



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Dovilė Rutkauskaitė

**DAŽŲ SUNAUDOJIMO TYRIMAS SPAUSDINANT ANT GOFRUOTŲJŲ
KARTONŲ**

**PRINTING OF CORRUGATED BOARDS: INVESTIGATIONS OF THE INK
CONSUMPTION**

Baigiamasis magistro darbas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H74001

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. dr. Vytautas Turla

(Vardas, pavardė)

(Data)

Dovilė Rutkauskaitė

**DAŽŲ SUNAUDOJIMO TYRIMAS SPAUSDINANT ANT GOFRUOTŲJŲ
KARTONŲ**

**PRINTING OF CORRUGATED BOARDS: INVESTIGATIONS OF THE INK
CONSUMPTION**

Baigiamasis magistro darbas

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H74001

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Donatas Jonas Sidaravičius

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Aušra Žemienė

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
POLIGRAFINIŲ MAŠINŲ KATEDRA

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Spaudos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H74001

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. dr. Vytautas Turla

(Vardas, pavardė)

2014.10.28

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2014.10.28 Nr.

Vilnius

Studentei **Dovilei Rutkauskaitė**

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Dažų sunaudojimo tyrimas spausdinant ant skirtingų gofruotųjų kartonų
patvirtinta 2014 m. spalio mėn. 28 d. dekanų potvarkiu Nr. 253me.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. gegužės mėn. 28 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Ištirti fleksografinių dažų sunaudojimą spausdinant ant trijų rūšių gofruotojo kartono:

- . Surinkti statistinius duomenis apie dažų sunaudojimą spausdinant komercinius užsakymus
- . Dažų sunaudojimo duomenis apdoroti statistiškai
- . Ištirti dažų sugertį naudojant Bristovo rato metodą
- . Palyginti dažų sunaudojimo duomenis su dažų sugerties duomenimis

Atlikti tyrimo duomenų analizę ir parašyti baigiamąjį darbą.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

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

Vadovas dr. prof. Donatas Jonas Sidoravičius

(Parašas)

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

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

Dovilė Rutkauskaitė

(Vardas, pavardė)

2014.10.28

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Poligrafinių mašinų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2015-05-21

Spaudos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: **Dažų sunaudojimo tyrimas spausdinant ant gofruotųjų kartonų**

Autorius: **Dovilė Rutkauskaitė**

Vadovas: **prof. dr. Donatas Jonas Sidaravičius**

Kalba

☒ X	lietuvių
☐	anglų

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas dažų sunaudojimas spausdinant ant skirtingų rūšių gofruotųjų kartonų. Išnagrinėti ir statistiškai apdoroti realūs dažų sunaudojimo spaustuvėje duomenys, kuriais remiantis galima nustatyti tų dažų sunaudojimo kiekius. Ekperimentiškai, naudojant *Bristow* metodą, ištirta dažų absorbcija skirtingoms gofruotojo kartono rūšims, leidžianti nustatyti, kuri medžiaga sugeria didžiausią kiekį dažų. Vertinant dažų sunaudojimą spausdinant ant skirtingų gofruotųjų kartonų, išnagrinėtas realaus dažų sunaudojimo ir eksperimentiškai gautų duomenų tarpusavio ryšys. Išnagrinėjus teorinius ir praktinius tyrimo vertinimo aspektus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir siūlymai.

Darbą sudaro 7 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, darbo tikslas ir uždaviniai, tyrimo metodika, tyrimo rezultatai, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 53 p. teksto, 22 iliustracijos, 13 lentelių, 23 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: absorbcija, *Bristow* bandymas, dažų sunaudojimas, gofruotasis kartonas, fleksografija, plotų radimo *MATLAB* metodas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Printing Machines

ISBN ISSN
Copies No. 2
Date 2015-05-21

Printing engineering study programme master thesis

Title: Printing of corrugated boards: investigations of the ink consumption.

Author: **Dovilė Rutkauskaitė**

Scientific supervisor: **prof. dr. Donatas Jonas**

Thesis language

☒

lithuanian

☐

foreign (english)

Annotation

In Master Thesis was examined the ink consumption by printing on different types of corrugated cardboards. An actual data of the ink consumption in printing was analysed and statically processed, based on them possible to determine the quantity amount of ink. Also was experimentally investigated ink absorption to different corrugated cardboards, this allow to assess which material absorbs most ink. When was assessed the ink consumption by printing on different types of corrugated cardboards, was examined correlation between an actual data of the ink consumption in printing and experimental absorption data. After the theoretical and practical aspects of the evaluation study, conclusions and recommendations were submitted.

The Master Thesis includes 7 parts: introduction, publications review, objective and challenges, methods, results and discussion, conclusions and bibliographical references.

The Master Thesis contains: 53 pages, 22 tables, 13 figures, 23 bibliographical references.

Keywords: Absorption, *Bristow* test, corrugated cardboard, flexography, *MATLAB* method to find areas, the ink consumption.

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

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Dovilė Rutkauskaitė, 20094439

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Mechanikos fakultetas

(Fakultetas)

Spaudos inžinerijos studijų programa, SPIfm-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. Gegužės 25 d.

(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema „Dažų sunaudojimo tyrimas spaus-
dinant ant skirtingų gofruotųjų kartonų“

patvirtintas 2014 m. Spalio mėn. 28 d. dekanu potvarkiu Nr. 253me, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: dr. Aušra Žemienė

Mano darbo (projekto) vadovas dr. prof. Donatas Jonas Sidaravičius

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

(Parašas)

DOVILĖ RUTKAUSKAITĖ
(Vardas ir pavardė)

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	9
IVADAS	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	12
1.1. Popierius	12
1.1.1. Gofruotas kartonas	12
1.1.2. Popieriai, naudojami gofruotojo kartono gamyboje	13
1.2. Dažai	14
1.2.1. Dažams keliami reikalavimai.....	17
1.3. Popieriaus ir dažų sąveika.....	17
1.3.1. Skysčio absorbciją į porėtą medžiagą	20
1.3.2. Kapiliarinis tekėjimas ir Lucaso – Washburno lygties naudojimas	23
1.4. Absorbcijos trumpais laiko intervalais matavimai.....	26
1.4.1. Skysčio kiekio poveikis bandymų rezultatams	27
1.4.2. Aliejinio pagrindo skysčių įgertis	28
1.4.3. Vandens pagrindo skysčių įgertis.....	30
2. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	33
3. TYRIMO METODIKA	34
3.1. Tyrimo objektas	34
3.1.1. Popieriai, naudojami absorbcijos matavimui	34
3.1.2. Dažai, naudojami absorbcijai matuoti.....	34
3.2. Absorbcijos matavimas.....	35
3.2.1. <i>Bristow</i> įrenginys	35
3.2.2. <i>Bristow</i> bandymas	36
3.3. Dažų ploto skaičiavimas, naudojant <i>MATLAB</i> programą	39
3.4. Dažų sunaudojimo duomenų rinkimas	41
4. TYRIMO REZULTATAI	42
4.1. Dažų absorbcijos tyrimo rezultatai	42
4.1.1. Dažų absorbcijos skirtingoms medžiagoms palyginimas	47
4.2. Realus dažų sunaudojimas spausdinimo metu.....	48
4.3. Absorbcijos tyrimo ir realaus dažų sunaudojimo rezultatų palyginimas.....	56
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	57
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	58

Paveikslų sąrašas

1 pav. Gofruotojo kartono lakšto struktūra	12
2 pav. Skysčių molekulių sąveika: a) kohezijos darbas, b) adhezijos darbas (Johnson 2008: 60).....	18
3 pav. Skysčio lašelio sąveika su kietu paviršiumi (kontaktinis kampas ir jėgos, veikiančios trijų fazių susikirtimo linijoje): a) vilgymas, b) nevilgymas.....	19
4 pav. Kapiliarinis tekėjimas vienoje popieriaus poroje	21
5 pav. Dažų „takelio“ ilgis, ant bandinio paviršiaus užteptas bandymą atliekant skirtingais greičiais (Bristow 1967)	28
6 pav. Sugertos aliejinio pagrindo medžiagos kiekio priklausomybė nuo laiko (Bristow 1967).....	29
7 pav. Sugertos aliejinio pagrindo medžiagos kiekio priklausomybė nuo laiko, klampumo ir paviršiaus įtempties (Bristow 1967).....	29
8 pav. Sugertos vandens pagrindo medžiagos kiekio priklausomybė nuo laiko (Bristow 1967).....	30
9 pav. Sugertos vandens pagrindo medžiagos ir medžiagos, kurios sudėtyje yra Antarox Co 630 kiekio priklausomybė nuo laiko (Bristow 1967: 623-629)	31
10 pav. <i>Bristow</i> bandymo įrenginys [6]	35
11 pav. Absorbcijos matavimas <i>Bristow</i> metodu	36
12 pav. Tipinis <i>Bristow</i> bandymas: a) absorbcijos priklausomybė nuo kontaktinio laiko, ...	38
b) absorbcijos priklausomybė nuo kontaktinio laiko įvertinant vilgymo delsimą	38
(Johnson 2008).	38
13 pav. Nuskenuoti bandiniai (tiriamoji medžiaga – <i>TL</i>): a) dažų užnešimo greitis – 0,1 cm/s, b) dažų užnešimo greitis – 0,2 cm/s, c) dažų užnešimo greitis – 0,5 cm/s, d) dažų užnešimo greitis – 1 cm/s, e) dažų užnešimo greitis – 2 cm/s, f) dažų užnešimo greitis – 5 cm/s.....	39
14 pav. Bandiniai: a) nuskenuotas bandinys. Dažų užnešimo greitis – 0,2 cm/s, b) <i>MATLAB</i> terpėje gautas paveikslėlis.....	40
15 pav. Bandiniai kalibravimui: a) skenuotas bandinys, b) <i>MATLAB</i> terpėje gautas paveikslėlis.....	41
16 pav. Absorbcijos priklausomybė nuo kontakto laiko. Tiriamoji medžiaga – <i>EKL</i>	44
17 pav. Absorbcijos priklausomybė nuo kontakto laiko. Tiriamoji medžiaga – <i>TL</i>	45
18 pav. Absorbcijos priklausomybė nuo kontakto laiko. Tiriamoji medžiaga – <i>TLW</i>	46
19 pav. <i>EKL</i> , <i>TL</i> , <i>TLW</i> medžiagų absorbcijų priklausomybė nuo kontaktų laikų.....	47
20 pav. Dažų sunaudojimo kiekio verčių dažnio priklausomybė nuo jų sunaudoto kiekio. Tiriamoji medžiaga – <i>EKL</i>	52
21 pav. Dažų sunaudojimo kiekio verčių dažnio priklausomybė nuo jų sunaudoto kiekio. Tiriamoji medžiaga – <i>TL</i>	53
22 pav. Dažų sunaudojimo kiekio verčių dažnio priklausomybė nuo jų sunaudoto kiekio. Tiriamoji medžiaga – <i>TLW</i>	55

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Gofrotųjų kartonų tipai (Wendler 2006: 3).....	13
2 lentelė. Popierių specifikacija	34
3 lentelė. Dažų sudėtis	35
4 lentelė. Dažų, užteptų ant bandinių, plotai.....	42
5 lentelė. Bandymo duomenys. Medžiaga – <i>EKL</i>	43
6 lentelė. Bandymo duomenys. Medžiaga – <i>TL</i>	44
7 lentelė. Bandymo duomenys. Medžiaga – <i>TLW</i>	46
8 lentelė. Spaudos plotai. Medžiaga – <i>EKL</i>	48
9 lentelė. Spaudos plotai. Medžiaga – <i>TL</i>	49
10 lentelė. Spaudos plotai. Medžiaga – <i>TLW</i>	50
11 lentelė. Realus dažų sunaudojimas. Medžiaga – <i>EKL</i>	51
12 lentelė. Realus dažų sunaudojimas. Medžiaga – <i>TL</i>	52
13 lentelė. Realus dažų sunaudojimas. Medžiaga – <i>TLW</i>	54

IVADAS

Spaudos pramonės gaminių įvairovė labai didelė: knygos, laikraščiai, žurnalai, reklaminė spauda, etiketės ir t. t. Ganėtinai svarbią vietą užima pakuotės – jų gamyba nuolat auga. Pakuotės gaminamos skirtingomis technologijomis iš įvairių medžiagų. Priklausomai nuo jų paskirties, pakuotėms keliami įvairūs reikalavimai.

Antrinės pakuotės dažnai gaminamos iš kartono arba gofruotojo kartono. Jų konstrukcijos bei dizainai skiriasi priklausomai nuo funkcijų, kurias turi atlikti. Vienos turi būti tvirtos ir reikalingos tik transportuoti, kitos turi patraukti vartotojo dėmesį, t. y. būti spalvingos ir pan.

Pakuočių gamintojai turi išspręsti daugybę klausimų, susijusių su gamyba. Daugelis užsakovų tikisi gauti pigią, tačiau kokybišką produkciją. Dėl to gamintojai turi ne tik parinkti tinkamą gamybos technologiją bei medžiagas, bet ir numatyti veiksnius, turinčius įtakos kokybei ir faktorius, lemiančius pakuotės kainą.

Viena iš pagrindinių medžiagų, naudojamų patraukliai pakuotei pagaminti, – dažai. Jie lemia atvaizdo ant spausdinamosios medžiagos kokybę bei spaudinio parametrus. Pravartu žinoti dažų ir spausdinamosios medžiagos tarpusavio sąveikoje vykstančius reiškinius. Be to, gaminant pakuotę, svarbu išsiaiškinti, kiek medžiagų bus sunaudota jos gamybai. Nustatyti, kiek reikės popieriaus ar kartono, – ganėtinai paprasta, o kiek dažų – sudėtingiau.

Dažų sunaudojimas spausdinant ant gofruotųjų kartonų – aktualus klausimas, kuris nenagrinėtas plačiau. Nuo pat dažų sąveikos su porėta medžiaga (popieriumi ar kartonu) pradžios, buvo išsiaiškinta, kas lemia dažų absorbciją į spausdinamąją medžiagą, kokios šių medžiagų savybės lemia įsigėrimą. Taip pat, sukurti metodai, leidžiantys skirti vilgymo ir sugerties procesus, ištobulinti ir standartizuoti dažų absorbcijos nustatymo metodai. Tačiau išsiaiškinti realų dažų sunaudojimą, kai spausdinamasis paviršius – kartonas, nebuvo bandyta.

Šiame tiriamajame darbe buvo tiriamas dažų sunaudojimas. Tyrimui pasirinktos trys dažniausiai gofruotojo kartono gamyboje naudojamos popierių rūšys. *Bristow* metodu matuota dažų absorbcija bei rinkti dažų sunaudojimo realybėje duomenys. Eksperimento rezultatai palyginti su realiais duomenimis.

Pagrindinis darbo tikslas – nustatyti, kiek dažų yra sunaudojama spausdinant ant skirtingų gofruotų kartonų paviršių, ir išsiaiškinti, kokios priežastys turi įtakos skirtingiems dažų išsivojimams.

Darbo uždaviniai:

1. Surinkti ir statistiškai apdoroti realaus dažų sunaudojimo duomenis.
2. Ištirti skirtingų gofruotų kartonų fleksografinių dažų sugertį.

3. Ištirti ryšį tarp dažų absorbcijos ir jų realaus sunaudojimo.

Darbo metodika:

Eksperimentui bandiniai buvo išpjauti iš trijų skirtingų popierių. Tiriamieji paviršiai *Bristow* įrenginiu padengti dažais. *MATLAB* programa apskaičiuoti užteptų dažų „pėdsakų“ plotai. Apskaičiuotas dažų įgeriamumas į visų tiriamųjų medžiagų paviršius. Darbo metu rinkti duomenys toms pačioms tiriamoms medžiagoms – dažų sunaudojimo kiekiai. Realūs duomenys palyginti su eksperimento rezultatais.

Tyrimo rezultatai leido nustatyti, kuri tiriamoji medžiaga dažų sugeria daugiausiai ir koks kiekis dažų reikalingas atspaudo užnešimui ant tų spausdinamųjų paviršių.

Darbo rezultatai pristatyti ir aptarti 18 – oje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Popierius

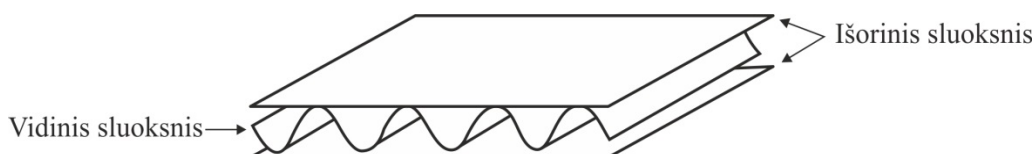
Popierius – tarpusavyje chaotiškai susipynę smulkūs augaliniai plaušeliai. Jis gaminamas iš įvairių medžiagų: spygliuočių ar lapuočių medienos, lininio, kanapinio ar medvilninio pluoštų, makulatūros ir pan. Be to, jo gamyboje naudojami įvairūs užpildai ir medžiagos, naudojamos klijinto popieriaus gamybai. Jos turi įtakos įvairioms popieriaus savybėms. Pavyzdžiui, krakmolos, kanifolija – medžiagos, lemiančios popieriaus mechaninį atsparumą bei atsparumą vandeniui, mineraliniai užpildai (kreida ar kiti) padidina tankį ir neperšviečiamumą, suteikia baltumo.

Ploniausio popieriaus storis – 0,04–0,08 mm. Jis dažniausiai apibūdinamas gramatūra – 1 m² mase. Popieriaus gramatūra yra iki 250 g/m². Didesnės gramatūros popierius vadinamas puskartoniu, o dar didesnės – kartonu (Sidaravičius 2012: 5). Iš viso yra žinoma daugiau nei 1000 popieriaus rūšių. Daugiausia jis naudojamas spausdinti ir rašyti. Taip pat tai pakavimo, statybinė (pavyzdžiui, tapetai), higieninių reikmių medžiaga.

1.1.1. Gofruotas kartonas

Banguoti popierių sugalvojo amerikietis Albertas Džonsonas. Pirmiausia, jis tokį popierių pritaikė stiklinėms kolboms ir buteliams apsaugoti. 1871 metų gruodžio 19 dieną A. Džonsonas gavo patentą, kurio Nr. 122023. Netrukus, tūkstantis aštuoni šimtai aštuoniasdešimt antraisiais, amerikietis Robertas Tompsonas sugalvojo, kaip gaminti trisluoksnį gofruotąjį kartoną. 1916 metais buvo pradėtas gaminti penkiasluoksnis, o 1953 metais – 7-ių sluoksnių kartonas.

Gofruotasis kartonas – daugiasluoksnis lakštas, sudarytas iš popieriaus lapų. Būdingas tokio kartono bruožas – banguotas popieriaus lapas lakšto viduje, o išoriniai sluoksniai yra lygūs popieriaus lapai.



1 pav. Gofruotojo kartono lakšto struktūra

Dažniausiai viršutiniam ir apatiniam sluoksniams yra naudojamos geresnės kokybės popieriaus rūšys, turinčios tam tikrų savybių, reikalingų norimai produkcijos kokybei užtikrinti, pavyzdžiui, spalvai arba baltumui. Vidinis sluoksnis užtikrina reikiamą gofruotojo kartono lakšto storį, stiprumą ir masę, t. y. tuos parametrus, kurie neturi įtakos pagrindinėms spausdinimo savybėms. Todėl šio sluoksnio gamybai naudojamos pigesnės žaliavos, pavyzdžiui, makulatūra. Gofruotasis kartonas gaminamas banguotą ir lygius sluoksnius suklijuojant į vieną lakštą. Tokie lakštai gali būti klijuojami tarpusavyje – gaunami skirtingo storio kartonai. Pagal suklijuotų lapų skaičių, banguoto sluoksnio bangos aukštį ir jos žingnio ilgį, gofruotieji kartonai skirstomi į *A*, *B*, *C*, *E*, *F* ir kitus – kombinuotus – tipus. Pagrindinės rūšys pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Gofruotųjų kartonų tipai (Wendler 2006: 3)

Bangos tipas	Žingnis, mm	Aukštis, mm	Įsigėrimo koeficientas
A	8,0–9,0	4,6–4,8	1,56
B	6,0–6,5	2,4–2,7	1,37
C	7,0–8,0	3,2–3,8	1,48
E	3,0–3,6	1,0–1,8	1,28
F	~1,5	~0,7	~1,2

1.1.2. Popieriai, naudojami gofruotojo kartono gamyboje

Gofruotojo kartono gamybai naudojami įvairūs popieriai. Jie skiriasi savo gramatūromis, stiprumo rodikliais, savo sudėtimi, spalva ir kitais parametrais. Gofruotojo kartono vidinio sluoksnio popierius gaminamas iš trumpesnių „kietos“ medienos (eukaliptas, ąžuolas, beržas, klevas) masės plaušelių. Ši medžiaga yra lankstesnė, palyginti su išorinių sluoksnių popieriumi. Išoriniams sluoksniams dažniausiai naudojamas ilgaplaušis popierius, kuris gaunamas apdirbant „minkštus“ spygliuočius (eglė, kėnis, pušis). Plaušeliai gali būti balinami naudojant specialius balinančius komponentus.

Gofruotojo kartono gamybai dažniausiai naudojamos tokios popieriaus rūšys [9]:

- rudas ilgaplaušis popierius;
- baltas perdirbtas popierius;
- perdirbtas vidurinio sluoksnio – bangos popierius;
- pusiau cheminis vidurio sluoksnio – bangos popierius;
- ilgaplaušis popierius su baltu paviršiumi;
- ilgaplaušis popierius su rudu paviršiumi.

Rudas ilgaplaušis (angl. *kraftliner*) popierius yra dvisluoksnis. Viršutinis sluoksnis gaminamas iš nebalintų minkštosios medienos plaušų, o apatinis – iš nebalintų minkštosios medienos plaušų ir makulatūros. Popierius būna nuo 115 iki 430 g/m^2 gramatūros. Tipinis atsparumas plyšimui – iki 1290 kPa (pagal ISO:2758 standartą), o stiprumas tempiant – iki 7,7 kN/m (pagal ISO:9895 standartą). Toks popierius tinkamas ir bangavimui, ir spausdinimui. Dažniausiai jis naudojamas ypač tvirtų pakuočių gamybai. Taip pat pavojingoms medžiagoms pakuoti, žemės ūkio ir elektronikos gaminių pakuotėms bei pakuotėms, kurias reikia sandėliuoti šaltai [10].

Ilgaplaušis popierius baltu paviršiumi yra dvisluoksnis. Apatinis sluoksnis gaminamas iš minkštosios medienos masės, o viršutinis – iš balintosios ilgaplaušės kietosios medienos masės. Popieriaus gramatūra – nuo 115 iki 200 g/m^2 . Dažniausiai minimalus baltumas būna apie 77 % (pagal ISO:2470-1 standartą). Stiprumas tempiant – iki 4,1 kN/m , o atsparumas plyšimui – iki 920 kPa . Šis popierius naudojamas žemės ūkio, pramoninių pakuočių, ilgalaikio vartojimo prekių, maisto ir gėrimų pakuočių gamybai su spauda [11].

Perdirbto (angl. *testliner*) popieriaus sudėtis – 100 % perdirbtas pluoštas. Gaminant tokį popierių stengiamasi išlaikyti stabilų jo atspalvį, tam sukurtos specialios kontrolinės sistemos. Perdirbtas popierius gali būti naudojamas išoriniams ir vidiniams gofruotojo kartono sluoksniams, kuriems nereikia didelio stiprumo. Rudo *testlainerio* gramatūra svyruoja nuo 95 iki 220 g/m^2 . Atsparumas plyšimui paprastai siekia iki 470 kPa , o stiprumas tempiant – iki 3,4 kN/m . Popierius skirtas įvairaus maisto ir valymo priemonių pakuočių iš gofruotojo kartono gamybai [12].

Perdirbtas popierius baltu paviršiumi naudojamas maisto ir gėrimų, ilgalaikio vartojimo prekių, valymo priemonių, pavojingų krovinių ir įvairių kitų pakuočių iš gofruotojo kartono gamybai. Viršutinis popieriaus sluoksnis gaminamas iš balinto grynojo medienos pluošto arba balinto perdirbto pluošto. Apatinis sluoksnis gaminamas iš perdirbtos minkštosios medienos masės. Minimalus baltumas – nuo 62 % (remiantis ISO:2470-1 standartu). Popieriaus gramatūra svyruoja nuo 120 iki 160 g/m^2 . Atsparumas plyšimui – iki 370 kPa , o stiprumas tempiant būna iki 2,5 kN/m [13].

1.2. Dažai

Šiandien gofruotasis kartonas plačiausiai naudojamas įvairioms antrinėms pakuotėms gaminti. Norint pritraukti didesnę vartotojų dėmesį, ant pakuočių spausdinami įvairūs atspaudai. Viena populiariausių technologijų, naudojamų spausdinti ant gofruotojo kartono, yra fleksografija. Būtent gofruotasis kartonas buvo ta medžiaga, kurios spaudai pirmą kartą 1940-aisiais buvo

panaudoti fleksografiniai vandens pagrindo dažai. Tik po kelių dešimtmečių šiais dažais pradėta spausdinti ant popieriaus, o vėliau ir kitų medžiagų.

Dažai – pagrindinė poligrafinė medžiaga, skirta atvaizdui ant spausdinamosios medžiagos paviršiaus sudaryti. Fleksografiniai, kaip ir kiti spaudos dažai, yra koloidinės struktūros. Jie sudaryti iš spalvotų medžiagų (pigmento) – kietos dispersinės fazės, ir rišančių medžiagų (rišiklio) – skystos dispersinės fazės (Buika 2007: 1). Be to, yra naudojami priedai, reguliuojantys klampumą, lipnumą, užtvirtinimo greitį ir kitas dažų savybes.

Dažų sudėtis labiausiai priklauso nuo pasirinktos spausdinamosios medžiagos, spausdinimo sąlygų ir galutinio produkto paskirties. Tipinė dažų sudėtis:

- 1) 4–20 % – pigmentas,
- 2) 10–30 % – rišiklis,
- 3) 40–60 % – tirpiklis,
- 4) 2–10 % – priedai.

Pigmentai – smulkiadispersiniai juodi, balti arba kitokių spalvų milteliai, netirpūs vandenyje, aliejuje ir organiniuose tirpikliuose. Jie spaudos dažams suteikia optines ir kai kurias fizikines savybes (Buika 2007: 1). Jie gali būti organiniai ir neorganiniai.

Pigmentams keliami pagrindiniai reikalavimai:

- turi išlaikyti tam tikrą spalvos charakteristiką (ryškumą, sodrumą), pasižymėti dideliu spalviniu intensyvumu;
- jų dalelės turi būti didelio dispersiškumo laipsnio ir minkštos, kad susidarytų glotnus atspaudos paviršius ir nenusidėvėtų spausdinimo formos;
- turi išlaikyti spalvos charakteristikas esant šviesos poveikiui;
- turi sudaryti su riškiais skaidrius arba dengiančius dažus;
- turi pasižymėti nedideliu aliejaus imlumu, kas leistų padidinti koncentraciją, kad būtų gautas didesnis spalvos intensyvumas;
- turi būti atsparūs vandens, aliejaus, alkoholio, rūgštiniam, šarminiam poveikiui;
- gerai vilgytis riškiais, kas palengvina tolygų pigmentų pasiskirstymą dažų kompozicijoje;
- turi būti nekenksmingi žmogui ir aplinkai (Buika 2007:1).

Pigmento dispersiškumas suteikia dispersijos stabilumą, pigmentai tolygiai pasiskirsto riškelyje, pagerina spausdinančias dažų savybes, turi įtakos intensyvumui. Pigmento polidisersiškumas yra dalelių pasiskirstymas pagal dydį. Pigmentai turi išsaugoti optines charakteristikas bei pastovią sudėtį veikiant šviesai. Atsparumas šviesai – rodiklis, turintis didelę reikšmę poligrafijos produkcijos, kurią ilgai veikia šviesa, tarnavimo trukmei ir priklauso nuo pigmento cheminės prigimties bei struktūros. Spalvinių charakteristikų pasikeitimas šviesos

poveikyje vadinamas fototropija. Fototropiniai pokyčiai yra sukeliami trumpabangės ir ultravioletinės (UV) šviesos, todėl pigmentų atsparumas šviesai labiausiai priklauso nuo jų atspindžio gebos. Jeigu pigmentas gerai atspindi UV srityje, jis yra atsparus šviesai (Buika 2007:2).

Dažikliai – tai sausų, dažančių miltelių pavidalo organiniai junginiai. Nuo pigmentų skiriasi tuo, kad tirpsta vandenyje, o kartais ir organiniuose tirpikliuose, aliejuose, ir pasidaro sodrūs spalvoti tirpalai (Berezinas 1989)

Rišikliai – skysta dažų fazė. Tai dervos ir įvairūs tirpikliai (Buika 2007: 1). Jie, kartu su naudojamais priedais, dažams suteikia įvairių spausdinimo savybių: gebėjimą pasiskleisti plonu lygiu sluoksniu, padengti spausdinimo formą, pereiti nuo formos ant spausdinamo paviršiaus ir išlikti ant jo.

Tirpikliai reikalingi dažams iki reikiamos klampos atskiesti. Svarbiausios tirpiklių savybės yra gebėjimas tirpinti, klampumas ir lakumas. Tirpiklių gebėjimas tirpinti sąlygoja plėvelės sudarančių medžiagų tirpalų termodinaminį stabilumą. Įvairioms plėvelės sudarančioms medžiagoms tirpinti naudojami skirtingi tirpikliai: esteriai, alkoholiai, angliavandeniliai ir kt. Skirtingas gebėjimas tirpinti panaudojamas kombinuojant gerus ir blogus tirpiklius. Tirpiklio klampa turi įtakos riškio klampai, o per ją ir dažų klampumui. Dažų užtvirtinimas įsigeriant tirpikliui vyksta žymiai greičiau, kai tirpiklis yra mažai klampus – atsiskirdamas iš dažų greitai įsigeria į popierių. Tirpiklio lakumas yra svarbus dažų prikibimui ant paviršiaus, kai išgarinamas tirpiklis. Tačiau per didelis tirpiklio lakumas komplikuoja spausdinimo procesą, nes dažai pradeda tirštėti dažų aparate. Tirpikliai, ypač lakūs, turi būti nekenksmingi ir nepavojingi. Pats nepavojingiausias tirpiklis yra vanduo, bet spaudos dažų gamybai jo naudojimas yra ribotas dėl blogos dažų plėvelės kokybės, sunku parinkti plėvelės sudarančias medžiagas. Organiniai tirpikliai yra degūs, daugelis jų sprogūs, skleidžiantys nemalonų kvapą, kai kurie iš jų nuodingi. Spaudos dažams gaminti naudojami mažiausiai kenksmingi tirpikliai. Pagrindiniai tirpikliai įprastinėms plėvelės sudarančioms medžiagoms yra augaliniai aliejai ir mineralinės alyvos. Jie yra nelakūs, užtikrina spaudos dažų sudėties ir savybių stabilumą. Kadangi yra mažos klamos, palyginti su dažų klampumu, jie greitai įsigeria į popierių.

Būtiną spaudos dažų komponentą – plėvėdarys. Tai plėvelę sudaranti polimerinė medžiaga. Spaudos dažams naudojami įvairūs plėvėdariai, o jų pasirinkimą daugiausiai nulemia kaina, pigmentų dispergavimo geba, atspaudos savybės, tinkamumas spausdinimo procesui, sukibimas su spausdinamąja medžiaga, džiovimo sąlygos. Plėvėdariai turi būti nedidelio molekulinio svorio polimerai ($1000 \div 3000$), kad gerai tirptų ir būtų galima gauti didelės koncentracijos, bet mažos klamos tirpalus (Buika 2007: 38). Tačiau apskritai pasirinkimą daugiausiai lemia spaudos būdas, kuriame bus naudojami šie dažai.

1.2.1. Dažams keliami reikalavimai

Dažai turi būti lengvai perkeliama ant spausdinamosios medžiagos. Jie turi išdžiūti ir turi būti džiovunami. Dažai įsigeria fizikinio (įsigėrimas, garavimas) arba cheminio (oksidacija, džiovinimas radiacija) proceso metu. Gali būti naudojamas ir kombinuotas džiovinimas. Be to dažai turi turėti geras adhezinės savybės.

Pagrindiniai reikalavimai spausdinimo dažams:

- dažai turi būti intensyvūs, 3–6 spalvų spausdinimui skaidrūs, o kitoms rūšims gali būti dengiantys;
- dažai turi būti atsparūs šviesos, vandens, spirito, šarmų, rūgščių, lakų, aliejų poveikiui po spausdinimo ir fiksavimo;
- pigmentas turi būti gerai stabilizuotas, kad spausdinant dažų savybės nesikeistų;
- lipnumas, t. y. dažų adhezinių, kohezinių bei reologinių savybių derinys, turi būti toks, kad adhezija (prilipimas) visada būtų didesnė už koheziją;
- dažų ištrynimo laipsnis turi būti toks, kad, nuėmus viršutinį dažų sluoksnį špateliu, likęs paviršius blizgėtų;
- dažai turi užsifikuoti ant spausdinamosios medžiagos tokiomis sąlygomis, kurios yra konkrečioje spausdinimo mašinoje;
- garantijos laikotarpiu ir dar ilgai jam pasibaigus (2 – 3 metus) dažai neturi gumuotis;
- spaustuviniai dažai turi būti nekenksmingi ir ekologiškai švarūs, t. y. nekenkti žmogaus sveikatai ir aplinkai;
- dažų klampumas turi atitikti spausdinimo greitį ir spausdinimo formos pobūdį;
- mažiausiai turi pasireikšti tiksotropinės savybės (sistemos savybės sudaryti struktūrą);
- savaiminis dažų klampumo padidėjimas ramybės būsenoje trukdo paleisti spaudos mašiną ir gali būti dažų sukimosi mašinos dažų dėžėje priežastis;
- spausdinimo metu dažai neturi dulkėti;
- dažai negali turėti aštraus ir nemalonaus kvapo (Giraitytė 2014, Sidaravičius 2005).

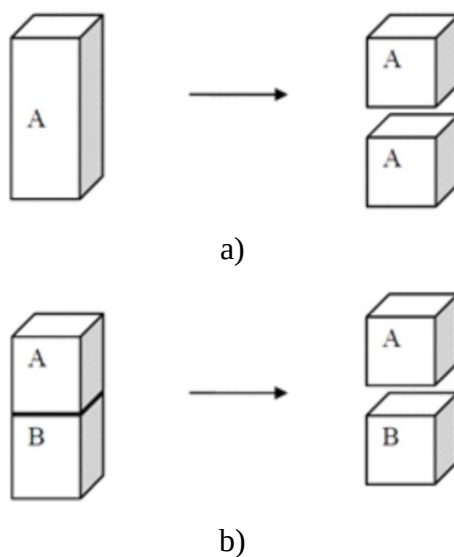
1.3. Popieriaus ir dažų sąveika

Popieriaus ir dažų sąveika prasideda dažų perkėlimu nuo spaudos formos ant spausdinamosios medžiagos, t. y. atspaudos sudarymu, ir baigiasi dažų užtvirtinimu. Šiai sąveikai daugiausiai įtakos turi skysčių vilgymas, jų įgeriamumas, specifinė sąveika su vandeniu. Vilgymas

dažais, jų prikibimas prie popieriaus ar kitos medžiagos priklauso nuo jos paviršiaus reljefo ir spaudos formos spaudimo į tą paviršių. Būtent paviršių reljefai bei spaudos dažų sudėtis turi didžiausią lemia dažų pernešimą.

Skysčio pasiskirstymas kietame paviršiuje – fizikinis reiškinys, priklausantis nuo to paviršiaus šiurkštumo bei sudėties ir naudojamo skysčio gebos vilgyti (Dedijer 2012: 25). Didelę reikšmę čia turi dažų paviršiaus jėgos, nes jos susijusios su paviršiaus įtemptimi. Kai dažai susiliečia su spausdinamosios medžiagos paviršiumi, stiprumo jėgos, veikiančios tarp jų, lemia tai, kas įvyksta toje sąsajoje: vilgomumą arba nevilgomumą, dažų sklidimą arba nesklidimą. Paviršiaus suvilgymas ir dažų prikibimas prie spausdinamosios medžiagos paviršiaus yra priklausomi nuo tos medžiagos paviršiuje veikiančių jėgų ir dažų paviršiaus įtempties.

Paviršiaus įtemptis gali būti paaiškinama dviem procesais: kohezija ir adhezija (Johnson 2008: 60). Skysčių molekulių jungimasis tarpusavyje – kohezija (molekulės susikibusios dėl tarp jų veikiančių kohezinių jėgų), o sąveika su kitais junginiais – adhezija (molekulės yra polinės – turi teigiamą ir neigiamus polius, todėl prilimpa prie įvairių paviršių).



2 pav. Skysčių molekulių sąveika: a) kohezijos darbas, b) adhezijos darbas (Johnson 2008: 60)

2 paveiksle pavaizduoti stulpeliai – skysčio skerspjūvių vienetai simbolizuojantys šiuos procesus. Kiekvienas iš jų yra masės vienetas begaliniam skysčio tūryje (Johnson 2008: 60). Kohezijos metu atliktas darbas yra lygus darbui, atliktam traukiant (spaudžiant) vieną molekulę prie kitos:

$$W_{AA} = 2\gamma_A \quad (1)$$

kur γ – skysčio paviršiaus įtemptis.

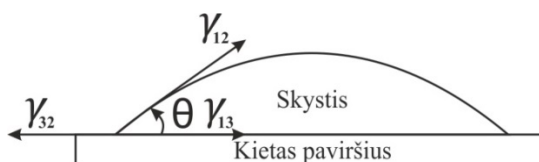
Adhezijos (dviejų nesimaišančių skysčių atsiskyrimo) metu atliktas darbas – darbas atliktas atsiskiriant dviem fazėms (veikia tempimo jėgos):

$$W_{AB} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} \quad (2)$$

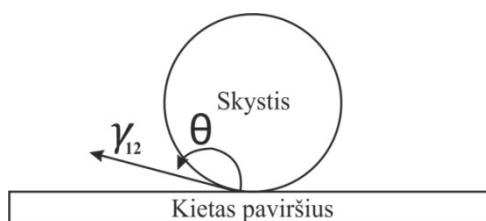
Nagrinėjant skysčių ir kietų paviršių sąveiką, adhezijos darbas apibrėžiamas kaip grįžtamasis darbas, atliktas plotų vienetų atsiskyrimo ir susidarant *kieta fazė – oras* bei *skysta fazė – oras* plotų vienetams. Darbas išreiškiamas ankščiau aprašyta Duprė lygtimi (2), kuri jungiama su Youngo išraiška (Rentzhog 2014: 15):

$$W_A = \gamma_B(1 + \cos\theta) \quad (3)$$

Didžioji dalis dažų molekulių yra veikiamos traukos jėgų visomis kryptimis, tuo tarpu, molekulės, esančios aukščiau paviršiaus (tarp kietos medžiagos ir skysčio), labiau pasiskirsčiusios, todėl turi didesnę energiją. Paviršiaus įtempis kyla iš jėgų, veikiančių molekules, pusiausvyros disbalanso (Rentzhog 2014: 15). Molekulei judant iš dažų paviršiaus padidėja jos vidinė energija, t. y. atliekamas darbas. Tam kad skysčio lašelis pasklistų ant kieto paviršiaus, jo energija turi padidėti.



a)



b)

3 pav. Skysčio lašelio sąveika su kietu paviršiumi (kontaktinis kampas ir jėgos, veikiančios trijų fazių susikirtimo linijoje): a) vilgymas, b) nevilgymas

Paviršius yra vilgomas kai adhezinės jėgos didesnės už kohezines – skystis pasklinda paviršiumi. Vilgymo laipsnį galima įvertinti pusiausvyrinio vilgymo kampu. Jis apskaičiuojamas iš paviršiaus įtempčių santykių trijų fazių riboje: *skystis – oras, kieta fazė – oras, skystis – kieta fazė* (Buika 2007: 21):

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{23} - \gamma_{13}}{\gamma_{12}} \quad (4)$$

Energija (adhezija), reikalinga norint nutraukti *kietos ir skystos fazių sąlytį*:

$$E = \gamma_{12} + \gamma_{23} - \gamma_{13} \quad (5)$$

Taigi:

$$\cos\theta = \frac{E - \gamma_{12}}{\gamma_{12}} \quad (6)$$

Kai kontaktinis kampas (dar vadinamas vilgymo kampu) $E \geq 2\gamma_{12}$, $\cos\theta = 0$, tai $\theta = 0$ – pilnas vilgymas, kai $E > \gamma_{12}$, $\cos\theta > 0$, tai $\theta < \pi/2$ – vilgymas, o kai $E < \gamma_{12}$, $\cos\theta < 0$, tai $\theta \geq \pi/2$ – nevilgymas.

Prognozuojant skysčio lašelio sklidimą kietos medžiagos paviršiumi galima atsižvelgti į sklidimo koeficientą [16]:

$$S = \gamma_{sv} - (\gamma_{sl} + \gamma_{lv}) \quad (7)$$

Kai $S \geq 0$, tai plitimo procesas yra betarpiškas, o jo rezultatas – lašelis pasiskirsto plonu sluoksniu kietame paviršiuje. Kai $S < 0$ – skysčio lašelis liečiasi su kietu paviršiumi, sudarydamas kampą θ ir išlaikydamas savo formą. Keičiant vieną ar keletą paviršiuje veikiančių jėgų, galima valdyti sistemą, pasiekiant reikiamas vilgymo savybes (Rentzhog 2014: 15).

1.3.1. Skysčio absorbciją į porėtą medžiagą

Skysčio absorbcija porėtoje medžiagoje yra vienas svarbiausių procesų popieriaus gamyboje bei spausdinime. Jis priklauso nuo naudojamų medžiagų savybių: dažų klampumo,

rišamosios medžiagos ir spausdinamosios medžiagos pagrindo sugėrimo talpos. Įgertis turi įtakos darbo galutiniams rezultatams ir, savaime suprantama, spaudos kokybei.

Poligrafijoje, norint geriau suprasti, skysčių įgerties į popierių ar kitas porėtas medžiagas mechanizmą, reikia žinoti spausdinimo ir kokybės kontrolės procesus, įskaitant medžiagų paruošimą spausdinimui bei galutinio atspaudos kokybę. Absorbcijos mechanizmas – ne tik komercinė vertė, bet ir sąlyginai susijusi su aplinkosaugos klausimais. T.y. naudojamų dažų pasirinkimu – pagaminti vandens ar tirpiklinio pagrindo. Vandens pagrindu pagaminti dažai mažiau kenksmingi aplinkai, tačiau spausdinimo kokybė neatitinka tos, kuri pasiekama tirpiklinio pagrindo dažais (Rioux 2003: 1).

Dažų skverbimasis į spausdinamąjį pagrindą priklauso nuo įgerties greičio, kadangi dažų komponentai pradeda skverbtis tuomet, kai spausdinimo dažai susiliečia su spausdinamuoju paviršiumi, ir tik pasiekus tam tikrą greitį jie įsiskverbia į popieriaus kapiliarus. Naudojamos spausdinamosios medžiagos poringumas ir paviršiaus suvilgymo geba lemia absorbcijos greitį. Poringumas apibūdinamas porų skaičiumi ir vidutiniu porų skersmeniu (Giraitytė 2014). Naudojamos spausdinamosios medžiagos įgeriamumo talpa turi įtakos dažų rišamosios medžiagos sunaudojimo kiekiui. Be to, kuo didesnė dažų klampa, tuo mažesnis absorbcijos greitis.

Skysčių įsiskverbimas į porėtas medžiagas yra kapiliarinio tekėjimo (angl. *capillary – driven flow*) procesas (Rioux 2003: 1). Idealiai porėtos medžiagos, kai cilindrinės formos vertikalios poros medžiagoje pasiskirstę lygiagrečiai (4 pav.), kapiliarinis slėgis veikiantis poras ir stumiantis skystį į jas yra išreiškiamas Youngo – Laplaso lygtimi:

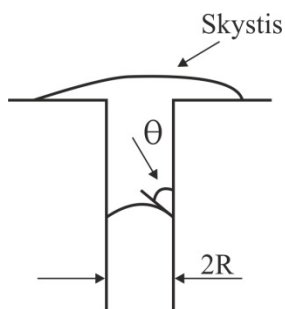
$$\Delta P = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{R} \quad (8)$$

kur ΔP – kapiliarinis slėgis,

γ – skysčio paviršiaus įtempis,

R – poros spindulys,

θ – kontaktinis kampas tarp skysčio ir vidinės poros sienelės.



4 pav. Kapiliarinis tekėjimas vienoje popieriaus poroje

Darcy dėsnis apibrėžia homogeninių skysčių laminarinį tekėjimą homogeninėse (vienarūšėse) porėtose medžiagose:

$$\frac{Q}{A} = v = \frac{K \cdot \Delta P_i}{\mu \cdot L} \quad (9)$$

kur Q – skysčio debitas per medžiagą,

A – medžiagos plotas,

v – vidutinis skysčio greitis,

K – Darcy koeficientas,

ΔP_i – slėgių sumos vidurkis,

L – skysčio įsiskverbimo į medžiagą gylis/aukštis,

p – skysčio klampumas.

Tėkmė cilindro viduje apskaičiuojama pagal Hageno – Poiseuille'io formulę:

$$Q = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \mu \cdot L} \quad (10)$$

Kur Q yra tūrinis skysčio srautas kapiliare, L su debitu susijęs taip:

$$Q = \pi R^2 \cdot \frac{dL}{dt} \quad (11)$$

kur t – skverbimosi laikas.

Sujungus ir integravus formules (1) ir (4) gaunama Lucaso – Washburno išraiška:

$$L = \sqrt{\frac{R \cdot \gamma \cdot \cos \theta \cdot t}{2 \cdot \mu}} \quad (12)$$

Jei porų skaičius ploto vienetu N_p yra žinomas, tuomet laisvųjų dalelių skaičius yra:

$$\varepsilon = N_p \cdot \pi R^2 \quad (13)$$

Visas skysčio tūris absorbuojamas ploto vienetu yra:

$$TLV = N_p \cdot \pi R^2 \cdot L = \varepsilon \sqrt{\frac{R \cdot \gamma \cdot \cos\theta \cdot t}{2 \cdot \mu}} \quad (14)$$

Formulė (14) – Lucaso – Washburno lygtis išreikšta pagal laisvųjų dalelių skaičių (angl. *void fraction*).

1.3.2. Kapiliarinis tekėjimas ir Lucaso – Washburno lygties naudojimas

Atlikta daug bandymų ir stebėjimų, paaiškinančių skysčių tekėjimą popieriuje. Didelė jų dalis remiasi Lucaso – Washburno lygtimi, kuri apibrėžia, kad laikas t , reikalingas skysčio įsigėrimui į medžiagos ilgį l , yra proporcingas skysčio klampumui ir atvirkštinei šio ilgio energijai (angl. *the secont power of this lenght*). Įgerties laikas mažėja didėjant kapiliaro spinduliui r , besiskverbiančio skysčio paviršiaus įtempčiai γ ir klampumui μ (Roberts 2004).

Price'as 1953-aisiais įrodė, kad skysčių absorbcija popieriuje vyksta dvejomis stadijomis: pirmiausia skystis greitai įsiskverbia į kapiliarus, po to lėtai įsigeria į medžiagos plaušelius.

Bristow'as apžvelgdamas adheziją nurodė, kad popieriaus struktūra – tarplaušinis kapiliarinis tinklelis. Jis aprašė skysčių įgertį remdamasis kapiliariniu tekėjimu, kurį sužadina gravitacinės jėgos, kapiliarinės (paviršiaus įtempties) jėgos ir iš išorės veikiantis slėgis.

Bristow'as 1961 metais vertino Washburno lygties trūkumus. Tiesioginės koreliacijos tarp įsigėrimo koeficiento ir kapiliaro spindulio ryšys yra sudėtingas: a) medžiagos poringumas lemia pradinį vilgymą, b) kapiliarų spinduliai skiriasi dėl celiuliozės išbrinkimo charakteristikų, c) porų dydžių pasiskirstymas medžiagoje yra aiškinamas vieno spindulio reikšme. Jis aiškinosi, ar verta atsižvelgti į difuzijos ir kitus procesus veikiančius skystį.

Vėliau Brechtas pripažino, kad prielaidos, supaprastinančios absorbcijos vertinimą, pavyzdžiui, poros skersmuo, apskritos poros skerspjuvis, poros ilgis – vienodi visame popieriaus storyje, „susilpnino“ Lucaso – Washburno sukurto įsigėrimo modelio taikymą. Mokslininkai neatsižvelgė į medžiagos pluošto pabrinkimą, kurį sukelia vanduo arba vandens garai. Brecht'as ir Bristow'as teigė, kad Lucaso – Washburno lygtis tinkamai aprašo tik aliejinio pagrindo medžiagų įgertį į popierių, nes vienintelis būdas joms įsiskverbti į popierių – kapiliarinis tekėjimas porose.

Verhoeffas 1963-aisiais išnagrinėjo skysčių absorbciją į nehidrofobiškus popieriaus lapus ir darė išvadą, kad yra du būdai įsiskverbimui įvykti: kapiliarinis tekėjimas porose arba absorbcija, kai difuzinis įsigėrimas plaušeliais vyksta kartu su kapiliariniu tekėjimu (Roberts 2004). Hidrofobiškuose popieriaus lapuose difuzinis tekėjimas buvo greitesnis už kapiliarinį tekėjimą. Tai reiškė, kad reikia atkreipti dėmesį į popieriaus struktūrą ir įvertinti skysčių absorbciją.

Van den Akkeris ir Winkas manė, kad popieriaus vaizdavimas, kaip apskritų kapiliarinių vamzdelių pluoštas, Lucaso – Washburno teorijoje labai skiriasi nuo realios popieriaus porų struktūros. Tai taip pat reiškė, kad kontaktinis kampas nebuvo tinkamas vandens pasipriešinimo rodiklis, nes porų paviršius ir šiurkštaus popieriaus paviršius turi pastebimą įtaką kontaktiniam kampui ir, žinoma, Lucas – Washburn lygčiai (Roberts 2004).

Hoylandas teigė, kad pagrindiniai Lucaso – Washburno teorijos trūkumai yra tai, jog poros nėra ploni kapiliarai ir nebuvo atsižvelgta į plaušelių brinkimo priežastis. Anot jų, brinkimas gali vykti dėl: a) skysčio įsigėrimo į poras dėl kapiliarinio judėjimo, b) skysčio judėjimo porose dėl paviršiaus difuzijos, c) skysčio judėjimo plaušeliuose dėl įvairių procesų, d) oro judėjimo porose. Buvo padaryta prielaida, kad skysčiui suvilgius popieriaus lapo paviršių, jis absorbuojamas į plaušelius, o įgerties į poras metu, veikia jas išilgai.

Oliveris ir Masonas 1976 metais įrodė, kad skysčio, patekusio ant popieriaus, dėmės kontūrai nėra absoliučiai taisyklingos formos ir sklisdami paviršiuje slopsta artėdami į jos kraštelius. Tai reiškė, kad medžiagos paviršiaus plaušelių morfologija įtakoja skysčio plitimą jame ir skysčio absorbciją.

Vėliau Hoylandas aprašė sudėtingą popieriaus struktūrą ir netolygų porų tūrio pasiskirstymą medžiagos lape. Jis peržiūrėjo kapiliarinio tekėjimo popieriuje modelį, kuris tuo metu buvo ribojamas tikslios popieriaus porų geometrinės struktūros aprašymo stygiumi. Hoylandas nustatė, kad pradinio greito įsigėrimo metu, maži plaušeliai pabrinksta ir „užima“ didesnę medžiagos tūrį, tačiau, mažėjant įgerties koeficientui padidėja popieriaus lapo storis (Roberts 2004).. Šie tyrimai leido įvertinti Lucaso – Washburno lygties netikslumus.

Vėliau Winspearis tyrė Lucaso – Washburno lygties pritaikymą skysčių, kurie nebrinksta, ir vandeninių skysčių brinkinančių celiuliozė, absorbcijai. Jis padarė išvadą, kad lygtis teisingai aprašo tik tų skysčių, kurie nelinkę „pabrinkti“, įgertį ir paneigė lygties taikymą skysčiams, kurie brinkina celiuliozė.

Nguyenas ir Durso 1983-aisiais pareiškė, jog kai plaušelių tinklas yra porėta, tarpusavyje sujungtų įvairių dydžių porų, medžiaga, tai skysčio įsigėrimo procesas yra greičiau difuzinis tekėjimas, o ne procesas apibrėžiamas skysčio tekėjimu kapiliarais. Jie manė, kad pašalinus skysčio šaltinį kapiliarinis tekėjimas sustoja.

Bristow'as 1986 metais nurodė, kad net jei Lucaso – Washburno lygties kvadratinės šaknies santykis buvo geras bandymas priartėti prie tikslesnių nebrinkstančių aliejinių medžiagų absorbcijos popieriuje rezultatų, tai panašus linijinis ryšys buvo dažnai gaunamas tiriant vandens pagrindo ir kitų brinkstančių medžiagų absorbciją, kai bandymų metu buvo taikoma bendroji Lucaso – Washburno lygtį. Bristow'as manė, kad neteisingai interpretuojamas ryšys tarp $t^{\frac{1}{2}}$, nebuvo pakankamai įrodymų, pateisinančių prielaidą, kad skysčio tėkmė ir kapiliarinis tekėjimas

buvo fiziškai susiję mechanizmai. To priežastis – vandens absorbcija į medžiagos plaušelius įvyksta per sudėtinis difuzinius procesus: garų fazės difuzija porose, paviršiaus difuzija išilgai plaušeliams. Be to, difuzija neabejotinai priklauso nuo medžiagą sudarančio tinklelio struktūros. Riba, apibrėžianti dviejų tipų skysčių įsisavinimą, įsigėrimą porose ir įsigėrimą plaušeliuose, nebuvo griežtai apibrėžta pagal popieriaus struktūrą ar plaušelių morfologiją (Roberts 2004). Iš vienos pusės – tai paprastas kapiliarinis skysčio porose tekėjimas tarp ir per plaušelius, o iš kitos – tai sąveika tarp skysčio ir pluošto, iš esmės, įsigėrimas į plaušelių „sieną“ ir difuzija celiuliozėje.

Eklundas ir Salminenai tyrė vandens absorbciją iš viršutinio (angl. *coating*) sluoksnio į popieriaus gylį trumpais laiko intervalais. Lucaso – Washburno lygtis tinkamai neapibrėžė jų bandymo rezultatų ir kitų tyrėjų padarytų išvadų (Bristow, 1967; Lyne ir Aspler, 1982; Aspler ir kitų, 1984). Jie padarė išvadą, kad vandeninių medžiagų įsigėrimas į popierių trumpais laiko intervalais labiausiai priklauso nuo vyraujančio slėgio. Buvo suprata, kad tarp kapiliarinis judėjimas (angl. *capillary migration*), kai slėgis lygus nuliui, priklauso nuo temperatūros. Taip pat, kad pradinis vandens „išėjimo“ žingsnis neslegiamoje sistemoje yra garų fazė. Eklundas ir Salminenai pareiškė, kad tai įvyksta dėl temperatūrinio poveikio, kuris keičia skysčio klampumą ir paviršiaus įtempį (Roberts 2004). Lepoutre'as patvirtino, kad vandens absorbcija popieriuje trumpais laiko intervalais greičiau padidėja veikiant temperatūrai.

Eklundas ir Salminenai taip pat nustatė, kad pabrinkimas (dėl pluošto įsigėrimo) gali kisti keičiantis poros spindulio r reikšmei, atsižvelgiant į tai turėtų keistis Lucaso – Washburno lygtis. Jie įrodė, kad net visiškai prisotintame (įmirkusiame) popieriuje yra oro. Washburnas darė prielaidą, kad kapiliarų sistema yra atvira, o jos galai sujungti. Vadinasi, slėgis prarandamas dėl oro, esančio popieriuje, kuris nėra sistemos dalis. Tačiau Eklundas ir Salminenai rėmėsi prielaida, kad tik labai maža dalis porų yra sujungtos iš abiejų pusių. Autoriai padarė išvadą: „Slėgio pasipriešinimas, sukeltas suspausto oro, yra toks dydis kaip vandens įsigėrimas mechanizme, kurį veikia žemas slėgis“ (Roberts 2004).

Chenas ir Scrivenas 1990 metais patvirtino, kad suspausto oro slėgio pasipriešinimas lemia skysčių absorbciją popieriuje labiau, palyginti su absorbcija plaušeliuose.

Salminenai 1988-aisiais sakė, kad klasikinis Lucaso – Washburno modelis nepakankamai aprašo vandens pernešimą į popieriaus porų sistemą dėl trijų priežasčių:

- 1) Laiko ir greičio priklausomybės nuo dinaminio kapiliarinio slėgio: a) įsigėrimo greičio padarinys – struktūros didėjimas, b) sąveika tarp vandens (garų fazės) molekulių ir plaušelių bei kapiliarų. Dinaminis kapiliarinis slėgis nėra pastovus, bet priklauso nuo skysčio pernešimo greičio ir kontaktinio laiko tarp popieriaus ir skysčio.

- 2) Slėgio pasipriešinimo, kurį sukelia oras, esantis pačiame popieriuje.

- 3) Plaušelių padidėjimo ir įgerties (pabrinkimo).

Salminen nustatė, kad difuzija yra vienas svarbiausių pernešimo mechanizmų hidrofobiškame popieriuje. Kitas svarbus trūkumas Lucaso – Washburno modelyje – sudėtinga porų geometrija ir trūkiai, esantys porų struktūroje.

Vėliau Lyne'as padalijo skysčio – popieriaus sąveiką į kelias fazes: a) dinaminis drėkinimas ir pasiskleidimas, b) kapiliarinis įsigėrimas, c) slėgio sukeltas įsigėrimas, d) difuzija plaušeliuose ir pabrinkimas (Roberts 2004). Buvo daroma prielaida, kad pirmieji etapai įvyksta greičiau, o antrieji per ilgesnį laiką.

Asplėris 1993-aisiais aprašė dažų absorbciją ir sklaidimą popieriuje. Jo nuomone, Lucaso – Washburno lygtis turi kelis trūkumus:

1) Paprastų tirpiklinių ir aliejinių medžiagų įsigėrimo matavimo modelis nebuvo patikimas matavimuose, kuriuose naudojamas nedidelis kiekis pigmentinių dažų.

2) Vienodai lygiagrečių kapiliarų medžiagos struktūros prielaida nebuvo artima tikrajai popieriaus struktūrai.

3) Skysčio klampumas neišlieka vienodas viso eksperimento metu.

4) Nei vieno dažų paviršiaus įtempis tinkamai neapibrėžta.

Marmuras ir Cohenas 1997 metais tyrė skysčio kilimą filtravimo popieriuje. Tik kapiliarinis modelis ir Lucaso – Washburno lygtis tinkamai apibūdino jų gautus rezultatus. Tyrėjų nuomone, kontaktinio kampo kosinusas buvo tolimas ankstesniuose tyrimuose gautiems dydžiams. Kontaktinis kampas, tai ne kampas tarp skysčio ir medžiagos pluošto, o egzistuoja cilindrinės formos kapiliaruose ir yra ekvivalentus anksčiau tirtų porėtų medžiagų kontaktiniams kampams (Roberts 2004).

Kornevas ir Neimarkas sakė, kad neegzistuoja teorija, leidžianti kiekybiškai prognozuoti pirmąjį savaiminės įgerties ir vilgymo etapą absorbcijos procese. Jie padarė išvadą, kad Lucaso – Washburno lygtis tinkamai aprašo skysčių klampumą ir patekimą į kapiliarinius bei porėtus kūnus, bet blogai – pradinę absorbcijos stadiją. Kornevas ir Neimarkas ištyrė kelis skysčių savaiminio įsigėrimo į popierių režimus, kurie aprašomi skirtingais pradiniais pernešimo greičiais.

1.4. Absorbcijos trumpais laiko intervalais matavimai

Vandens pagrindo medžiagų įsigėrimas į popierių dažniausiai įvertinamas naudojant *Cobb* metodą. Kai kuriais atvejais, tai puikus bandymas, leidžiantis gauti tikslius ir atkuriamus rezultatus, tačiau – turi ir trūkumų. Įprastas vienos minutės bandymo laikas yra tiesiogiai proporcingas vienai sekunde, kuri gaunama gamybos metu. *Cobb* tyrimas gali būti atliekamas per trumpesnį laiką nei paprastai nurodoma specifikacijoje – 10 sekundžių praktikoje naudojama riba.

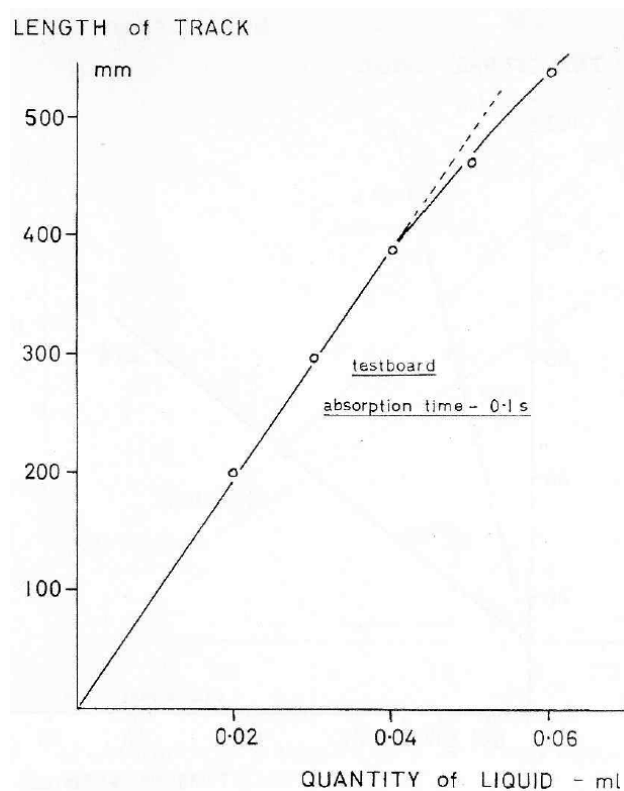
Vieną iš absorbcijos trumpais laiko intervalais tyrimo būdų aprašė Winkas ir Van den Akkeris 1975-aisiais. Žinomas kiekis skysčio užnešamas ant gumuoto velenėlio tarp popieriaus lapo ir stiklo plokštelės. Gautas išplitimo plotas nustatomas planimetriškai (angl. *planimetrically*). Popieriaus šiurkštumas daro įtaką bandymui, tačiau, buvo išsiaiškinta, jog ta įtaka gali būti pašalinta matavimus atliekant skirtingais greičiais. Dėl šios priežasties bandymas tinkamas pralaidumo ir šiurkštumo matavimams. Tyrimams analizuoti buvo naudojami sudėtingi integraliniai skaičiavimai. Vėliau Bromley supaprastino matematinius veiksmus, naudodamas bedimensius vienetus (Bristow 1967: 623-629).

Sweermanas sukūrė įrenginį, kurio pagrindinė konstrukcinė dalis – didelis ratlankio formos ratas. Ant jo tvirtinama popieriaus juostelė, kuri dažoma sukantis ratui. Dažai ant bandinio patenka iš rezervuaro, turinčio mažą plyšelį. Rezervuaras spaudžiamas prie popieriaus – susidaręs slėgis užtikrina, kad dažai įsigeria veikiami kapiliarinių jėgų. Šis įrengimas leido įvertinti popieriaus šiurkštumą (Bristow 1967: 623-629). Hawkesas ir Bedfordas tobulindami bandymo procesą, popierių dėjo ant plokščio pagrindo. Žinomas kiekis skysčio buvo pilamas į talpyklą, kuri judėjo žinomu greičiu. Iš jos skystis patekdavo ant popieriaus ir palikdavo takelio formos dėmes. Buvo matuojami gautų dėmių ilgiai, apskaičiuojami įgeriamumo koeficientai, kai dažai užnešami skirtingais greičiais ant įvairaus šiurkštumo medžiagų.

Bristow'as patobulino anksčiau sukurtų bandymų įrenginius – sukūrė prietaisą, kurio konstrukcijoje esantis rezervuaras skysčiui yra stabilus viso eksperimento metu. Bandymai gali būti atliekami skirtingais greičiais ir leidžia įvertinti skysčių absorbciją bei įvairių rūšių popierių šiurkštumo vertę.

1.4.1. Skysčio kiekio poveikis bandymų rezultatams

Bristow'as, siekdamas patvirtinti šiurkštumo ir įgeriamumo koeficientų reikšmes, nepriklausomas nuo naudojamų skysčių kiekių, atliko daugybę bandymų. Esant tokiai nepriklausomybei, skysčio pėdsako, užnešto ant bandinio, ilgis, gautas atsižvelgiant į greičius, yra tiesiogiai proporcingas naudotam skysčio kiekiui (Bristow 1967: 623-629). Rezultatai, parodyti 5 paveiksle.

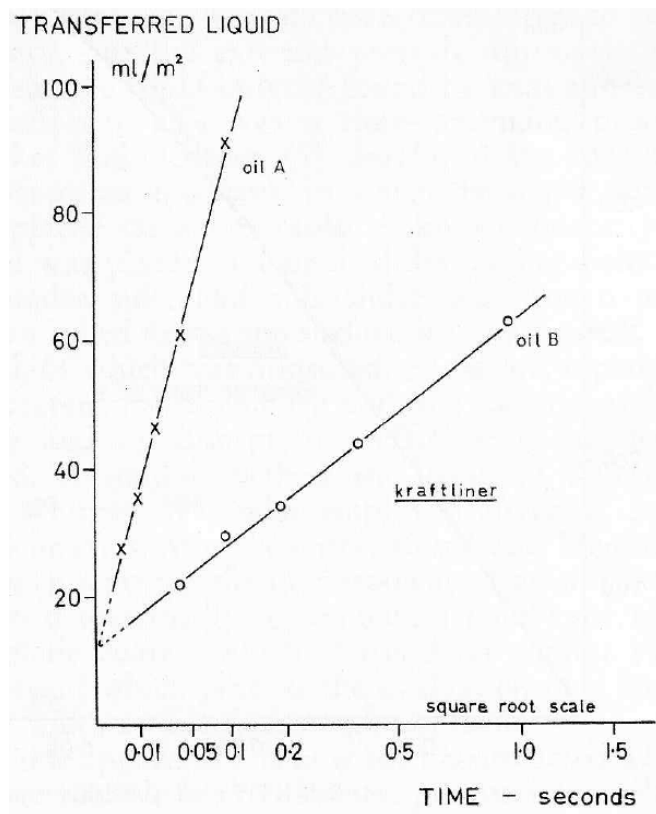


5 pav. Dažų „takelio“ ilgis, ant bandinio paviršiaus užteptas bandymą atliekant skirtingais greičiais (Bristow 1967)

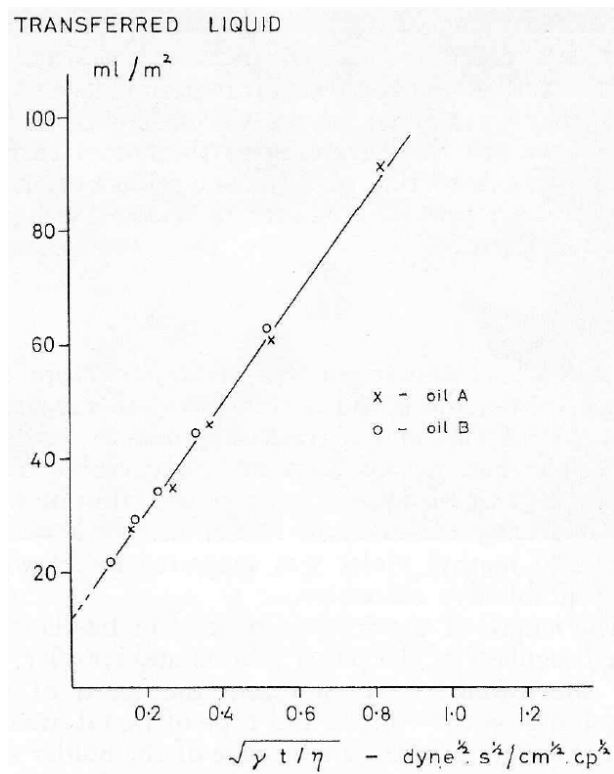
Kiekvienas taškas atitinka penkis nepriklausomus bandymus, kurių įgeriamumo laikas – 0,1 s. Ryšys tarp dviejų kintamųjų yra šiek tiek kreivinis. Pradinis netiesiškumas (iki 0,4 ml naudojamo skysčio kiekio) gali būti pateisinamas darant prielaidą, kad absorbcija vyksta tik veikiant kapiliarinėms jėgoms, o išorinio hidrostatinio slėgio yra nepaisoma. Skirtingų bandinių dažų takelių ilgių tam tikrais greičiais vidurkis keičiasi 5 %. Eksperimentai parodė, kad skaičiavimams naudojamas skysčio dėmės ilgis ir plotis skiriasi nuo skysčio talpyklos plyšelio matmenų. Takelis gaunamas šiek tiek platesnis.

1.4.2. Aliejinio pagrindo skysčių įgertis

Bristow bandymu buvo tiriamos klijavimo ir bangavimo medžiagų, naudojamų gofruotojo kartono gamyboje, savybės. 6 ir 7 paveiksluose parodyti tipiniai bandymų grafikai. Tai dviejų aliejinio pagrindo medžiagų į dvi skirtingas ilgaplaušes medžiagas įgertis.



6 pav. Sugertos aliejinio pagrindo medžiagos kiekio priklausomybė nuo laiko (Bristow 1967)



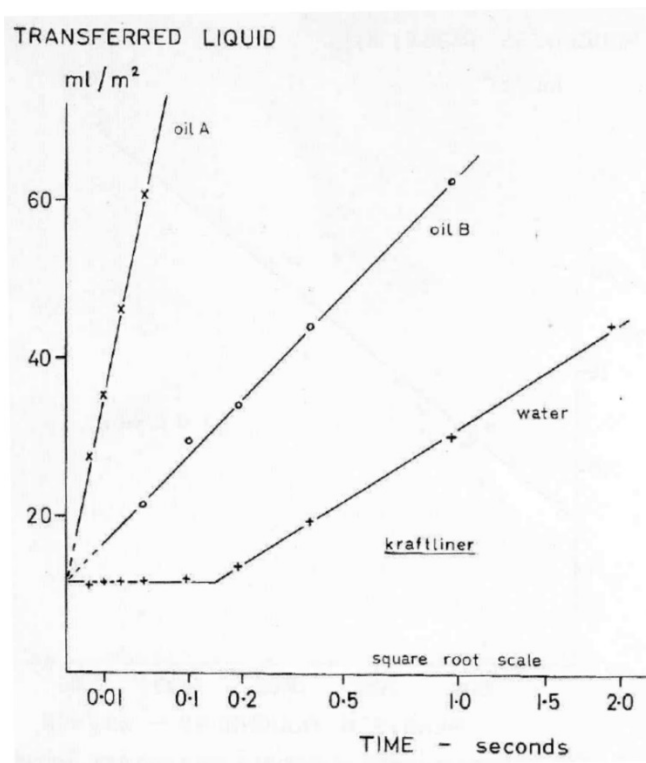
7 pav. Sugertos aliejinio pagrindo medžiagos kiekio priklausomybė nuo laiko, klampumo ir paviršiaus įtempties (Bristow 1967)

6 paveikslo grafike matoma akivaizdi linijinė priklausomybė. Čia laikas atitinka kvadratinę laiko šaknį, o įsigėręs skysčio kiekis – į talpyklą pilamo skysčio tūrį. Gautų rezultatų reikšmių ekstrapoliavimas leidžia daryti išvadą, kad bandinio šiurkštumo koeficiento reikšmė nepriklauso nuo naudojamo aliejinio pagrindo skysčio rūšies. Įgerties koeficientas, priklausomai nuo skysčio rūšies, skiriasi (Bristow 1967: 623-629).

7 grafike matomi rezultatai leidžia daryti kelias išvadas. Pirmoji – kontaktinis kampas tarp aliejinio pagrindo skysčio ir popieriaus plaušelių yra lygus nuliui. Antroji – įgeriamumo koeficientas nepriklauso nuo skysčio rūšies – kai dviejų tiriamų medžiagų su popieriumi kontaktiniai kampai yra vienodi, tuomet rezultatai yra labai artimi (atsiduria toje pačioje tiesėje) (Bristow 1967: 623-629). Bandymas netinkamas labai klampiems skysčiams ir šiurkštiems popieriams tirti. Didelis klampumas ir šiurkštumas trukdo tinkamai užnešti skystį, gali atsirasti matavimų klaidų.

1.4.3. Vandens pagrindo skysčių įgertis

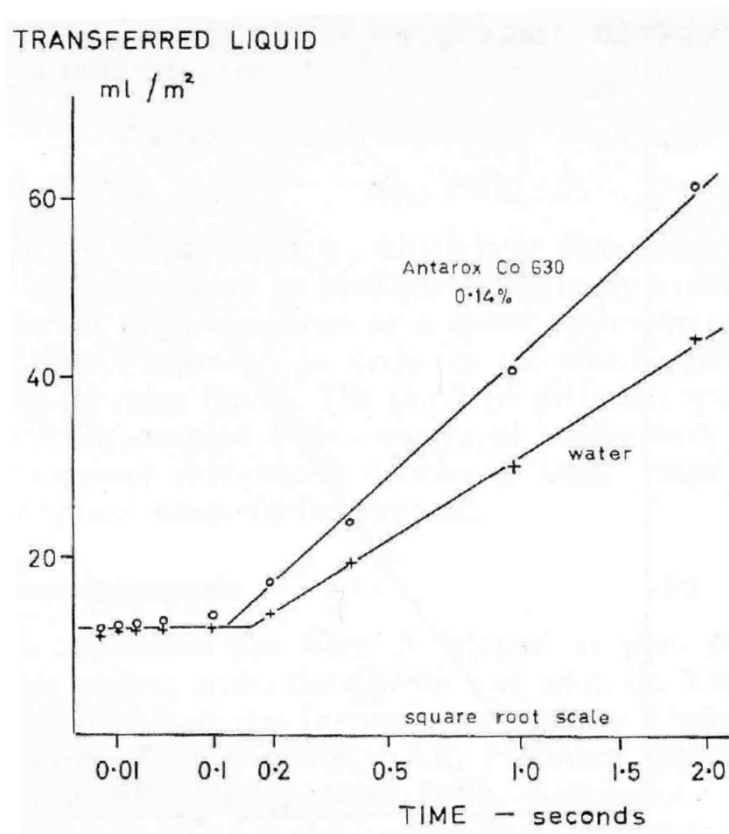
8 paveiksle pateiktas grafikas leidžia palyginti, anksčiau aprašytų aliejinio ir vandens pagrindo medžiagų, įgertis. Buvo tiriamas vanduo, kurio sudėtyje – 0,02 % metilo Violeto.



8 pav. Sugertos vandens pagrindo medžiagos kiekio priklausomybė nuo laiko (Bristow 1967)

Tiriamąo tirpalo absorbcijos bandymo rezultatai yra tipiškas vandens pagrindo medžiagų pavyzdys ir aiškiai rodo pradinį paviršiaus suvilgymo laiką, t. y. trukmę, per kurią skysčiu užpildomos popieriaus poros dar prieš pradedant vykti absorbcijai (Bristow 1967: 623-629).

Lyginant vandeninių ir aliejinių medžiagų elgesį, matoma, jog pastarųjų pradinis suvilgymo laikas yra labai trumpas ir nustatyti jį Bristow prietaisu praktiškai neįmanoma. Iš tikrųjų vilgymo laikas patvirtintas kokybiniais parodymais. Vykstant absorbcijai, į bandinį įsigeria metilo Violetas, kuris palaipsniui šviesėja (Bristow 1967: 623-629).



9 pav. Sugertos vandens pagrindo medžiagos ir medžiagos, kurios sudėtyje yra AntaroX Co 630 kiekio priklausomybė nuo laiko (Bristow 1967: 623-629)

9 paveikslo grafike matomi bandymo, kuriame buvo naudotas aktyvintas vanduo, rezultatai. Sudėtyje, esantis 14 % AntaroX Co 630, padidina absorbcijos rodiklius ir pastebimai sumažina vilgymo laiką. Naudojant laboratorijoje hidroforbine fluorochemine medžiaga įmirkytus popieriaus bandinius, absorbcija neįvyko. Šis įmirkymo efektas sumažina galimybę vilgyti paviršių – kontaktinis kampas vandens paviršiuje didėja nuo 10 iki 130 procentų. Bandymą atliekant didesniu greičiu atsiranda nepadengtų bandinio vietų. Visi šie bandymų rezultatai leidžia daryti išvadą, kad popieriaus paviršius vilgomas dvejomis stadijomis (Bristow 1967: 623-629). Vilgymas yra svarbus kai skystis turi būti „perduotas“ visam paviršiui. Popieriaus paviršiaus vilgymas – jo

vandens traukos geba. Nėra traukos – nevyksta pernešimas. Antrasis etapas – paviršiaus vilgymas trunkantis t_w laiką prieš absorbcijos prasidėjimą. Todėl turi būti rasta koreliacija tarp laiko t_w ir kontaktinio kampo su vandens paviršiumi. Vilgymo laikas pastebimai ilgesnis kai bandinio paviršius yra šiurkštus, todėl randama koreliacijos tarp vilgymo laiko ir paviršiaus šiurkštumo koeficiento reikšmė (Bristow 1967: 623-629). Ši koreliacija – tai dar vienas įrodymas, kad antrasis vilgymo etapas susijęs su skysčio tarp porų ir kapiliariniu tekėjimais prieš įgerties pradžią.

2. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Darbo spaustuvėje metu buvo pastebėta, kad skiriasi sunaudojamų fleksografinių dažų kiekiai spausdinant ant skirtingų gofruotųjų kartonų. Tačiau nebuvo žinomi tikslūs kiekybiniai rodikliai ir dažų sunaudojimų skirtumų priežastys. Todėl tikslinga surinkti statistinius dažų išekvojimo duomenis bei ištirti tas priežastis.

Pagrindinis darbo tikslas – ištirti dažų sunaudojimą spausdinant ant skirtingų gofruotų kartonų paviršių ir nustatyti skirtingų išekvojimų priežastis.

Tikslui pasiekti iškelti tokie uždaviniai:

1. Surinkti ir statistiškai apdoroti realaus dažų sunaudojimo spaustuvėje duomenis.
2. Ištirti fleksografinių dažų įgertį skirtingiems gofruotiems kartonams.
3. Ištirti skirtingų dažų sunaudojimų priežastis.

3. TYRIMO METODIKA

3.1. Tyrimo objektas

3.1.1. Popieriai, naudojami absorbcijos matavimui

Gofruotasis kartonas gaminamas iš kelių popieriaus sluoksnių, o spausdinama ant viršutinio sluoksnio. Todėl eksperimentui atlikti buvo pasirinkti viršutinio sluoksnio gamybai naudojami popieriai. Gofruotojo kartono viršutinis sluoksnis gaminamas iš įvairių popierių. Dažniausiai naudojami – ilgaplaušis (angl. *kraftliner*) arba perdirbtas (angl. *testliner*) popierius baltu ar rudu paviršiumi. Pirmasis šnekamojoje kalboje vadinamas *kraftlaineriu*, o antrasis – *testlaineriu*. Bandymui atlikti pasirinkti trijų rūšių popieriai, kurių specifikacijos pateiktos 2 lentelėje: rudas *kraftlaineris* – EKL, rudas *testlaineris* – TL, baltas *testlaineris* – TLW.

2 lentelė. Popierių specifikacija

Rodiklis Popierius	EKL	TL	TLW
Gramatūra, g/m^2	120	120	120
Drėgmės vidurkis, %	9,4	7,8	9,4
Stiprumas tempiant, kN/m	nežinomas	2,03	1,26
Atsparumas gniuždymui, kN/m	2,3	2,22	1,73
Cobb, g/m^2	30	28	28
Baltumas, %	nežinomas	nežinomas	56,00
Storis, mm	0,17	0,18	0,17

3.1.2. Dažai, naudojami absorbcijai matuoti

Fleksografija yra pagrindinė spaudos technologija, naudojama spausdinti ant gofruotųjų kartonų. Spaudos dizainas, dažnais atvejais, būna paprastas – užtenka kelių spalvų atvaizdų užnešimui ant spausdinamosios medžiagos. Dažniausiai naudojami „Pantone“ palečių dažai. Bandymui atlikti pasirinkti „Flint“ atstovų gaminami mėlynos spalvos dažai. Jų sudėtis: 27,95 % spalvos pigmentas ir 72,05 % tirpikliai. Dažai laikomi vandeniniais, kadangi sudėtį sudarantys tirpikliai yra vandens pagrindo. Naudojamų dažų sudėtis pateikta 3 lentelėje.

3 lentelė. Dažų sudėtis

Komponentas		Kiekis, %
Pavadinimas	Rūšis	
WZ16-48KN – Premo®Base IQ Violet	Pigmentas	6,8
WZ16-55KN – Premo®Base IQ Cyan	Pigmentas	21,15
WI3P-E10N – Premo® X 50W	Tirpiklis	35,40
WI3I-E04N – Premo® Opaque TX	Tirpiklis	30,00
H2O – Vanduo	Tirpiklis	6,65
Iš viso:		100

3.2. Absorbcijos matavimas

3.2.1. Bristow įrenginys

Bristowo metodas suteikia galimybę pamatuoti įvairių skysčių įsigertį popieriuje ar kitose porėtose medžiagose. Bandymas gali būti naudojamas vandens ar kitų tirpalų, kurių klampumas yra iki 100 *mPa*, absorbcijai pamatuoti (An American National standart D5455 2006). Šiuo įrenginiu absorbcija matuojama tam tikrais kontaktinių laikų intervalais, kurie svyruoja nuo 0,01 iki 10 sekundžių. Bristowo metodas naudojamas įvairių spaudos tikslų įgyvendinimui. Pavyzdžiui, Amerikoje bandymas naudotas prognozuojant brūkšninių kodų, spausdinamų ant vokų, džiūvimo laiką (An American National standart D5455 2006).

Bristowo bandymas, dėl skysčių klampumo priklausomybės nuo temperatūros ir drėgmės įtakos popieriaus paviršiaus savybėms, turi būti atliekamas pastoviomis klimatinėmis sąlygomis. T. y. bandymai atliekami patalpoje, kurioje palaikoma pastovi temperatūra ir drėgmė, o medžiagos, skirtos eksperimentui, kurį laiką laikomos toje aplinkoje (Rioux 2003:13).



10 pav. Bristow bandymo įrenginys [6]

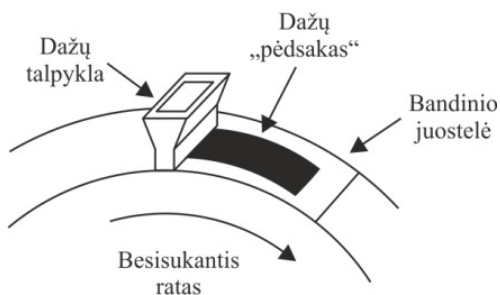
Absorbcijos matavimui Bristowo metodu sukurtas įrenginys (10 pav.), kurį sudaro du pagrindiniai elementai – ratlankio formos ratas, ant kurio tvirtinamas bandinys, ir talpykla, į kurią pilami dažai ar kitas skystis.

Aliuminio rato perimetras – vienas metras, o jo plotis yra 25 milimetrai. Būtent tokio pločio tiriamų medžiagų juostelės naudojamos bandymo metu. Rezervuaras skysčiui pritvirtintas aukščiau rato, statmenai jo sukimosi kryptčiai, ir yra lygiagretus rato–ratlankio ašiai. Talpykla gali būti pakeliama tuomet, kai reikia pripilti skysčio, ir nuleidžiama kai ratas sukasi. Rezervuaras įrenginyje įtvirtintas naudojant svirtinį mechanizmą, turintį du varžtus, kurie skirti tiksliam pozicionavimui rato atžvilgiu. Kontaktiniame talpyklos ir bandinio taške mechanizmo svoris yra 400 gramų, kuris sudaro 2 kg/cm^2 spaudimą (Bristow 1967: 623-629). Spaudimas gali būti didinamas pridedant papildomus svorius. Ratui sukimosi judesys suteikiamas naudojant diržinę pavarą.

Variklis sukimosi judesį ratui perduoda diržine pvara, turinčią devynis greičių diapozonus: 1: 2: 5: 10: 20: 50: 100: 200: 500. Santykinė perdava tarp pavaros ir rato yra tokia pati kaip ir mažiausias sukimosi greitis – $0,05\text{ cm/s}$ (Bristow 1967: 623-629).

3.2.2. Bristow bandymas

Pirmiausia, bandinys (25 mm pločio ir 500 mm ilgio popieriaus juostelė) dvipuse lipnia juoste tolygiai pritvirtinamas ant Bristowo įrenginio rato. Į skysčio talpyklą yra įpilama $0,0498\text{ cm}^3$ dažų. Ratas laisvai sukasi nustatytu pastoviu greičiu ir liečiasi su nejudamai įtvirtintu skysčio rezervuaru, spaudžiamu prie bandinio nustatytu slėgiu (An American National standart D5455 2006). Sukimosi greičiai – 0,5, 1,25, 2,5, 5,0, 12,5, 25,0, arba 50,0 mm/s, o kontaktiniai slėgiai – nuo 0,1 MPa iki 0,5 MPa [6]. Ratui sukantis dažai skverbiasi pro 1 mm pločio ir 15 mm ilgio rezervuaro angą ant popieriaus juostelės palikdami „pėdsaką“. Šio dėmės ilgis priklauso nuo medžiagos šiurkštumo ir sugeriamumo, taip pat nuo rezervuaro angos dydžio, rato greičio ir skysčio tipo bei jo klampos (Johnson 2008).



11 pav. Absorbcijos matavimas Bristow metodu

Kai yra žinoma, užneštas ant popieriaus dažų „takelio“ plotas, galima skaičiuoti, koks dažų kiekis buvo perduotas ploto vienetui tam tikrais kontaktiniais momentais. Skysčio tūris, perduotas ploto vienetui, gaunamas bandymo metu naudojamo skysčio tūrį padalinus iš ašinio angos ilgio ir pėdsako, palikto ant medžiagos, ilgio:

$$\frac{V}{LB} = K_r + K_a\sqrt{t} \quad (15)$$

čia V – naudojamo skysčio tūris (ml);

L – takelio ilgis (m);

B – rezervuaro plyšio ilgis (m);

t – kontaktinis laikas (s);

K_r – šiurkštumo koeficientas (ml/m^2);

K_a – įgeriamumo koeficientas ($ml/m^2\sqrt{s}$).

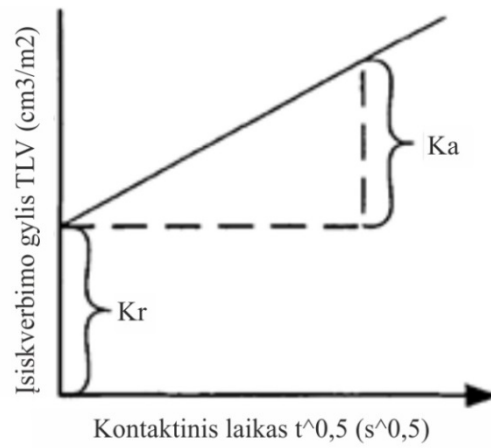
Kontaktinis laikas gaunamas dažų talpyklos „išėjimo“ angos plotį padalinus iš įrenginio rato apskritiminio greičio.

$$t = \frac{W}{v} \quad (16)$$

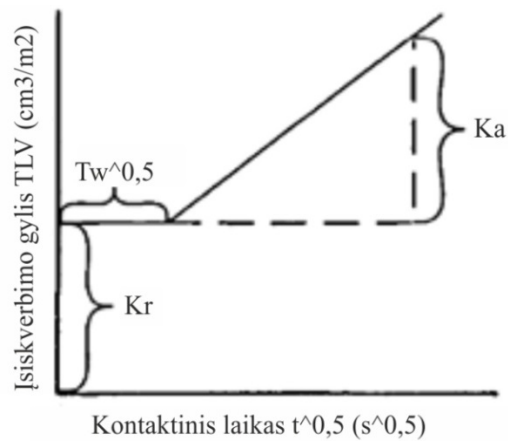
čia W – dažų rezervuaro angos plotis (m);

v – rato apskritiminis greitis (m/s).

Kontaktinis laikas – tai nominalus kontaktinis laikas, naudojamas absorbcijos skaičiavimui. Nominalus laikas remiasi prielaida, kad dažų rezervuaro angos plotis lemia absorbcijos laiką. Tačiau buvo įrodyta, kad tikrasis įgerties laikas dažniausiai šiek tiek ilgesnis ir turi būti atsižvelgta į rezervuaro briaunos plotį atliekant bandymą. Palyginus, tai maža reikšmė, kai įrenginys naudojamas skirtingų popierių palyginimui ar kokybės kontrolei (Johnson 2008). Šis kontaktinio laiko skirtumas parodytas 12 paveiksle.



a)



b)

12 pav. Tipinis *Bristow* bandymas: a) absorbcijos priklausomybė nuo kontaktinio laiko, b) absorbcijos priklausomybė nuo kontaktinio laiko įvertinant vilgymo delsimą (Johnson 2008).

Žinodami Bristowo absorbcijos bandymo rezultatus, galime juos palyginti su mūsų prognozuojamais ar žinomais duomenimis. Po serijos matavimų skirtingais sukimosi greičiais, Bristowo grafike atidedamas laikas, atitinkantis kontaktinio laiko kvadratinės šaknies skalę. Kvadratinė šaknis leidžia išryškinti vilgymo ir įgerties indėlį netiesinėje skalėje. Tipinis Bristowo bandymo grafikas pavaizduotas 12 paveiksle. Kreivė K_a – tai absorbcijos koeficientas – įgeriamumo rodiklis, Kreivė K_r – šiuurkštumo koeficientas, charakterizuojantis bandinių paviršiaus šiuurkštumą. Pradinė horizontali kreivės dalis atspindi vilgymo delsimą, trunkantį tol, kol paviršiaus

poros pripildomos skysčio. Šis delsimas neparodytas grafike, nes absorbcijos rodiklis nėra mažesnis nei pavaizduotas paveiksle.

3.3. Dažų ploto skaičiavimas, naudojant *MATLAB* programą

Dažų absorbcijos skaičiavimui reikia žinoti, kokį popieriaus plotą padengė tam tikras kiekis dažų. Ant bandinių užtepti dažų plotai yra netaisyklingų formų, todėl tiksliam jų radimui naudojama programa *MATLAB*.

Programa gali „perskaityti“ *.jpg* formato failus, todėl visi bandiniai yra nuskenuojami *Epson* skeneriu. Skenavimui pasirenkama 300 dpi rezoliucija – kuo ji didesnė tuo tiksliau programa suskaičiuoja reikiamus plotus. Gauti *.jpg* formato failai yra įkeliami į aplanką, kuris susietas su *MATLAB* programa.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

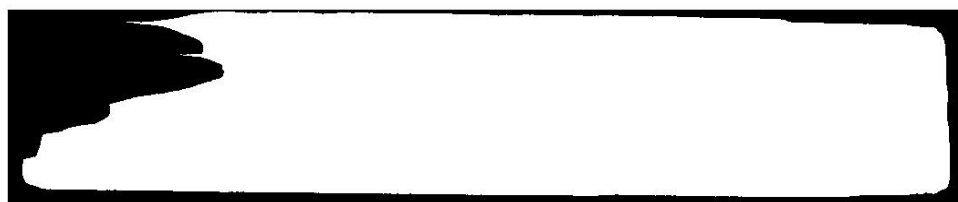
13 pav. Nuskenuoti bandiniai (tiriamoji medžiaga – TL): a) dažų užnešimo greitis – 0,1 cm/s, b) dažų užnešimo greitis – 0,2 cm/s, c) dažų užnešimo greitis – 0,5 cm/s, d) dažų užnešimo greitis – 1 cm/s, e) dažų užnešimo greitis – 2 cm/s, f) dažų užnešimo greitis – 5 cm/s

Užteptų dažų plotų skaičiavimui rašoma programa. Pirmiausia, paveikslėliai turi būti paverčiami į juodai baltus. Tik po to, naudojantis specialiomis komandomis *MATLAB* programa paskaičiuojami dažų plotai.

Pirmasis paveikslas pavadintas *rgb1* vardu – jis atitinka nuskenuoto failo pavadinimą. Tam, kad programa „perskaitytų“ paveikslėlio informaciją, naudojama komanda *imread*. Po to yra užrašoma komanda *level*, kuri nustato ribą, nurodančią, kurie paveikslėlio taškai bus verčiami į juodus ir kurie į baltus. Pasirenkama reikšmė – 0,38. Paveikslėlio pavertinimui į nespalvotą yra naudojama komanda *im2bw*. Prieš šią komandą užrašomas simbolis „~“, kuris invertuoja atvaizdą. Invertavimas būtinas, kadangi programa skaičiuoja taškus, užimančius baltus plotus. Norėdami pamatyti paveikslėlį, naudojames komanda *imshow*. Gauti atvaizdai pateikti 14 paveiksle.



a)



b)

14 pav. Bandiniai: a) nuskenuotas bandinys. Dažų užnešimo greitis – 0,2 cm/s, b) *MATLAB* terpėje gautas paveikslėlis

Turimą spalvotą paveikslėlį, pavertus į juodai baltą, galima rasti dažų dėmės plotą. Skaičiavimui yra naudojama komanda *bwarea*. Teisingai užrašius šią komandą, atsakymą matome *MATLAB* lange. Gautas plotas – pikselių, patenkančių į tą plotą, skaičius.

Visas programos tekstas, skirtas vieno dažų dėmės ploto skaičiavimui, atrodo taip:

```
rgb1=imread('rgb1.jpg');  
levelL=0.38;  
brgb1=~im2bw(rgb1,levelL);  
imshow(brgb1);  
k=bwarea(brgb1)
```

Naudojantis sudarytąja programa yra randami visų turimų bandinių dažų plotai.

Dažų dėmių plotų paskaičiavimui kvadratiniais centimetrais ar metrais turime sužinoti, kiek pikselių yra viename kvadratiname centimetre. Skenerio kalibravimui paruošiamas bandinys – vieno kvadratinio centimetro skenuotas paveikslas (15 pav.).



a)



b)

15 pav. Bandiniai kalibravimui: a) skenuotas bandinys, b) *MATLAB* terpėje gautas paveikslėlis

Anksčiau aprašytu metodu paskaičiuojamas atvaizdo plotas. Gaunama, jog jo plotas lygus 13887 pikselių. Žinant šį plotą galima paskaičiuoti visų bandinių plotus kvadratiniais centimetrais.

3.4. Dažų sunaudojimo duomenų rinkimas

Stebint spausdinimo procesą, kur naudojami skirtingi gofruoti kartonai, fiksuojami realūs dažų išėikvojimo kiekiai. Tai skirtingų užsakymų, su įvairiais sunaudotos spausdinamosios medžiagos kiekiais, duomenys. Siekiant juos susisteminti, pirmiausia, anksčiau aprašytu plotų skaičiavimo metodu naudojant *MATLAB* programą, apskaičiuojami spaudos plotai tenkantys vienam atspaudui. Kai žinomas, visas vieno užsakymo spaudos plotas ir sunaudotų dažų kiekis tam užsakymui, tuomet skaičiuojamas dažų kiekis, reikalingas vienam kvadratiniam atspaudui užtepti ant spausdinamosios medžiagos.

4. TYRIMO REZULTATAI

4.1. Dažų absorbcijos tyrimo rezultatai

Dengiant tiriamąsias medžiagas dažais buvo naudojamos *EKL*, *TLW* ir *TL* penkiolikos milimetrų pločio ir penkiasdešimt centimetrų ilgio juostelės – bandiniai. *Bristow* įrenginiu dažai užtepti skirtingais greičiais: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10 centimetrų per sekundę. *MATLAB* programa sužinoti užteptų dažų dėmių plotai pikseliais, kurie perskaičiuoti į m^2 , panaudojant kalibravimo duomenis, t. y. vienam kvadratiniam centimetrui tenka 13887 pikseliai. Rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Dažų, užteptų ant bandinių, plotai

Gofruotasis kartonas	Dažų užnešimo greitis, cm/s	Plotas, pikseliais	Plotas, m^2
EKL	0,1	520450	0,00375
EKL	0,2	603710	0,00435
EKL	0,5	618910	0,00446
EKL	1	622490	0,00448
EKL	2	717833	0,00517
EKL	5	651860	0,00469
EKL	10	665320	0,00479
EKL	10	749300	0,00540
TL	0,1	404470	0,00291
TL	0,2	443124	0,00319
TL	0,5	467860	0,00337
TL	0,5	482040	0,00347
TL	1	525530	0,00378
TL	2	502620	0,00362
TL	5	618620	0,00446
TL	5	569190	0,00410
TL	5	585960	0,00422
TL	10	523630	0,03771
TL	10	458440	0,00330

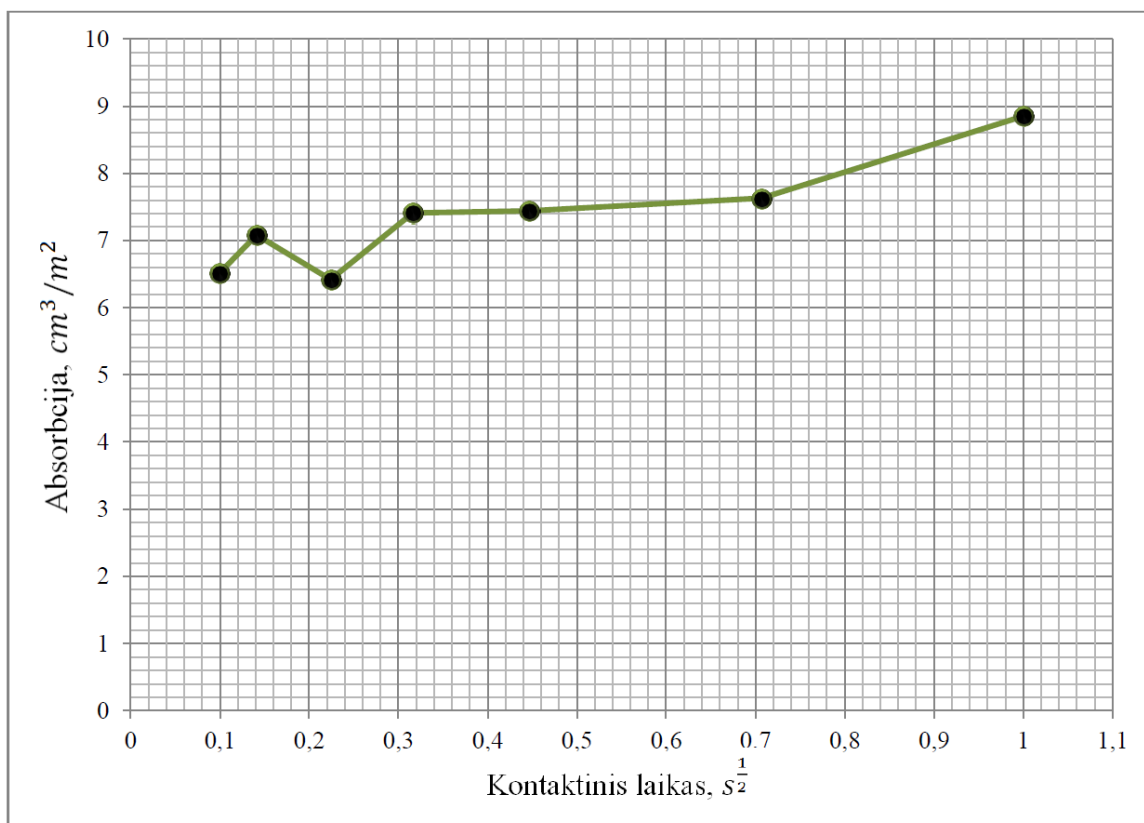
4 lentelė (tęsinys)

Gofruotas kartonas	Dažų užnešimo greitis, cm/s	Plotas, pikseliais	Plotas, m^2
TL	10	582620	0,00400
TLW	0,1	596290	0,00429
TLW	0,2	648560	0,00467
TLW	0,5	826450	0,00595
TLW	1	734540	0,00529
TLW	2	706300	0,00509
TLW	5	809980	0,00583
TLW	10	662060	0,00477

Kai yra žinomi dažų dėmių, užteptų ant bandinių, plotai, tuomet galima apskaičiuoti dažų įsigėrimą į tiriamas medžiagas. Vertinant įsigėrimo priklausomybę atsižvelgiama į *Bristow* prietaiso dažų rezervuaro angos su tiriamosios medžiagos bandiniu kontaktinį laiką. Bandymų ir skaičiavimų duomenys *EKL*, *TLW* ir *TL* pateikti 5, 6, 7 lentelėse. Tyrimų rezultatai matomi grafikuose (16, 17, 18 paveikslai).

5 lentelė. Bandymo duomenys. Medžiaga – *EKL*

Dažų užnešimo greitis, cm/s	Plotas, pikseliais	Plotas, cm^2	Ploto vidurkis, cm^2	Plotas, m^2	Kontaktinio laiko šaknis, $s^{\frac{1}{2}}$	Absorbicija, cm^3/m^2
0,1	520450	37,48		0,00375	1	8,85
0,2	603710	43,47		0,00435	0,707	7,63
0,5	618910	44,57		0,00446	0,447	7,44
1	622490	44,83		0,00448	0,316	7,41
2	717833	51,69		0,00517	0,224	6,42
5	651860	46,94		0,00469	0,141	7,08
10	665320	47,91	50,94	0,00509	0,1	6,52
10	749300	53,96				



16 pav. Absorbcijos priklausomybė nuo kontakto laiko. Tiriamoji medžiaga – EKL

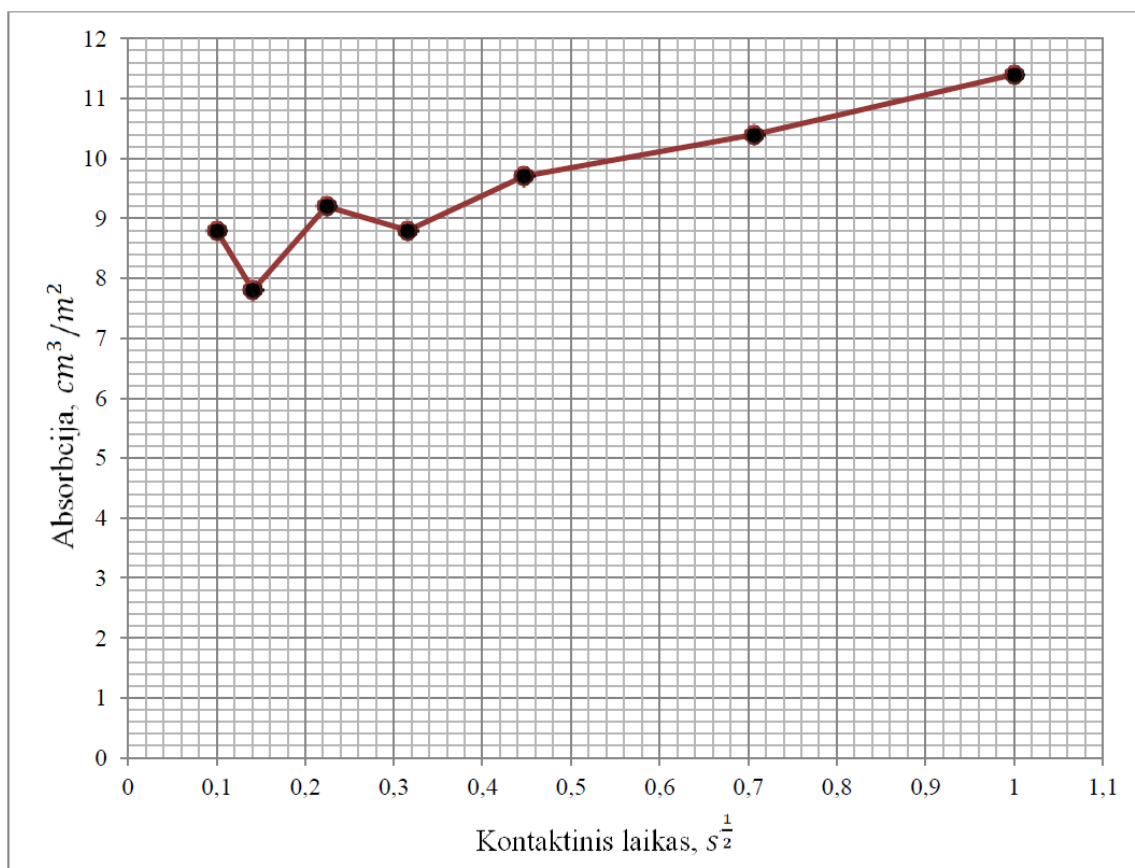
16 paveikslas – absorbcijos priklausomybė nuo kontaktinio laiko, kai dažai *Bristow* prietaisu užtepti ant EKL bandinio. Dažų įgeriamumas kinta priklausomai nuo kontaktinio laiko, tačiau 0,1–0,3 $s^{\frac{1}{2}}$ šio laiko intervale absorbcija kinta nežymiai – padidėdama ir kartais sumažėdama – sugerama nuo 6,4 iki 7,2 cm^3/m^2 dažų. Tad galima teigti, jog šiuo momentu absorbcija nuo kontaktinio laiko praktiškai nepriklauso – popierius vilgomas. Kontaktiniam laikui pasiekus 0,3 $s^{\frac{1}{2}}$ ir jam didėjant, absorbcija pradeda taip pat didėti. Didžiausias dažų sugėrimo šuolis matomas 7,6–1 cm^3/m^2 kontaktinio laiko intervale.

6 lentelė. Bandymo duomenys. Medžiaga – TL

Dažų užtepimo greitis, cm/s	Plotas, pikseliais	Plotas, cm^2	Ploto vidurkis, cm^2	Plotas, m^2	Kontaktinio laiko šaknis, $s^{\frac{1}{2}}$	Absorbcija, cm^3/m^2
0,1	404470	29,13		0,00291	1	11,41
0,2	443124	31,91		0,00319	0,707	10,41
0,5	467860	33,69	34,2	0,00342	0,447	9,71
0,5	482040	34,71				

6 lentelė (tęsinys)

Dažų užtepimo greitis, cm/s	Plotas, pikseliais	Plotas, cm^2	Ploto vidurkis, cm^2	Plotas, m^2	Kontaktinis laiko šaknis, s	Absorbicija, cm^3/m^2
1	525530	37,84		0,00378	0,316	8,78
2	502620	36,19		0,00362	0,224	9,17
5	618620	44,55	42,58	0,00426	0,141	7,79
5	569190	40,99				
5	585960	42,19				
10	523630	37,71	37,56	0,00376	0,1	8,83
10	458440	33,01				
10	582620	41,95				



17 pav. Absorbicijos priklausomybė nuo kontakto laiko. Tiriamoji medžiaga – TL

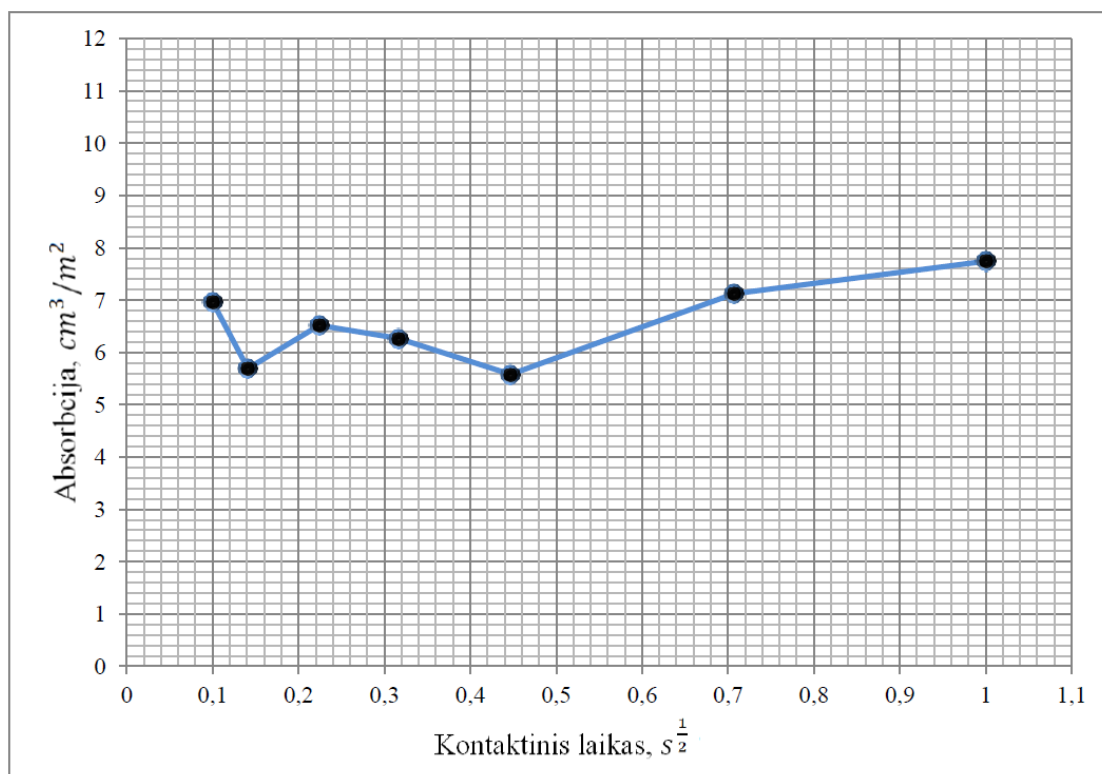
17 grafike matoma absorbicijos priklausomybė nuo kontaktinio laiko, kai tiriamoji medžiaga yra TL. Kontaktiniam laikui svyruojant nuo 0,1 iki 0,4 $s^{\frac{1}{2}}$, taip pat svyruoja sugertų dažų kiekis – 8,8–9,4 cm^3/m^2 . Kai šis laikas pasiekia 0,4 $s^{\frac{1}{2}}$ reikšmę, absorbicija pradeda tolygiai didėti.

Daugiausia dažų tiriamoji medžiaga sugeria, kai kontaktinis laikas yra lygus $1 \text{ s}^{\frac{1}{2}}$. Kontaktiniam laikui svyruojant nuo 0,1 iki $1 \text{ s}^{\frac{1}{2}}$, dažų sugerama nuo 7,5 iki $11,5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$.

7 lentelė. Bandymo duomenys. Medžiaga – TLW

Dažų užnešimo greitis, cm/s	Plotas, pikseliais	Plotas, cm^2	Plotas, m^2	Kontaktinis laiko šaknis, $\text{s}^{\frac{1}{2}}$	Absorbcija, cm^3/m^2
0,1	596290	42,94	0,00429	1	7,74
0,2	648560	46,7	0,00467	0,707	7,12
0,5	826450	59,51	0,00595	0,447	5,58
1	734540	52,89	0,00529	0,316	6,27
2	706300	50,86	0,00509	0,224	6,52
5	809980	58,33	0,00583	0,141	5,69
10	662060	47,67	0,00477	0,1	6,96

18 paveikslas – absorbcijos priklausomybės nuo kontaktnio laiko grafikas. Šiuo atveju, dažai užtepti ant TLW bandinio.

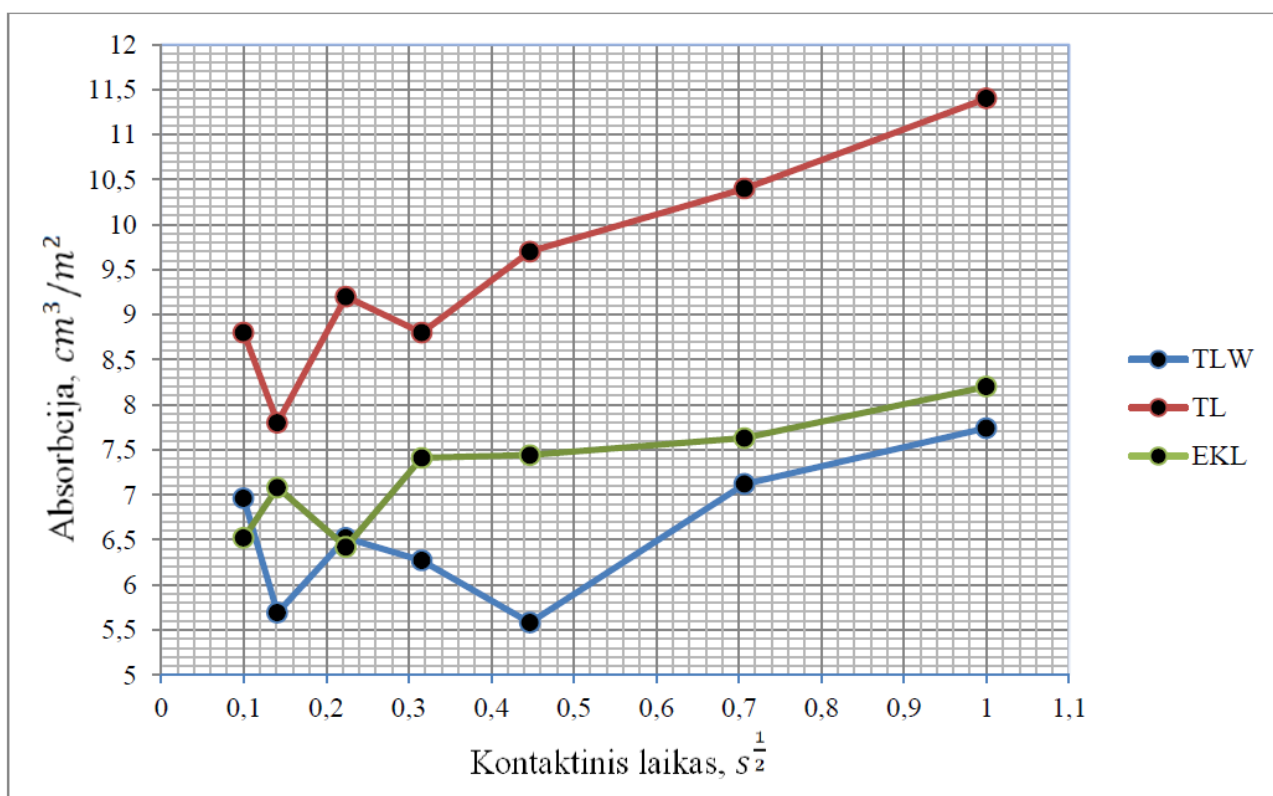


18 pav. Absorbcijos priklausomybė nuo kontakto laiko. Tiriamoji medžiaga – TLW

Iš 18 grafiko matoma, jog dažų kiekio sugėrimas auga didėjant kontaktiniam laikui. Tačiau 0,1–0,7 $s^{\frac{1}{2}}$ laiko intervale absorbcija svyruoja, o pasiekus 0,7 $s^{\frac{1}{2}}$ laiką pradeda tolygiai didėti. Didžiausia absorbcija pasiekama esant 1 $s^{\frac{1}{2}}$ kontaktiniam laikui. Visame kontaktinių laikų intervale absorbcija svyruoja nuo 5,4 iki 7,9 cm^3/m^2 .

4.1.1. Dažų absorbcijos skirtingoms medžiagoms palyginimas

Turint Bristow metodu gautus tyrimo rezultatus, kai naudojamos skirtingos medžiagos *TLW*, *TL* ir *EKL*, yra palyginama, kiek dažų išsikvojama atspaudams užnešti ant jų. Rezultatai pateikti grafike (19 pav.).



19 pav. *EKL*, *TL*, *TLW* medžiagų absorbcijų priklausomybė nuo kontaktų laikų

Iš grafiko (19 pav.) matoma, jog visų trijų tiriamųjų medžiagų absorbcija tolygiai didėja per visą kontaktinių laikų intervalą. Nuo pradinio kontaktinio laiko įgeriamumas praktiškai nepriklauso – jis „šokinėja“ tai padidėdamas, tai sumažėdamas iki ribos, kur absorbcija pradeda didėti. Vadinasi, iki įsigėrimo ribos pasiekimo, medžiaga yra tik vilgoma. Apskritai, vilgymo kinetika beveik nepasireiškia, o sugertiems vaidmuo, tirtų dažų ir kartonų paviršių medžiagų sąveikoje, yra pagrindinis.

TL – medžiaga, kurios absorbcija didžiausia. Vienam kvadratiniam metrui atspaudo sunaudota nuo 7,5 iki 11,5 cm^3/m^2 dažų. Atspaudos spausdinimui ant *TL* prireiks daugiau dažų, lyginti su kitoms tiriamomis medžiagomis (*TLW* ir *EKL*). *TLW* ir *EKL* dažų gertis į medžiagą skiriasi mažai. Bendrai šių medžiagų absorbcija svyruoja nuo 5,4 iki 8,3 cm^3/m^2 , kai kontaktinis laikas didėja nuo 0,1 iki 1 $\text{s}^{\frac{1}{2}}$. Nuo kontaktinio laiko taško, kuriame absorbcija pradeda didėti, iki 1 $\text{s}^{\frac{1}{2}}$ dažų daugiau sugeria *EKL*. Per visą kontaktinių laikų intervalą – nuo 6,3 iki 8,9 cm^3/m^2 , o *TLW* – nuo 5,4 iki 7,9 cm^3/m^2 .

4.2. Realus dažų sunaudojimas spausdinimo metu

Vienas pagrindinių darbo tikslų – išsiaiškinti, kiek dažų išeikvojama spausdinant ant įvairių gofruotųjų kartonų. Šiam tikslui įgyvendinti stebėtas ir fiksuotas dažų sunaudojimas įvairiems užsakymams, kai spausdinama ant *EKL*, *TL* ir *TLW*.

Visų užsakymų grafinių elementų – spaudos plotai skirtingi. Siekiant nustatyti, kiek dažų sunaudojama vieno kvadratinio metro atspaudui užnešti, reikia žinoti kiekvieno užsakymo atspaudų plotus. Plotai randami anksčiau aprašytu metodu naudojant *MATLAB* programą. Užsakymų, kurių metu buvo spausdinta ant *EKL*, duomenys pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Spaudos plotai. Medžiaga – *EKL*

Projektas	Spaudos plotas, pikseliais	Spaudos plotas, m^2	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Viso užsakymo spaudos plotas, m^2
14939	35647274	0,2567	4000	1026,8
16533S	16348000	0,1177	2000	235,4
16532S	22918000	0,1650	2300	379,5
16063	9150138	0,0359	12000	430,8
16040	4836100	0,0348	12000	417,6
15432	6564774	0,0173	16000	276,8
14919	6005400	0,0432	8300	358,6
5202	31684000	0,2282	4000	912,8
12675	23522000	0,1694	5800	982,5
15312	49715460	0,3580	9000	3222,0
15820	71781903	0,5169	3000	1550,7
14641	1677000	0,0121	30000	363,0

8 lentelė (tęsinys)

Projektas	Spaudos plotas, pikseliais	Spaudos plotas, m^2	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Viso užsakymo spaudos plotas, m^2
14639	6913700	0,0498	16000	796,8
14655	10392000	0,0748	8100	605,9
14485	2736502	0,0197	24000	472,8
14486	63324720	0,4560	5000	2280,0

9 lentelėje pateikti spaudos plotų duomenys, kai buvo spausdinama ant *TL* paviršių turinčių gofruotųjų kartonų.

9 lentelė. Spaudos plotai. Medžiaga – *TL*

Projektas	Spaudos plotas, pikseliais	Spaudos plotas, m^2	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Viso užsakymo spaudos plotas, m^2
11793-1	57547728	0,4144	5400	2237,8
15373-1	93501171	0,6733	6000	4039,8
16276	7639500	0,055	12000	660,0
14413-1	58797558	0,4234	5600	2371,0
13721	1428100	0,0103	32400	333,7
15538	1459000	0,0105	51000	535,5
15544	1534880	0,0111	20000	222,0
15542	2198320	0,004	20000	80,0
14291	1280070	0,0092	26000	239,2
15972	2586240	0,0186	26000	483,6
15972	1573890	0,0113	26000	293,8
14291	1960860	0,0141	26000	366,6
14714	728660	0,0053	40000	212,0
14660	746530	0,0054	40000	216,0

Užsakymų, kurių metu buvo spausdinta ant gofruotojo kartono, kurio viršutinis sluoksnis *TLW*, atspaudų plotų duomenys pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. Spaudos plotai. Medžiaga – *TLW*

Projektas	Spaudos plotas, pikseliais	Spaudos plotas, m^2	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Viso užsakymo spaudos plotas, m^2
15595	77848000	0,5606	3000	1681,8
14982	73328000	0,5280	1900	1003,2
10139	58806264	0,4235	13700	5802,0
14703	116880000	0,8417	1500	1262,6
13027	49192000	0,3542	30400	10767,7
10142	7578000	0,5459	4180	2281,9
12000	85279518	0,6141	2400	1473,8
13028	26856000	0,1934	23000	4448,2
10139	15967200	0,1150	13700	1575,5
15144	4702600	0,0339	17300	586,5
15239	4381800	0,0316	5600	177,0
10142	24229200	0,1745	4180	729,4
13028	2784200	0,0201	23000	462,3
14310	107082000	0,7711	20000	15422,0
15144	28296000	0,2036	17300	3522,3
15239	29616000	0,2133	5600	1194,5
13337	2348200	0,0169	1200	20,3
14260	19240000	0,1385	2700	374,0
14261	18671000	0,1345	2200	295,9
15745	112820976	0,8124	10000	8124,0
15278	158216000	1,1390	8000	9112,0
16320-1	121090000	0,8720	1700	1482,4
16320	111690000	0,8043	4200	3378,1

Kai yra žinoma, kiek dažų išaikvojama vienam užsakymui bei to užsakymo visas atspaudų plotas, tuomet apskaičiuojama, kiek dažų sunaudojama tam, kad būtų pilnai padengtas vienas kvadratinis metras spausdinamosios medžiagos. Skaičiavimų rezultatai pateikti 11, 12, 13 lentelėse ir 20, 21, 22 grafikuose.

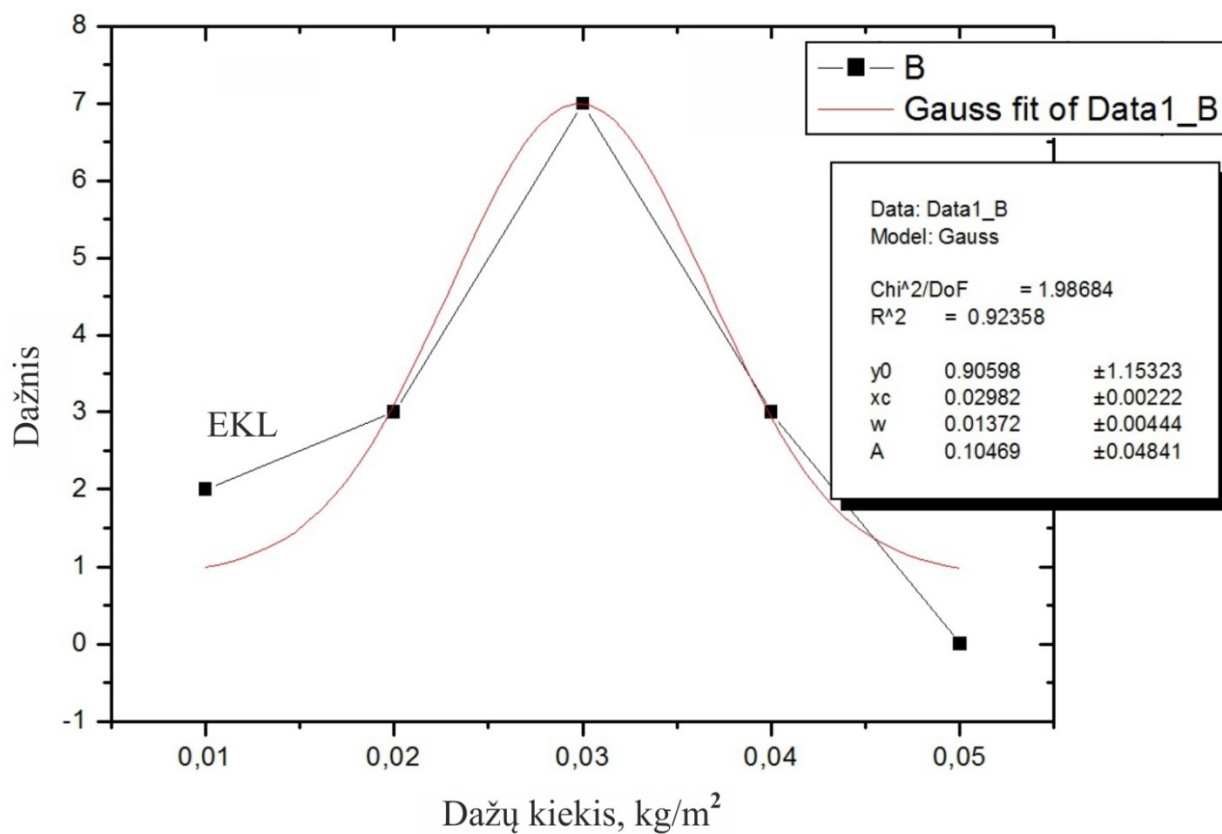
11 lentelė – realaus dažų sunaudojimo duomenys, kai buvo spausdinta ant *EKL* paviršių turinčio gofruotojo kartono.

11 lentelė. Realus dažų sunaudojimas. Medžiaga – *EKL*

Projektas	Dažai	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Sunaudotų dažų kiekis, <i>kg</i>	Dažų kiekis vienam kvadratiniam metrui, <i>kg</i>
14939	MP2	4000	30	0,02922
16533S	MP2	2000	8	0,03398
16532S	MP2	2300	12	0,03162
16063	Reflex Blue	12000	12	0,02786
16040	Reflex Blue	12000	12	0,02874
15432	Reflex Blue	16000	8	0,02890
14919	347	8300	8	0,02231
5202	347	4000	18	0,01972
12675	347	5800	18	0,01832
15312	Black	9000	28	0,00869
15820	Black	3000	18	0,01161
14641	Black	30000	8	0,02204
14639	Black	16000	8	0,01004
14655	287R	8100	20	0,03301
14485	216R	24000	16	0,03384
14486	5815R	5000	20	0,00877

20 paveikslas– dažų sunaudojimo dažnis priklausomai nuo sunaudotų dažų kiekio. Grafike matoma, koks dažų kiekis dažniausiai sunaudojamas spausdinant ant *EKL*. Iš stebėtų dažų išekvojimų atvejų, dažniausiai vienam kvadratiniam metrui spausdinamojo paviršiaus padengti dažais, jų reikia apie 0,03 *kg*. Tiksliau vidutinė reikšmė x_c yra lygi 0,02982.

Dažnio pasiskirstymas lyginamas su Gauso atsitiktinių dydžių dėsnio. Dažnio ir dažų kiekio tarpusavio priklausomybė charakterizuojama koreliacijos koeficientu, kuris lygus 0,92358. Koreliacijos koeficientas nusako šių dydžių glaudumą – gauta reikšmė reiškia, jog tarp jų yra ganėtinai stipri tiesinė koreliacija. Tiesioginės koreliacinės priklausomybės atveju – esant vieno dydžio didėjimui, didėja ir kito dydžio grupinė vidutinė reikšmė (arba atvirkščiai).



20 pav. Dažų sunaudojimo kiekio verčių dažnio priklausomybė nuo jų sunaudoto kiekio. Tiriamoji medžiaga – EKL

Realaus dažų sunaudojimo, kai spausdinamasis paviršius TL, duomenys pateikti 12 lentelėje.

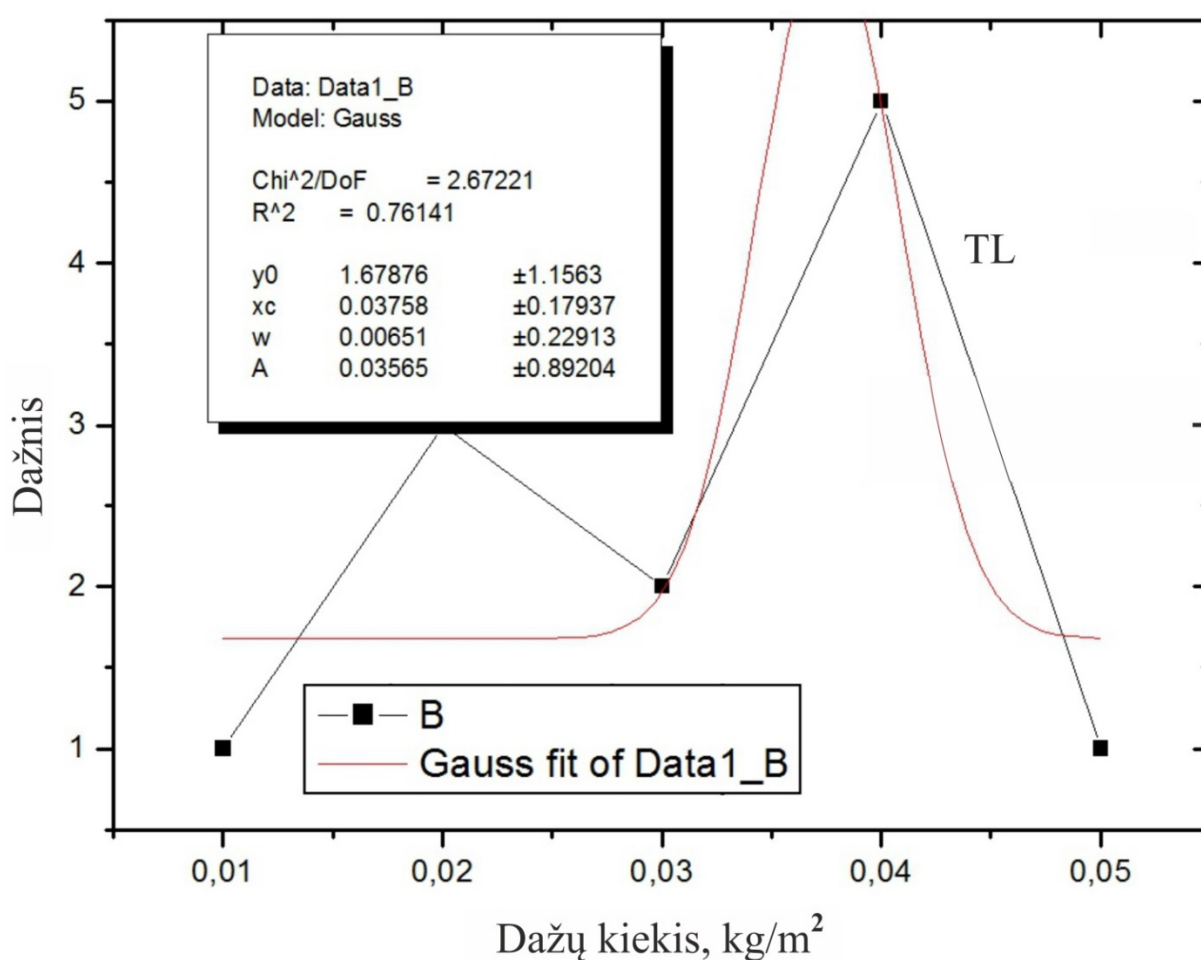
12 lentelė. Realus dažų sunaudojimas. Medžiaga – TL

Projektas	Dažai	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Sunaudotų dažų kiekis, <i>kg</i>	Dažų kiekis vienam kvadratiniam metrui, <i>kg</i>
11793-1	5815R	5400	20	0,00894
15373-1	5815R	6000	46	0,01139
16276	5815R	12000	8	0,01212
14413-1	5815R	5600	30	0,01265
13721	MP20	32400	12	0,03596
15538	MP20	51000	18	0,03361
15544	MP20	20000	10	0,04505
15542	MP20	20000	8	0,10000
14291	geltona	26000	8	0,03344
15972	geltona	26000	8	0,01654

12 lentelė (tęsinys)

Projektas	Dažai	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Sunaudotų dažų kiekis, <i>kg</i>	Dažų kiekis vienam kvadratiniam metrui, <i>kg</i>
15972	raudona	26000	8	0,02723
14291	raudona	26000	8	0,02182
14714	juoda	40000	8	0,03774
14660	juoda	40000	8	0,03704

21 paveiksle pavaizduota dažų sunaudojimo dažnio priklausomybė nuo sunaudotų dažų kiekio spausdinant ant gofruotojo kartono, kurio paviršius *TL*.



21 pav. Dažų sunaudojimo kiekio verčių dažnio priklausomybė nuo jų sunaudoto kiekio. Tiriamoji medžiaga – *TL*

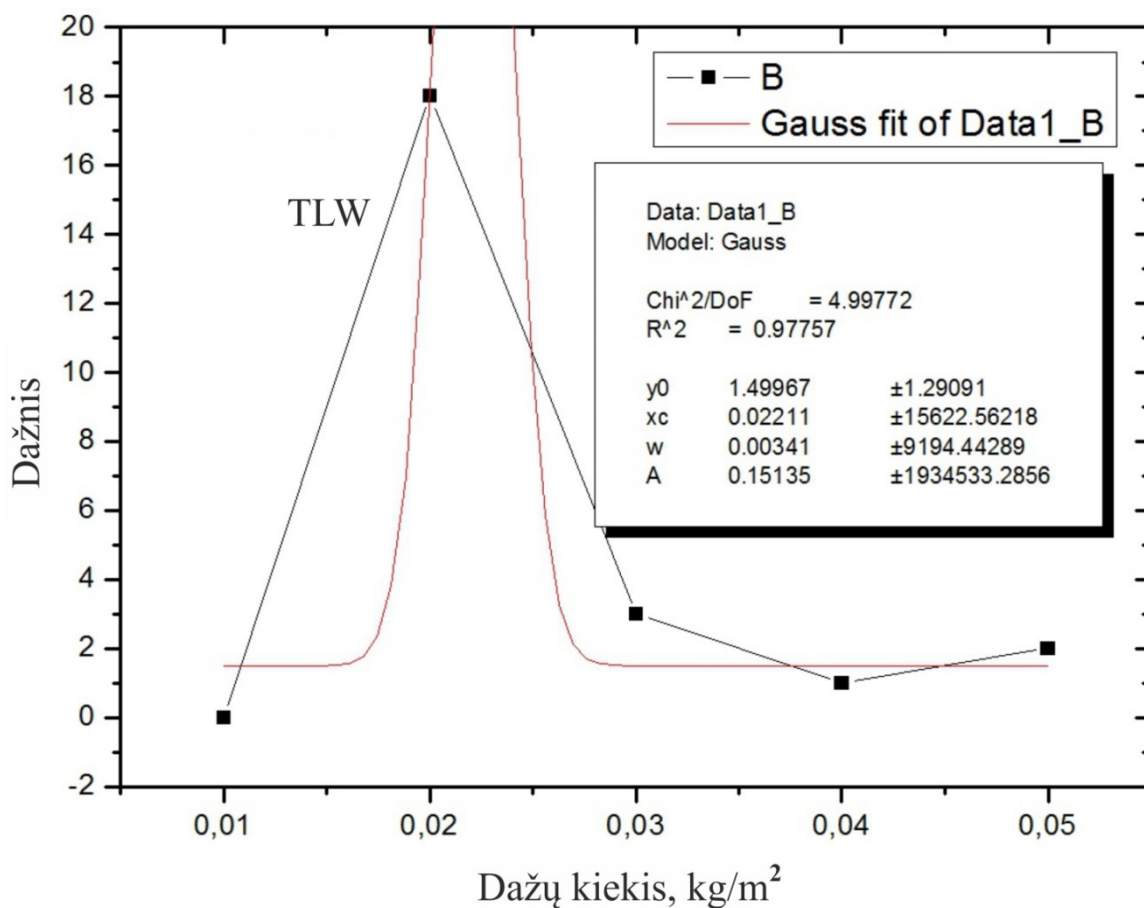
Iš 21 grafiko matoma, kad vidutinė statistinė vienam kvadratiniam metrui tenkanti sunaudotų dažų reikšmė x_c yra lygi 0,03758. Koreliacijos koeficientas – 0,76141. Tai nėra labai didelė reikšmė, tačiau patenka į stiprios tiesinės koreliacijos intervalą.

13 lentelė – realus dažų sunaudojimas, kai buvo spausdinama ant *TLW* viršutinio gofruotojo kartono sluoksnio.

13 lentelė. Realus dažų sunaudojimas. Medžiaga – *TLW*

Projektas	Dažai	Lapų skaičius vienam užsakymui, <i>vienetais</i>	Sunaudotų dažų kiekis, <i>kg</i>	Dažų kiekis vienam kvadratiniam metrui, <i>kg</i>
15595	381	3000	38	0,02259
14982	381	1900	18	0,01794
10139	381	13700	90	0,01551
14703	381	1500	18	0,01426
13027	1205	30400	120	0,01114
9953	1205	13500	60	0,01259
13027	1205	8100	50	0,01743
10142	1205	4180	36	0,01578
12000	1205	2400	24	0,01628
13028	1205	23000	50	0,01124
10139	485	13700	32	0,02031
15144	485	17300	12	0,02046
15239	485	5600	8	0,04521
10142	293	4180	32	0,04387
13028	293	23000	18	0,03894
14310	388	20000	180	0,01167
15144	388	17300	50	0,01420
15239	388	5600	22	0,01842
13337	388	1200	8	0,39448
14260	286	2700	8	0,02139
14261	286	2200	8	0,02704
15745	286	10000	90	0,01108
15278	286	8000	100	0,01097
16320-1	440	1700	22	0,01484
16320	440	4200	42	0,01243

22 paveiksle matoma, koks dažų kiekis sunaudojamas dažniausiai spausdinant ant *TLW*. Vieno kvadratinio metro spausdinamojo paviršiaus padengimui vidutiniškai reikia 0,02211 kilogramo dažų. Dažų kiekio ir dažnio koreliacija lygi 0,97757. Vadinasi, tiesinė koreliacija yra „stipri“.



22 pav. Dažų sunaudojimo kiekio verčių dažnio priklausomybė nuo jų sunaudoto kiekio. Tiriamoji medžiaga – *TLW*

Apibendrinant, visų tirtų medžiagų (*TLW*, *TL* ir *EKL*) sunaudoto dažų kiekio ir jų dažnio koreliacija yra ganėtinai stipri. Mažiausias koreliacijos koeficientas yra *TL* paviršiaus, tačiau jis taip pat patenka į „stiprios“ koreliacijos verčių intervalą. Dažų sunaudojimo vienam kvadratiniam metrui atspaudų ant tiriamų gofruotųjų kartonų spausdinimui vidurkiausiai skiriasi iki dviejų kartų. Daugiausia dažų sunaudojama spausdinant ant *TL* popieriaus. Vienam kvadratiniam metrui vidutiniškai tenka apie 0,04 kg dažų. Dažų išsikvojimas atspaudams ant *EKL* paviršiaus vidutiniškai yra apie 0,03 kg, o *TLW* – 0,02 kg.

4.3. Absorbcijos tyrimo ir realaus dažų sunaudojimo rezultatų palyginimas

Palyginus *Bristow* tyrimo metu gautus absorbcijos rezultatus su realiais dažų sunaudojimo spausdinant duomenimis, akivaizdu, kad daugiausia dažų sugeria gofruotasis kartonas, kurio paviršius – *TL* popierius. Palyginti su *TL*, *TLW* ir *EKL* kartono paviršiai dažų sugeria mažiau. Mažiau dažų sugeria *EKL*, o *TLW* absorbcija mažiausia. Apibendrinant, realius dažų sunaudojimo kiekius, vienam kvadratiniam metrui atspauda ant *TL* paviršiaus vidutiniškai sunaudojama apie 0,04 kg dažų. *EKL* paviršiaus atspaudams vidutiniškai išeikvojama apie 0,03 kg, o *TLW* – 0,02 kg. *Bristow* eksperimento metu gauta, kad kontaktiniam laikui svyruojant nuo 0,1 iki $1 \frac{1}{s^2}$, *TL* įgertis svyruoja nuo 7,5 iki 11,5 cm^3/m^2 , *EKL* – nuo 6,3 iki 8,9 cm^3/m^2 , o *TLW* – nuo 5,4 iki 7,9 cm^3/m^2 . Taigi, *Bristow* metodu nustatyta fleksografinių dažų absorbcija koreliuoja su realiu dažų sunaudojimu spausdinant įvairių spalvų ir plotų atspaudus.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Gofruotųjų kartonų vidutinis statistinis dažų sunaudojimas spausdinant komercinius spaudinius skiriasi iki dviejų kartų:
 - kartonas, kurio paviršius $TL - 0,04 \text{ kg/m}^2$,
 - kartonas, kurio paviršius $EKL - 0,03 \text{ kg/m}^2$,
 - kartonas, kurio paviršius $TLW - 0,02 \text{ kg/m}^2$.
2. Dažų sugertis, nustatyta *Bristow* metodu, kai kontakto laikas yra nuo 0,01 iki 1 sekundės:
 - kartonas, kurio paviršius TL – nuo 7,5 iki 11,5 cm^3/m^2 ,
 - kartonas, kurio paviršius EKL – nuo 6,3 iki 8,9 cm^3/m^2 ,
 - kartonas, kurio paviršius TLW – nuo 5,4 iki 7,9 cm^3/m^2 .
3. *Bristow* bandymo metu dažų absorbcija didėja didėjant kontakto laikui. Tai rodo, kad sugerties vaidmuo tirtų dažų ir kartonų sąveikoje yra pagrindinis, o vilgymo kinetika beveik nepasireiškia.
4. Fleksografinių dažų sugertis, nustatyta *Bristow* metodu, koreliuoja su realiu dažų sunaudojimu spausdinant komercinius spaudinius.
5. Rekomenduotina kartonui, kurio paviršius TL , naudoti labiau klįjintą popierių.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. D5455 – 93: *Standard test method for short – term liquid sorption into paper (Bristow test)*. An American National standart. 2006. 5 p.
2. Berezinas, B. 1990. *Poligrafijos medžiagotyra*. Versta iš 2-ojo pataisyto ir papildyto leidimo. Vilnius: Mokslas. 70–123 p.
3. Buika, G. 2007. *Poligrafijos medžiagos*. Kaunas. 29 p.
4. Buika, G. 2007. *Spaudos dažai*. Kaunas. 49 p.
5. Bristow, J. A. 1967. *Liquid absorption into paper during short time intervals*. Svensk Papperstid 70(19). Stockholm. 623 – 629 p.
6. *KRK Bristow tester (liquid dynamic absorption tester)* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.optest.com/KRK/Brochure_KRK_Bristow.pdf>.
7. Dedijer S. et al. 2012. *Flexographic ink composition and its wetting influence on flexo printing plate and printed substrate*. Papiripar. 25 – 30 p.
8. Giraitytė G. 2014. *Spausdinimo įprastais ir UV dažais palyginamasis kokybės tyrimas: baigiamasis magistro darbas*. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas. 73 p.
9. *Kartono gamyboje naudojami popieriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smurfitkappa.com/vHome/lt/Products/Pages/Conventional_Corrugated_Sheets.aspx#sthash.4FvOm1x9.dpuf>.
10. *Popieriaus, naudojamo gofruoto kartono gamybai, specifikacija. Rudas ilgaplaušis popierius (K)* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smurfitkappa.com/vHome/lt/Products/Pages/Kraftliner_Brown_K_Europe.aspx#sthash.Emm2GFhN.dpuf>.
11. *Popieriaus, naudojamo gofruoto kartono gamybai, specifikacija. Ilgaplaušis popierius baltu paviršiumi (KWT)* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smurfitkappa.com/vHome/lt/Products/Pages/Kraftliner_White_Top_KWT_Europe.aspx#sthash.8tBzgflc.dpuf>.
12. *Popieriaus, naudojamo gofruoto kartono gamybai, specifikacija. Testliner 4 (T4)* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smurfitkappa.com/vHome/com/Products/Pages/Testliner_4_T4_Europe.aspx#sthash.c6lE1E0H.dpuf>.
13. *Popieriaus, naudojamo gofruoto kartono gamybai, specifikacija. Testliner White top (TWTB1)* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smurfitkappa.com/vHome/com/Products/Pages/Testliner_White_Top_B1_TWTB1_Europe.aspx#sthash.cTh9oWmt.dpuf>.

14. Johnson, J. 2008. *Aspects of flexographic print quality and relationship to some printing parameters*: Dissertation. Karlstad: Karlstad University. 108 p.
15. Kulišauskaitė, M. 2013. *Kartono paviršiaus ir mechaninių savybių kaita spausdinant*. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas. 67 p.
16. Rentzhog, M. 2014. *Characterisation of water – based flexographic inks and their interactions with polymer – coated board*. Stockholm: Ytkemiska Institutet. 53 p.
17. Rioux, R. W. 2003. *The rate of fluid absorption in porous media*. An abstract of the thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science. Maine: The university of Maine. 121 p.
18. Roberts, J. R. 2004. *Liquid penetration into paper*. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy at the Australian National University. The Australian National University 32 p.
19. Sidaravičius, D. J.; Montrimas, E. 2005. *Fizikiniai teoriniai informacijos registravimo ir spausdinimo procesų pagrindai*. Vilnius: Technika. 64 p.
20. Sidaravičius, D. J. 2012. *Spausdinimo medžiagos. Laboratorinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 5–45 p.
21. Sidaravičius, D. J., Turla, V. *Poligrafinės medžiagos*. Paskaitų konspektai. 129 p.
22. Thorman, S. 2015. *Absorption non – uniformity characterisation and its impact on flexographic ink distribution of coated packaging boards*. Licentiate thesis. Karlstad: Universitetstryckeriet. 78 p.
23. Wendler, S. D. 2006. *Washboarding of corrugated cardboard*. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Melbourne. 223 p.