijų;
- chemiškai inertiškas;
- būti be defektų t. y. be dėmių, mechaninių pažeidimų, raukšlių.

Kad lengviau būtų kontroliuoti įvairius kiekybinius rodiklius, buvo vadovaujamasi standartais. Standartai taikomi kiekvienai popieriaus rūšiai. Jie nustato ir tyrimų metodikas ir sąlygas. Standartai nustato leidžiamus nuokrypius kiekvienai popieriaus rūšiai, pavyzdžiui: tankio, baltumo, popieriaus 1m² masės.

Platų spaudos popieriaus asortimentą galima klasifikuoti pagal šiuos kriterijus:

- paskirtį;
- pluoštinę sudėtį;
- storį.

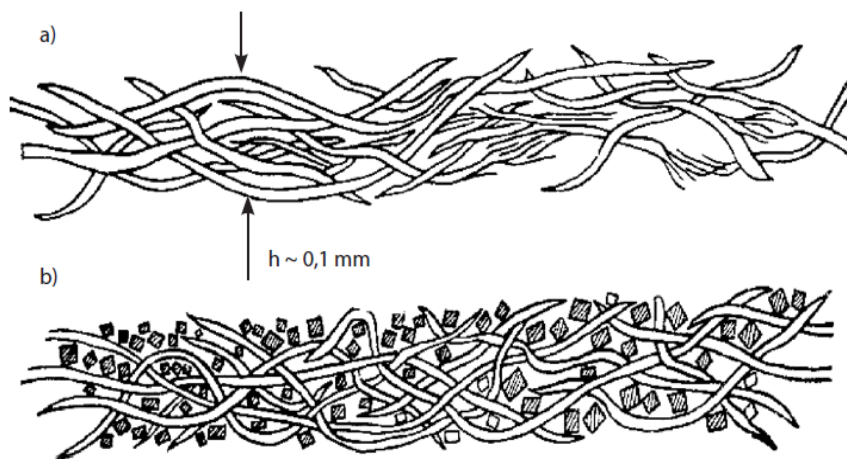
Pagal paskirtį spaudos popierius gali būti skirstomas į popierių, skirtą iškiliaspaudei, giliaspaudei ir ofsetinei spaudos technologijai. Pagal pluoštinę sudėtį galime skirstyti į

celiuliozinį, celiuliozinį su medienos plaušiena ir popierių, kuriame vyrauja medienos plaušiena. Celiuliozinio popieriaus sudėtyje yra 100 % balintos celiuliozės. Celiuliozinį su medienos plaušiena popierių sudaro 50–80 % balintos celiuliozės ir 20–50 % medienos masės. Popieriaus, kuriame vyrauja medienos plaušiena sudėtyje yra apie 40 % nebalintos celiuliozės ir apie 60% medienos masės. Pagal storį arba 1 m² masę popierius skirstomas į skirtą įvairiems leidiniams skirtingos masės popierius, kurių gramatūra iki 240. Masiniams gaminiams plonus popierius, kurių gramatūra 60–70.

1.1.1. Popieriaus struktūra

Popierius – tai medžiaga, sudaryta iš smulkiai sumaltų augalinių plaušelių, kurie yra chaotiškai tarpusavyje susipynę. Popieriaus gamybai gali būti naudojamos įvairios medžiagos. Jis gaminamas iš spygliuočių ar lapuočių medienos, taip pat gali būti naudojamos kitos medžiagos – medvilniniai ar lininiai skudurai ir pan. Be minėtos augalinės plaušienos popieriaus sudėtyje taip pat būna užpildų, dažnai popierius yra įklijinamas. Spausdinant dažniausiai naudojamas 0,04–0,3 mm popierius. Tačiau popierių dažniausiai apibūdiname ne pagal storį, o pagal popieriaus gramatūrą t. y. 1 m² masę. Sutarta laikyti, kad popieriaus gramatūra yra iki 250 g/m². Didesnės gramatūros popierius vadinamas puskartoniu, o dar didesnės – kartonu. Kai kurios popieriaus rūšys, norit pagerinti jų savybes, yra dengiamos kreidiniu sluoksniu.

Popieriaus savybės didžiaja dalimi priklauso nuo pagrindinės medžiagos – plaušienos. Ji skirstoma į medienos masę arba celiuliozę. Medienos masę skirstoma į baltąją, rudąją ir termocheminę. Celiuliozė skirstoma į sulfitinę ir sulfatinę. Praktikoje naudojami ir medienos masės ir celiuliozės mišiniai. Naudojami mineraliniai užpildai suteikia baltumo, padidina popieriaus tankį ir neperšviečiamumą, keičia kai kurias mechanines savybes. Natūrali ar sintetinė kreida, baltasis molis, bario sulfatas ir kt. sudaro mineralinius užpildus (1 pav.). Klijinimas padidina popieriaus atsparumą vandeniui ir mechaninį atsparumą. Klijinimui dažniausiai naudojamas krakmolas, kanifolija ar kitas medžiagos. Popieriaus savybės gali kisti labai plačiai, priklausomai nuo medžiagų ir gamybos technologijos.



1 pav. Popieriaus struktūra (skersinis pjūvis): a – be užpildo; b – su užpildu

Dėl didelės popieriaus rūšių gausos popieriaus priskaičiuojama daugiau kaip 1000 rūšių. Pagal paskirtį išskiriamos šios popieriaus rūšys: spausdinimo, rašomasis, techninis ir elektrotechninis, higieninis, popirosinis. Skirtingas popierius naudojamas taikant skirtingas spausdinimo technologijas, todėl spausdinimo popierius skirstomas į šias grupes: laikraštinis, knyginis, įrišimo, pakuočių, higieninis, dekoratyvinis ir kt.

1.1.2. Naudojimo sritys

Popierius ir kartonas yra vienos pagrindinių žaliavų, kurias naudoja spaustuvės, biurai, leidyklos. Popieriuje spausdinama leidybinė, komercinė informacija, pakuotės, reklama ir pan. Lentelėje trumpai apžvelgiamos popieriaus rūšys, savybės ir naudojimo sritys.

1 lentelė. Popieriaus naudojimo sritys

Pavadinimas	Savybės	Naudojimas
Rašomasis popierius	Lygus paviršius, medienos masės kiekis beveik nulinis	Laiškų, dokumentų popierius
Spaudos popierius	Paviršius lygus arba šiurkštus, medienos masės kiekis beveik nulinis	Laikraščiams, plakatams, katalogams, knygoms
Kopijavimo popierius	Lygus ar šiurkštus paviršius, perregimas	Fotoalbumų įdėklai
Impregnuotas popierius	Su alyva, parafinu ir t. t. įmirkytas, kad būtų atsparesnis vandeniui	Padengimui
Plakatinis popierius	Lygus paviršius, vidutiniškai plonas, akinamai baltas	Kartono modeliams, pasams ir t. t.

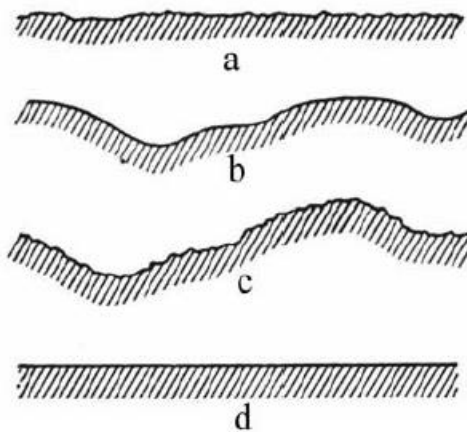
Ferzaco popierius	Lygus ar šiurkštus paviršius, baltas ir spalvotas	Knygų, žemėlapių ir dėžių klijavimui
Braižymo popierius	Geros kokybės, tvirtas kartonas, atsparus susitrynimui	Anketoms ir braižymui
Aplankų popierius	Lygus paviršius, labai tvirtas, elastingas	Aplankams, įdėklams
Fotopopierius	Drambliaus kaulo spalvos, rudas ir juodas	Fotoalbumų įdėklams
Medžio kartonas	Šiurkštus paviršius, nelabai tvirtas, lengvai lūžta	Paveikslų nugarėlėms, tarpinėms
Pilkasis kartonas	Lygus paviršius, labai tvirtas, elastingas	Visiems darbams kur reikia kartono
Šiaudinis kartonas	Geltonai rudas, lengvai lūžta; pigiausias	Įpakavimo dėžutėms, paveikslų nugarėlėms

1.1.3. Popieriaus paviršiaus charakteristikos

Popieriaus reljefą charakterizuoja lygumas ir glotnumas. Glotnus paviršius neturi mikronelygumų, o lygus paviršius neturi makronelygumų. Makronelygumai atsikartoja dideliu atstumu t. y. apie $> 1 \text{ mm}^2$. Reikia paminėti, kad popieriaus su idealiai lygiu ir glotniu paviršiumi nėra. Dėl to popierių galima skirstyti į keturias grupes (2 pav.) :

- Lygus ir neglotnus (a)
- Nelygus ir glotnus (b)
- Nelygus ir neglotnus (c)
- Lygus ir glotnus (d)

Makronelygumų atsiranda dėl blogai sumaltos ar neišvalytos popieriaus masės, jie galimi dėl masės tiekimo ant tinklo režimo pažeidimo. Mikronelygumų susidarymo priežastis yra netolygus plaušelių ir užpildų susilietimas ir susijungimas. Popieriaus masė gali būti gerai paruošta ir tolygiai paskirstyta, bet mikronelygumai vis tiek susidarys. Tačiau kuo smulkesni struktūriniai elementai, tuo mažesni susidarantys mikronelygumai.



2 pav. Popieriaus paviršiaus variantai

1.1.4. Popieriaus mechaninės savybės

Priklausomai nuo gaminio yra svarbios skirtingos mechaninės popieriaus savybės. Bet svarbiausia nustatyti kaip popierius deformuojasi, nes pagrindiniai poligrafiniai procesai deformuoja popierių. Išskiriamos kelios pagrindinės deformacinės medžiagos savybės:

- Tamprumas
- Elastingumas
- Plastiškumas

Tamprumas – deformacijos grįžtamumas, kai kūno forma ir matmenys grįžta į pradinę būseną nuėmus apkrovą. Tamprumu pasižymi kieti kūnai; įveikiant cheminių ryšių jėgas įvyksta deformacija.

Elastingumas – medžiagos savybė patirti dideles grįžtamas deformacijas, esant mažoms apkrovoms. Pašalinus apkrovą kūno forma atsistato pamažu.

Plastiškumas – tai derinys tarp tamprumo ir liekamųjų deformacijų.

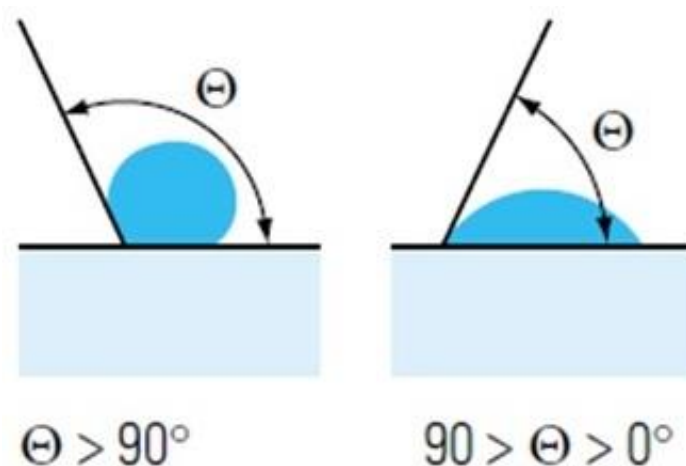
1.1.5. Popieriaus sąveika su skysčiu

Popierius gamybos ir naudojimo metu kontaktuoja su skysčiais. Visų pirma su vandeniu, kiti skysčiai būna klijai, lakai, dažai. Svarbiausi sąveikos su skysčiais efektai sietini su skysčių vilgymu, įgeriamumu. Skysčio sąveikos su popieriumi priklauso nuo adhezijos ir kohezijos jėgų santykių.

Kohezija [lot. cohaesus – surištas] – medžiagos dalelių (molekulių, atomų ar jonų) sukibimas dėl molekulių sąveikos ir cheminio ryšio jėgų

Adhezija [lot. adhaesio – sukibimas] – kietų kūnų, kieto kūno ar skysčio, nesimaišančių skysčių susiliečiančių paviršių sukibimas dėl kūnų dalelių sąveikos.

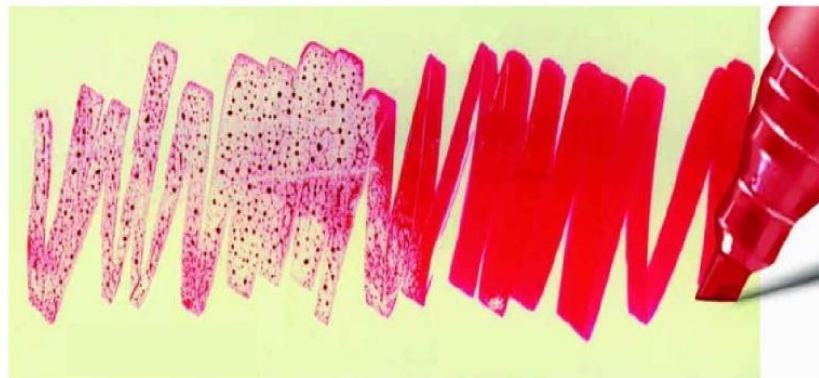
Vilgymo atveju adhezijos jėgos yra didesnės už kohezijos jėgas. Tokiu atveju skystis išsilies paviršiuje, vilgymo kampas yra $90^\circ > \Theta > 0^\circ$. Kai skysčio molekulės stipriau laikomos skysčio tūryje, tai skystis nevilgo paviršiaus. Tokiu atveju vilgymo kampas yra $\Theta > 90^\circ$ (3 pav.)



3 pav. Vilgymo kampas: kairėje – skystis nevilgo paviršiaus; dešinėje – skystis vilgo paviršių

Popieriaus hidrofobiškumas didinamas įklijinant popierių, kas dar padidina ir mechaninį popieriaus atsparumą. Yra du būdai: įklijinimas masėje ir paviršiaus įklijinimas. Įklijinimas masėje vyksta klijančią medžiagą įvedant į popieriaus masę prieš lakšto išliejimą. Paviršiaus įklijinimas vyksta apdorojant tik popieriaus paviršinį sluoksnį.

Praktikoje plačiai paplitęs būdas nustatyti paviršiaus (popieriaus, plėvelių) sugerties savybes specialiais žymekliais (4 pav). Patikrinus paviršių galima spręsti ar dažai, klijai nesubėgs į lašelius ir bus gautas norimas rezultatas. Jei paviršius yra hidrofobinis, galima naudoti paviršiaus aktyvacijos technologiją, kuria apdorojus paviršių sumažės vilgymo kampas.



4 pav. Kairėje paviršius hidrofobinis, dešinėje paviršius hidrofilinis

1.2. Klijai

Klijai yra cheminių medžiagų kompozicijos, skirtos medžiagų paviršiams sujungti adhezinėmis jėgomis susidarant klijiniam tarpsluoksniui tarp klijuojamų medžiagų. Susidarantis tarpsluoksnis turi būti pakankamai stiprus ir elastingas. (Buika, 2008.) Todėl klijams keliama tokie reikalavimai:

- Klijai turi pasižymėti didele adhezija klijuojamiems paviršiams ir juos gerai vilgyti.
- Kljinis tarpsluoksnis turi pasižymėti pakankama kohezija, kad atlaikytų tempiamąsias ir lenkiamąsias deformacijas.
- Klijų klampa turi atitikti technologinius reikalavimus, kad būtų išvengta klijų per gilaus įsiskverbimo į klijuojamas medžiagas.
- Klijai turi lengvai ir tolygiai padengti klijuojamas medžiagas.
- Klijų pH turi būti tarp 5–9, kad nesukeltų popieriaus ar atspaudų spalvų pakitimų ar kitų paviršinių pokyčių.
- Klijai neturi putoti, nes nebus tolygaus tarpsluoksnio.
- Klijai turi būti šviesūs, neskleisti teršalų ar nemalonaus kvapo į aplinką, būti atsparūs temperatūros pokyčiams.

Kiekvienam gaminiui ir klijavimo technologijai reikia parinkti klijus, kurie atitiktų daugiausiai reikalavimų, todėl klijai skirstomi į kelias pagrindines kategorijas:

- dispersiniai klijai;
- termoplastiniai klijai;
- polimeriniai klijai.

1.2.1. Klijų rūšys

1.2.1.1. Dispersiniai klijai

Sintetinių polimerų dispersijos gaunamos emulsinės polimerizacijos arba kopolimerizacijos vandenyje metu. Šiuo atveju vanduo – dispersinė terpė, polimeras – dispersinė fazė. Polimero kiekis sudaro 30–60 %, o dalelių dydis apie 0,25 μm . Didesnės dalelės būdingos polivilacetatinėms dispersijoms. Dažnai dar naudojami emulsikliai ir stabilizatoriai. Emulsiklio kiekis dispersijoje būna apie 2–4 %, o paskirtis – užtikrinti dispersijos stabilumą. Norint dar labiau padidinti stabilumą, naudojamas stabilizatorius. Dispersijoje stabilizatoriaus gali būti apie 3–10 %.

Dispersijos stabilumas skirstomas į kinetinį ir agregatinį. Esant mažam kinetiniam stabilumui, dispersinė fazė gali nusėsti, bet šis procesas yra grįžtamasis, nes neįvyksta koaguliacija. Agregatinis stabilumas apibūdinamas kaip polimerinių dalelių atsparumas agregacijai ir koaguliacijai saugojimo metu. Agregatinį stabilumą gali sumažinti labai intensyvus dispersijos maišymas, užšalimas arba temperatūros sumažėjimas žemiau kritinės dispersijai nustatytos temperatūros, naudojant smulkiadispersinius užpildo priedus.

Sudėtyje galima naudoti ir tikslinius priedus, kurie suteikia norimų savybių, tai gali būti antiseptikas, kuris apsaugotų nuo pelėsio susidarymo. Svarbiausia, kad tikslinis priedas nemažintų dispersijos stabilumo, esminių savybių, plėvelės susidarymo trukmės.

Pagrindinis dispersinių klijų trūkumas – mažas atsparumas šalčiui. Šaldant vandens dispersinius klijus susidaro ledo kristalų, kurie suardo dispersinės fazės dalelių absorbcinį sluoksnį ir dėl to gali prasidėti negrįžtama koaguliacija. Į klijus galima dėti atsparumą šalčiui didinančių priedų arba vežant klijus šaltuoju metų laiku naudoti šildančias mašinas, kurios palaikytų tinkamą klijam temperatūrą.

1.2.1.2. Termoplastiniai klijai

Termoplastinių klijų pagrindas yra termoplastinis amorfinės struktūros kopolimeras. Termoplastiniai klijai kambario temperatūroje yra tampriai elastingi, o šildant minkštėja ir tampa klampūs (5 pav.). Klijuojama, kai klijai yra klampios būsenos, vėsdami jie sustandėja ir sudaro tampriai elastingą plėvelę. Termoklijų sudėtyje yra šių medžiagų: kopolimero, 15–30 % dervos, 10–30 % vaško arba parafino, 2 % antioksidatoriaus. Dervos naudojamos lipnumui padidinti. Vaškas arba parafinas naudojamas minkštėjimo temperatūrai sumažinti. Antioksidatoriaus paskirtis – didinti plėvelės ilgaamžiškumą.



5 pav. Termoplastinių klijų pavyzdžiai

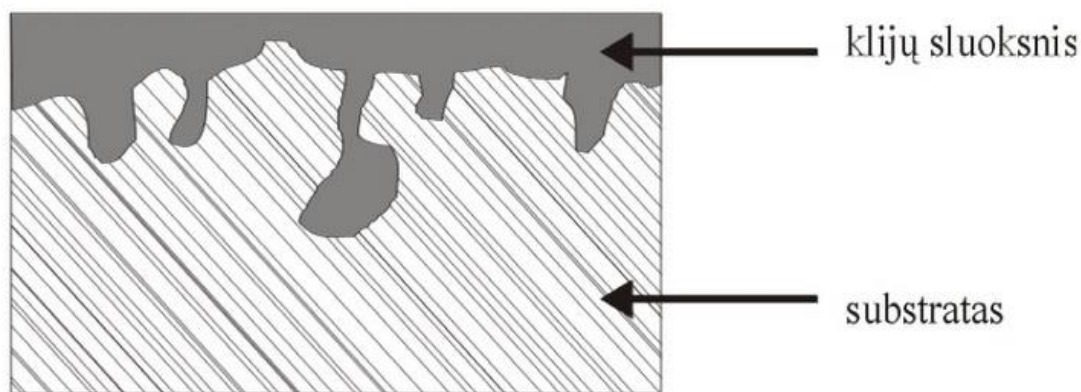
1.2.1.3. Polimeriniai klijai

Šio tipo klijai yra polimerų tirpalai organiniuose lakiuose tirpikliuose. Suklijavimas vyksta greitai dėl to, kad organiniai tirpikliai labai sparčiai garuoja. Klijavimo metu susidariusi plėvelė atspari amorfiniams veiksniams. Klijai pasižymi didele klijavimo geba. Šie klijai yra brangesni už kljus, pagamintus vandens pagrindu bei degūs. Klijuojant skaidrias plėveles prie popieriaus dažniausiai pasirenkami šie klijai.

1.2.2. Adhezijos teorijos

Adhezija – dviejų skirtingų kietųjų kūnų, kietojo kūno ir skysčio arba nesimaišančių skysčių susiliečiančių paviršių sukibimas. Adheziją bandoma paaiškinti keliomis teorijomis: mechanine, molekuline, elektrine, difuzine. Trumpai apžvelgsime kiekvieną iš teorijų.

Mechaninės adhezijos teorijoje teigiama, kad medžiagos sukimba dėl vienos medžiagos įsiskverbimo į kitos medžiagos plyšelius ir poras. Taigi, kad įvyktų sukibimas, reikalingas vienos iš medžiagų takumas, netaisyklingos formos porose sustingus klijams susiformuoja lyg ir „kniedė“, dėl ko įvyksta sukibimas. Mechaninė adhezija yra vieno komponento mechaninis įsiskverbimas į kitą (6 pav.).



6 pav. Klijų sluoksnio įsiskverbimas į substrato poras (Lukoševičienė, K.; Sivakova, B. 2001.)

Molekulinėje teorijoje teigiama, kad paviršiai sukimba dėl *Van-der-Valso* jėgų. Ši teorija remiasi tuo, kad viena ir ta pati medžiaga gali sukibti su skirtingais paviršiais ir tuo, kad dažnai cheminė sąveika tarp medžiagų paviršių dėl jų cheminio inertiškumo yra mažai tikėtina. Šios teorijos praktinė išvada – tvirtai sukimba tie paviršiai, kurie pasižymi panašiu polingumu, o teorijos esmė – paviršiniai reiškiniai. Šios teorijos teisingumą bandoma patvirtinti temperatūros, polingumo, molekulių formos, dydžio ir prigimties įtaka adhezijai. Dar kitaip ši teorija vadinama vilgumo teorija, nes paviršinių reiškinų išraiška yra vilgymas. Vilgymo pilnumą lemia paviršiaus šiurkštumas. Smulkios paviršiaus angelės užpildomos klijais dėl kapiliarinių jėgų ir slėgio, kuriuo slegiami klijuojami paviršiai. Porose esantis oras priešinas klijų patekimui į poras. (Buika, 2008.)

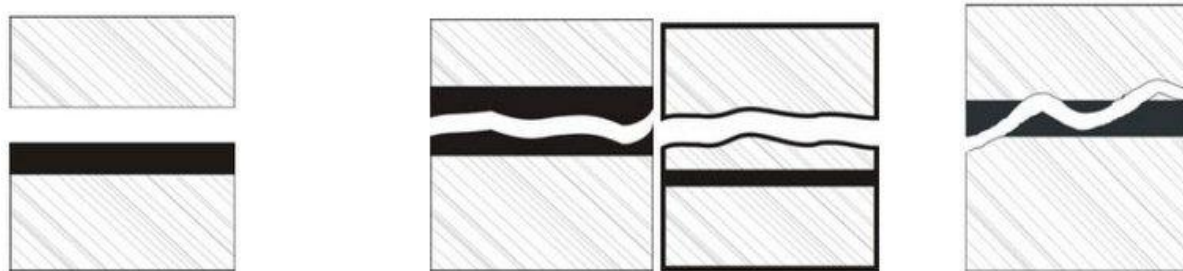
Elektrinėje teorijoje sistema klijai-substratas tapatinama su kondensatoriumi, o dvigubas elektrinis sluoksnis (du priešingų krūvių sluoksniai), atsirandantis dviejų skirtingų medžiagų fazių sąlyčio riboje, – su kondensatoriaus plokštėmis. Atskiriant suklejuotus sluoksnius (kaip ir atitraukiant vieną nuo kitos kondensatoriaus plokštės), atsiranda potencialų skirtumas. Dvigubas elektrinis sluoksnis susidaro dėl klijų molekulių adsorbcijos ir jų polinių grupių orientacijos substrato paviršiuje. Dėl molekulių orientacijos fazių sąlyčio riboje tarp klijų sluoksnio ir substrato paviršiaus atsiradęs potencialo šuolis priklauso nuo molekulių prigimties bei sandaros ir yra ypač didelis, jei molekulės polinės. Jei molekulės nepolinės, tačiau turi polinių grupių (-OH, -COOH ir kt.), tai joms absorbuojantis fazių sąlyčio paviršiuje taip pat susidaro dvigubas elektrinis sluoksnis. Bet elektriniai reiškiniai suardant adhezinius ryšius atsiranda tik esant dideliems greičiams ir sausiems pavyzdžiams. Šios teorijos negalima taikyti, norint paaiškinti adhezinių ryšių susidarymą tarp artimos prigimties medžiagų (Lukoševičienė, Sivakova, 2001.).

Remiantis **difuzinė teorija**, adhezija yra ne paviršinis, o erdvinis reiškinys. Kitaip sakant, tai yra polimerų tirpimas vienas kitame tik ribotoje erdvėje. Todėl tarp dviejų polimerų turėtų susidaryti tarpinis sluoksnis, kuris ir yra aptinkamas. Šią teoriją pagrindžia adhezijos didėjimas ilgėjant kontakto laikui ir temperatūrai, mažėjant makromolekulių masei, polingumui, kristališkumui, bet didėjant linijiškumui.

Visos teorijos remiasi kažkoku dominuojančiu reiškiniu, bet kiekvieną konkretų atvejį galima paaiškinti remiantis visomis arba bent keliomis teorijomis vienu metu. Taigi šios teorijos leidžia teigti, kad gero klijinio sujungimo pagrindinės sąlygos yra šios:

- Klijuojant paviršiaus mikronelygumai turi būtų visiškai užpildomi klėjais.
- Paviršiaus šiurkštumas turi būti toks, kad klijų molekulės lengvai įsiskverbtų.
- Klijų paviršiaus įtempis turi būti mažesnis už paviršiaus vilgymo įtempį.

Taigi norint įvertinti suklijavimą reikia atlikti du veiksmus: suklijuoti pasirinktas medžiagas ir suardyti susidariusį suklijavimą. Galima išskirti tris pagrindinius paviršių atsiskyrimo būdus: adhezinį, kohezinį ir mišrų. Adhezinis atsiskyrimas vyksta tada kai klijų sluoksnis atsikiria nuo substrato. Jei suklijuoti paviršiai atsiskyrė per klijų sluoksnį ar suyrant substratui turime kohezinį atsiskyrimą. Kai suklijuotos medžiagos atsiskiria suirus ir substratui ir klijų sluoksniui, vyksta mišrus atsiskyrimas (7 pav.) (Lukoševičienė, Sivakova, 2001.).



7 pav. Kairėje - adhezinis atsiskyrimas, viduryje – kohezinis atsiskyrimas, dešinėje - mišrus atsiskyrimas

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Tyrimo objektai

2.1.1. Klėjai

Bandymams buvo pasirinkti trijų rūšių klėjai, kurie dažnai naudojami gamyboje. Visi klėjai buvo pagaminti dispersijos vandens pagrindu. Klijų naudojimo temperatūra 15–25 °C. Svarbu atkreipti dėmesį, kad prieš naudojimą klėjai nebūtų paveikti šalčio, susisluoksniavę ar

kitaip pakeitę savo išvaizdą ir savybes. Susisluoksniavimas yra grįžtamasis procesas, kurį nesunkiai galima panaikinti permaišant klįjus, tačiau jei klįjai bus paveikti šalčio, jų naudoti nebebus galima, nes klįjai pasidarys panašūs į „varškę“. Klijų techniniai parametrai pateikti 2 lentelėje. Parinkti klįjai su skirtingais polimerais:

- 1 klįjai – PVAC-e kopolimero dispersija (polivinilacetato kopolimero dispersija)
- 2 klįjai – VAE dispersija (vinilacetato dispersija)
- 3 klįjai – PVAC dispersija (polivinilacetato dispersija)

2 lentelė. Klijų techniniai duomenys

Rodiklis	1 klįjai	2 klįjai	3 klįjai
Agregatinė būseną	skystis	skystis	skystis
Spalva	balta	balta	balta
Kvapą	neutralus	neutralus	neutralus
PH vertė	4 – 6	4 – 6	6 – 8
Lydimosi / užšalimo temperatūra	apie 0 °C	apie 0 °C	apie 0 °C
Virimo temperatūra	apie 100 °C prie 1013 hPa	apie 100 °C prie 1013 hPa	apie 100 °C prie 1013 hPa
Pliūpsnio temperatūra	netaikoma	netaikoma	netaikoma
Degumas	nedegi	nedegi	nedegi
Degumo ir sprogoimo ribinės vertės	netaikoma	netaikoma	netaikoma
Garų slėgis	23 hPa prie 20 °C	23 hPa prie 20 °C	23 hPa prie 20 °C
Tankis	apie 1.04 g/cm ³ prie 20 °C	apie 1.06-1.08 g/cm ³ prie 20 °C	apie 1.20 g/cm ³ prie 20 °C
Tirpumas	tirpus vandenyje	tirpus vandenyje	tirpus vandenyje
Auto. užsidegimo temperatūra	nedegi	nedegi	nedegi
Klumpumas	20 – 12000 mPa.s	20 – 12000 mPa.s	20 – 20000 mPa.s
Sprogstamosios savybės	nežinoma	nežinoma	nežinoma
Oksiduojamosios savybės	nežinoma	nežinoma	nežinoma

2.1.2. Popierius

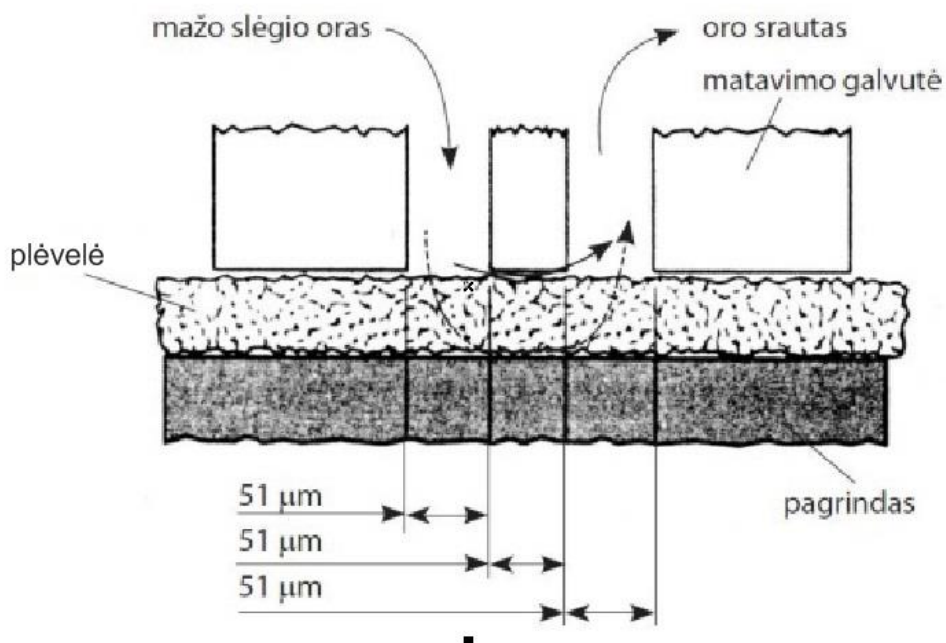
Bandyams atlikti buvo pasirinktas 2 rūšių kartonas – pagamintas iš makulatūros (perdirbtas) ir kreidinis balintas. Šie kartonai plačiai naudojami gamyboje.

GD1 Multiboard – tai iš makulatūros pagamintas kartonas, kurio geroji pusė, skirta spausdinimui kreiduota 3 kartus, o apatinė nekreiduota ir yra rudos spalvos. Jis skirtas pakavimo dėžutėms gaminti. Pasirinktas 250 g/m² gramatūros kartonas.

GC1 Arktika – tai kreidinis kartonas, kurio kita pusė baltos spalvos. Kita kartono pusė pagaminta iš balintos cheminės celiuliozės. Šis kartonas yra ypač standus ir purus, turintis aukštos kokybės kreidavimą. Puikiai tinka aukštos kokybės pakuotėms gaminti. Pasirinktas 250 g/m² gramatūros kartonas.

2.2. Popieriaus šiurkštumo tyrimas

Tyrimams buvo naudotas Print-Surface metodas, dažnai žinomas PPS. Šiuo metodu matuojamas oro prasiskverbimas tarp paviršiaus ir prispausto siauro žiedo (8 pav.). Nustatomas oro prasiskverbimo greitis cm³/s, pagal kurį skaičiuojamas plėvelės paviršiaus PPS šiurkštumas μm. PPS metodas yra labai artimas spausdinimo sąlygoms. Matavimo galvutės žiedo plotis yra artimas rastrinių taškelių skersmeniui, o matavimo slėgis yra parenkamas pagal popieriaus rūšį ir spausdinimo būdą (Sidaravičius, 2012) Matuota buvo PPS matavimo prietaisu „L&W SE 165 PPS Tester“ (9 pav.). Bandymai daryti su abiem kartono pusėmis. Eksperimentai buvo atliekami su skirtingais slėgiais (0,5 MPa, 1 MPa ir 2 MPa), kiekviena kartono pusė buvo matuota po 5 kartus.



8 pav. „Parker Print – Surface“ (PPS) popieriaus šiurkštumo matavimo galvutė



9 pav. PPS matavimo prietaisas „L&W SE 165 PPS Tester“

2.3. Klijų užtepimas

Tepant klijus skirtingais sluoksniais buvo naudotas „*The K Hand Coater*“ volelių rankinis įrenginys (10 pav.) . Toks metodas buvo pasirinktas dėl jo patikimumo ir plataus naudojimo pasaulyje. Konsultacijų su stambių klijų gamintojų laboratorijos darbuotojais metu buvo gauta informacija, kad jie, atlikdami stiprumo matavimus klijus tepa naudodamiesi būtent tokiais „*The K Hand Coater*“ voleliais. Komplektą sudaro 8 voleliai, kurių pagalba galima užtepti 8 skirtingus klijų storius. „*The K Hand Coater*“ volelių rankinio įrenginio techniniai duomenys pateikti 3 lentelėje.



10 pav. „*The K Hand Coater*“ volelių rankinis įrenginys

3 lentelė. Volelių „*The K Hand Coated*“ techniniai duomenys

Volelio numeris	Akutės skersmuo (mm)	Užtepto sluoksnio storis (μm)
1	0,08	6
2	0,16	12
3	0,31	24
4	0,51	40
5	0,64	50
6	0,76	60
7	1,00	80
8	1,27	100

2.4. Suspaudimas

Tolygiam suspaudimui gauti buvo naudojamas *Sumbel Regent* įrenginys (11 pav.). Šis įrenginys skirtas palaikyti vienodą spaudimą visą laiką, išlygina susidariusias raukšles. Dėl jo kompaktiškumo, patikimumo ir patogaus naudojimo nedideliems tiražams įrenginį plačiai praktikoje naudoja įvairios spaustuvės.



11 pav. *Sumbel Regent* suspaudimo įrenginys

Įrenginio parametrai:

- Plotis – 500 mm
- Maksimalus darbo plotis – 483 mm
- Volelių greitis – 16–21 m/min
- Svoris – 48 kg
- Darbo vietos reikalavimai 72 cm x 43 cm
- Viršutinis volelis guminis, apatinis volelis metalinis

- Reguliuojamas suspaudimas
- Reguliuojamas galinio storis
- Greičio kontrolė
- 230 V variklis

2.5. Tempimas

Tempimo bandymai pasirenkami suklijavimo stiprumui nustatyti. Norima nustatyti, kokia jėga reikalinga suklijavimui suardyti. Suklijuotų bandinių tempimas stebint plyšimą buvo atliktas *Mecmesim Multitest 2.5* įrenginiu (12 pav.). Šis įrenginys yra lengvai valdomas kompiuteriu, juo patogiu naudotis. Jis skirtas tempimo ir suspaudimo (gniuždymo, trinties) bandymams atlikti. Naudojantis šiuo įrenginiu galime gauti didelį kiekį duomenų, kurie naudingi atliekant analizes.



12 pav. *Mecmesim Multitest 2.5* tempimo ir gniuždymo įrenginys

Įrenginio parametrai:

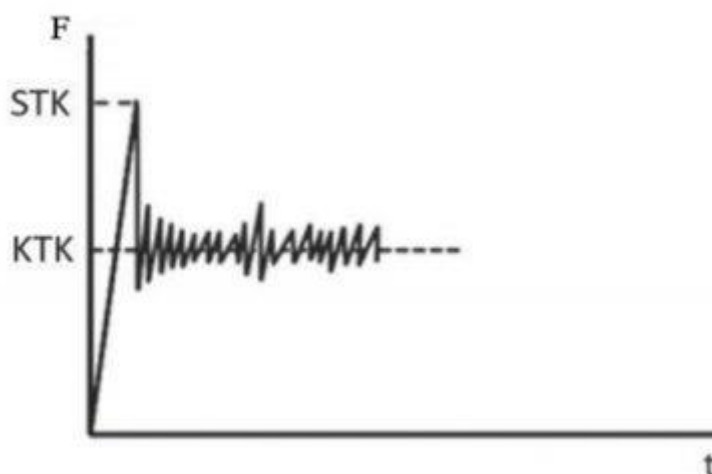
- Maksimali apkrova 2500 N (550 lbf)
- Maksimalus mėginio skersmuo 134mm (5,28 ")
- Apkrovos rezoliucija 1: 6500
- Apkrovos tikslumas $\pm 0,1$ % visos skalės
- Greičio diapazonas 1–1000 mm / min (0,04 – 39.4 "/ min) iki 2 kN ir 1–750 mm / min (0,04 – 30 "/ min), didesnė kaip 2 kN
- Svoris 36 kg (79 lb)

Naudojantis šiuo aparatu, suklijuoti popieriaus lapai rankine giljotina buvo sukirsti į atitinkamų matmenų bandinius. Buvo pasirinktas 15 mm plotis, tarp laikiklių parinktas 60 mm atstumas, 10 mm/min greitis, maksimalus poslinkis 30 mm. Toks greitis buvo pasirinktas remiantis LST EN ISO 1924-2:2009 „Popierius ir kartonas. Savybių nustatymas tempiant. 2 dalis“ standartu.

2.6. Trinties tyrimai

Statinis trinties koeficientas matuojamas pradiniam didžiausios trinties jėgos taške ir yra funkcija jėgos, būtinos siekiant nugalėti trinties jėgą ir pradėti judėjimą. Kinetinis trinties koeficientas yra vidutinė apkrovos vertė, matuojama per nustatytą laiką ir poslinkį (Garoff 2002). Dažniausiai statinio trinties koeficiento reikšmė yra žymiai didesnė už kinetinį trinties koeficientą (15 pav.).

Bandymai buvo atlikti *Mecmesim Multitest 2.5* įrenginiu. Trinties tyrimams pasirinkti parametrai buvo – 20 N apkrova, greitis 100 mm/min.



13 pav. Trinties jėgos tarp dviejų kietų kūnų priklausomybė nuo laiko (Garoff 2002)

3. REZULTATŲ ANALIZĖ

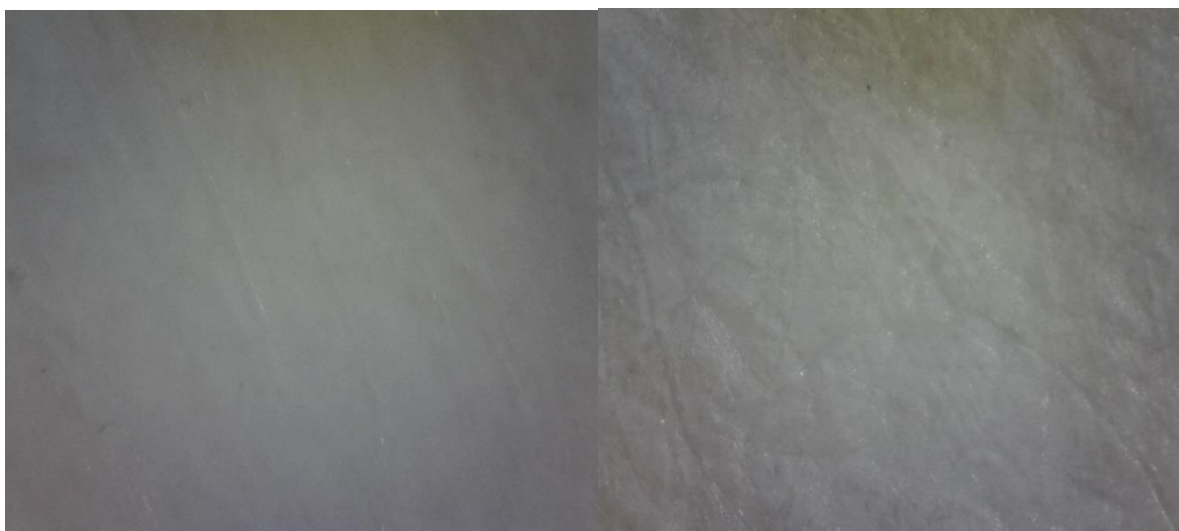
3.1. Šiurkštumo tyrimų rezultatai

Bandymų metu visais atvejais buvo klijuojama pasirinktos rūšies kartono kreidiniu sluoksniu dengta pusė su nedengta puse, nes taip klijuojama praktikoje gaminant dėžutes. Suklijavimo kokybei tai turi didelės įtakos, nes klijų įgeriamumas į dengtą ir nedengtą sluoksnius yra skirtingas. Dengtojo sluoksnio šiurkštumas yra kelis kartus mažesnis nei nedengto kreidiniu sluoksniu. Todėl klijų adhezijai tai turi įtakos. Mechaninės adhezijos teorija teigia, kad medžiagos sukimba dėl vienos medžiagos įsiskverbimo į kitos medžiagos

plyšelius ir poras. Esant šiurkštesniam paviršiui porų ir plyšelių yra daugiau, todėl tikėtinas kokybiškesnis suklijavimas.

Atliekant šiurkštumo tyrimus PPS metodu buvo pasirinkti trys skirtingi slėgiai (0,5 MPa, 1 MPa, 2 MPa) gauti tokie rezultatai (4 lentelė). Pastebėta, kad visais atvejais kreidiniu sluoksniu dengtos pusės šiurkštumas keliais kartais mažesnis nei nedengtos kartono pusės. Taip yra dėl to, kad kreidiniu sluoksniu dengta pusė yra skirta spaudai, norint gauti aukštos kokybės atspaudus popieriaus lygumas turi didelės reikšmės. Lyginant *GD1 Multiboard* ir *GC1 Arktika* kartonų šiurkštumą pastebima, kad *GC1 Arktika* kartono dengtosios pusės šiurkštumas yra mažesnis. Lyginant nedengtas puses *GD1 Multiboard* kartonas irgi yra šiurkštesnis. Apibendrinant gautus duomenis ir remiantis ankstesniais duomenimis galima daryti išvadą, kad prie aukštesnio slėgio PPS šiurkštumas yra mažiausias.

13 paveiksle pateikti vaizdai, iliustruojantys skirtingus paviršių šiurkštumus. Vaizdai gauti naudojant *Dela Optical BioLight 200* mikroskopą. Akivaizdžiai matoma, kad *GC1 Arktika* kartono dengtas paviršius žymiai lygesnis nei nedengtas. Šie vaizdai patvirtina PPS matavimo prietaisu „*L&W SE 165 PPS Tester*“ gautus rezultatus, kad dengto paviršiaus šiurkštumas kelis kartus mažesnis nei nedengto. Vaizdai gauti naudojant 4 kartų didinimą.

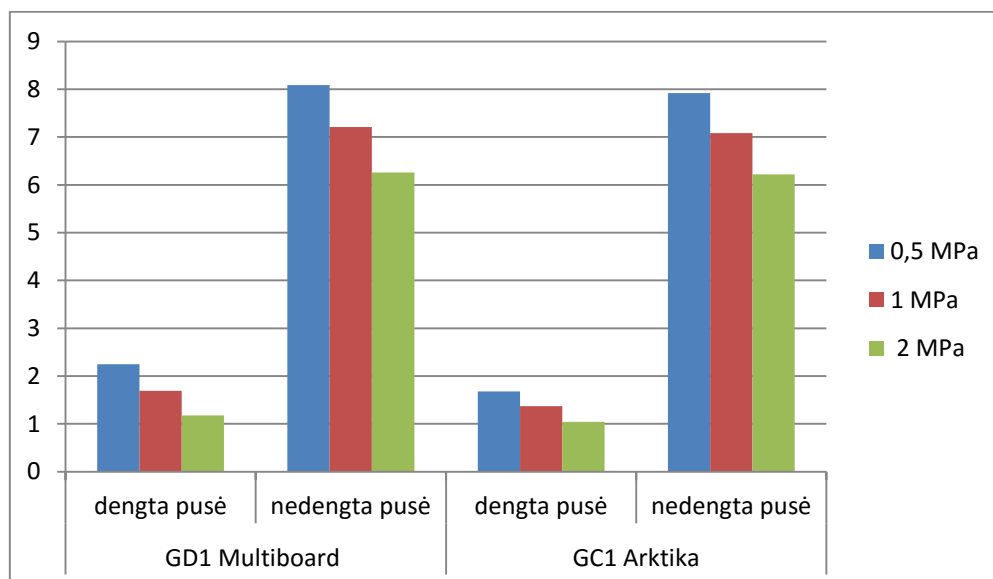


14 pav. Kartonų *GC1 Arktika* paviršių vaizdai mikroskopu. Kairėje – dengtas paviršius. Dešinėje – nedengtas paviršius.

4 lentelė. Šiurkštumo bandymų duomenys

		<i>GD1 Multiboard</i> kartonas						
		Dengta pusė skirta spaudai (μm)					(μm)	(μm)
Pvz.	Slėgis	1	2	3	4	5	Vidurkis	SD
	0,5 MPa	2,16	2,23	2,38	2,30	2,17	2,25	0,09
	1 MPa	1,93	1,52	1,71	1,64	1,66	1,69	0,15

	2 MPa	1,17	1,22	1,20	1,23	1,07	1,18	0,07
		Nedengta pusė					(μm)	(μm)
	0,5 MPa	8,09	8,02	7,99	8,09	8,24	8,09	0,10
	1 MPa	7,30	7,08	7,30	7,14	7,23	7,21	0,10
	2 MPa	6,37	6,50	6,06	6,32	6,08	6,26	0,19
		GC1 Arktika kartonas						
		Dengta pusė skirta spaudai (μm)					(μm)	(μm)
	0,5 MPa	1,71	1,69	1,63	1,69	1,70	1,68	0,03
	1 MPa	1,31	1,34	1,33	1,32	1,54	1,37	0,10
	2 MPa	1,06	1,07	1,03	1,05	0,98	1,04	0,04
		Nedengta pusė					(μm)	(μm)
	0,5 MPa	8,07	7,67	7,86	7,88	8,10	7,92	0,17
	1 MPa	7,02	7,20	7,26	7,03	6,89	7,08	0,15
	2 MPa	6,15	6,16	6,33	6,31	6,15	6,22	0,09



15 pav. Kartonų *GC1 Multiboard* ir *GC1 Arktika* PPS šiurkštumo tyrimo rezultatai

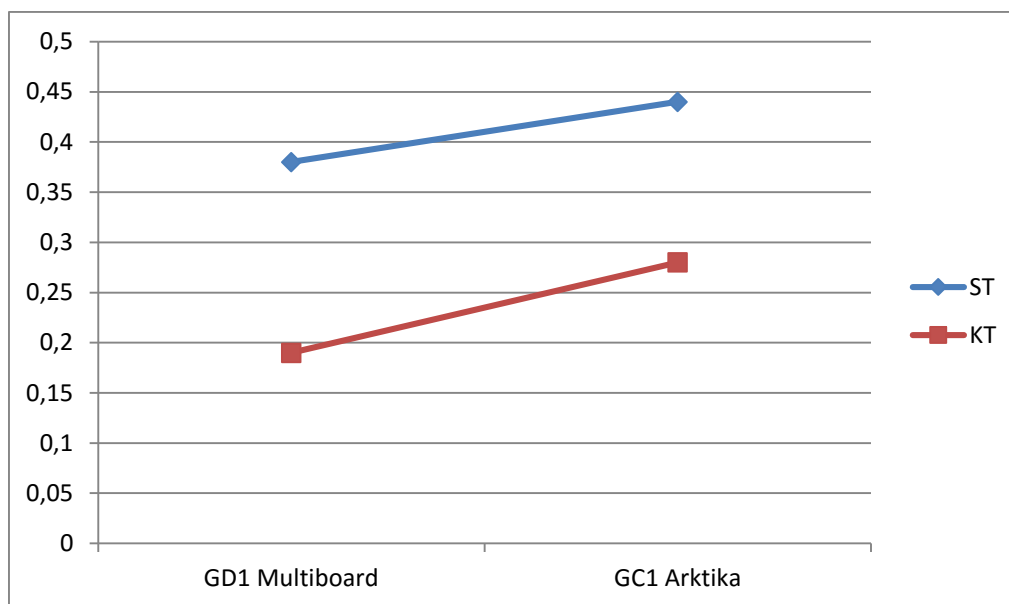
Grafike (14 pav.) pateikti 4 lentelės duomenys. Matyti, kad dengtos ir nedengtos pusių šiurkštumo bandymų rezultatai skiriasi apie 4 kartus, nepaisant kintančio slėgio. Didėjant slėgiui šiurkštumas mažėja. *GD1 Multiboard* kartono abiejų pusių šiurkštumas yra didesnis už *GC1 Arktika* kartono abiejų pusių šiurkštumą.

3.2. Trinties bandymų rezultatai

Kai kalbama apie popierių, reikalavimai trinčiai yra skirtingi. Didelis kinetinės jėgos koeficientas pageidaujamas formuojant ritinį ir tolimesniame jo apdorojimo procese. Didelis statinės trinties koeficientas reikalingas popieriaus ritinių pakėlimo procese, kad jie neišsivyniotų ir pan. (Broch *et al.* 2002). Trintis ne visada yra pageidaujamas reiškiny.

Pavyzdžiui: spausdinant, kai lapai sulimpa dėl statinės trinties. Kai kalbama apie kljus reikalinga gera adhezija (sukibimas), taigi tai yra susiję su trinties koeficientais.

Eksperimentiškai ištirta dviejų (*GD1 Multiboard* ir *GC1 Arktika*) kartonų trinties savybės ir nustatyti statinės (ST) ir kinetinės (KT) trinties koeficientai. Bandiniai buvo tirti taip kaip buvo klijuojami t. y. kreidinę pusę sudedant su nedengta kartono puse.



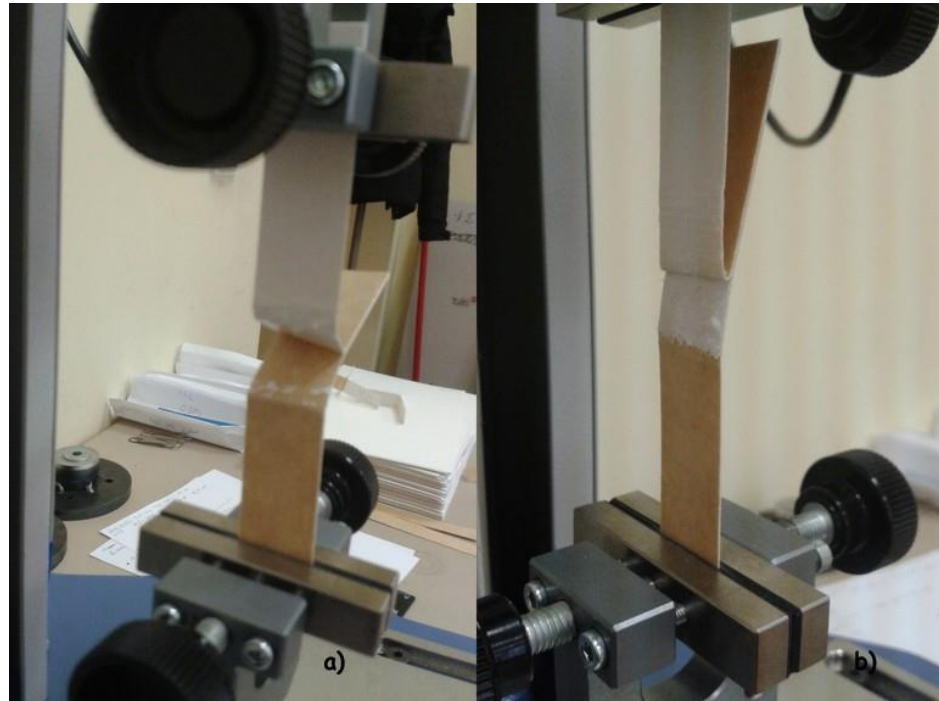
16 pav. Trinties bandymų rezultatai

16 paveiksle pateikti trinties bandymų rezultatai, vaizduojami statinės ir kinetinės trinties koeficientai skirtingiems kartonams. Bandymai patvirtino teiginį, kad statinės trinties koeficientas yra žymiai didesnis už kinetinės trinties koeficientą. Atlikus kartono trinties bandymus, gauti rezultatai parodo, kad iš makulatūros pagaminto *GD1 Multiboard* kartono dviejų kontaktuojančių kartono paviršių (dengto ir nedengto sluoksniu) statinės ir kinetinės trinties koeficientai mažesni. Klijuojant *GC1 Arktika* kartoną, kurio statinės ir kinetinės trinties koeficientas didesnis, visai atvejais gavome kokybiško suklijavimo rezultatą.

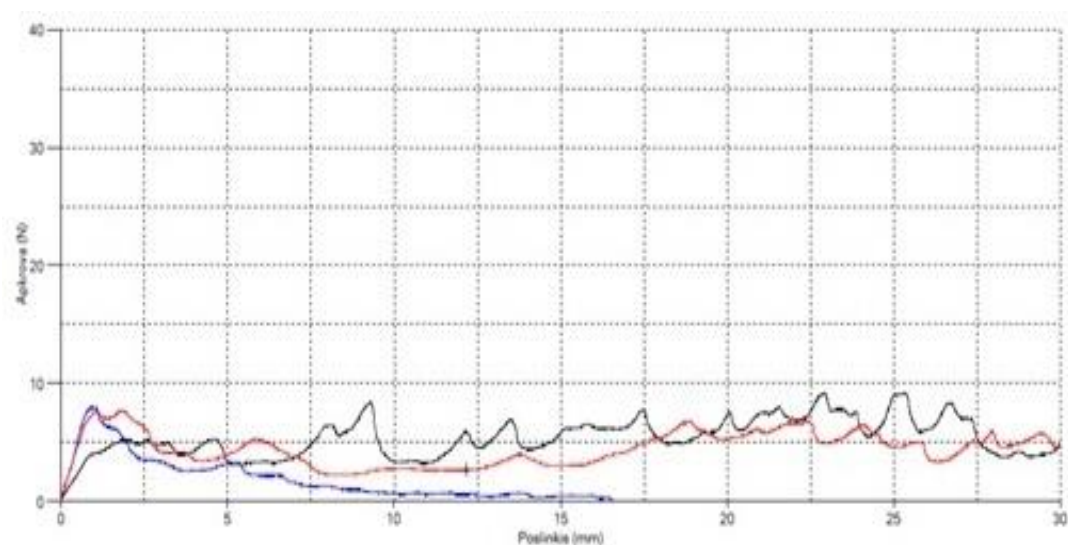
3.3. Tempimo bandymų rezultatai

Atlikus bandymus ir perėjus prie duomenų analizės nuspręsta, kad tikslingiausia būtų duomenis suskirstyti į du etapus: kai poslinkis iki 5 mm ir kai poslinkis nuo 5 iki 30 mm (18 pav). Toks sprendimas buvo priimtas bandymų metu stebint, kaip vyksta plyšimai, pirmame etape galima nustatyti jėgą <arba įtempį>, kurią pasiekus prasideda suklijuotos jungties irimas – galima vertinti suklijavimo stiprumą, o antrame etape galima nagrinėti tolimesnį ardymą (atsiklijavimą), analizuoti suklijuotų paviršių atsiskyrimo pobūdį (adhezinis, kohezinis ar mišrus atsiskyrimas).

Norint formuluoti išvadas, pirmiausia reikėjo nuspręsti, ką galima laikyti kokybišku („geru“) suklijavimu ir ką - nekokybišku („blogu“) suklijavimu. Atliekant pirminius bandymus buvo padaryta išvada, kad kokybiškas suklijavimas yra tada kai plyšta popieriaus vidiniai sluoksniai t. y. esant koheziniam arba mišriam atsiskyrimui, o nekokybiškas suklijavimas yra tada, kai plyšta suklijuota vieta (siūlė) dažniausiai dėl adhezinio atsiskyrimo (17 pav.). Bandymų metu buvo pastebėta, kad atšoka klėjai t. y. pasireiškia adhezinis atsiskyrimas, tokiu atveju maksimali jėga gerokai sumažėdavo.

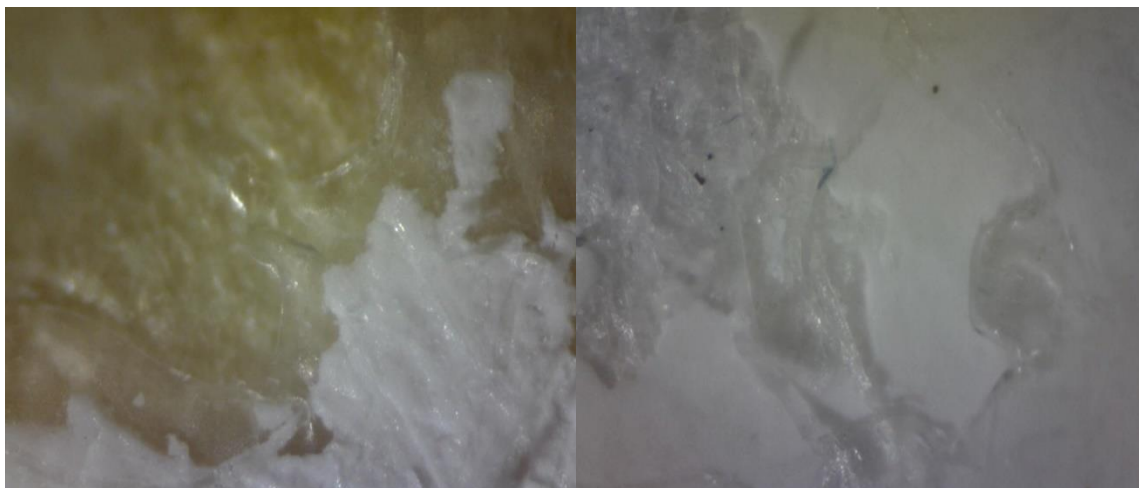


17 pav. a – nekokybiškas („blogas“) suklijavimas, b – kokybiškas („geras“) suklijavimas



18 pav. Atšokimo atveju jėgos priartėjimas prie 0 reikšmės

Atliekant analizę pirmajame etape, kai poslinkis iki 5 mm, didelis dėmesys skiriamas suklijavimo siūlei. 19 pav. pateikti vaizdai gauti mikroskopu, didinant 4 kartus. Buvo analizuota *GD1 Multiboard* kartono suklijavimo siūlė. Suklijavimas buvo kokybiškas. Kairėje, nedengto paviršiaus nuotraukoje, aiškiai matomas klijų sluoksnis, atplėštas kreidinis sluoksnis. Dešinėje, kreidinio paviršiaus nuotrauka, matomi išplėsti klijai arba klijai išplėsti kartu su kreidiniu sluoksniu.



19 pav. Suklijavimo siūlės vieta ant GD1 Multiboard kartono skirtingų paviršių. Kairėje - nedengtas paviršius. Dešinėje - dengtas.

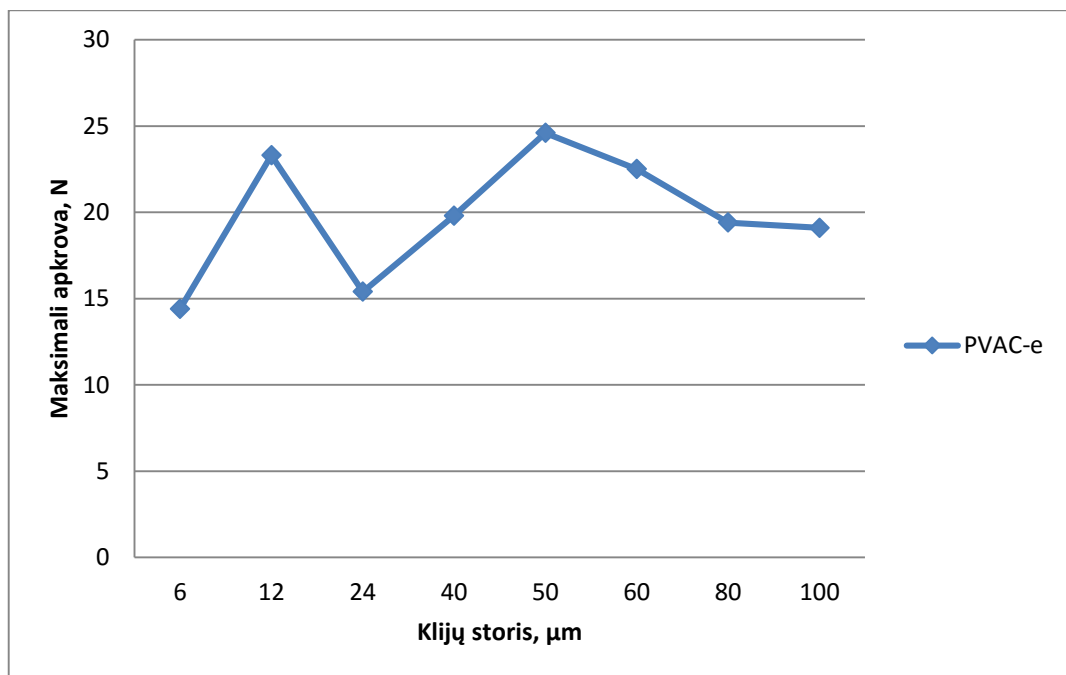
Analizuojant plyšimą per klijų sluoksnį, taip pat buvo naudojamas mikroskopas, kurio pagalba padaryta nuotrauka (20 pav.). Šiuo atveju matyti likęs klijų sluoksnis ant kreiduoto kartono *GD1 Multiborad* paviršiaus. Vaizdas gautas didinant 4 kartus.



20 pav. Klijų sluoksnio vaizdas per mikroskopą, po plyšimo per klijų sluoksnį.

Toliau bus apžvelgti kiekvieno popieriaus rezultatai, gauti klijuojant skirtingais klėjais. Kiekvienam popieriui buvo naudojami 3 rūšių klėjai. Bandymų metu gauti trys pagrindiniai parametrai: maksimali apkrova, vidutinė apkrova ir poslinkis iki maksimalios apkrovos.

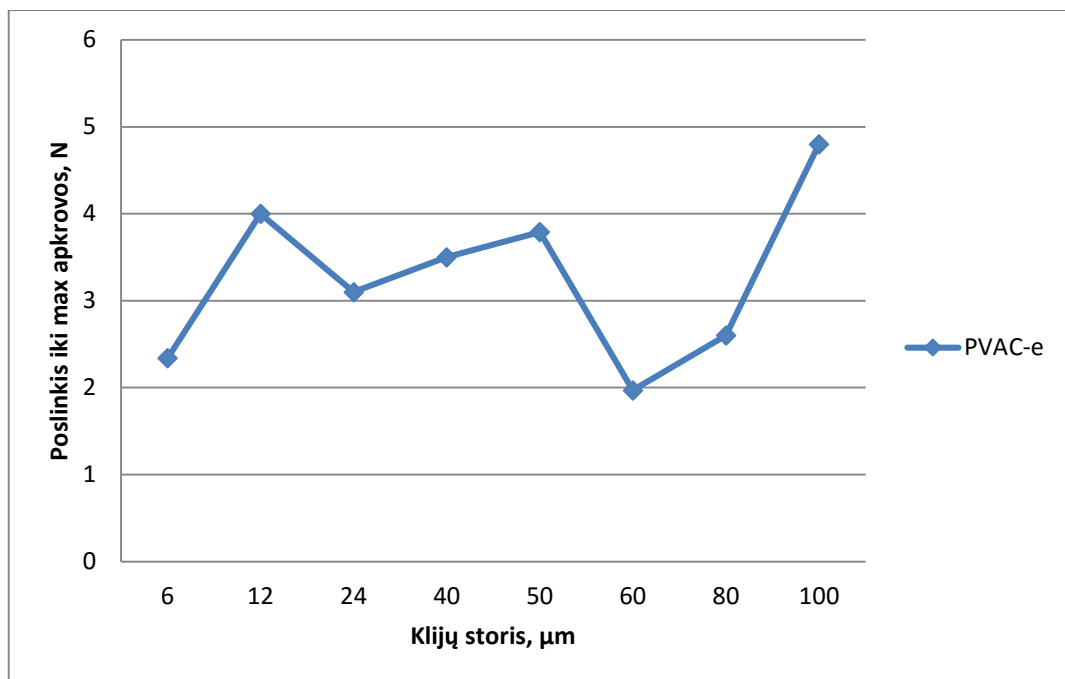
GD1 Multiboard iš makulatūros pagamintas kartonas ir PVAC-e kopolimero dispersijos klėjai. Pateikiami trys pagrindinių parametų grafikai (21–23 pav.). Šie bandiniai išsiskyrė tuo, kad buvo pasiektos didelės jėgos suardant suklijavimą, nepaisant kreivėse vyraujančių svyravimų suklijuota buvo kokybiškai.



21 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir PVAC-e klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai



22 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir PVAC-e klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai



23 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir PVAC-e klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai

GD1 Multiboard iš makulatūros pagamintas kartonas ir naudoti VAE dispersijos klijai. Pateikiami trys pagrindinių parametrų grafikai (24–26 pav.). Atliekant bandymus su šiais klijais buvo matyti šios tendencijos. Kai klijų storis 12 μm ir 24 μm , nors jėgos, kurioms esant prasideda atplėšimas, buvo gana panašios, tačiau analizuojant bandinius buvo aiškiai matyti, kad esant klijų storiui 12 μm , mėginiai nebuvo suklijuoti kokybiškai – plyšo ir popieriaus vidiniai sluoksniai ir suklijuota vieta, tai reiškia, kad vyko mišrus atsiskyrimas. Kai klijų storis buvo 24 μm , mėginiai buvo suklijuoti kokybiškai, nes plyšo tik popieriaus vidiniai sluoksniai. Tokį pat kokybiško suklijavimo rezultatą matėme, kai klijų storis buvo 24 μm , 40 μm ir 50 μm . Taigi, šiais atvejais vyko kohezinis atsiskyrimas per popierių. Kai klijų storis buvo 60 μm suklijavimo rezultatas buvo blogesnis, nes plyšo ir suklijuota vieta, ir popieriaus vidiniai sluoksniai. Klijų storiui toliau didėjant, suklijavimo rezultatas prastėjo. Kai klijų storis buvo 80 μm ir 100 μm ėmė plyšti suklijuota vieta (siūlė), vyko kohezinis atsiskyrimas per klijus.



24 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir VAE klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai

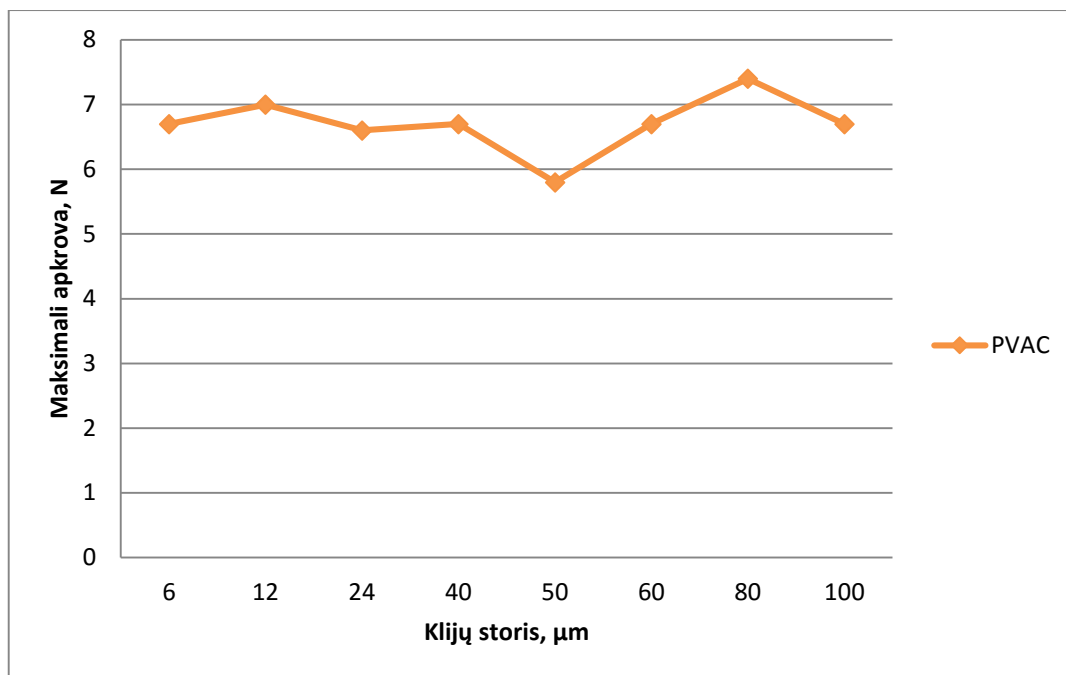


25 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir VAE klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai



26 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir VAE klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai

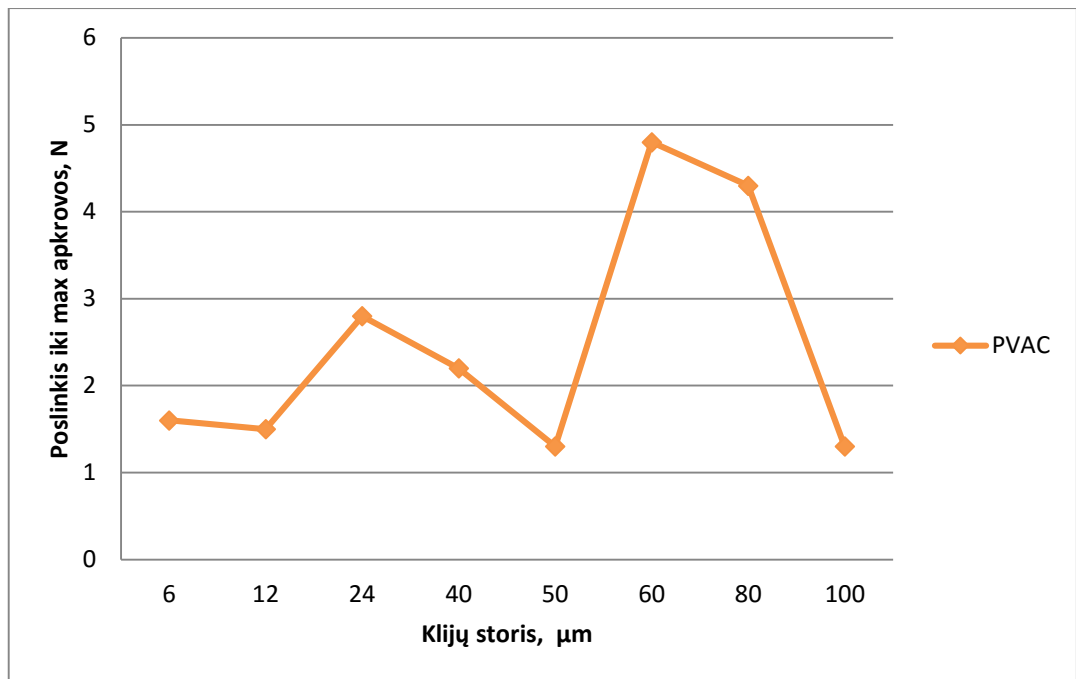
GD1 Multiboard iš makulatūros pagamintas kartonas ir naudojami PVAC dispersijos klijai. Pateikiami trys pagrindinių parametrų grafikai (27–29 pav.). Atliekant bandymus su šiais klijais, buvo gautos mažiausios maksimalios jėgos vertės, kurioms esant prasideda atplėšimas. Atliekant bandymus, kai klijų storis buvo 6–50 μm , net 4 kartus atšoko klijai. Klijų atšokimo metu jėgos priartėdavo prie 0 reikšmės. Esant klijų storiui iki 50 μm , plyšo ir suklijuota vieta ir popieriaus vidiniai sluoksniai, taigi turėjome mišrų atsiskyrimą. Esant šiems klijų storiams, bandymų nestabilumas įrodo, kad suklijuota buvo nestabiliai ir nekokybiškai. Suklijavimo kokybė, naudojant PVAC dispersijos klijus, pradėjo gerėti, kai klijų storis didėjo (60 μm , 80 μm , 100 μm)



27 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir PVAC klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai



28 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir PVAC klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai

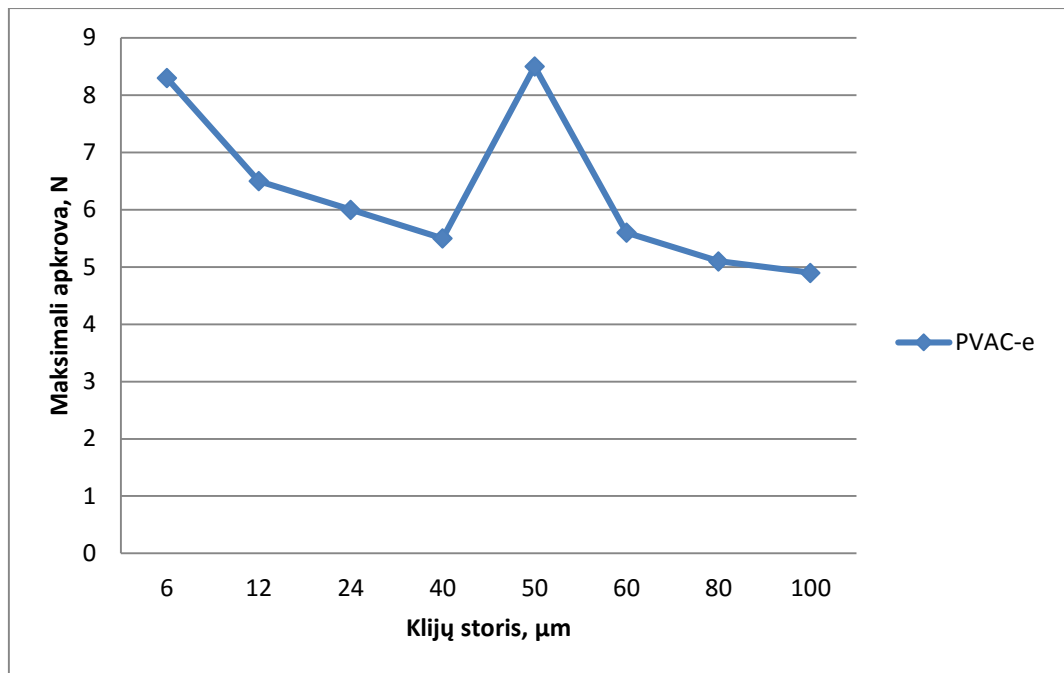


29 pav. Kartono *GD1 Multiboard* ir PVAC klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai

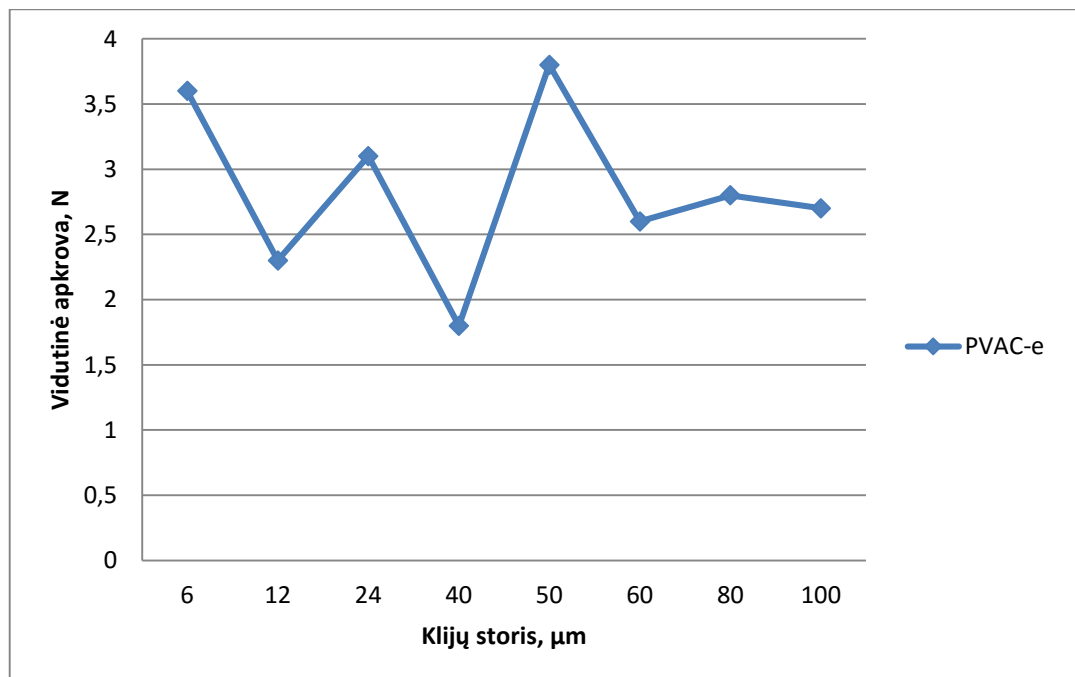
GC1 Arktika kreidinis balintas kartonas ir naudojami PVAC-e kopolimero dispersijos klijai. Pateikiami trys pagrindinių parametrų grafikai (31–33 pav.). Atliekant šiuos bandymus, buvo pastebimas ankstesniems nebūdingas požymis, kad tam tikru momentu prasideda viršutinio kreidinio sluoksnio plyšimo procesas (30 pav.). Dėl šio reiškinio nebuvo pasiekiamos didelės maksimalios apkrovos ir vidutinės apkrovos reikšmės. Taigi visais atvejais buvo suklijuota kokybiškai, todėl sunku paaiškinti grafiko šuolį ties 50 μm klijų storio.



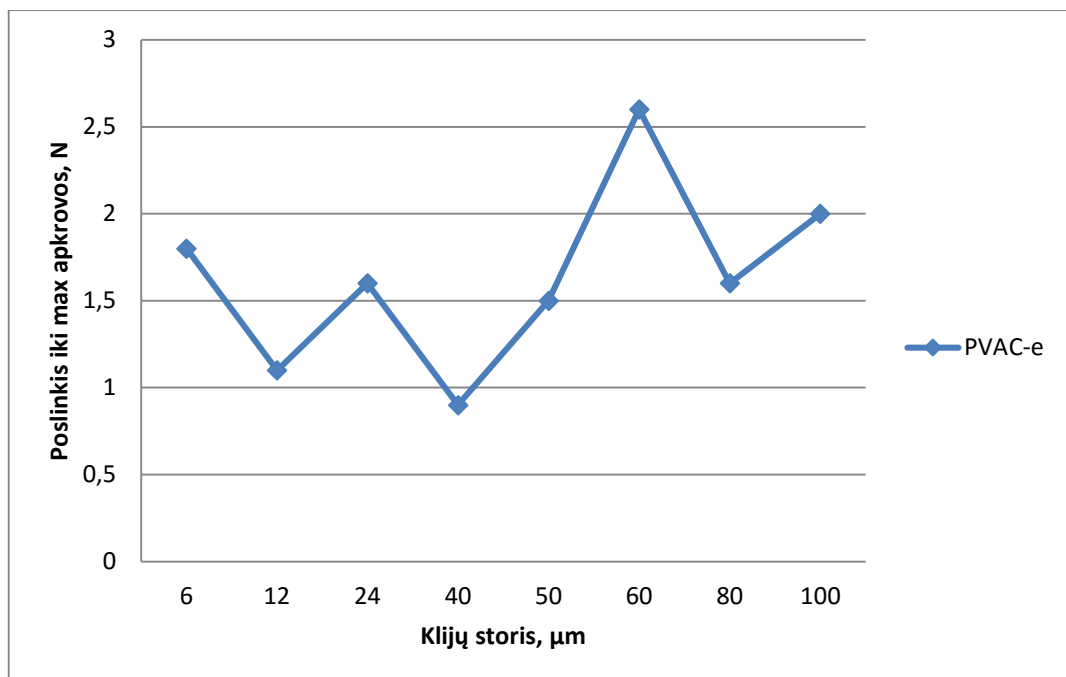
30 pav. Popieriaus vidinių sluoksnių atsiskyrimas



31 pav. Kartono GC1 Arktika ir PVAC-e klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai

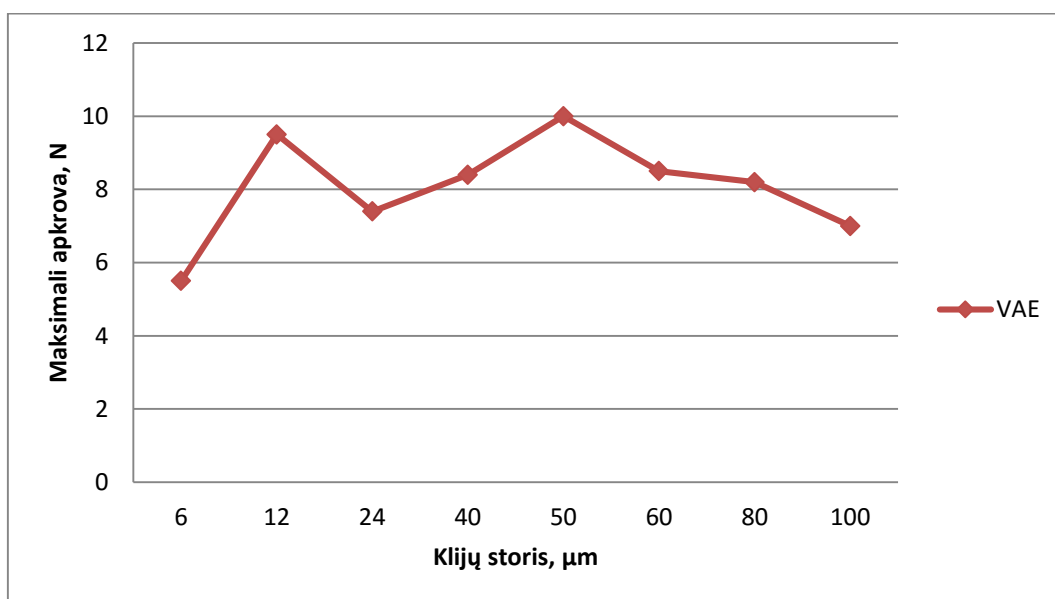


32 pav. Kartono GC1 Arktika ir PVAC-e klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai

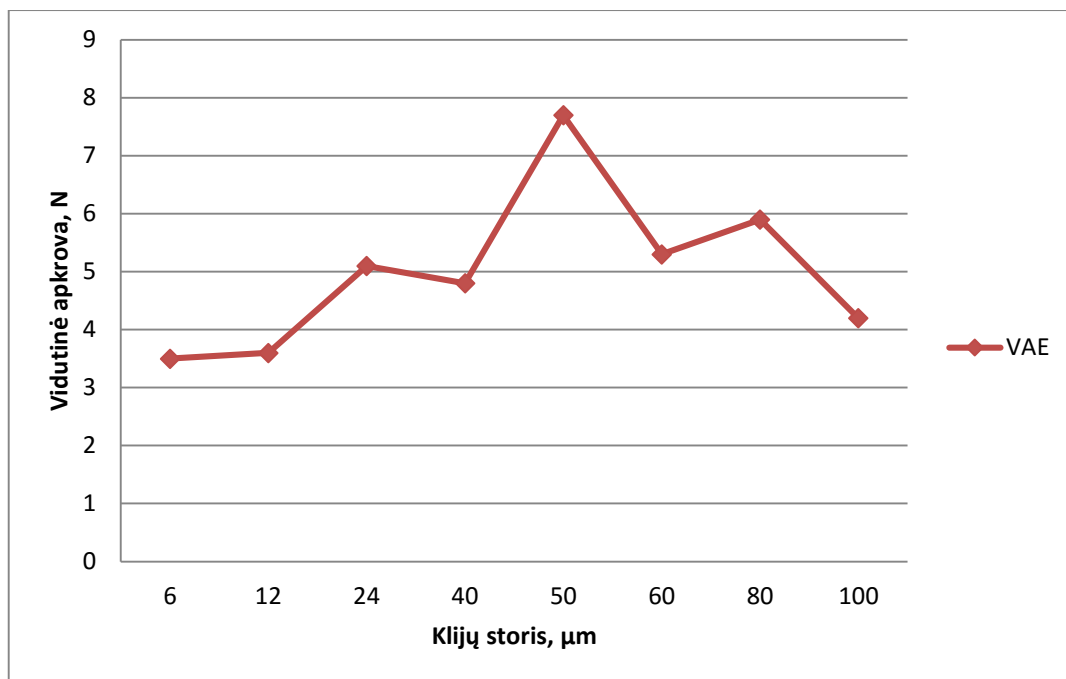


33 pav. Kartono *GC1 Arktika* ir PVAC-e klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai

GC1 Arktika kreidinis balintas kartonas ir naudoti VAE dispersijos klijai. Pateikiami trys pagrindinių parametru grafikai (34–36 pav.). Naudojant šias medžiagas buvo pastebėta, kad dažniau ėmė plyšti popieriaus vidiniai sluoksniai, vyko kohezinis atsiskyrimas, bet po to popierius atsisluoksniuodavo ir jėgos gerokai sumažėdavo, nes imdavo plyšti popieriaus viršutinis, kreidinis sluoksnis. Kai klijų storis buvo 6 μm , taip pat pastebėta, kad atšoko klijai. Dėl to šioje vietoje jėga buvo arti 0 reikšmės. Toks atšokimas ir lėmė, kad ir maksimali apkrova, ir vidutinė apkrova esant 6 μm klijų storiui, yra mažiausios.



34 pav. Kartono *GC1 Arktika* ir VAE klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai



35 pav. Kartono GC1 Arktika ir VAE klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai

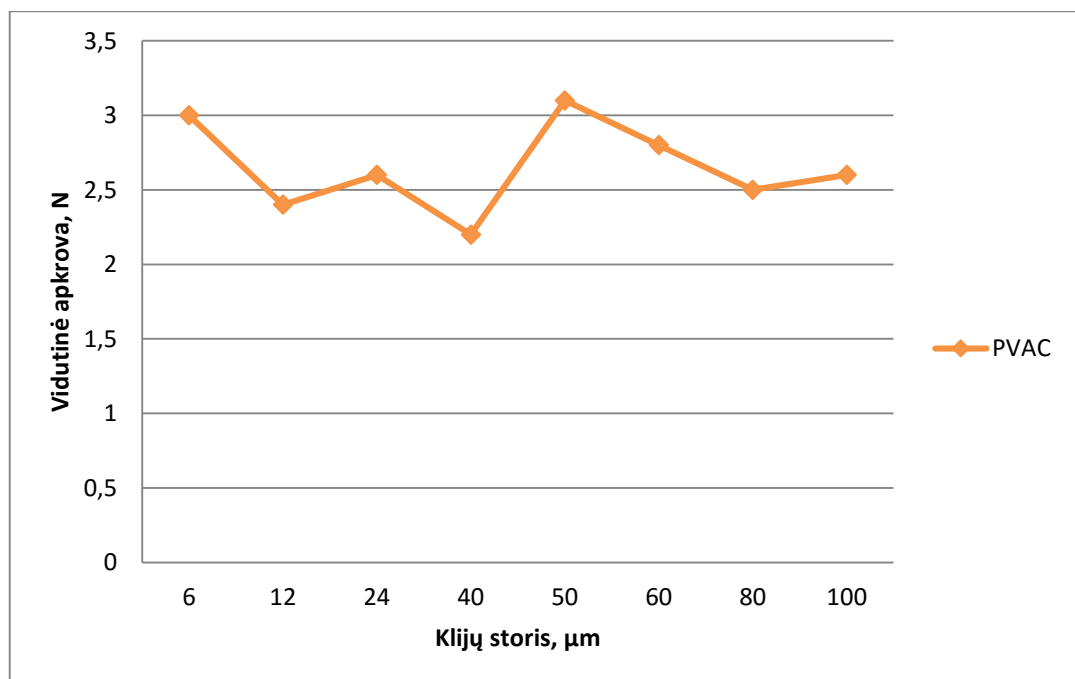


36 pav. Kartono GC1 Arktika ir VAE klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai

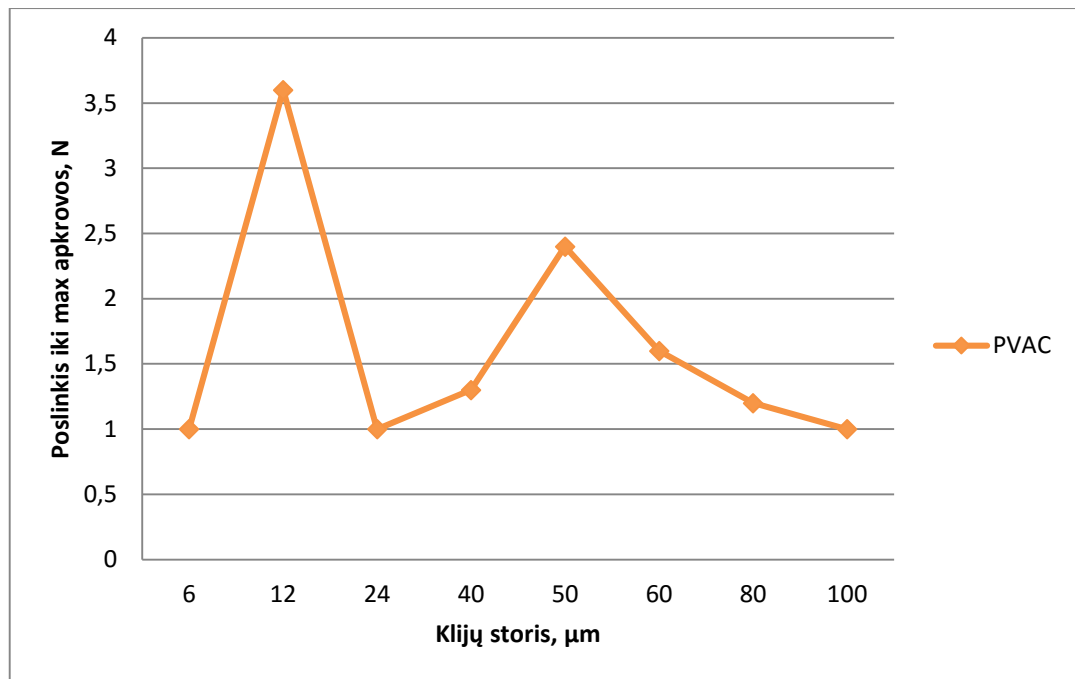
GC1 Arktika kreidinis balintas kartonas ir naudoti PVAC dispersijos klijai. Pateikiami trys pagrindinių parametrų grafikai (37–39 pav.). Naudojat šias medžiagas gauti panašūs rezultatai kaip su ankstesnėmis medžiagomis. Atsiskyrė viršutinis, kreidinis sluoksnis, dėl ko po to labai sumažėdavo jėgos, taip pat dalies bandinių iš pradžių plyšo popieriaus vidiniai sluoksniai, vykdavo kohezinis atsiskyrimas, o tik po to pradėdavo plyšti viršutinis sluoksnis. Dėl šių veiksnių ir matomi grafikų svyravimai.



37 pav. Kartono GC1 Arktika ir PVAC klijų bandymų maksimalios jėgos rezultatai



38 pav. Kartono GC1 Arktika ir PVAC klijų bandymų vidutinės jėgos rezultatai

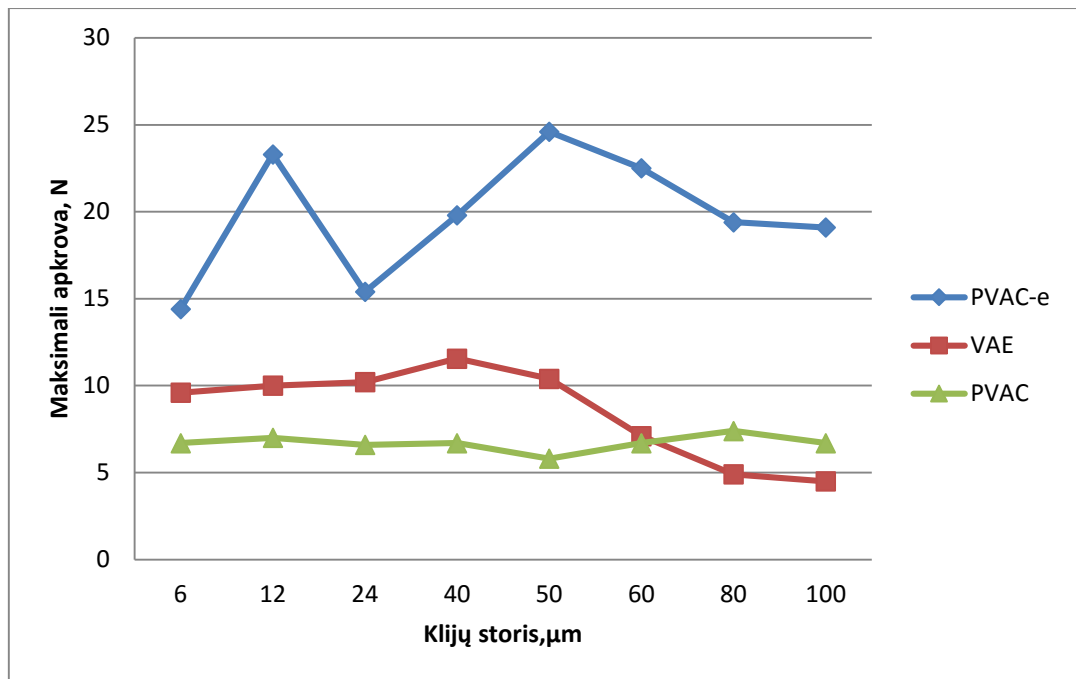


39 pav. Kartono *GC1 Arktika* ir PVAC klijų bandymų poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai

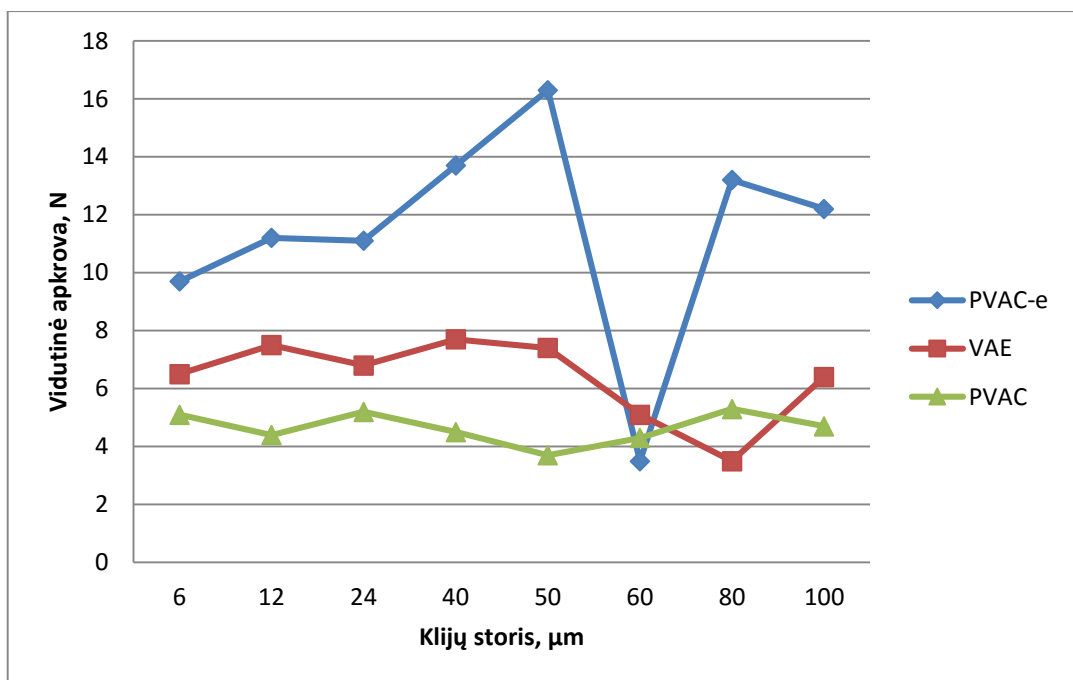
Atlikus visus bandymus, buvo matyti aišrios tendencijos, todėl galima formuluoti šias išvadas. Pateikiami trys bendri visų klijų pagrindinių parametrų grafikai (40–42 pav.). Naudojant *GD1 Multiboard* iš makulatūros pagamintą kartoną gauti tokie rezultatai:

- Naudojant PVAC-e kopolimero dispersijos klijus, gaunamas kokybiško suklijavimo rezultatas, plyšta popieriaus vidiniai sluoksniai, vyksta kohezinis atsiskyrimas, gaunamos didžiausios jėgos vertės, kurioms esant prasideda atplėšimas ir didžiausios vidutinės apkrovos vykstant tolimesniam irimui.
- Naudojant VAE dispersijos klijus, kai storis 6–12 μm suklijuojama nekokybiškai, kai klijų storis 24–50 μm suklijuojama kokybiškai, nes plyšta per popieriaus vidinius sluoksnius. Vyksta kohezinis atsiskyrimas per popierių. Kai klijų storis yra 60–100 μm suklijavimo rezultatas pradeda prastėti, prasideda mišrus atsiskyrimas.
- Naudojant PVAC dispersijos klijus, kai klijų storis yra 6–50 μm , suklijuojama nekokybiškai ir stabiliai. Kai klijų 60–100 μm , suklijavimo kokybė gerėja.

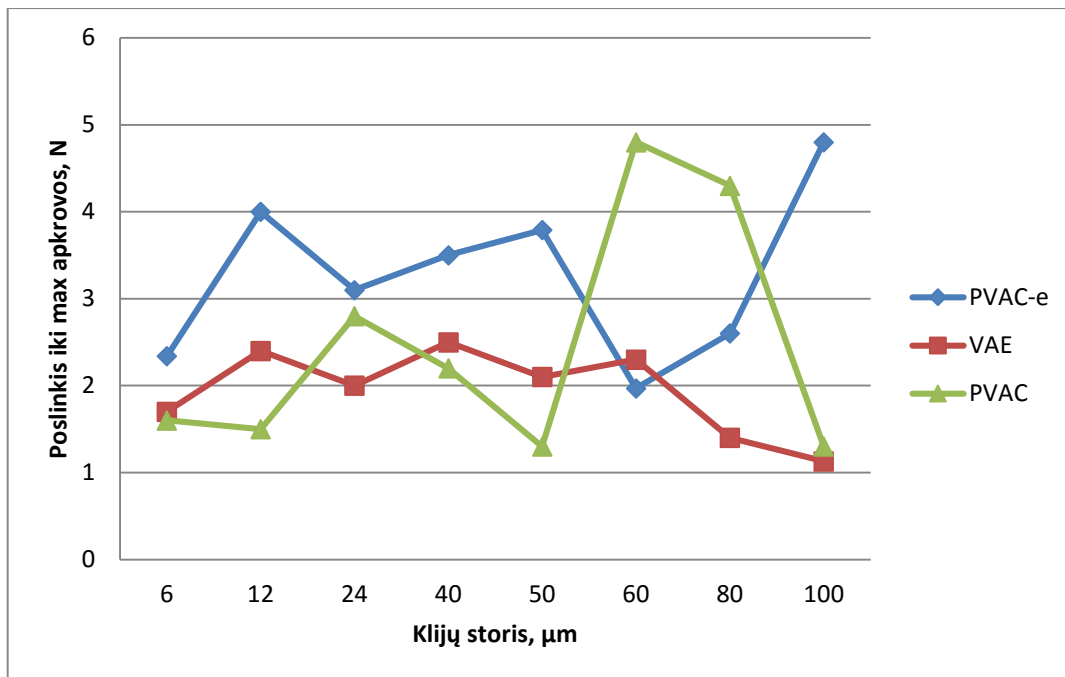
Iš šių pastebėjimų galime daryti išvadas, kad klijuojant *GD1 Multiboard* iš makulatūros pagamintam kartonui geriausia naudoti VAE dispersijos klijus. Šie klijai yra vidutinio brangumo, o jų išeiga yra mažesnė nei naudojant pigiausius PVAC dispersijos klijus.



40 pav. Maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant *GD1 Multiboard* iš makulatūros pagamintą kartoną ir trijų rūšių klijus



41 pav. Vidutinės apkrovos rezultatai, naudojant *GD1 Multiboard* iš makulatūros pagamintą kartoną ir trijų rūšių klijus

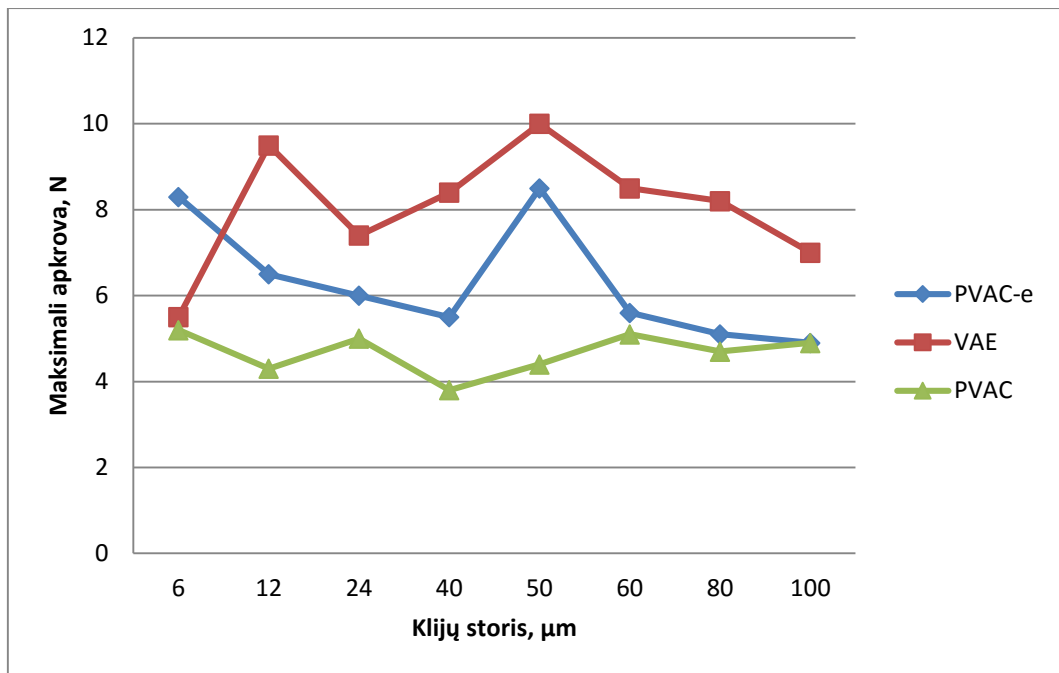


42 pav. Poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant *GD1 Multiboard* iš makulatūros pagamintą kartoną ir trijų rūšių klijus

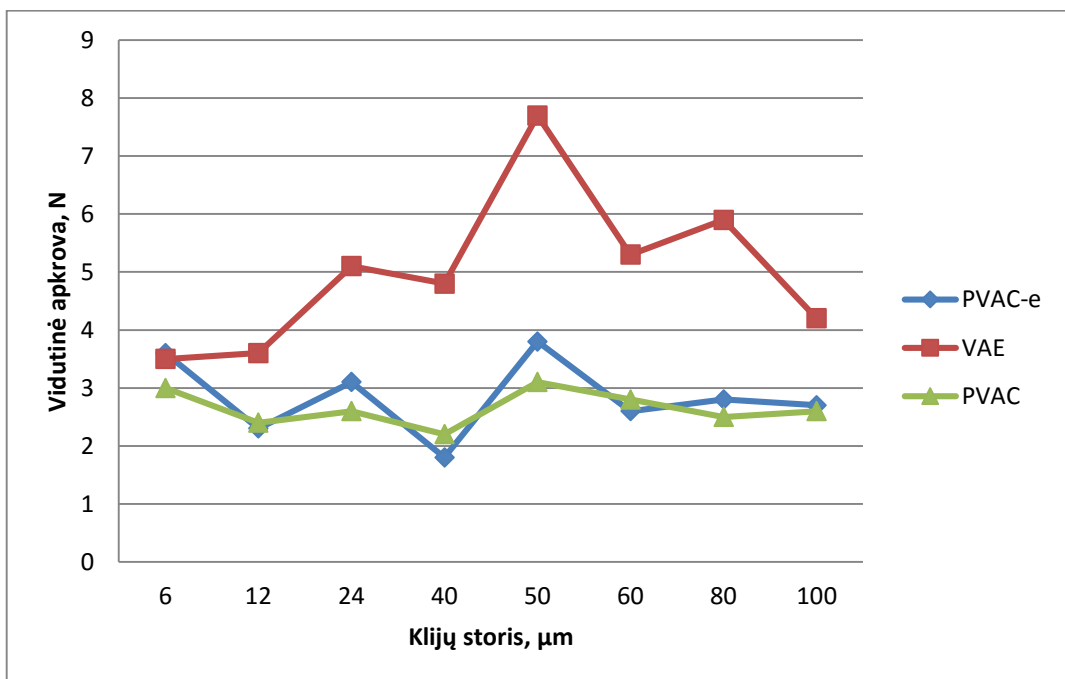
Pateikiami trys bendri visų klijų pagrindinių parametrų grafikai (43–45 pav.). Naudojant *GC1 Arktika* kreidinių balintą kartoną bei trijų rūšių klijus ir atlikus bandymus, galime daryti tokias išvadas:

- Naudojant PVAC-e kopolimero dispersijos klijus, gaunamas kokybiško suklijavimo rezultatas, iš pradžių plyšta popieriaus vidiniai sluoksniai, vyksta kohezinis atsikyrimas per popierių, po – viršutinis, kreidinis sluoksnis.
- Naudojant VAE dispersijos klijus, esant klijų storiui 6 μm suklijuojama nekokybiškai, nes yra klijų atšokimo tikimybė. Kai klijų storis 12–100 μm , suklijuojama kokybiškai, palaipsniui pereinama į viršutinio, kreidinio sluoksnio plėšimą.
- Naudojant PVAC dispersijos klijus, generuojamos mažiausios jėgos, kai klijų storis yra 6–100 μm , suklijuojama kokybiškai, dažnai iš pradžių pradeda plyšti popieriaus vidiniai sluoksniai ir tik palaipsniui viršutinis, kreidinis sluoksnis.

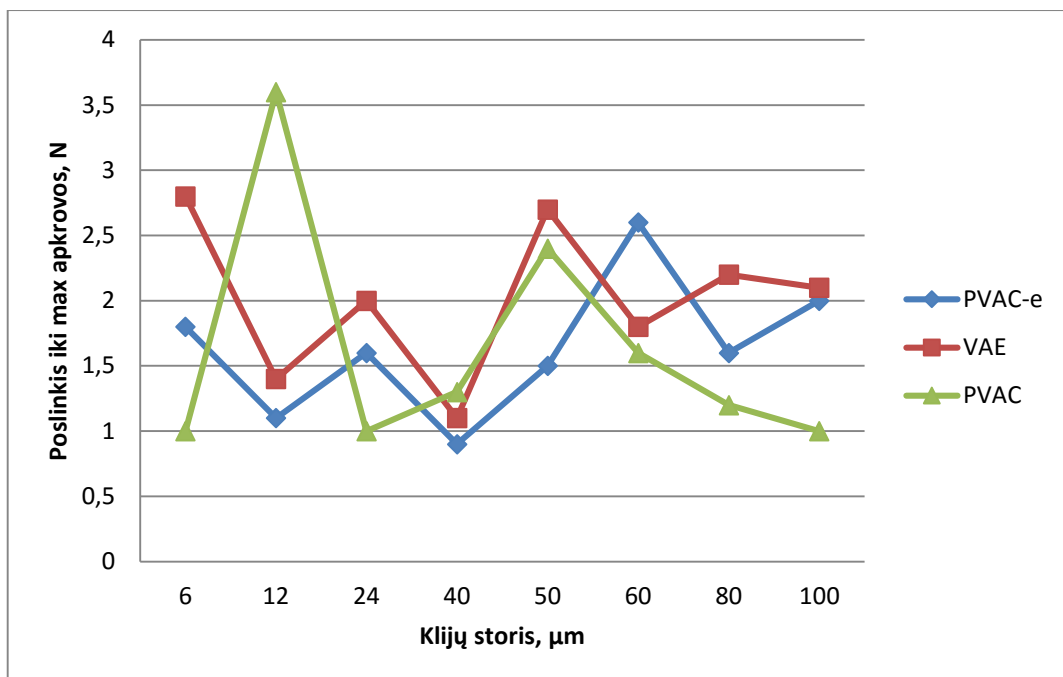
Iš šių pastebėjimų galime daryti išvadas, kad klientui, norinčiam klijuoti *GC1 Arktika* kreidinių balintą kartoną, geriausia naudoti pigiausius PVAC dispersijos klijus, nes suklijuojama kokybiškai, todėl nėra reikalo naudoti brangesnius klijus.



43 pav. Maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant GC1 Arktika kreidinį kartoną ir trijų rūšių klijus



44 pav. Vidutinės apkrovos rezultatai, naudojant GC1 Arktika kreidinį kartoną ir trijų rūšių klijus



45 pav. Poslinkio iki maksimalios apkrovos rezultatai, naudojant *GC1 Arktika* kreidinį kartoną ir trijų rūšių klijus

IŠVADOS

Atlikus šiurkštumo, trinties ir tempimo bandymus iš gautų rezultatų galima daryti tokias išvadas:

- Klijuojant *GC1 Arktika* kreidinį balintą kartoną, geriausia naudoti pigiausius PVAC dispersijos klijus, nes suklijuojama kokybiškai, todėl nėra reikalo naudoti brangesnius klijus. Kokybiškas suklijavimo rezultatas buvo gautas, kai klijų storis buvo 6–100 μm , todėl rekomenduojama naudoti mažesnį klijų kiekį, kad klijų išeiga būtų kuo mažesnė.
- Klijuojant *GD1 Multiboard* iš makulatūros pagamintą kartoną geriausia naudoti VAE dispersijos klijus. Šie klijai yra vidutinio brangumo, o jų išeiga yra mažesnė nei naudojant pigiausius PVAC dispersijos klijus. Kokybiškam suklijavimo rezultatui gauti rekomenduojamas klijų storis 24–50 μm , šiais atvejais turėsime kohezinį atsiskyrimą per popierių.

Literatūros sąrašas

1. Antanavičiūtė, R. 2011. *Poligrafijos produkcijos suklijavimo stiprio tyrimas*, baigiamasis magistro darbas. Vilnius: Vilnius Gedimino technikos universitetas.
2. Borch, J., Lyne, M. B., Mark, R. E., Habeger Jr., C. C. 2002. *Handbook of Physical Testing of Paper*. Volume 2, Second Edition, Revised and Expanded. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
3. Buika, G. 2008. *Polimeriniai kompozitai* [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <<https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/485/polimeriniai-kompozitai/>>.
4. Duncan, B.; Mera, R.; Leatherdale, D.; Taylor, M.; Musgrove, R. 2005. *Techniques for characterising the wetting, coating and spreading of adhesives on surfaces*. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/depc_mpr_020_coating.pdf>.
5. Garoff, N. 2002. *The Friction between Paper surfaces*. Doctoral thesis, Stockholm, p. 1–3.
6. Grigaliūnienė, S. 2015. *Spaudinių ant popieriaus kaip kompozicinių medžiagų savybių tyrimas*, Vilnius: Technika.
7. Grigaliūnienė, S.; Burkauskaitė, V.; Kuodė, A.; Sideravičius, J.; Turla, V.; 2014. *Rašalinių ir fleksografinių atspaudų ant skirtingų popierių trinties savybės iš konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*.
8. Grinius, D.; Gedzevičius, I.; Garbinčius, G. 2010. *Dažytų dangų adhezijos tyrimai iš konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*.
9. Kazlauskas, D.; Sideravičius, J. 2010. *Termiškai apdorojamų pakuočių laminavimo kokybės tyrimas iš konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*.
10. Lukoševičienė, K.; Sivakova, B. 2001. *Popieriaus restauravimui naudojamų klijų adhezija* [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <http://www.lnb.lt/doc/dkrc/mokslo/popieriaus_restauravimui.pdf>.
11. Pizzi, A.; Mittal K.L. 2003. *Handbook of Adhesive Technology* [Interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <<http://polymerinnovationblog.com/wp-content/uploads/2015/02/handbook-of-adhesive-technology.pdf>>.
12. Preprotic, S.; Lajic, B.; Jurečić, D. 2011. *Perfect binding technique affects the paperback adhesive binding strength* [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <https://bib.irb.hr/datoteka/532267.Rad_u_zborniku.pdf>.

13. Sidaravičius, J. 2012. *Spausdinimo medžiagos: laboratorinių darbų metodiniai nurodymai*. Vilnius: Technika.
14. Šidlovski, V. 2008. *Besiūlio įrišimo kokybės tyrimas* [interaktyvus]. Vilnius [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2008~D_20080722_153651-57562/DS.005.0.01.ETD>.
15. Vasiliauskienė, R.; Sivakova, B.; Makuška, R. 2002. *Dokumentų restauravimui naudojamų klijų palyginamieji tyrimai* [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. gegužės 23d.]. Prieiga per internetą <http://old.ldm.lt/Rest_centras/Restauratoriai_Vasiliauskiane.htm>.
16. Ziminskaitė, A. 2013. *Popieriaus paviršiaus ir mechaninių savybių kaitos spausdinant ofsetiniais dažais tyrimas*, baigiamasis magistro darbas. Vilnius: Vilnius Gedimino technikos universitetas.