



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Gediminas Mincė

FLEKSOGRAFINIŲ SPAUDOS GAMINIŲ
KOKYBĖS GERINIMO TECHNOLOGIJŲ TYRIMAS
UAB „REPRODUKCIJOS SPALVOS“

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. habil. dr. Edmundas Kibirškis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
GAMYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(parašas) Doc. dr. Kazimieras Juzėnas

(data)

FLEKSOGRAFINIŲ SPAUDOS GAMINIŲ
KOKYBĖS GERINIMO TECHNOLOGIJŲ TYRIMAS
UAB „REPRODUKCIJOS SPALVOS“

Baigiamasis magistro projektas

Grafinių komunikacijų inžinerija (kodas 621H74002)

Vadovas

(parašas) prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis

(data)

Recenzentas

(parašas)

(data)

Projektą atliko

(parašas) Gediminas Mincė

(data)

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Gediminas Mincė

(Studento vardas, pavardė)

Grafinių komunikacijų inžinerija, 621H74002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Fleksografinių spaudos gaminių kokybės gerinimo technologijų tyrimas UAB "Reprodukcijos spalvos"
AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 _____ 15 _____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gedimino Mincės** baigiamasis projektas tema „Fleksografinių spaudos gaminių kokybės gerinimo technologijų tyrimas UAB „Reprodukcijos spalvos“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu:

Gamybos inžinerijos
katedros vedėjas

(parašas, data)

doc. dr. Kazimieras Juzėnas

(vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studijų programa GRAFINIŲ KOMUNIKACIJŲ INŽINERIJA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis projektas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju projektu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Projekto tema _____

Patvirtinta 2015 m. _____ mėn. ____ d. dekanų įsakymu Nr. _____

2. Projekto tikslas _____

3. Projekto struktūra _____

4. Reikalavimai ir sąlygos _____

5. Projekto pateikimo terminas 2015 m. gegužės mėn. ____ d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

Išduota studentui _____

Užduotį gavau _____

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Vadovas _____

(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)

Mincė, G. Fleksografinių spaudos gaminių kokybės gerinimo technologijų tyrimas UAB „Reprodukcijos spalvos“. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Gamybės inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 54 psl.

SANTRAUKA

Plastikas – vienas iš populiariausių pakavimo medžiagų XXI amžiuje. Šiuo metu polimerinių medžiagų rūšių yra labai įvairių, jie pasižymi skirtingomis savybėmis ir pritaikymo galimybėmis. Vieni yra tinkami maisto pramonei, skirti liestis su maistu, kiti – atsparūs cheminiams junginiams – chemijos pramonei, ir pan.

Pagrindinis šio tyrimo tikslas yra nustatyti polimerinių medžiagų fizikinių parametrų įtaką fleksografinių atspaudų kokybei. Darbe nagrinėjami polimerinių medžiagų paviršiaus įtempimai ir ir elektrostatinio lauko fizikiniai paramerai. Šie parametrai nėra tiesiogiai susiję vienas su kitu, tačiau nuo abiejų priklauso galutinė gaminio kokybė.

Plastiką galima apibūdinti kaip hidrofobišką medžiagą, kuri prastai vilgoma skysčiais. Vilgumui pagerinti, poligrafinių medžiagų gamintojai apdoroja spausdinamąjį paviršių vainikiniu išlydžiu, tačiau laikas turi neigiamą įtaką vilgumo savybėms. Siekiant išsiaiškinti kokiais minimaliais paviršiaus įtempimais galima spausdinti kokybiškai, buvo atliktas paviršiaus įtempimų tyrimas. Jo metu išsiaiškintos minimalios paviršiaus įtempimų vertės tenkinančios spausdinimo kokybę. Taip pat nustatytas paviršiaus įtempimų pokytis priklausomai nuo vainikinio išlydžio galios ir išanalizuotas optinių savybių pokytis priklausomai nuo paviršiaus įtempimų dydžių. Žinant minimalias leistinas paviršių įtempimų ribas, galima iš anksto nustatyti žaliavos tinkamumą spaudos darbams.

Plastikas taip pat pasižymi gebėjimu lengvai įgauti elektrostatinį krūvį. Spausdinimo ar apdorojimo metu, plastikinės plėvelės nuolat kontaktuoja su įvairiais paviršiais ir įgauna nepageidaujamą elektrostatinį krūvį. Įsielektrinės plėvelės ritinys, sukelia nemažai problemų užsakovui. Statinis krūvis iš aplinkos traukia dulkes ar kitus nešvarumus, su tokia medžiaga tampa problematiška dirbti pakavimo linijose. Šį reiškinį įmonėje bandyta panaikinti panaudojant pasyviais statinio krūvio šalinimo priemones, paremtas įžeminimo principu, tačiau norimas efektas nepasiektas. Išanalizavus literatūrą buvo nustatyta, kad aktyvios elektrostatinio lauko šalinimo priemonės (jonizatoriai), gali išspręsti šią problemą. Tyrimo metu nustatyta tinkama jonizatorių

tvirtinimo vieta „Jurmet 500” išilginio pjovimo/pervyniojimo įrenginyje. Taip pat jonizatorių įtaka elektrostatinio lauko mažinimo procese.

Spaudos gaminių kokybės gerinimo tyrimas atliktas įmonėje UAB „Reprodukcijos spalvos“, kartu su Kauno technologijos universitetu. UAB „Reprodukcijos spalvos“ tai įmonė teikianti fleksografinės spaudos paslaugas. Įmonės pagrindiniai gaminami produktai tai: lipnios etiketės, etikečių ruošiniai, barjerinės pakuotės, juosiančiosios butelių etiketės.

Mince, G. Research of Flexographic Products Quality Improvement Technologies at JSC "Reprodukcijos spalvos". Master Final Degree Project / Supervisor Assoc. prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Department of Production Engineering.

Kaunas, 2015. 54 pages.

SUMMARY

Plastic is one of the most popular packaging materials in the 21st century. Currently, there are very many kinds of polymer materials, they have different properties and potential applications. Some are suitable for the food industry and intended to come into contact with food, others are resistant to chemical compounds, they are intended for chemical industry and so on.

The main objective of this study is to determine the influence of polymeric materials physical parameters on the quality of imprints in flexography. In this study surface tension and electrostatic field physical parameters of polymer materials are discussed. These parameters are not directly inter-related but both of them have an effect on the final product quality.

Plastic can be described as a hydrophobic material, poorly wettable by liquid. To improve wetting, printing materials manufacturers process the printing surface of printing materials with corona discharge, but time has a negative impact on wetting properties. In order to find out with what minimal surface tension it is possible to print qualitatively, this investigation of surface tension has been made. During it the lowest values of surface tension, ensuring satisfactory printing quality, were determined, a change in surface tension depending on the corona discharge power parameters was identified, and optical change depending on the surface tension values was analyzed. It is possible to pre-determine the suitability of input material for printing, if we know the minimal allowable limits of surface tension.

The plastic also has the ability to easily receive electrostatic charge. At the time of printing or processing, plastic films constantly contact various surfaces, and receives the unwanted electrostatic charge. An electrified film roll causes many problems for the customer. Static charge attracts dust and other impurities from the environment, making it harder to handle this material on packaging lines. An attempt was made to eliminate this phenomenon through the use of passive measures for static charge removing based on grounding principle, however, the desired effect was not achieved. After analyzing the literature, it was found that active measures for removing electric field (ionizers) can solve this problem. In the course of investigation the suitable place for mounting ionizers in a longitudinal cutting/rewinding device *Jurmet500* was determined. As well as the influence of ionizers on the process of electrostatic field reduction.

Investigation of improvement in printed products quality was carried out by JSC “Reprodukcijos spalvos“ (Reproduction colors), along with the Kaunas University of Technology. JSC “Reprodukcijos spalvos“ company providing the services of flexographic printing. Company's main manufactured products include: adhesive labels, unprinted labels, barrier packaging films, and wrap bottle labels.

TURINYS

IVADAS.....	11
1. LITERATŪROS ANALIZĖ	14
1.1 Paviršiaus įtempimai ir drėkinimo kampas	14
1.2 Polimerinių medžiagų drėkinamųjų savybių gerinimas	16
1.3 Vainikinio išlydžio įtaka atspaudų kokybei	18
1.4 Elektrostatinis laukas ir jo atsiradimo priežastys	19
1.5 Triboelektra. Jos susidarymo priežastys.....	19
1.6 Elektrinės laidininkų ir izoliatorių savybės.....	22
1.7 Elektrostatinio lauko slopinimo efektas	23
1.8 Elektrostatinio lauko sukeltos problemos pakavimo technologijose	24
1.9 Elektrostatinio lauko šalinimas jonizatoriumi.....	24
1.10 Bekontaktio elektrostatinio lauko matavimo principas	25
1.11 Literatūros analizės išvados	26
2. TYRIMŲ METODIKA.....	27
2.2 Paviršiaus įtempimų tyrime naudota įranga, parametrai ir metodai.....	27
2.2.1 Bandinių spausdinimas.....	27
2.2.2 Papildomas paviršiaus aktyvavimas.....	28
2.2.3 Drėkinimo kampo nustatymas.....	29
2.2.4 Optinio tankio ir rastrinio taško patizimo nustatymas	29
2.2.5 Mikroskopinė atspaudų analizė.....	31
2.3 Elektrostatinio lauko mažinimo tyrime naudota įranga,	33
parametrai ir metodai	33
2.3.1 Bekontaktis elektromatis	33
2.3.2 Jonizatorius.....	33
2.3.3 Išilginio pjovimo staklės	34
2.3.4 Jonizatoriaus montavimas <i>Jurmet 500</i> įrenginyje.....	35
2.3.5 Bandinių parinkimas	36
2.3.6 Matavimų eiga.....	36
2.3.7 Aplinkos sąlygos	37
3. REZULTATŲ ANALIZĖ	38
3.1 Paviršiaus drėkinimo įtakos fleksografinės spaudos kokybei tyrimo rezultatai	38
3.1.1 Drėkinimo kampo tyrimo rezultatai	38
3.1.2 Optinio tankio sklaidos priklausomybė nuo paviršiaus įtempimų ir mikroskopinė atspaudų analizė	41
3.1.3 Rastrinio taško išsiplėtimo priklausomybė nuo paviršiaus įtempimo	46
3.1.3 Aktyvavimo lygio parametrų nustatymas	46
3.2 Elektrostatinio lauko mažinimo taikant jonizatorių tyrimo rezultatai.....	47
IŠVADOS.....	52
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	53
PRIEDAI	55

ĮVADAS

Po antrojo pasaulinio karo sparčiai išpopuliarėjo polimerinės medžiagos skirtos pakuoti maisto, farmacijos, chemijos ir kitus produktus. Didelę įtaką tam turėjo sumažėjusi žaliavų išgavimo kaina. Pakuoti į polimerą buvo pigiau, paprasčiau ir efektyviau nei pakuoti į popierių, stiklą ar kitas medžiagas. Šiuo metu polimerinių medžiagų rūšių yra labai daug. Visi pasižymi skirtingomis savybėmis ir pritaikymo galimybėmis. Vieni yra tinkami maisto pramonei, skirti liestis su maistu, kiti – atsparūs cheminiams junginiams – chemijos pramonei, ir pan.. Pakuotės paskirtį galima apibūdinti dvejopai. Visų pirma, pakuotė yra skirta apsaugoti joje talpinamą produktą nuo aplinkos poveikio, arba atvirkščiai. Antrą – pakuotė naudojama informacijai apie gaminį perteikti.

Polimeras – medžiaga, kurio molekulės sudarytos iš daug besikartojančių struktūrinių vienetų, vadinamų monomerais, sujungtų kovalentiniais cheminiais ryšiais (S. Tamulevičius, D. Jucius). Šios medžiagos, priešingai nei popierius, neįgeria dažų. Popierius dėl porėtos struktūros lengvai pasisavina dažus, o plastikai dėl nekapiliarios struktūros to padaryti negali. Esant mažam paviršiaus įtempimui skysčiai prastai drėkina paviršių, ir tai turi įtakos spausdinimo ar laminavimo procese. Plastiką taip pat pasižymi savo dielektrinėmis savybėmis, dėl kurių lengvai gali įgauti nepageidaujamą elektrostatinį lauką, kuris privalo būti kontroliuojamas spausdinimo ir apdorojimo technologijose.

Tinkamas spaudos darbams plastikas yra tas, kuris pasižymi savo hidrofiliškumu, t. y. savybe priimti skysčius. Poligrafinių medžiagų tiekėjai gali pasiūlyti polimerines medžiagas ir specialiai apdorotais paviršiais skirtais kontaktui su dažais. Dažniausiai plastikai yra apdorojami žemos temperatūros vainikiniu išlydžiu (ang. *Corona treatment*) kuris susidaro, kai specialūs keramikiniai elektrodai yra veikiami aukštos įtampos. „A/S Vetaphone“ tyrimais nustatyta, kad laikas turi didelę įtaką paviršiaus energijos mažėjimui. Aktyvuotas polietilenas, per pusę metų gali netekti net 50% savo paviršiaus įtempimų verčių. „Pasenusios“ medžiagos dažnai tampa nebetinkamos spaudos darbams, todėl joms yra būtina atlikti papildomą paviršiaus aktyvaciją. Siekiant nustatyti paviršiaus hidrofiliškumo ribas, kuriose yra išgaunama kokybiška spauda, buvo atlikti polimerinių medžiagų paviršiaus drėkinimo įtakos spaudos kokybei tyrimai skirtingoms medžiagoms.

Polimerinių pakavimo medžiagų spausdinimo ir apdorojimo procesuose nuolat vyksta jų trintis tarp besisukančių įrenginių mazgų. Tai sukuria nepageidaujamą elektrostatinio lauko susidarymą plėvelių paviršiuose. Dėl šio efekto, pakavimo metu kyla įvairių technologinių neatitikčių. Siekiant pagerinti fleksografinių gaminių kokybę yra būtina sumažinti elektrostatinio lauko susidarymą galutiniame produkte, todėl buvo atlikti elektrostatinio lauko mažinimo tyrimai panaudojant jonizatorių.

Tyrimo tikslas:

nustatyti polimerinių medžiagų fizikinių parametru įtaką fleksografinių atspaudų kokybei.

Nagrinėjami fizikiniai paramerai:

1. paviršiaus įtempimai;
2. elektrostatinis laukas.

Tyrimo uždaviniai:

1. nustatyti drėkinimo kampo priklausomybę nuo vainikinio išlydžio energijos dydžio;
2. nustatyti dažų optinio tankio pokyčio priklausomybę nuo drėkinimo kampo reikšmių;
3. įvertinti atspaudų vizualinį kokybės pokytį priklausomai nuo medžiagų paviršiaus įtempimų verčių;
4. nustatyti medžiagos faktoriaus įtaką papildomam paviršiaus aktyvavimui;
5. suprojektuoti tinkamiausią jonizatorių tvirtinimo vietą - išilginio pjovimo/pervyniojimo staklėse *Jurmet 500*;
6. nustatyti jonizatoriaus įtaką elektrostatinio lauko mažinimo procese po išilginio pjovimo - pervyniojimo etapo.

Problemos apibūdinimas

Tinkamas spaudos darbams plastikas pasižymi geromis hidrofiliškomis savybėmis. Prastas dažų dengiamumas (ang. *Pinholing*) viena iš netenkinamo drėkinimo priežasčių. Esant žemoms vilgumo savybėms, dažai ant plastiko paviršiaus linkę susitraukti į lašo formos pavidalą ir taip sudaryti kuo mažesnę kontaktinį plotą su spausdinamąja medžiaga [1]. Esant kartotiniams darbams, dėl prasto dengimo, neįmanoma atkartoti spalvinių charakteristikų tais pačiais spausdinimo parametrais, todėl dažnai klaidingas veiksmas būna didinti dažų pernešimo kiekį, ar keisti dažų receptūrą. Tai gali tik sušvelninti atspalvio neatitiktis, tačiau problemos neišsprendžia. Spaudos mašinos turinčios vainikinio išlydžio (ang. *Corona treater*) įrenginį, plastiko hidrofobiškumą eliminuoja nesunkiai, tačiau spausdinant mašinomis be minėtų įrenginių - gali kilti problemų. Nežinant minimaliai tenkinančių paviršiaus įtempimų ribų, tenka pasitikėti, kad medžiagos gautos iš tiekėjų yra neužsigulėję sandėliuose ir jų paviršiaus aktyvacija nebus nusilpusi. Ruošiant spaudos darbą ant pasenusios medžiagos yra sugaištamas laikas spaudos darbo pritaismui, kadangi neturint alternatyvios spausdinimo medžiagos ją reikia papildomai aktyvuoti. Kaip rodo praktika, ne retai yra susiduriama su šia problema, tačiau žinant paviršių įtempimų ribas, su kuriomis galima išgauti kokybišką spaudą, atsiranda galimybė iš anksto nustatyti žaliavos tinkamumą spaudos darbams dar prieš spausdinimo procesą.

Be jau minėtų problemų, polimerinių pakavimo medžiagų spausdinimo ir apdorojimo procesuose nuolat vyksta jų trintis tarp besisukančių įrenginių mazgų. Tai sukuria nepageidaujamą elektrostatinio lauko susidarymą ant spausdintos ir nespausdintos pakavimo produkcijos [2]. Tinkamai nekontroliuojant šio reiškinio, galutinis produktas su padidintu elektrostatiniu lauku patenka į pakavimo linijas. Plonos 20-48 μ storio plėvelės nešančios savyje elektrostatinį lauką, gali tapti sunkiai suvaldomos greitaeigių pakavimo mašinų. Tinkamai neveikianti etiketavimo sekcija priverčia daryti visos linijos neplanuotus gamybos sustojimus, o tai sukelia nepasitenkinimą pakuotės gamintojais. Įelektrintos medžiagos pakavimo metu taip pat gali pritraukti aplinkoje esančias dulkes ar kitas smulkias nepageidaujamas daleles. Tai nepriimtinas reiškinys pakavimo metu, o ypač pakuojant maisto produktus.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

Literatūros analizė buvo pasirinkta kaip pagalbinė mokslinė priemonė tiriamajame darbe. Atliekant literatūros analizę buvo siekiama plačiau išsiaiškinti apie tiriamuosius fizikinius parametrus (paviršiaus įtempimus, elektrostatinį lauką), jų ištirtumą ir svarbą poligrafijos technologijoje.

1.1 Paviršiaus įtempimai ir drėkinimo kampas

Paviršiaus įtempimų samprata bei jų matavimo priemonės plačiai aprašomos (Duncan, B., Mera, R. Leatherdale, D., Taylor, M., Musgrove, R. Techniques for characterising the wetting, coating and spreading of adhesives on surfaces, National Physical Laboratory, UK, 2005, 48 p.) tiriamajame darbe [3].

B. Duncan teigimu paviršiaus įtempimas (dar vadinamas paviršiaus energija) yra apibrėžiamas kaip jėga, reikalinga atskirti du paviršius. Tokia jėga turi būti didesnė už jėgą, kuri du paviršius laiko sukibusius. Paviršiaus įtempimas išreiškiamas, kaip jėgos dydis tenkantis medžiagos ploto vienetui ir matuojamas dyn/cm arba mN/m (1 dyn/cm arba 1 mN/m yra lygus 1 mJ/m²).

Kaip tiksliausių paviršiaus įtempimų matavimo būdą tarp kietojo ir skystojo kūno (žr. 1 pav.), tyrėjai išskiria kontaktinio kampo matavimo metodą. Tai vienas iš tiksliausių metodų nustatant kietosios medžiagos paviršiaus įtempimą. Tačiau, daugeliu atveju, kontaktinis kampas yra naudojamas kaip santykinis matas nustatant paviršiaus įtempimą (žr. 1.1 lent.). Kontaktinis kampas yra glaudžiai susijęs su medžiagos drėkinamąja savybe – kuo jis mažesnis, tuo medžiaga laikoma hidrofiliškesnė (priimanti vandenį).

Skystis kietosios medžiagos paviršių drėkina tada, kai jo paviršiaus įtempimas yra mažesnis už kietosios medžiagos paviršiaus įtempimą. Jėgos balanso riba tarp skysčio ir kietojo kūno apskaičiuojama pagal „Jungo“ lygtį:

$$\gamma_{lv} \cos \Theta_Y = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (1)$$

čia: Θ - kontakto kampas, °;

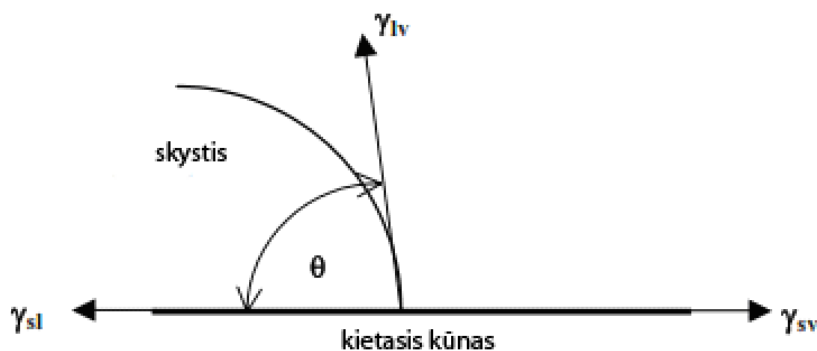
γ_{lv} – skysčio garų paviršiaus laisvoji energija;

γ_{sv} – kietojo paviršiaus laisvoji energija;

γ_{sl} – skystojo-kietojo kūnų sąveikos energija.

Kuo mažesnis kontaktinis kampas, tuo skystis labiau drėkins kietąją medžiagą. Ši tendencija perša teiginį, jog esant pačiam mažiausiam kontaktiniam kampui, t.y. kai $\Theta=0^\circ$ ($\cos \Theta$

$\Theta=1$), kietoji medžiaga yra visiškai drėkinama. Kad vyktų visiškas drėkinimas ($\gamma_{sv} - \gamma_{sl}$), skysčio paviršiaus įtempimas turi būti mažesnis arba lygus substrato kritiniam įtempimui. Ypač didelis kontaktinis kampas (pvz., $\Theta=90^\circ$) siejamas su prastu medžiagos drėkinimu.



1 pav. Skysčio paviršiaus kontaktinis kampas [3]

Plastikų drėkinimo kampo matavimas dažniausiai naudojamas siekiant nustatyti jų tinkamumą spaudai ar laminavimui. Neretai plastiko paviršius papildomai apdorojamas, kad pagerėtų jo hidrofiliinės savybės.

Pagal ASTM D5946 standartą išmatuotos vandens kontaktinių kampų vertės gali būti naudojamos kaip skalė nustatant plastiko paviršiaus apdirbimo lygį. Tokia skalė gali būti taikoma daugeliui polimerinių plėvelių (žr. 1.2 lentelė).

1.1 Lentelė

Polimerinės plėvelės paviršiaus apdirbimo lygis pagal ASTM D5946 standartą [3]

Paviršiaus papildomo apdirbimo lygis	Kontaktinis paviršiaus kampas, °	Paviršiaus įtempimas (apytikriai), dyn/cm
Be apdirbimo arba nežymus apdirbimas	>90	<34
Mažas	85-90	36-34
Vidutinis	78-84	39-36
Aukštas	71-77	43-40
Labai aukštas	<71	>43

Kontaktinio kampo matavimams yra naudojamas distiliuotas vanduo, o ne konkretūs, realūs gamybos procesuose naudojami skysčiai, kurių skirtingas klampumas gali apsunkinti tyrimus bei padidinti išlaidas. Vanduo yra polinė medžiaga, kuri suformuoja stiprius vandenilinius ryšius sąveikaujant su polinės grupės medžiagų molekulėmis (vyksta hidrofiliinis reiškinys). Hidrofobinės molekulės dėl jų nepolinės prigimties išstumiamos iš vandens molekulių ir kitų hidrofiliinių molekulių bei jonų sistemos ir sudaro atskirus telkinius, t.y. suformuoja ant kietojo paviršiaus atskirus lašelius, o ne išsiskyrusią skysčio plėvelę. Nepolinių skysčių paviršiaus įtempimas apytikriai

siekia 20 mN/m. Tai dar viena svarbi priežastis, kodėl vanduo yra tinkamiausia skystoji medžiaga atliekant drėkinimo kampo matavimų tyrimus. [3]

1.2 lentelė

Drėkinimo kampo reikšmių konvertavimas į paviršiaus įtempimo dyn/cm vertes [3]

Vandens kontakto su paviršiumi kampas, °	Paviršiaus įtempimas, dyn/cm
51-53	46
54-56	45
57-59	44
60-62	43
63-65	42
66-68	41
69-71	40
72-73	39
74-76	38
77-79	37
80-81	36
82-84	35
85-87	34
88-89	33
90-92	32
93-95	31
96-97	30
98-100	29

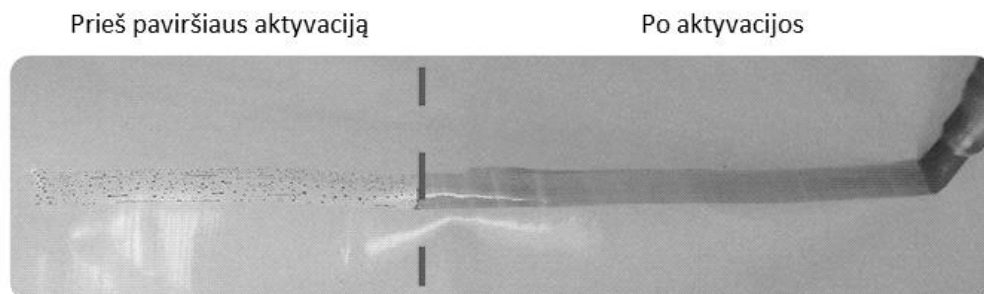
Iš gautos informacijos galima suformuluoti pagrindinius teiginius kurie tvirtina, kad:

- 1) visiškas drėkinimas vyksta tuomet, kai skysčio paviršiaus įtempimas yra mažesnis arba lygus substrato kritiniam įtempimui;
- 2) tiksliausiai paviršiaus įtempimus apibūdina drėkinimo kampo matavimo metodas;
- 3) siekiant padidinti vilgumo savybes, plastiko paviršius yra papildomai apdorojamas.

1.2 Polimerinių medžiagų drėkinamųjų savybių gerinimas

Kaip buvo minėta B. Duncan tyrime, siekiant pagerinti polimero vilgumo savybes, plastikai yra apdorojami specialiu būdu. Vienas iš plačiausiai naudojamų plastiko paviršiaus savybių gerinimo būdų yra vainikinis išlydis. Ši technologija naudojama gaminant polimerines spausdinimo medžiagas tam, kad pagerinti paviršiaus drėkinamąsias savybes. Šis metodas taip pat pritaikomas ir fleksografinėse spausdinimo mašinose, siekiant padidinti paviršiaus įtempimų vertes prieš spausdinimą.

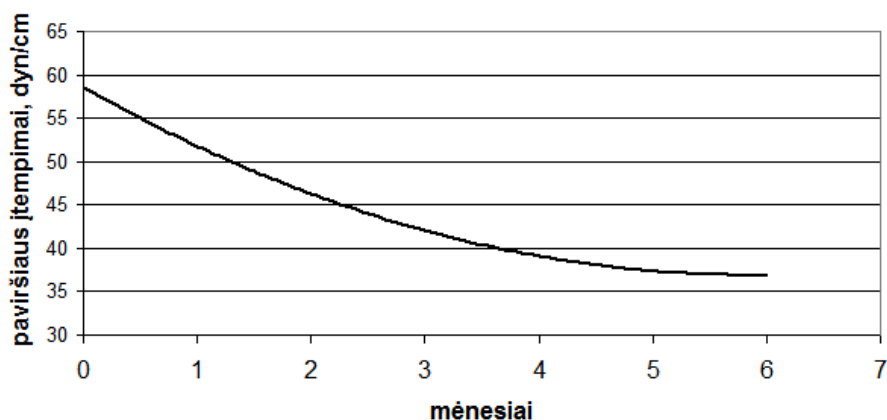
Paviršiaus įtempimų pokytį priklausomai nuo vainikinio išlydžio apdorojimo būdo plačiai yra išnagrinėjęs šių įrengimų gamintojas A/S „Vetaphone“ [4]. Tyrime teigiama, kad plastikai iš prigimties yra hidrofobiški (atstumiantys skysčius), todėl iškyla sunkumų norint spausdinti ant specialiai neapdoroto paviršiaus. Hidrofobiškas plastikas stengiasi atstumti nuo savęs skysčius, taip priversdamas juos susitraukti į rutuliuko formą (žr. 2 pav).



2 pav. Polimerinė plėvelė prieš ir po paviršiaus aktyvacijos [6]

Kaip teigiama S. Tamulevičiaus knygoje „Medžiagų mokslas“ plastikas yra sintetinė žmogaus sukurta medžiaga, sudaryta iš daugybės pasikartojančių monomerų sujungtų kovalentiniais cheminiais ryšiais. Molekulių grandinių pradžia ir pabaiga dažniausiai yra susijungusi viena su kita, taip sudarant dar ilgesnes grandines [7]. Nesusijungusios grandinės palieka atvirus tarpus (ang. *Bonding point*), į kuriuos gali prasiskverbti dažai ir gerai įsitvirtinti. Tačiau po polimerų gamybos, nesusijungusių grandžių yra labai mažai, todėl siekiant pagerinti spausdinimo, adhezinės ar laminavimo savybes reikia atlikti paviršinę molekulių destrukciją [4].

A/S „Vetaphone“ tyrimuose nustatyta, kad skirtingoms polimerinėms medžiagoms yra reikalingas skirtingas aktyvavimo galingumas siekiant išgauti tas pačias paviršiaus įtempimų vertes. Kaip yra teigiama, medžiagų sandėliavimo laikas turi didelę įtaką paviršiaus įtempimų mažėjimui po polimero aktyvacijos (žr. 3 pav.). Paviršiaus įtempimų mažėjimui taip pat turi įtakos ir polimerinių medžiagų sudėtyje esantys slidumą skatinantys elementai (ang. *Slip agents*). Jie migruoja iš medžiagos vidaus į išorę, taip prastindami paviršiaus drėkinamąsias savybes [4].



3 pav. Paviršiaus įtempimų mažėjimo priklausomybė nuo laiko [4]

A/S „Vetaphone“ nurodo, kad siekiant nustatyti reikiamą vainikinio išlydžio galingumą, tenkantį medžiagai, yra būtina atlikti tyrimus su konkrečiomis spaustuvėje naudojamomis medžiagomis ir nustatyti medžiagos faktoriaus reikšmes. Kadangi kiekvienas spausdinamųjų medžiagų gamintojas gali naudoti skirtingą cheminę sudėtį gamyboje, todėl paviršiaus įtempimų vertės tų pačių rūšių medžiagoms po aktyvacijos gali skirtis. Čia pateikiama vainikinio išlydžio galingumo apskaičiavimo formulė:

$$P = T \times S \times W \times M \quad (2)$$

P - vainikinio išlydžio įrenginio galingumas;

T – aktyvuojamos pusės;

S – greitis m/s;

W – medžiagos plotis (m);

M – medžiagos faktorius (W/m²/min).

A/S „Vetaphone“ pateikia paviršiaus įtempimų gerinimo metodus bei jų trūkumus, tačiau jie neaprašo spausdinimo kokybės priklausomybės nuo paviršiaus įtempimų reikšmių. Iš gautos informacijos galima taigti, kad:

- 1) plastikas iš prigimties yra hidrofobiška medžiaga;
- 2) paviršiaus įtempimai mažėja priklausomai nuo medžiagų sandėliavimo laiko, aplinkos sąlygų ir cheminės sudėties;
- 3) medžiagos faktoriaus reikšmė M nustatoma individualiai tyrimų būdu.

1.3 Vainikinio išlydžio įtaka atspaudų kokybei

Tyrimus, susijusius su spausdinimo kokybės pokyčiu priklausomai nuo paviršiaus įtempimų, yra atlikę Švedijos tyrėjai (Mesic, B., Lestelius, M., Engstrom, G., Edholm, B. Printability of PE-coated paperboard with water-borne flexography: Effects of corona treatment and surfactants addition. Pulp & Paper Canada 106(11), 2005, 36-41 p.)

B. Mesic tyrė polietileno paviršiaus įtempimų įtaką spaudos kokybei naudojant vandeninio pagrindo dažus. Pateikti tyrimų rezultatai rodo, kad vainikiniu išlydžiu apdoroti bandiniai įgavo 11% didesnę optinį tankį lyginant su neaktyvuotais bandiniais. Paviršiaus aktyvavimas vainikiniu išlydžiu turėjo teigiamos įtakos dažų dengiamumui bei dažų atsparumui trinčiai.

Šie tyrimai atlikti toms medžiagoms, kurių UAB „Reprodukcijos spalvos“ nenaudoja, todėl tai sąlygojo būtinybę atlikti papildomus tyrimus.

1.4 Elektrostatinis laukas ir jo atsiradimo priežastys

Kaip vienas iš kokybės gerinimo parametrų buvo pasirinktas elektrostatinis laukas. Jis - vienas iš nepageidaujamų reiškinių, kuris pasireiškia įvairiuose polimerinių pakavimo medžiagų spausdinimo ir apdorojimo procesuose.

Norint suprasti elektrostatinio lauko susidarymo priežastis, reikia žinoti elementariųjų dalelių elektromagnetinės sąveikos pagrindus. Be šių sąveikų neegzistuos atmai, molekulės, skystieji ir kietieji kūnai.

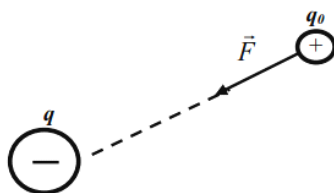
Kaip teigiama V. Rinkevičiaus knygoje „Elektra ir magnetizmas“ elektrinis krūvis tai viena pagrindinių elementariųjų dalelių savybių (kaip ir masė, judėjimo momentas ir kt.). Egzistuoja teigiamieji, neigiamieji ir neutralieji krūviai (neturi krūvio, arba turi vienodai teigiamų ir neigiamų krūvių). Bet kokio kūno krūvis yra tą kūną sudarančių elementariųjų dalelių krūvių algebrinė suma. Elementarusis krūvis $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ (kulonų) yra lygus protono krūviui. Elektrono krūvis yra neigiamas ir lygus $-e$.

V. Rinkevičius elektrostatinį lauką apibūdina kaip nejudančių krūvių sąveikos sukurtą fizikinę savybę. Jis teigia, kad visos elementariosios dalelės bei iš jų sudaryti atmai ir molekulės chaotiškai juda, todėl tam tikra prasme galima teigti, kad šis teiginys tik abstrakcija. Tačiau jeigu objekto krūvį sudaro didelis kiekis elementariųjų dalelių, ir nagrinėjamo erdvės taško nuotolis nuo kūno yra didesnis, nei elementariųjų dalelių judėjimo trajektorijos, tai galime laikyti elektrostatiniu lauku. Tuomet galima teigti, kad liečiantis dviems medžiagoms, dalis krūvio pereina iš vienos medžiagos į kitą. Dėl to, vienoje medžiagoje atsiranda teigiamų dalelių, o kitoje – neigiamų dalelių perteklius. Jei daiktai atskiriami vienas nuo kito nespėjus atstatyti krūvių, atsiranda elektrostatinis laukas.

Pagrindinė elektrostatinio lauko charakteristika yra lauko stipris:

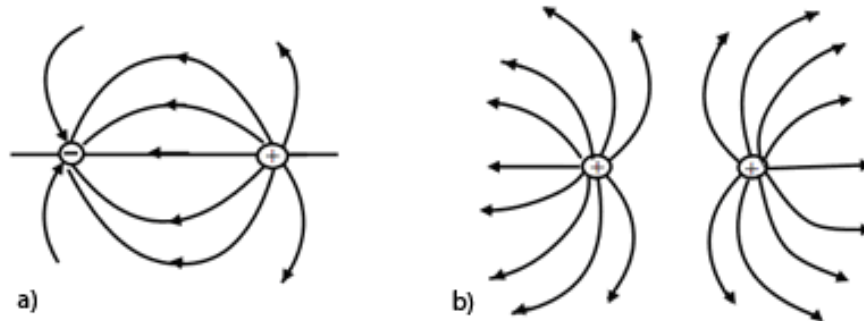
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (3)$$

Elektrinio lauko stipris E lygus jėgos F vektoriui, veikiančiam vienetinį teigiamą krūvį q_0 . Jo SI sistemos vienetas yra $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$ (voltas metrui). Lauko stipris skaitine verte lygus jėgai (žr. 4 pav.), kuria tas laukas veikia vienetinį teigiamą krūvį tame lauko taške ir nukreiptas jėgos kryptimi [10].



4 pav. Lauko stiprio poveikis taigiamam krūviui [10]

Elektrostatinį lauką įprasta vaizduoti lauko jėgų linijomis, kurios išeina iš teigiamųjų krūvių ir sueina į neigiamuosius (žr. 5 pav., a). Dviejų vienodo didumo vienaženklių krūvių laukas atvaizduotas (žr. 5 pav., b). [10]



5 pav. a) Skirtingų krūvių dalelių trauka, b) vienodų krūvių dalelių trauka [10]

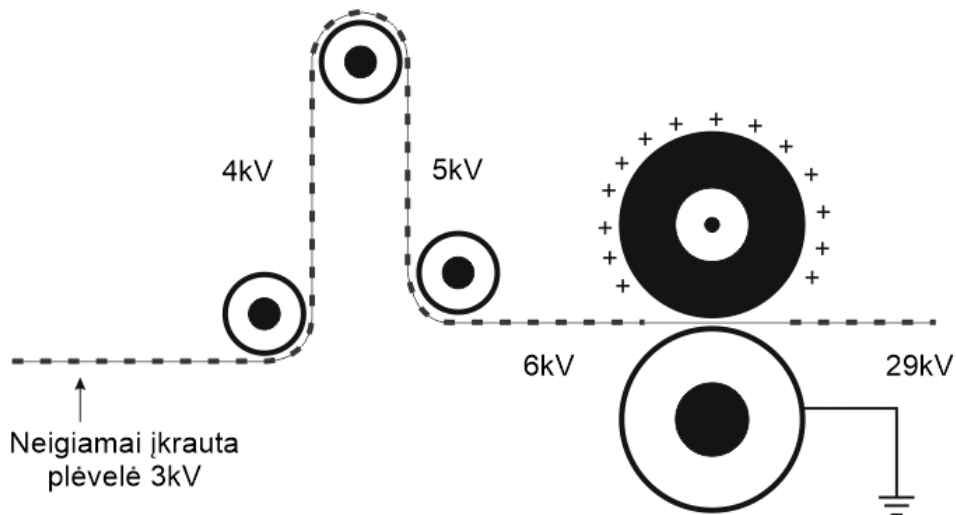
Remiantis V. Rinkevičiumi galime teigti, kad:

- 1) dalelės gali įgyti teigiamuosius, neigiamuosius arba neutraliuosius krūvius;
- 2) pagrindinė elektrostatinio lauko charakteristika – lauko stipris ir jo matavimo vienetas voltas metrui (V/m);
- 3) jei daiktai atskiriami vienas nuo kito nespėjus atstatyti krūvių, atsiranda elektrostatinis laukas.

Siekiant suprasti kaip medžiagos įgauna atitinkamo ženklo krūvį, buvo išnagrinėtas triboelektros susidarymo principas.

1.5 Triboelektra. Jos susidarymo priežastys

Triboelektra - dar kitaip vadinama trinties elektra. Šį reiškinį plačiai aprašo K. C. Adams knygoje „Naure’s electricity“ [11]. Autoriaus teigimu triboelektra atsiranda atskiriant vieną susilietusį kūną nuo kito - vienas jų įsikrauna teigiamai, kitas neigiamai. Pavyzdžiui, besisukančio guminio veleno kontakto su medžiaga nutraukimo momentas, sukelia statinio potencialo susidarymą ant plėvelės (žr. 6 pav.). Neigiamas krūvis objekto paviršiuje didėja su kiekvienu medžiagos kontaktu su velenu.



6 pav. Triboelektrikos susidarymas [12]

Kuomet dvi neutralaus krūvio medžiagos susiliečia, jos įgauna viena kitai atitinkamą priešingą krūvį. Jų įgautas poliariškumas priklauso nuo molekulės polinkio atiduoti ar priimti elektronus. Šį polinkį galima nuspėti pagal triboelektrikos lentelę (žr. 7 pav.), kuri sudaryta remiantis K. C. Adams knyga.

+
Žmogaus rankos
Kailis
Stiklas
Nailonas
Vilna
Švinas
Aluminiis
Popierius
Medvilnė
Plienas
Medis
Kieta guma
Nikelis, varis
Poliesteris
Polietilenas
Polipropilenas
PVC
-

7 pav. Triboelektrikos lentelė [11]

Kaip pavyzdį būtų galima pateikti plieninių velenų kontaktą su polietilenu. Pagal lentelę matyti, kad plienas po kontakto su polietilenu įgaus labiau teigiamą krūvį, o polietilenas neigiamą. Tai rodo, kad skirtingų medžiagų kontaktas, gali įvairiai atsiliepti įgaunamam elektrostatiui krūviui.

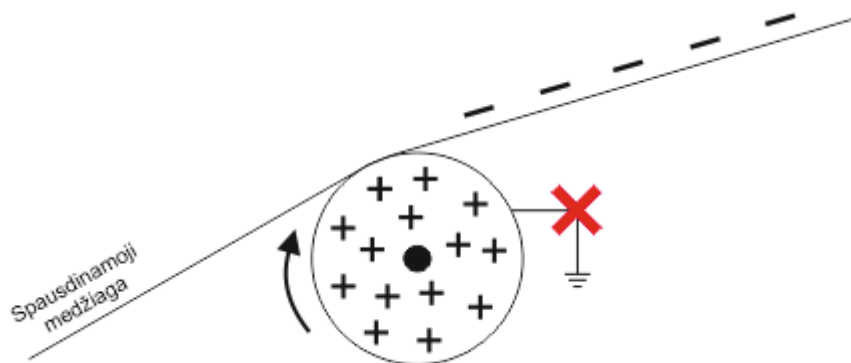
Pakavimo plėvelės pjovimo/pervyniojimo metu, juosta kontaktuoja su įvairiais įrenginio paviršiais, dažniausiai tai laidininkai (metaliniai velenai) ir izoliatoriai (gumuoti prispaudimo

velenai). Siekiant suprasti elektrostatinio krūvio elgseną ant skirtingų medžiagų, reikia išanalizuoti elektrines laidininkų ir izoliatorių savybes.

1.6 Elektrinės laidininkų ir izoliatorių savybės

Shelton S. teigimu medžiagos elektrinės savybės priklauso nuo jos savitojo elektrinio laidžio. Pagal šią vertę polimerai skirstomi į laidininkus, izoliatorius ir puslaidininkius. Dažniausiai spausdinimui skirtos medžiagos pasižymi savo dialektrinėmis savybėmis (PP, PE) ir pan..

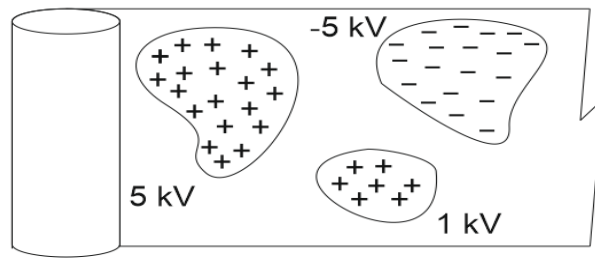
Laidininkai. Spaudos ar jos apdorojimo procesuose netinkamai įžeminti besisukantys velenai, kurie kontaktuoja su spausdinimo medžiagomis gali sukurti žalingą elektrostatinę iškrovą (žr. 8 pav.). Laidininkai krūvį paskirsto visame savo paviršiaus plote vienodai, o esant pertekliniui krūviui jį atiduoda į aplinką. Jeigu velenai įžeminti tinkamai – žalingos iškrovos pasireiškimas eliminuojamas [12].



8 pav. Netinkamai įžemintas spaudos velenas [12]

Izoliatoriai. Dėl mažo elektros srovės laidumo tokių medžiagų paviršiuje dėl kontakto su kitomis medžiagomis gali atsirasti statinių elektros krūvių. Trinantis polimerui į metalinių, guma ar kitomis medžiagomis dengtų įrengimų paviršių, atsiradusio statinio krūvio vertė priklauso nuo besiliečiančių paviršių sudėties, paviršiaus savybių, sąlyčio trukmės [13]. Izoliatoriai, įgavę elektrostatinį lauką, priešingai nei laidiningai negali būti neutralizuojami įžeminimo būdu. Todėl tenka panaudoti kitas elektrostatinio krūvio mažinimo priemones.

Dėl savo prigimties, izoliatorių paviršiuje laisvas elektronų judėjimas yra apribotas, todėl izoliatoriaus paviršiuje galima išmatuoti įvairių dydžių elektrostatinių krūvių sankaupas (žr. 9 pav.). Tai įrodo, kad spausdinamųjų medžiagų sąlytis su spausdinimo ar pervyniojimo mašinų velenais sukuria nepageidaujamą efektą – elektrostatinį lauką.

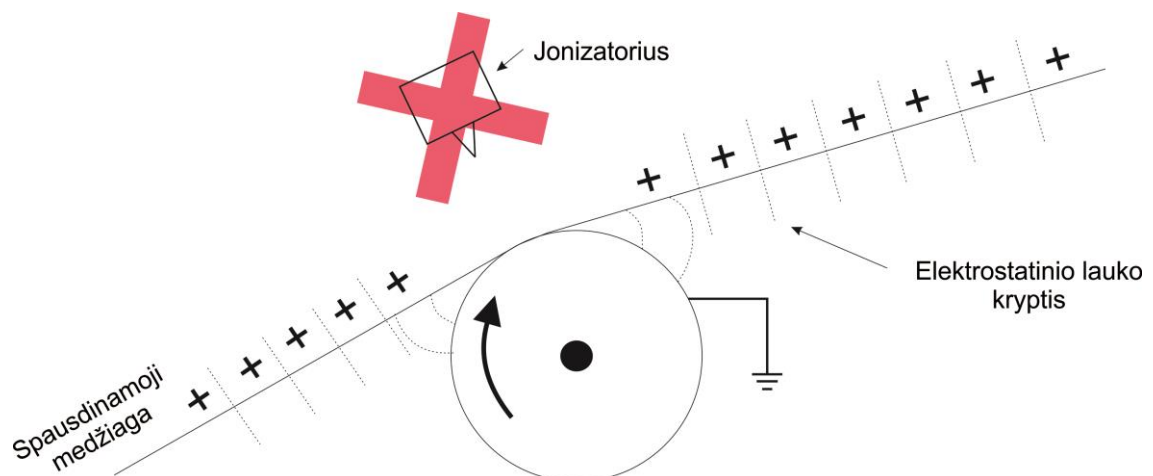


9 pav. Krūvių pasiskirstymas izoliatoriaus paviršiuje

Žinant tai, kad izoliatorių įžeminimas yra neveiksmingas dėl plastiko elektrinių savybių, todėl siekiant sumažinti krūvių sankaupas plėvelės paviršiuje, yra būtina į tai atsižvelgti ir nedaryti dažnos klaidos bandant juos įžeminti.

1.7 Elektrostatinio lauko slopinimo efektas

Elektrostatinio lauko slopinimas (ang. *Field suppression*) tai reiškinys, kuris atsiranda kontaktuojant dviems objektams. Kuomet įkrautas objektas liečiasi su kitu objektu, išmatuoti elektrostatinio lauko stiprumą yra neįmanoma. Mūsų atveju, polimerinė spausdinimo plėvelė kontakte su metaliniu velenu (žr. 10 pav). Elektrostatinio lauko slopinimo vietoje įrengus jonizatorių ar kitas statinės iškrovos mažinimo priemones negalima išgauti efektyvaus jų panaudojimo. Taigi projektuojant jonizatoriaus įrengimo vietą ar matuojant elektrostatinio lauko stiprumą būtina atsižvelgti į šį reiškinį (Shelton, S. A practical guide to controlling electrostatic charges on film webs. Simco Industrial Static Control Hatfield, Pennsylvania. www.tapi.com).



10 pav. Elektrostatinio lauko slopinimo efektas. Netinkama jonizatoriaus tvirtinimo ir matavimų atlikimo pozicija [12]

1.8 Elektrostatinio lauko sukeltos problemos pakavimo technologijose

Bendrais bruožais galima nesunkiai apibūdinti pramonėje sukeltas problemas dėl elektrostatinio krūvio susidarymo. Elektrostatinis krūvis sąlygoja nepageidaujamą dulkių kaupimąsi ant įrengimų ar gaminių, todėl gali sudaryti diskomfortą dirbančiam darbuotojui, gali pažeisti arba sugadinti elektroninę įrangą ar netgi uždegti tirpiklių, oro ar miltelių mišinį [14].

Dėl susikaupusio elektrostatinio krūvio polimerinių etikečių ritiniuose, etiketuojant juosiančiomis etiketėmis PET butelius yra pastebimos technologinės neatitiktys. Gamintojai teigia, kad elektrostatinį krūvį turinti etiketė, etiketavimo metu nepersinešdavo nuo besisukančio cilindro „reketo“ ant butelio, netgi turint buteliui kontaktą su klijais ant etiketės. Tai iššaukdavo linijos sustojimą, dėl „prilipusios“ etiketės ant reketo. Dirbant su tokią problemą turinčiais etikečių ritiniais, etiketavimo linija prarasdavo apie 30% savo darbo efektyvumo.

Žemiau pateiktos tipinės problemos susijusios su elektrostatinio lauko atsiradimu ir jo stiprumu:

1000V – kūnas traukia iš aplinkos dulkes;

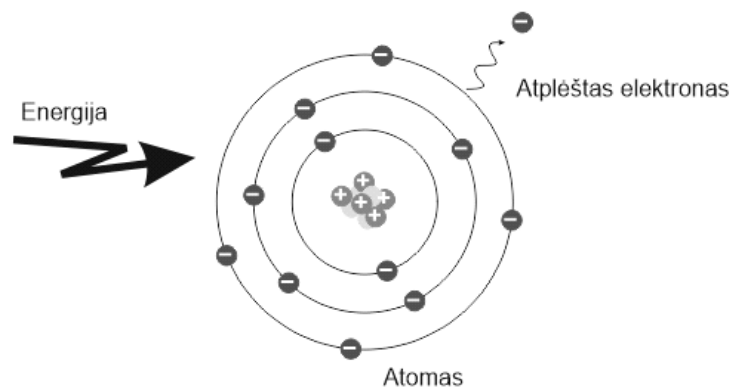
3000V – atsiranda smulkių objektų trauka (pvz. 20 μ plėvelė);

6000V – pradeda traukti storesnes plėveles, plaukus;

10,000V – plėvelė apšvynioja aplink velenus, vyksta stambių nešvarumų trauka [15].

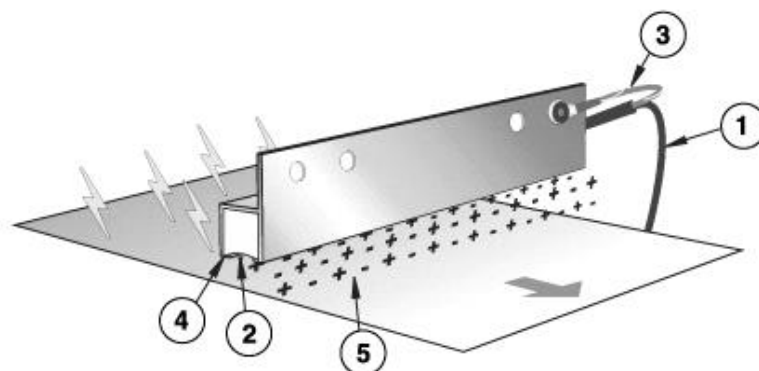
1.9 Elektrostatinio lauko šalinimas jonizatoriumi

Jonizacijos procesas. Kiekvienai dujų molekulei, suteikus pakankamą energijos kiekį, iš jos galima atplėšti vieną ar kelis elektronus. Atplėšus elektroną susidaro laisvieji krūvininkai, tuomet šis procesas vadinamas jonizacija (žr. 11 pav.). Jonizuoti dujų atomus galima juos veikiant liepsna, ultravioletiniais ar rentgeno spinduliais, bombarduojant pakankamai dideliomis energijos dalelėmis: elektronais, protonais, α dalelėmis, fotonais ir kitomis. Išorinį įrenginį, kuris sukelia jonizacijos procesą priimta vadinti jonizatoriumi [16].



11 pav. Jonizacijos principas

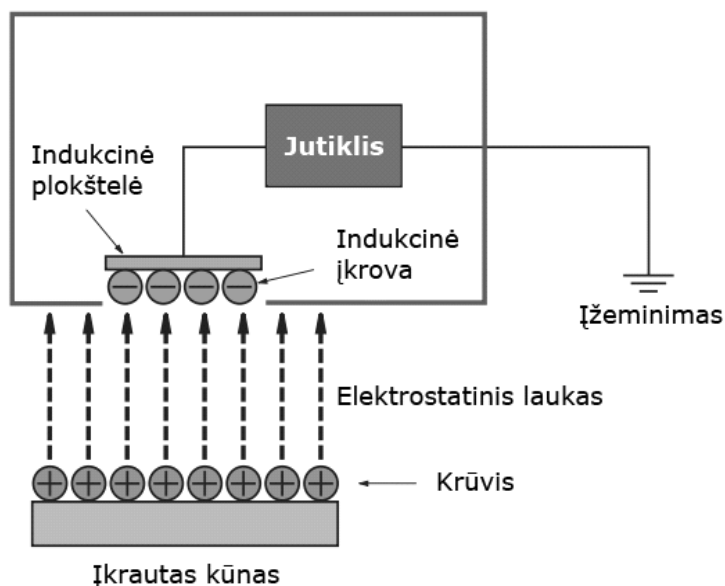
Nesavaiminio išlydžio jonizatorių veikimo principas. Kaip buvo minėta, jonizuoti dujų atomus galima veikiant liepsna, rentgeno spinduliais ir t.t. Shelton S. teigimu pramonėje, siekiant sumažinti elektrosstatinį krūvį objektuose, dažniausiai yra naudojami nesavaiminio išlydžio jonizatoriai. Jų veikimo principas pagrįstas aukštos įtampos perdavimu elektrodui, kuris išmuša elektronus iš šalia esančių dujų atomų ir pasiunčia juos skieti tiesia trajektorija (žr. 12 pav.). Teigiamai ir neigiamai jonizuotos dalelės neutralizuoja medžiagoje esančius krūvių perteklius [12].



12 pav. Jonizatoriaus veikimo principas: 1) maitinimo laidas, 2) adatinis elektrodas, 3) žeminimo jungtis, 4) korpusas, 5) jonizuotos dalelės (exair.com iliustracija)

1.10 Bekontakčio elektrosstatinio lauko matavimo principas

Bekontakčio elektrosstatinio lauko matavimo prietaisas (elektrometras) pagrįstas elektrosstatinės indukcijos dėsniu, kuomet laidininkas įsielektrina dėl kito krūvio, nesiliečiančio su tuo laidininku, poveikio (žr. 13 pav.). Taigi, kūnas skleidžiantis elektrosstatinį lauką, sukuria indukcinę įkrovą plokštelėje, iš kurios indukcinė įkrova perskaičiuojama į potencinę energiją. Elektrosstatinio lauko stiprio matavimo vienetas V/m (Volts per metras) [17].



13 pav. Elektrometro principinė schema

1.11 Literatūros analizės išvados

Atlikus literatūros analizę, tyrimų susijusių su paviršiaus įtempimų įtaka, atliktų ant *BOPP WSS/LGL, Primax Plus, PP Intercaot 7650* medžiagų, panaudojant UV polimerizacijos dažus nebuvo rasta, todėl atsižvelgiant į tai, buvo nuspręsta atlikti minėtų medžiagų kokybinius tyrimus, paviršiaus įtempimų didinimui panaudojant vainikinio išlydžio įrenginį.

Jonizatoriaus veikimo efektyvumą yra būtina nustatyti, siekiant išaiškinti tinkamiausią aparato montavimo poziciją *Jurmet 5000* įrenginyje. Toks pjovimo/pervyniojimo įrangos patobulinimo būdas bei jo efektyvumas nėra aprašytas mokslinėje literatūroje, todėl buvo nuspręsta atlikti jonizatoriaus elektrostatinio krūvio mažinimo efektyvumo tyrimą.

Remiantis literatūros analize nuspręsta atlikti sekančius uždavinius: nustatyti drėkinimo kampo priklausomybę nuo vainikinio išlydžio energijos dydžio;

1. nustatyti dažų optinio tankio pokyčio priklausomybę nuo drėkinimo kampo reikšmių;
2. įvertinti atspaudų vizualinę kokybę pokytį priklausomai nuo medžiagų paviršiaus įtempimų verčių;
3. nustatyti medžiagos faktoriaus įtaką papildomam paviršiaus aktyvavimui;
4. suprojektuoti tinkamiausią jonizatorių tvirtinimo vietą – išilginio pjovimo/pervyniojimo staklėse *Jurmet 500*;
5. nustatyti jonizatoriaus įtaką elektrostatinio lauko mažinimo procese po išilginio pjovimo – pervyniojimo etapo.

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1 Tyrimuose naudotos medžiagos

Tiriant paviršiaus įtempimų reikšmę spausdinimo kokybei, bandymams atlikti buvo naudojami ultravioletinių spindulių (sutr. UV) polimerizacijos dažai *Flexo Cure GEMINI*. Spausdinimui buvo pasirinkti „process cyan“ dažai. Dažų gamintojas – tarptautinė kompanija *Flint group*, jų deklaruojamas dažų paviršiaus įtempimas 38 dyn/cm. Bandymams buvo pasirinktos 4 skirtingos polimerinės spausdinamosios medžiagos:

BOPP WSS 20 – balta pakavimo plėvelė skirta įvairiems maisto produktams. Gamintojas – „Tagleef Industries“. Plėvelė pasižymi geromis fizikinėmis savybėmis, šviesos nepralaidumu, galimybe lituoti iš abiejų pusių, bei geromis barjerinėmis savybėmis. Deklaruojama paviršiaus energija 38 dyn/cm. Medžiagos storis 20 μm.

BOPP LGL 38 – juosiančioms etiketėms skirta balta plėvelė. Gamintojas – *Tagleef Industries*. Plėvelė pasižymi mažu trinties koeficientu, tinkamumu spausdinti aukštos raiškos spaudos darbus. Plėvelės storis 38 μm. Deklaruojama paviršiaus energija 38 dyn/cm.

Primax Plus – poliolefininė lipnių etikečių, skirtų chemijos pramonei žaliava. Gamintojas *Avery Dennison*. Pasižymi geromis tamprumo savybėmis MD ir CD kryptimis, todėl plačiai naudojamas cheminiams gaminiams žymėti ant plastikinių talpų. Medžiagos storis 75 μm. Deklaruojama paviršiaus energija nenurodyta.

PP White 7650 Intercoat – polipropileninis sintetinis popierius, skirtas maisto, chemijos, kosmetikos pramonėms. Medžiagos storis 60 μm. Deklaruojama paviršiaus energija nenurodyta.

Siekiant nustatyti jonizatoriaus įtaką elektrostatinio lauko mažinime, į tyrimo imtį taip pat pateko ir anksčiau paminėtos spausdinimo medžiagos: *BOPP LGL 38*, *BOPP TSS 20* (parametrai kaip ir *BOPP WSS 20*), *BOPP TSS* + *BOPP TSS* (kompozitas).

2.2 Paviršiaus įtempimų tyrime naudota įranga, parametrai ir metodai

2.2.1 Bandinių spausdinimas

Paviršiaus įtempimų tyrime, bandiniai buvo spausdinti fleksografinė spaudos mašina *Gidue Combat 430*. Visiems bandiniams buvo išlaikomi vienodi spausdinimo parametrai, greitis, dažai, rakelinis peilis, uv lempos, spaudos forma (žr. 2.1 lent.).

Tyrimui buvo atspausdinta po 100 bėginių metrų ant keturių skirtingų žaliavų, keičiant paviršiaus aktyvavimo lygį. Spausdinimui buvo naudojama *Dupont Cyrel DPR 67* spaudos forma, pagaminta su *Cyrel Digital Imager* (trump. CDI) 4000 ppi raiška deguonies aplinkoje, 150 lpi liniatūra.

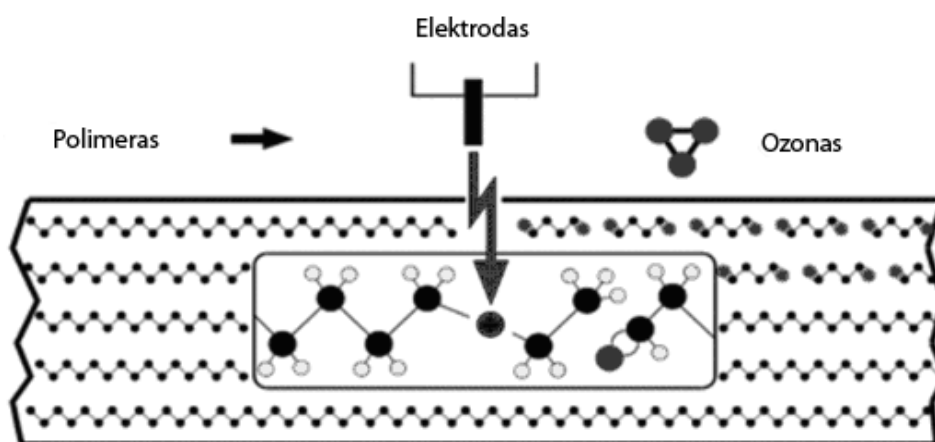
Spausdinimo parametrai

Spausdinimo greitis	50 m/min.
Aniloksinis velenas	800 lpi x 3,2 BCM.
Forminis velenas	124 Z
Dažai	<i>Flexocure Gemini cyan</i>
Spaudos formos fiksacinė lipni juosta	<i>Medium soft Tesa 52020 Softprint Steel Master</i>
Spaudos forma	<i>DuPont cyrel DPR 67</i>
Spaudos formos lazerinis graviravimas	<i>DuPont CDI 4000 ppi/ 150 lpi</i>

2.2.2 Papildomas paviršiaus aktyvavimas

Polimerinių medžiagų paviršiaus įtempimų didinimui prieš spausdinimą, buvo naudojamas *Vetaphone Corona-Plus* vainikinio išlydžio įrenginys (žr. 15 pav.). Bandiniams buvo nustatomas 28 W/min/m², 70 W/min/m² ir 140 W/min/m² vainikinio išlydžio galimumas.

Taikant vainikinio išlydžio metodą (kitais koronavimo metodais) specialūs keramikiniai elektrodai yra veikiami aukštos įtampos, kurią sukuria aukštos įtampos generatorius. Tuo metu tarp elektrodų ir veleno susidaro vainikinis išlydis. Elektronai dideliu greičiu atakuodami plastiko paviršių suardo molekulių grandines, kurių galuose sukuriama valentingumo efektas (cheminio elemento savybė prisijungti tam tikrą skaičių kito elemento atomų). Išsiskyręs ozonas sukuria oksigenaciją (prisotinimą deguonimi), po kurio yra sukuriama nauji karbonilo junginiai, kurie padidina paviršiaus energijos lygį (žr. 14 pav.). Žaliavos stiprumui tai įtakos neturi, kadangi suardomas tik viršutinis plonas 0.00001 μm sluoksnis. [4]



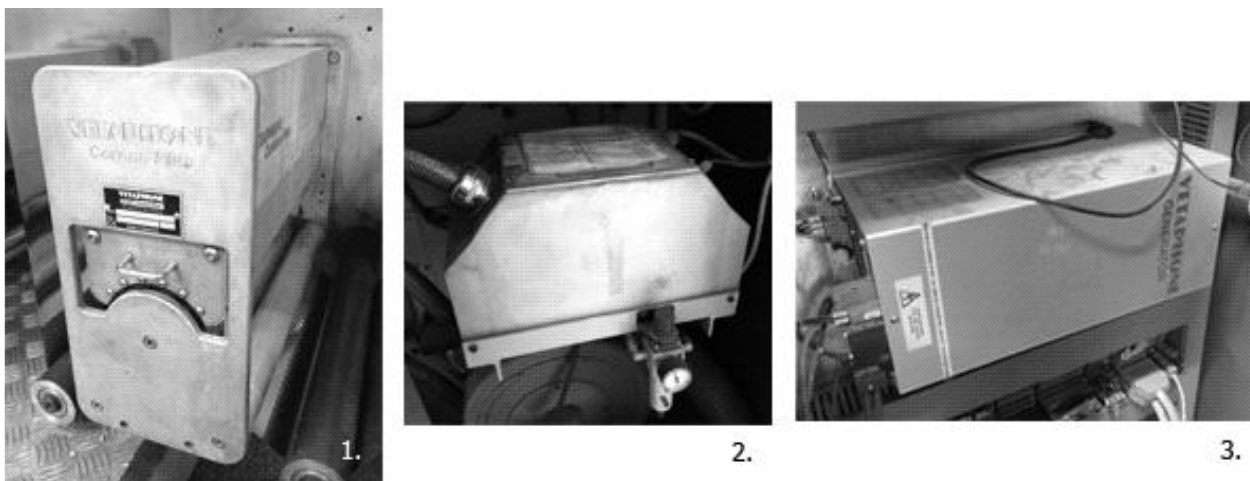
14 pav. Koronos veikimo principinė schema [4]

Koronatoriaus sistema susideda iš trijų dalių:

Generatorius – jo paskirtis yra iš maitinimo įtampos sugeneruoti aukšto dažnumo įtampą, skirtą aukštos įtampos transformatoriui (žr. 15 pav.).

Aukštos įtampos transformatorius – perkelia galią iš generatoriaus į vainikinio išlydžio įrenginį ir generuoja reikiamą aukštą įtampą (žr. 15 pav.).

Vainikinio išlydžio įrenginys – vainikinio išlydžio įrenginys sudarytas iš vieno ar kelių aukštos įtampos elektrodų sumontuotų 12 mm atstumu nuo įžeminto veleno. Kai į elektrodus yra paduodama aukšta įtampa - tarp elektrodų ir veleno įvyksta vainikinis išlydis (žr. 15 pav.).



15 pav. Vetaphone Corona-Plus įrenginio sudedamosios dalys; 1) vainikinio išlydžio įrenginys, 2) transformatorius, 3) generatorius

2.2.3 Drėkinimo kampo nustatymas

Remiantis *Vetaphone Corona-Plus* gamintojo pateikta informacija [4], paviršiaus energijos mažėjimui didelę įtaką turi laikas. Siekiant gauti kuo tikslesnius matavimo rezultatus bandiniai po spausdinimo buvo matuojami praėjus 12 h. Matavimai buvo atliekami medžiagoms be papildomo aktyvavimo (gamintojo aktyvacija) ir papildomai aktyvuoti su *Vetaphone Corona* įrenginiu 28 W/min/m², 70 W/min/m² ir 140 W/min/m² įrenginio galingumą. Kiekvienas bandinys buvo matuotas 10 kartų, ir rezultatų vidurkis įrašomas į 3.1 lentelę.

Atliekant tyrimą, drėkinimo kampas įvairioms medžiagoms buvo matuojamas pagal ASTM D5946 standartą su lašo metodo prietaisu *Goniometer PG2* (žr. 16 pav.). Goniometras matuoja kampą tarp substrato ir užlašinto distiliuoto vandens lašo (žr. 1 pav.). Jo veikimo principas pagrįstas distiliuoto vandens lašelių lašinimu ant bandinio paviršiaus su specialia pipete. Įrenginyje esanti skaitmeninė kamera vizualiai fiksuoja lašelio geometriją, ir *PocketGoniometer Program* programinė įranga pateikia matuojamąsias vertes.

Išmatuotos drėkinimo kampo reikšmės (gautos laipsniais, °) konvertuotos į paviršiaus įtempimo (dyn/cm) reikšmes, atitinkamai pagal 1.2 lentelėje pateiktas vertes.



16 pav. Goniometras „Goniometer PG2“

2.2.4 Optinio tankio ir rastrinio taško patižimo nustatymas

Densitometras – tai prietaisas, skirtas išmatuoti dažų sluoksnio optinį tankį arba dažų storį pagal paviršiaus arba medžiagos sugeriamos šviesos kiekį. Šis prietaisas priešingai nei spektrofotometras, neįvardija spektrinių dažų savybių. Optinis tankis D - tai bedimensis dydis, lygus krintančio ant dažų sluoksnio ir atspindėto nuo dažų sluoksnio šviesos srautų santykio dešimtainiam logaritmui. Densitometriniu matavimu yra nustatomi spalvų optiniai tankiai, kurie dažnai yra vadinami zoniniais tankiais, o densitometro ekrane yra išvedami kaip matuojamų dažų optinio tankio reikšmės. Kuo didesnis dažų sluoksnis, tuo didesnis optinis tankis. Kadangi optinis tankis D yra nusakomas logaritminiu santykiu, todėl optinio tankio priklausomybė nuo dažų storio nėra linijinė, t.y. užnešus tam tikrą sluoksnį, toliau jį didinant, optinis tankis kis nežymiai. [9].

$$D = \lg \frac{\beta_0}{\beta_{ats}} \quad (4)$$

kur β_0 – ant dažų sluoksnio krintančios šviesos srautas,
 β_{ats} – atspindėtas nuo dažų sluoksnio šviesos srautas.

Šis matavimo prietaisas nėra skirtas tiesiogiai nustatyti dažų dengiamumo savybėms, tačiau remiantis teorija, esant prastam medžiagų drėkinimui, dažai susitraukia į lašo pavidalą, taip atidengdami spausdinamąjį paviršių. Kadangi densitometras susumuoja ir tas vietas, kurios yra be dažų, todėl dažų dengiamumui nustatyti buvo pasirinktas šis matavimo būdas.

Siekiant išmatuoti dažų dengiamumo rezultatus po spausdinimo ant skirtingų polimerinių medžiagų su kintamu paviršiaus energijos dydžiu, buvo atlikti optinio tankio matavimai. Optinis tankis buvo matuojamas spektrodensitometru *X-Rite Colour* (žr 17 pav). Gauti rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

2.2 lentelė

Spektrodensitometro matavimo paramerai

Matavimo būdas	Absolute reflective
Apšvietimas	D65 proofing illuminant
Filtrai	Status E: reflective (Europe)



17 pav. Spektrodensitometras „X-Rite Colour“

Fleksografinė spauda nuo kitų spaudos būdų išsiskiria savo minkštomis spaudos formomis su iškilusiais spausdinamaisiais elementais. Rastrinio taško dydis dėl įvairių mechaninių ir fizikinių reiškinių ant spausdinamojo paviršiaus nuolat kinta (ang. *Dot gain*), lyginant su taško dydžiu esančiu ant fleksografinės spaudos formos. Taškų patižimas turi įtakos spalvų reprodukciniams savybėms, nes patižimas lemia atvaizdo kontrastingumą.

Dėl minkštų ir lengvai deformuojamų spausdinamųjų elementų, mechaniškai rastrinio taško patižimui didžiulę įtaką daro spaudos formos prispaudimas prie spausdinamosios medžiagos, bei rastrinio taško geometrinės savybės. [22] Taško patižimui taip pat turi įtakos spausdinamojo paviršiaus gebėjimas atitinkamai sugerti dažus. Todėl prieš atliekant tyrimą buvo iškelta hipotezė, kad aukštos plastiko vilgumo savybės gali turėti neigiamos įtakos rastrinio taško patižime.

Rastrinio taško patižimas buvo apskaičiuotas pagal Miurėjaus-Deviso (ang. *Murray-Davies*) formulę:

$$F_D(\%) = \frac{1 - 10^{-D_R}}{1 - 10^{-D_T}} 100\% \quad (5)$$

D_R – optinis tankis procentiniame lauke

D_T - optinis tankis 100% dengimo lauke

F_D - procentins rastro taškas

Tyrime buvo išmatuoti 20%, 40% ir 60% rastrinės koncentracijos laukai. Jų procentinis pokytis palygintas su skirtingus įtempimus turinčiais bandiniais (žr. Priedą Nr.1).

2.2.5 Mikroskopinė atspaudų analizė

Vizualiai įvertinti spausdinimo kokybei buvo naudojamas optinis mikroskopas *AM2111 Dino-Lite basics*. Buvo ištirti visų bandinių 100% dengiamieji laukai, 15% rastro koncentracijos laukai, ir mikro linijos 0,018mm. pozityvinis ir negatyvinis atvaizdas. Bandiniai palyginti priklausomai nuo paviršiaus įtempimų verčių.



18 pav. Skaitmeninis mikroskopas *Dino-Lite* [18]

2.3 Elektrostatinio lauko mažinimo tyrime naudota įranga, parametrai ir metodai

2.3.1 Bekontaktis elektromatis

Siekiant išmatuoti susidariusį elektrostatinį krūvį produkcijoje, buvo naudojamas bekontaktis elektromatis „Fraser F15“. Prieš atliekant matavimus, siekiant gauti tikslius rezultatus, elektromatis įžeminamas su tam skirtu įžeminimo laidu (žr 11 pav.). Jutiklio atstumas nuo matavimo objekto išlaikomas 100 mm. (+/- 10 mm.) [19].

2.3 lentelė

Elektromačio Fraser F15 techniniai parametrai [19]

Matavimo ribos	0-200kV / 100V – 0-20kV / 10V
Matavimo paklaida	+/- 5%
Oro sąlygos	<70% rH



1) Įžeminimo laidas

2) Elektromatis

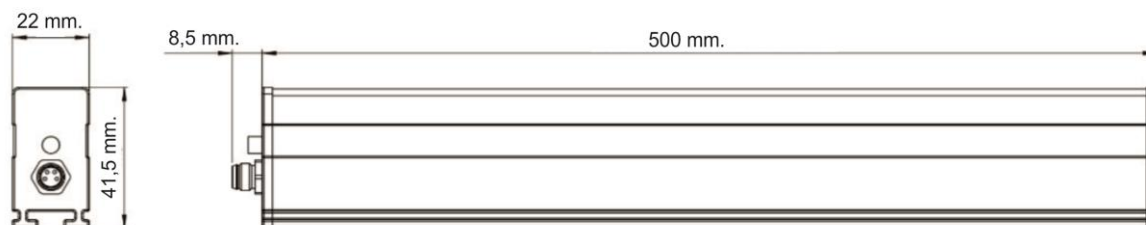
19 pav. Elektromatis *Fraser F15*

2.3.2 Jonizatorius

Elektrostatinio krūvio mažinimui buvo naudojamas *Fraser 3024 L* jonizatorius. Jonizatorių tvirtinimo schema atvaizduota prieduose.

Fraser 3024 L jonizatorius techniniai parametrai [20]

Efektyvus jonizavimo atstumas	100 mm. – 500 mm.
Efektyvus jonizavimo plotis	500 mm.
Jonizavimo padengimo plotas	100%

**20 pav. Fraser 3024 L jonizatoriaus [20]**

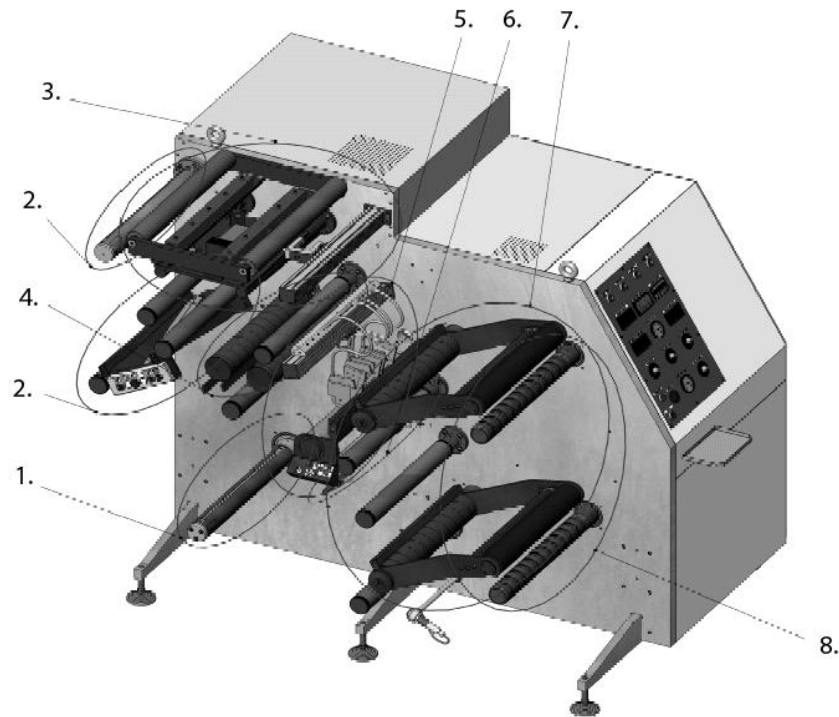
2.3.3 Išilginio pjovimo staklės

Išilginio pjovimo staklės *Jurmet 500* yra skirtos ritininės spausdinimo produkcijos supjovimui iš didesnių ritinių į mažesnius ar siauresnius (žr. 21 pav). Dažniausiai išilginio pjovimo operacija yra paskutinė apdorojant fleksografinius gaminius į ritinius. Tam, kad neutralizuoti susidariusį elektrostatinį krūvį prieš galutinį produktą, buvo nuspręsta šiame etape sumontuoti elektrostatinio krūvio neutralizatorius.

2.5 lentelė.

***Jurmet 500* techniniai parametrai [21]**

Pjaunami substratai	OPP, PP, PE (14-60 μ), popierius (25-220 μ),
Maks. nuvyniojamo ritinio plotis	500 mm.
Maks. nuvyniojamo ritinio diametras	800 mm.
Vyniojimo ašių kiekis	2
Maks. vyniojamojo ritinio diametras	600 mm.
Maks. vyniojimo greitis	300 m/min.



21 pav. Išilginio pjovimo staklės *Jurmet 500*

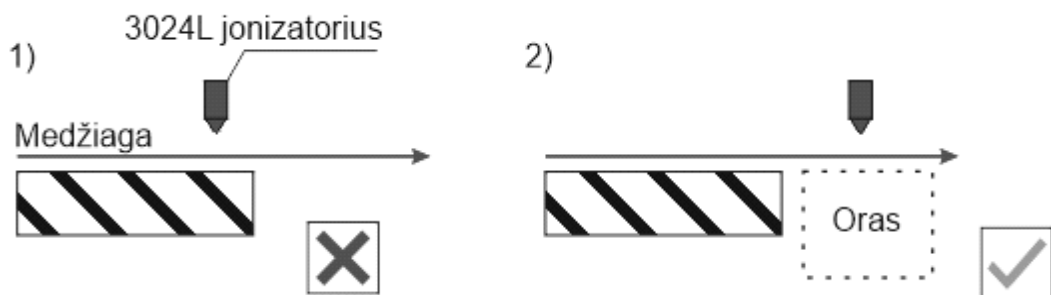
- 1) nuvyniojimo velenas, 2) sujungimo stalas, 3) medžiagos lygintuvai, 4-5) pjovimo sekcija, 6) vakuuminė sistema, 7) pervynioto rulono prispaudėjas, 8) vyniojamasis velenas [21]

2.3.4 Jonizatoriaus montavimas *Jurmet 500* įrenginyje

Jonizatoriaus montavimo vieta pasirinkta atsižvelgiant į 3 pagrindinius punktus:

1. Po statinio krūvio neutralizavimo jonizatoriumi, medžiaga negali turėti kontakto su judančiomis įrenginio detalėmis. Atsižvelgiant į tribuektros atsiradimo priežastis (žr. 1.6 parag.), dialektrikas atskirtas nuo kito kūno gali įgauti tam tikrus krūvius. Todėl siekiant išvengti papildomų elektrostatinių krūvių atsiradimų, jonizatoriaus jonizuojančiųjų dalelių skriejimo trajektorija turi būti nukreipta į tą medžiagos dalį, kuri turėjo paskutinį kontaktą su judančiomis įrenginio dalimis.

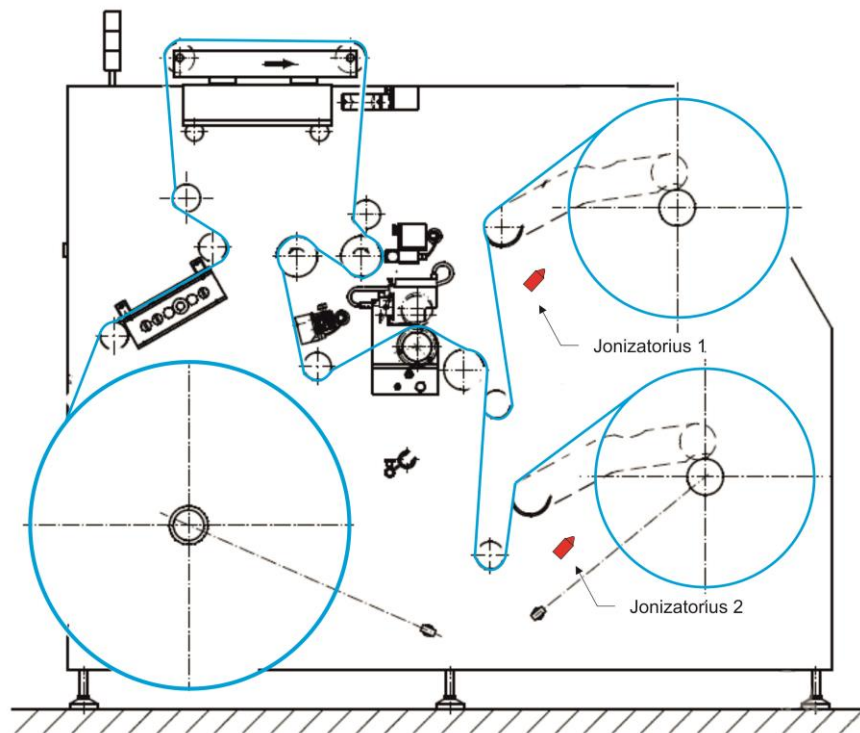
2. Jonizatorius montuojamas atsižvelgiant į jo efektyvų veikimo plotą, bei kitas gamintojo nustatytas taisykles. (žr. 2.4 lent). Arti jonizatoriaus elektrodų negali būti jokių įrenginio detalių (žr. 22 pav.), esant netinkamam atstumui, krūvio neutralizavimo efektyvumas mažėja, arba išvis tampa neįmanomas.



22 pav. Jonizatoriaus montavimo pozicija, 1) netinkama, 2) tinkama [20]

3. Jonizatorius turi būti sumontuotas saugiai, netrukdyti personalui aptarnauti tam tikrų įrenginio mazgų.

Jonizatorių tvirtinimo vieta bandymų metu pateikta pricipinėje schemeje (žr. 23 pav.)



23 pav. Principinė jonizatorių tvirtinimo schema *Jurmet 500* įrenginyje [21]

2.3.5 Bandinių parinkimas

Tyrimui atlikti buvo atsitiktinai pasirinkta 5-ios partijos spaudos gaminių ant polimerinių medžiagų. Į šias partijas pateko skirtingų rūšių žaliavos (žr. 23p.). Išmatuoti visos partijos elektrostatinio lauko stiprio pokyčius su turima matavimo įranga neįmanoma, todėl kiekviena partija buvo padalinta į 5-ių dalių imtį. Į imtį visiškai atsitiktinai galėjo patekti bet kuris gaminio vienetas.

2.3.6 Matavimų eiga

Tam, kad išmatuoti elektrostatinio lauko stiprio pokytį priklausomai nuo jonizatoriaus, esant vienodomis matavimo sąlygomis, jonizatorius Nr. 2 (žr. 23 pav.) yra atjungiamas, o jonizatorius Nr.1 įjungiamas. Pjovimo metu, dalis produkcijos nukreipiama ant viršutinio ir apatinio veleno. Tokiu būdu atsiranda galimybė tiksliai nustatyti jonizatoriaus poveikį elektrostatinio lauko mažinimo procese eliminuojant kintamąsias reikšmes.

Siekiant tikslių matavimų, elektromatis įžeminamas. Prieš kiekvieną matavimą, prietaisas kalibruojamas atsukant indukcinę plokštelę į aplinką, kurioje nėra objektų, galinčių sudaryti elektrostatinį lauką. Nuspaudžiamas matavimo mygtukas, vaizduoklyje matoma 0,00 kV reikšmė.

Po kalibracijos indukcinė plokštelė nukreipiama 100mm atstumu nuo matuojamojo objekto, ir spaudžiamas matavimo mygtukas. Matavimo reikšmė užfiksuota vaizduoklyje, užrašoma į matavimų lentelę, pateiktą prieduose. Kiekvienas imties vienetas matuojamas 5 kartus iš A ir B pusių. Plėvelės A pusė yra laikoma ta, kuri turėjo tiesioginį kontaktą su prispaudžiamuoju guminiu velenu (žr. 21 pav.)

2.3.7 Aplinkos sąlygos

Elektrostatinio krūvio susidarymui turi įtakos ir aplinkos sąlygos, o ypač santykinis oro drėgnumas. Atliekant tyrimą yra būtina užfiksuoti patalpos, kurioje vyks plėvelės pjovimas/pervyniojimas aplinkos sąlygas.

2.6 lentelė

Matavimų aplinkos sąlygos

Partijos Nr.	Data	Temperatūra, °C	Oro drėgnumas, %
1.	2015 01.14	20 ± 1°C	55% ± 5%
2.	2015 02.01	21 ± 1°C	60% ± 5%
3.	2015 02.02	21 ± 1°C	60% ± 5%
4.	2015 02.18	20 ± 1°C	55% ± 5%
5.	2015 03.20	21 ± 1°C	80% ± 5%

3. REZULTATŲ ANALIZĖ

3.1 Paviršiaus drėkinimo įtakos fleksografinės spaudos kokybei tyrimo rezultatai

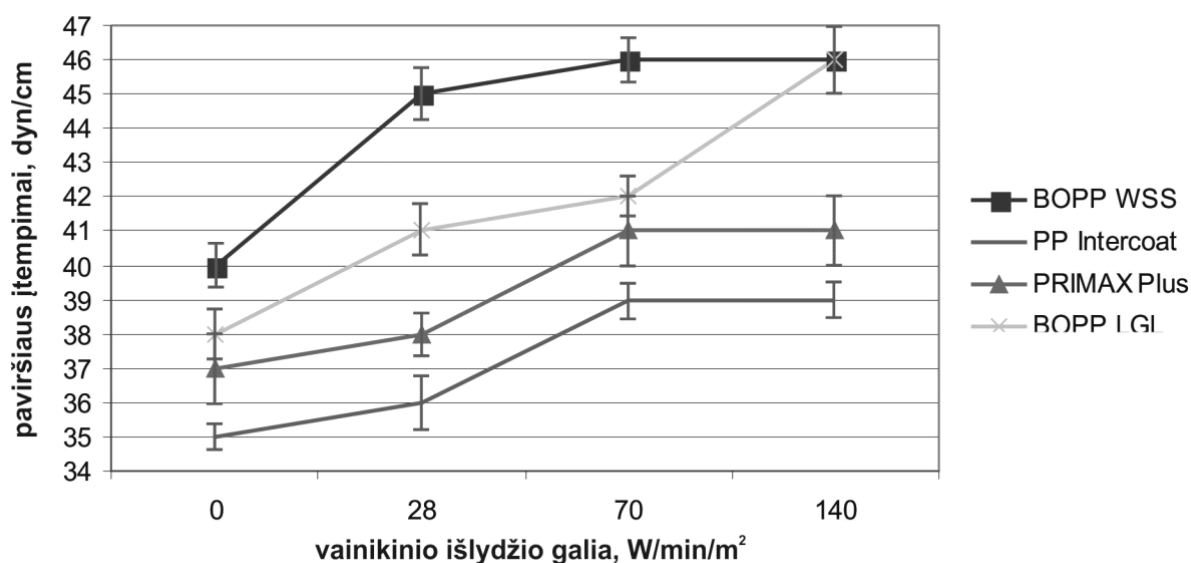
3.1.1 Drėkinimo kampo tyrimo rezultatai

Atlikus drėkinimo kampo nustatymo tyrimą buvo gauti sekantys rezultatai (žr. 3.1 lent.). Pagal 1.2 lentelę, drėkinimo kampo rezultatai konvertuoti į paviršiaus įtempimų dyn/cm reikšmes.

3.1 lentelė

Drėkinimo kampo ir paviršiaus įtempimo vertės

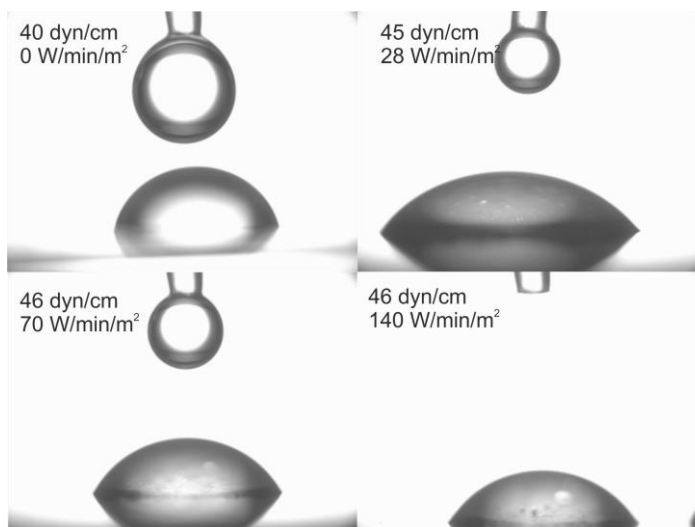
Korona, W/min/m ²	BOPP WSS 20		PP Intercoat 7650		Primax Plus		BOPP LGL 38	
	drėk. kampas, °	dyn/cm	drėk. kampas, °	dyn/cm	drėk. kampas, °	dyn/cm	drėk. kampas, °	dyn/cm
0	70	40	82	35	78	37	75	38
28	56	45	80	36	76	38	67	41
70	53	46	72	39	66	41	65	42
140	53	46	73	39	66	41	56	45



24 pav. Paviršiaus įtempimų pokytis priklausomai nuo koronos išlydžio energijos dydžio

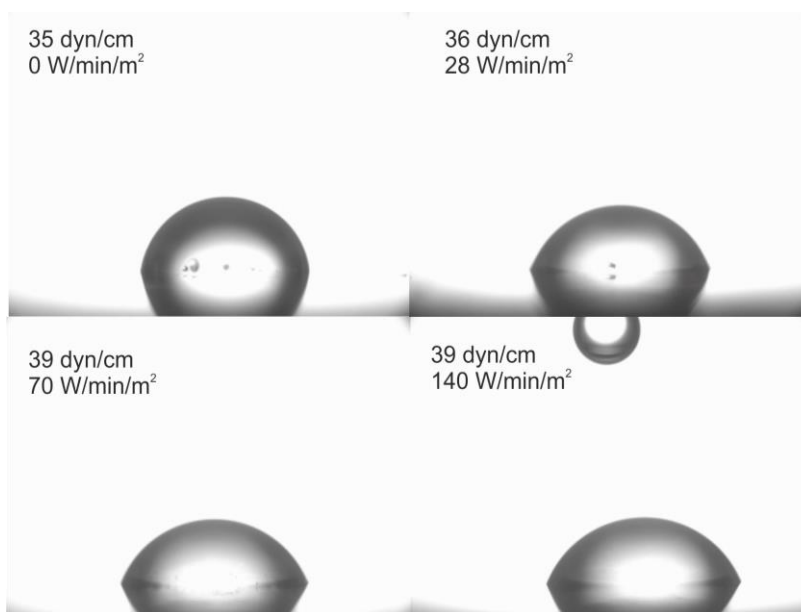
BOPP WSS 20. Šios plėvelės, be papildomo paviršiaus aktyvavimo drėkinimo kampas nustatytas 70°. Konvertavus drėkinimo kampo vertę pagal 1.2 lentelę, paviršiaus įtempimas siekė 40 dyn/cm. Rezultatas atitinka gamintojo deklaruojamą $38 \geq$ dyn/cm vertę. Atliktus papildomą paviršiaus aktyvaciją naudojant 28 W/min/m² galingumą *Vetaphone Corona-Plus* įrenginiu buvo nustatytas drėkinimo kampo sumažėjimas nuo 70° iki 56°, t.y. 20%. Padidinus galingumą iki 70 W/min/m², drėkinimo kampas sumažėjo nuo 56° iki 53°, t.y. 5,3%. Atliekant paviršiaus aktyvaciją

150 W/min/m² galingumu, gautos vertės lyginant su 70 W/min/m² liko nepakitusios. Iš to galima spręsti, jog šiai medžiagai naudojant vainikinio išlydžio technologiją yra pasiektos maksimalios vertės, naudojant 70 W/min/m² aktyvavimo energijos (žr. 24-25 pav.).



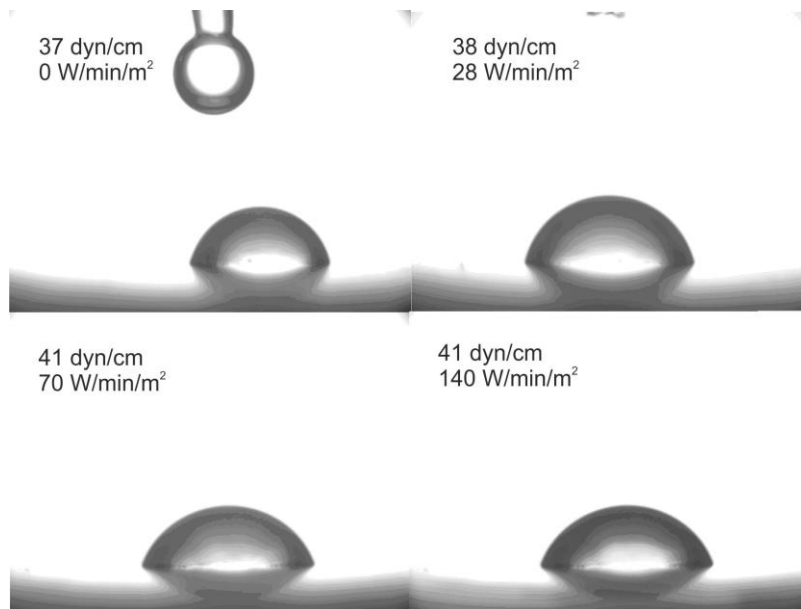
25 pav. BOPP WSS 20 medžiaga, drėkinimo kampo matavimas

PP White 7650 Intercoat. PP sintetinio lipnaus popieriaus paviršiaus drėkinimo kampas be papildomos aktyvacijos siekė 82° t.y. 35 dyn/cm. Žaliavos gamintojas nepateikia galimų paviršiaus įtempimų minimalių verčių. Remiantis teorija, kad vyktų geras medžiagos drėkinimas skysčiais, paviršiaus įtempimai turi būti didesni nei skysčių paviršiaus įtempimai. Aktyvuojant silpniausiu koronos parametru PP bandinio paviršiaus įtempimų reikšmės padidėjo tik 2,8%, tai yra 37,8% mažiau nei BOPP WSS 20 bandinys, tomis pačiomis sąlygomis. Padidinus galingumą dvigubai ir maksimaliai, drėkinimo kampas lyginant su bandiniu be papildomo apdirbimo sumažėjo ~11%, paviršiaus įtempimas pasiekė 39 dyn/cm lygį (žr. 24-26 pav.).



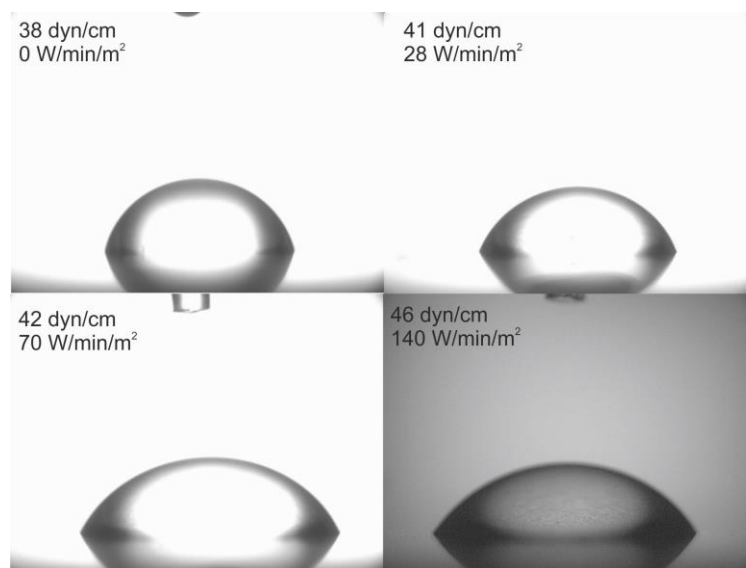
26 pav. PP 7560 Intercoat medžiaga, drėkinimo kampo matavimas

Primax Plus. Lipnaus popieriaus paviršiaus drėkinimo kampas be papildomo apdorojimo siekė 78° , konvertavus į paviršiaus įtempimus, t.y. 37 dyn/cm. Papildomai aktyvuojant korona 28 W/min/m² galingumu buvo išgautas tik 2,5% mažesnis drėkinimo kampas lyginant bandinį su tik gamykliškai aktyvuota puse. 70-140 W/min/m² galingumu aktyvuotų bandinių drėkinimo kampas sumažėjo iki 66° ir pasiekė 41 dyn/cm paviršiaus įtempimų vertes (žr. 24-27 pav.).



27 pav. *Primax Plus* medžiaga, drėkinimo kampo matavimas

BOPP LGL 38. Medžiagos išmatuotas paviršiaus drėkinimo kampas prieš korona apdorojimą siekė 75° , t.y. 38 dyn/cm. Tai atitinka gamintojo nustatytas minimalias vertes. 28 W/min/m² bandinių paviršiaus drėkinimo kampas lyginant su gamintojo aktyvacija sumažėjo 10,6 %, ir pasiekė 41 dyn/cm paviršiaus įtempimo vertę. 70 W/min/m² bandiniams buvo išmatuotas 65° drėkinimo kampas ir 42 dyn/cm pav. įtempimas. Maks. galingumu apdorotas polimeras pasiekė 45 dyn/cm vertę, tai yra 18,4% daugiau, lyginant tik su gamintojo aktyvuotais bandiniais (žr. 24-28 pav.).



28 pav. *BOPP LGL 38* medžiaga, drėkinimo kampo matavimas

Iš gautų duomenų matyti, jog mažiausią paviršiaus įtempimą be papildomo aktyvavimo turėjo *PP Intercoat 7660* (35 dyn/cm) ir *Primax Plus* (37 dyn/cm) medžiagos. Didžiausią paviršiaus įtempimą pavyko pasiekti *BOPP WSS 20* (46 dyn/cm) ir *BOPP LGL 38* (45 dyn/cm) medžiagoms su 28 W/min/m² ir 70 W/min/m² korona aktyvavimu.

3.1.2 Optinio tankio sklaidos priklausomybė nuo paviršiaus įtempimų ir mikroskopinė atspaudų analizė

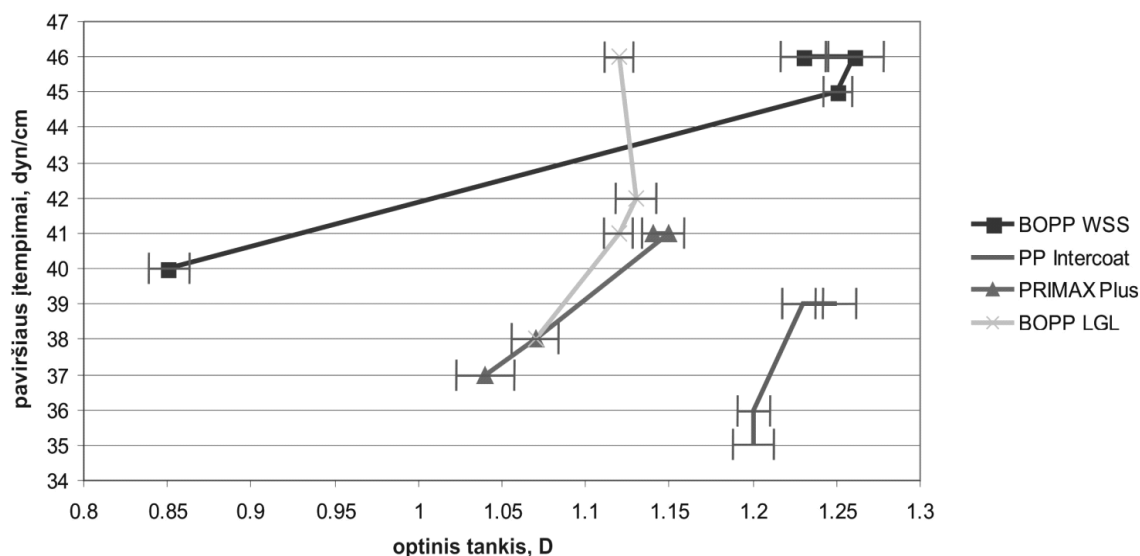
Polimero hidrofiliškumas - gebėjimas priimti skysčius arba, šiuo atveju, dažus, labai aiškiai atsispindi optinio tankio matavimų rezultatuose (žr. 3.2 lent.) ir mikroskopinėje atspaudų analizėje.

3.2 lentelė

Optinio tankio rezultatai

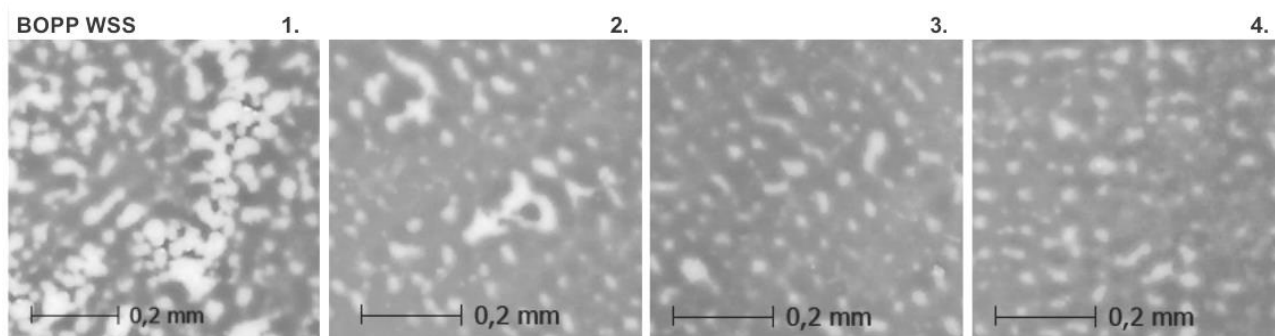
Korona, W/min/m ²	BOPP WSS 20		PP Intercoat 7650		PRIMAX Plus		BOPP LGL 38	
	P _l , dyn/cm	Optinis tankis, D	P _l , dyn/cm	Optinis tankis, D	P _l , dyn/cm	Optinis tankis, D	P _l , dyn/cm	Optinis tankis, D
0	40	0.85	35	1.2	37	1.04	38	1.07
28	45	1.25	36	1.2	38	1.07	41	1.12
70	46	1.26	39	1.23	41	1.15	42	1.13
140	46	1.23	39	1.25	41	1.14	46	1.12

Dažai esant žemiems paviršiaus įtempimams linkę susitraukti ir sudaryti kuo mažesnę kontaktinį plotą. To pasekoje suprastėja medžiagos tolygus padengimas dažais. Susitraukę dažai atidengia spausdinamosios medžiagos paviršių, o tai iškreipia atspaudų optines charakteristikas. Esant prastam drėkinimui, spalva žmogaus akiai visuomet atrodys šviesesnė, jeigu spausdinamosios medžiagos spalva balta, arba tamsesnė, jeigu – tamsi. Fleksografinėje spaudoje taip pat charakteringa yra tai, kad dažų optinis tankis dėl minkštų ir lengvai besideformuojančių spaudos elementų kinta priklausomai nuo formos prispaudimo prie substrato jėgos. Esant silpnam spaudimui, optinio tankio vertės bus žemesnės, nei naudojant aukštą spaudimą [22].



29 pav. Optinio tankio priklausomybė nuo spausdinamojo paviršiaus įtempimo

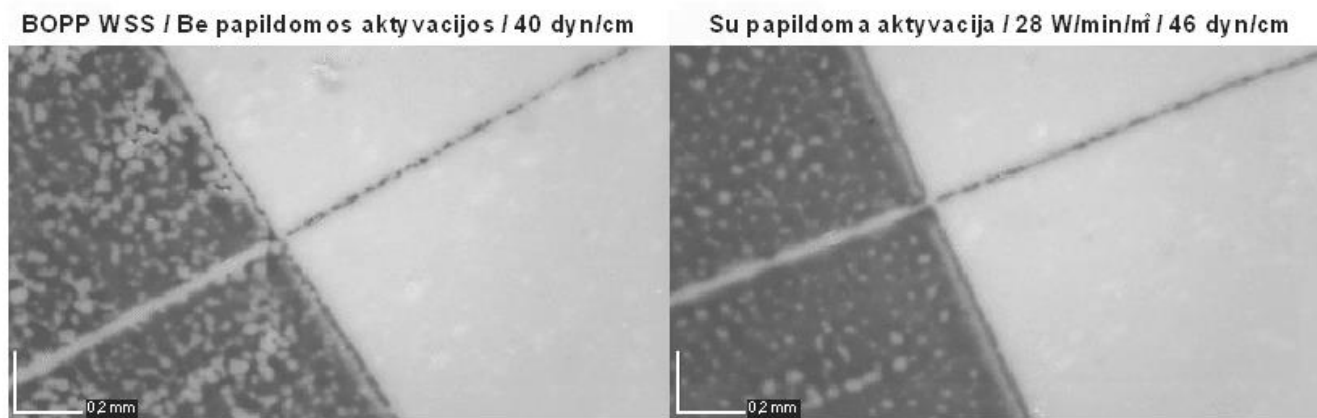
BOPP WSS bandiniai. Esant 40 dyn/cm paviršiaus įtempimams optinis tankis išmatuotas 58% ($D=0,85$) mažesnis nei rekomenduotinas UV fleksografinėi spaudai. Dažai nesudarė tolygios plėvelės, o stengėsi susitraukti į lašo pavidalą (žr. 30 pav.). Pirmuoju bandymu gauta nekokybiška spauda.



30 pav. BOPP WSS 20 bandinių 100% dažų dengimo laukas,

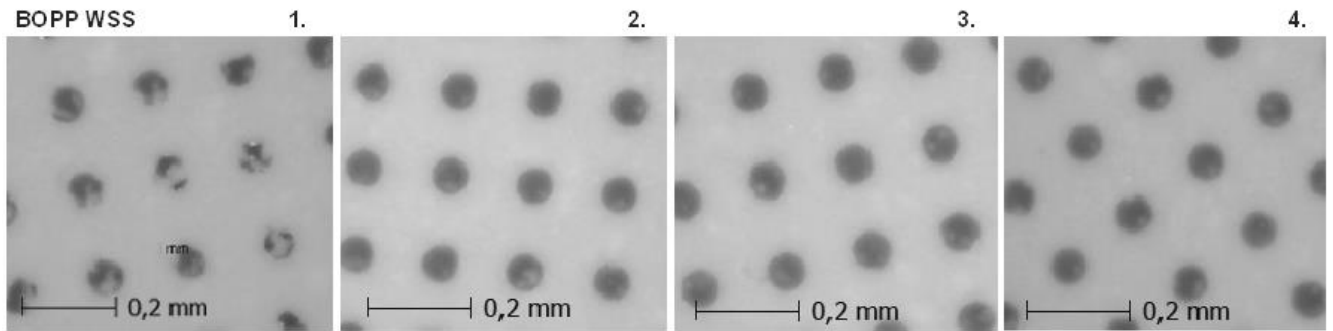
- 1) Be papildomos aktyvacijos (40 dyn/cm), 2) 28 W/min/m² (45 dyn/cm), 3) 70 W/min/m² (46 dyn/cm),
- 4) 140 W/min/m² (46 dyn/cm)

Spausdinant šiomis sąlygomis, nukentėjo ir smulkių spausdinamųjų detalių raiška (žr. 31-32 pav.). Papildomai apdorojant paviršių korona įrenginiu 28W/min/m², optinis tankis pakilo 38%. Didinant aktyvavimo galingumą 70-140 W/min/m² paviršiaus įtempimai, ir optinis tankis pakito nežymiai.



31 pav. 0,018 mm. mikrolinijos atspaudas. BOPP WSS 20 bandiniai, su 40 dyn/cm ir 46 dyn/cm paviršiaus įtempimais

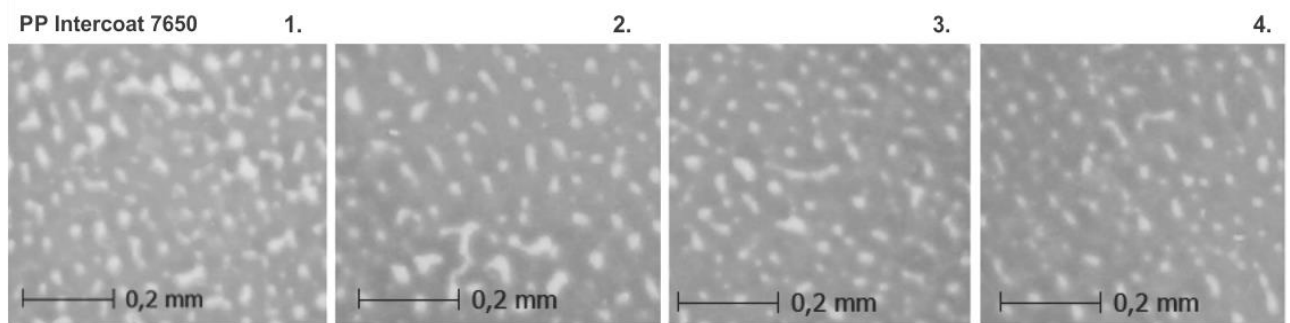
Galima teigti, kad spausdinant ant BOPP WSS 20 medžiagos su 40 dyn/cm paviršiaus įtempimu, yra būtinas papildomas paviršiaus apdorojimas korona, siekiant išgauti aukštą spausdinimo elementų raišką ir dažų dengiamumą. Rekomenduojamas paviršiaus įtempimas – 45 dyn/cm.



32 pav. *BOPP WSS 20* bandinių 15% dažų dengimo laukas,

- 1) Be papildomos aktyvacijos (40 dyn/cm), 2) 28 W/min/m² (45 dyn/cm), 3) 70 W/min/m² (46 dyn/cm),
- 4) 140 W/min/m² (46 dyn/cm)

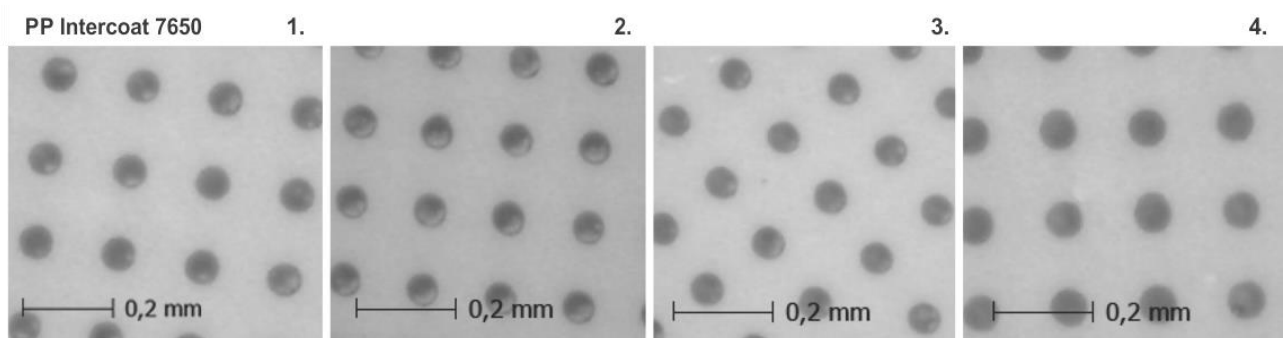
PP Intercoat 7650 bandiniai. Esant 35 dyn/cm įtempimams, dažų optinis tankis išmatuotas 12% (D=1,2) žemesnis nei rekomenduojama, tai yra 41% daugiau, nei *BOPP WSS 20* bandinio vienodomis spausdinimo sąlygomis. Stebint mikroskopu į 100% dengimo lauką, didelio vizualinio skirtumo tarp bandinių nepastebėta (žr. 33 pav).



33 pav. *PP Intercoat 7650* bandinių 100% dažų dengimo laukas,

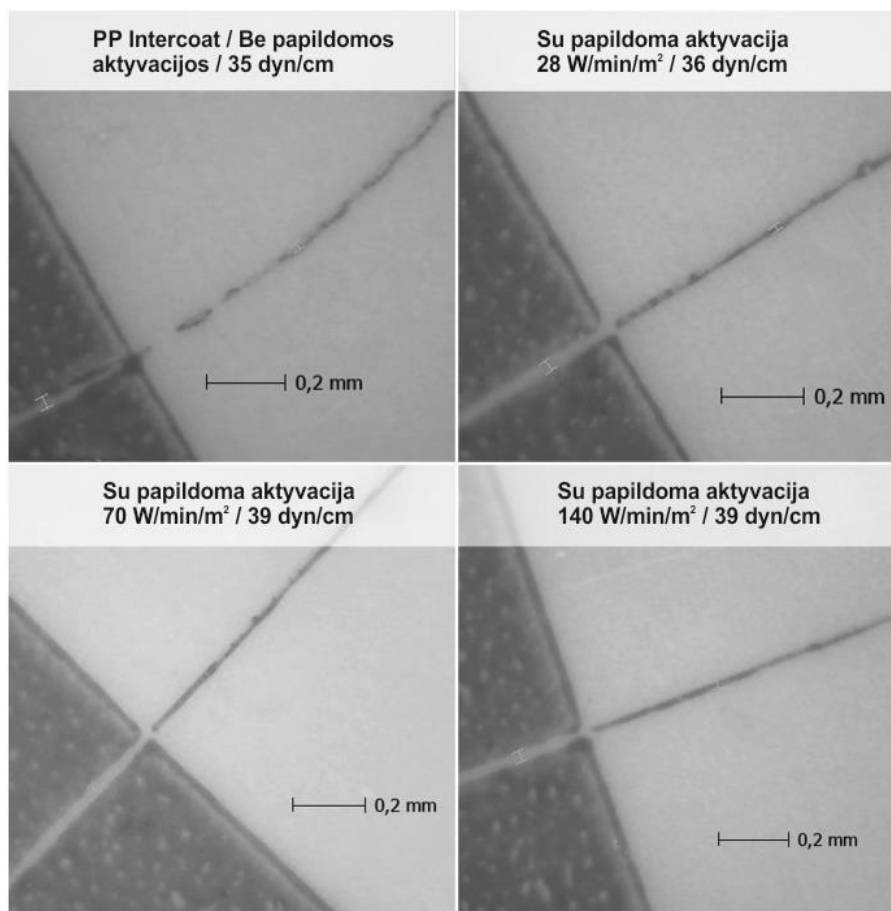
- 1) Be papildomos aktyvacijos (35 dyn/cm), 2) 28 W/min/m² (36 dyn/cm), 3) 70 W/min/m² (39 dyn/cm),
- 4) 140 W/min/m² (39 dyn/cm)

Spausdinimo paviršiaus nežymus hidrofobiškumas buvo pastebėtas tik 15% rastrinių taškų koncentracijos laukuose (žr. 34 pav.) ir 0,018 mm. mikrolinijoje (žr. 35 pav.). Paveikus medžiagą 140 W/min/m² korona galingumu, optinis tankis padidėjo tik 4% (D= 1,25).



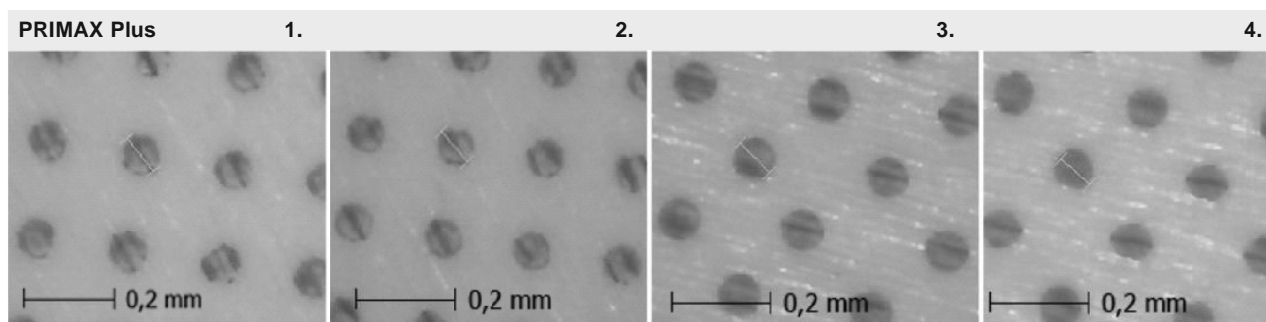
34 pav. *PP Intercoat 7650* bandinių 100% dažų dengimo laukas, 1) Be papildomos aktyvacijos (35 dyn/cm), 2) 28 W/min/m² (36 dyn/cm), 3) 70 W/min/m² (39 dyn/cm), 4) 140 W/min/m² (39 dyn/cm)

Galima teigti, kad spausdinant ant *PP Intercoat 7650* medžiagos su 35 dyn/cm paviršiaus įtempimu, nėra būtina atnaujinti paviršiaus energijos. Tačiau, siekiant maksimalaus dažų dengiamumo, rekomenduojamas paviršiaus įtempimas yra 36-39 dyn/cm.



35 pav. PP Intercoat 7650 bandinių 0,018 mm mikrolinijos atspaudas

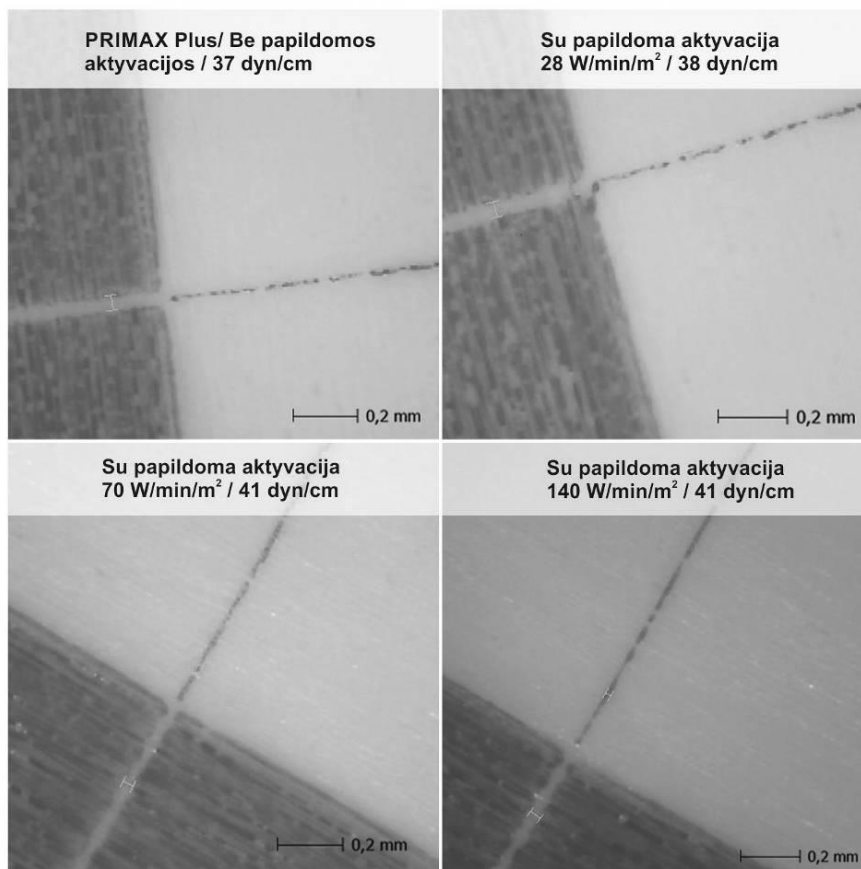
Primax Plus bandiniai. Spausdinant ant papildomai neapdoroto paviršiaus, išmatuotas dažų sluoksnio optinis tankis siekė ($D=1,04$), tai 13% mažiau nei *PP Intercoat 7650* bandinio. Tačiau priešingai nei PP vertinant vizualiai, medžiaga buvo prastai drėkinama dažais. Atspaudas gautas blyškus, su prastai atkurtomis detalėmis (žr. 32-33 pav.)



36 pav. PRIMAX Plus 15% dažų dengimo laukas,

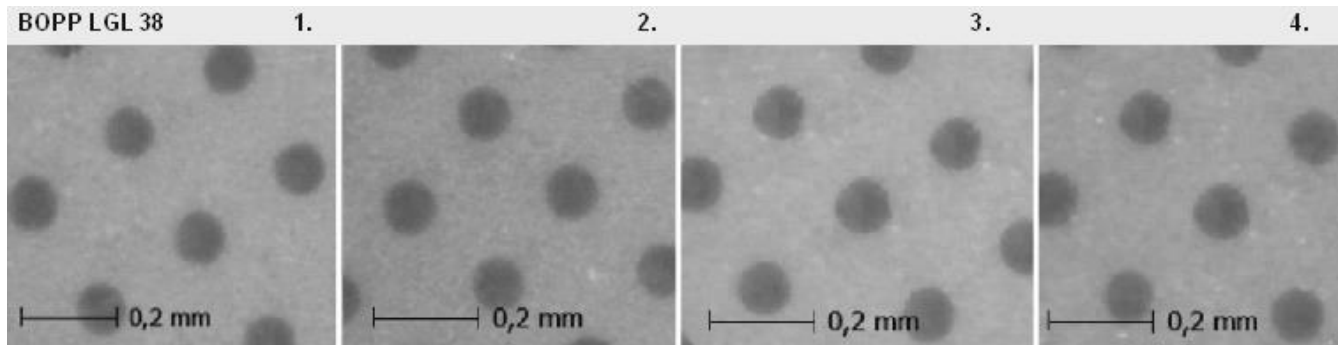
- 1) Be papildomos aktyvacijos (37 dyn/cm), 2) 28 W/min/m² (38 dyn/cm), 3) 70 W/min/m² (41 dyn/cm),
- 4) 140 W/min/m² (41 dyn/cm)

Optimalus rezultatas spaudai gautas tik papildomai aktyvuojant paviršių 70 W/min/m² koronos energijos. Išgautas 10,5% didesnis optinio tankio rezultatas (D=1,15). Dėl to, spalva tapo intensyvi, o smulkios spaudos detalės – aiškių kontūrų (žr. 36-37 pav). Rekomenduojamas paviršiaus įtempimas ne mažesnis nei 40-41 dyn/cm.



37 pav. PRIMAX Plus bandinių 0,018 mm mikrolinijos atspaudas

BOPP LGL 38 bandiniai. Spausdinant ant 38 dyn/cm medžiagos (be papildomos aktyvacijos) dažų sluoksnio optinis tankis siekė (D=1,07), tai 26% mažiau nei rekomenduojama UV fleksografinėje spaudoje. Padidinus aktyvacijos lygį iki 70 W/min/m² optinis tankis padidėjo nežymiai 5,5% t.y. (D=1,13). Didinant galingumą iki 140 W/min/m² norimas efektas negautas. Po paviršiaus aktyvavimo LGL bandinys įgavo didelį paviršiaus įtempimą, tačiau dažų optinio tankio padidėjimas buvo sąlyginai mažas (žr. 25 pav.). Patenkinamą spaudos rezultatą LGL medžiagai pavyko pasiekti ir su gamintojo aktyvacija. Rastriniai taškai visais atvejais buvo išgauti taisyklingos formos, nebuvo matoma dažų „susitraukimo“ efekto (žr. 38 pav.). Rekomenduojama paviršiaus įtempimų reikšmė spaudai 38-42 dyn/cm.



38 pav. BOPP LGL 38 15% dažų dengimo laukas,

- 1) Be papildomos aktyvacijos (38 dyn/cm), 2) 28 W/min/m² (41 dyn/cm), 3) 70 W/min/m² (42 dyn/cm),
4) 140 W/min/m² (46 dyn/cm)

3.1.3 Rastrinio taško išsiplėtimo priklausomybė nuo paviršiaus įtempimo

Atliekant tyrimą buvo siekta nustatyti kokį poveikį rastrinio taško išsiplėtimui turi spausdinamosios medžiagos paviršiaus įtempimai ir ar esant labai aukštai paviršiaus energijai nebus pasiektas neigiamas efektas taško patizime.

Atlikus gautų duomenų analizę nustatyta, kad paviršiaus įtempimai neturi įtakos rastrinio taško išsiplėtime (žr. priedas Nr.1). Spausdinant 50 m/s greičiu, dažai yra užtvirtinami ant pagrindo po ~0,4s. Tai yra trumpas laiko tarpas klampiams dažams pakeisti savo „užduotą“ dengiamą plotą. Manoma, kad dėl šios priežasties rastrinio taško išsiplėtimo priklausomybė nuo paviršiaus įtempimo nebuvo ryškiai pastebima.

3.1.3 Aktyvavimo lygio parametrų nustatymas

Žinant kokiu vainikinio išlydžio galingumu buvo pasiektos medžiagos paviršiaus įtempimų „lubos“ ir tenkinama spaudos kokybė, galime nustatyti medžiagos faktoriaus reikšmę. Šis parametras naudingas apskaičiuojant koronos galingumą tam tikrai medžiagai. Žemiau pateikiama formulė pagal kurią galima apskaičiuoti reikiamą energijos kiekį priklausomai nuo medžiagos rūšies, linijos greičio, juostos pločio ir pusių skaičiaus.

$$P = T \times S \times W \times M \quad (6)$$

P - vainikinio išlydžio įrenginio galingumas

T – aktyvuojamos pusės

S – greitis m/s

W – medžiagos plotis (m)

M – medžiagos faktorius (W/m²/min)

Medžiagos faktoriaus vertės

	BOPP WSS 20	PP Intercoat	PRIMAX Plus	BOPP LGL 38
$M, W/m^2/min$	70	70	70	28

Skaičiavimo pavyzdys:

Spausdinamoji medžiaga: *BOPP WSS 20* (38-40 *dyn/cm*)

Juostos plotis: 420 mm.

Pusių skaičius: 1

Spaudos greitis: 90 m/min

Iš 3.3 lent. matome, kad medžiagos faktorius M šiai medžiagai yra 70, todėl įrenginio galingumas apskaičiuojamas taip: $P = 1 \times 90 \times 0,42 \times 70 = 2646 W$

3.2 Elektrostatinio lauko mažinimo taikant jonizatorių tyrimo rezultatai

Tyrime dalyvavo penkios partijos gaminių (žr. 3.4 lent.), spausdintų ant skirtingų polimerinių medžiagų. Išsamūs matavimo rezultatai pateikti prieduose. Juose aprašomi elektrostatinio lauko stiprio matavimo rezultatai gauti po produkcijos pjovimo/pervyniojimo panaudojant jonizatorių ir jo nenaudojant. Taip pat išmatuotos skirtingos plėvelės pusės t.y. A ir B. Plėvelės A pusė laikoma ta, kuri turėjo tiesioginį kontaktą su prispaudžiamuoju guminiu velenu (žr. 21 pav.)

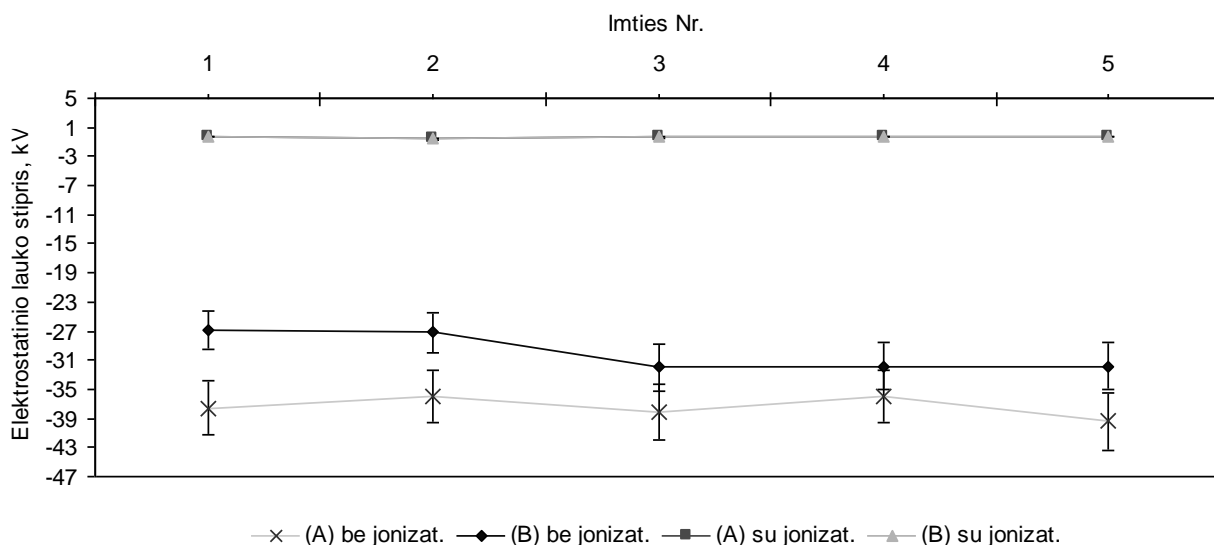
3.4 lentelė

Tyrime dalyvavusios gaminių partijos

Partijos Nr.	Medžiaga	Spalvingumas	Lakas	Tiražas, m.	Pjovimo greitis, m/min	Pastabos
1	BOPP TSS 20	5+0	-	40.000	200	
2	BOPP WSS 20	5+0	-	20.000	200	
3	BOPP TSS 20 + BOPP TSS 20	6+0	-	5.000	150	
4	BOPP LGL 38	7+0	Antistat.	50.000	180	
5	BOPP LGL 38	1+0	Antistat.	5.000	150	

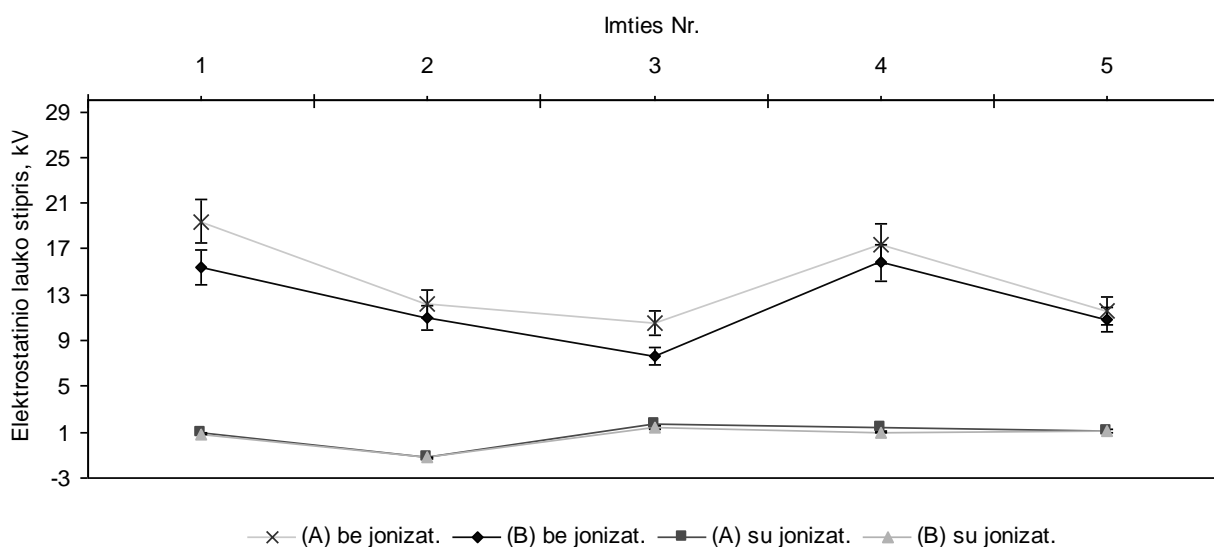
Partija Nr. 1. Didžiausias susidaręs elektrostatinio lauko stipris buvo išmatuotas plėvelėje, kuri buvo nejonizuota. A pusės vidutinis elektrostatinio lauko stipris siekė -37,4kV, tai 25% daugiau nei B plėvelės pusė, kuri neturėjo tiesioginio kontakto su guminiu prispaudimo velenu (žr. 39 pav). Jonizuotos plėvelės A ir B pusių elektrostatinio lauko stipris išmatuotas nykstamai

mažos reikšmės 0,29 kV ir 0,36kV. Didelis nejonizuotos partijos elektrostatinis laukas buvo juntamas ir be matavimo prietaisų, plėvelė „lipo“ viena prie kitos, traukė aplinkoje esančius nešvarumus.



39 pav. Elektrostatinio lauko stiprio priklausomybė *BOPP TSS 20* polimerinėje plėvelėje taikant jonizatorių

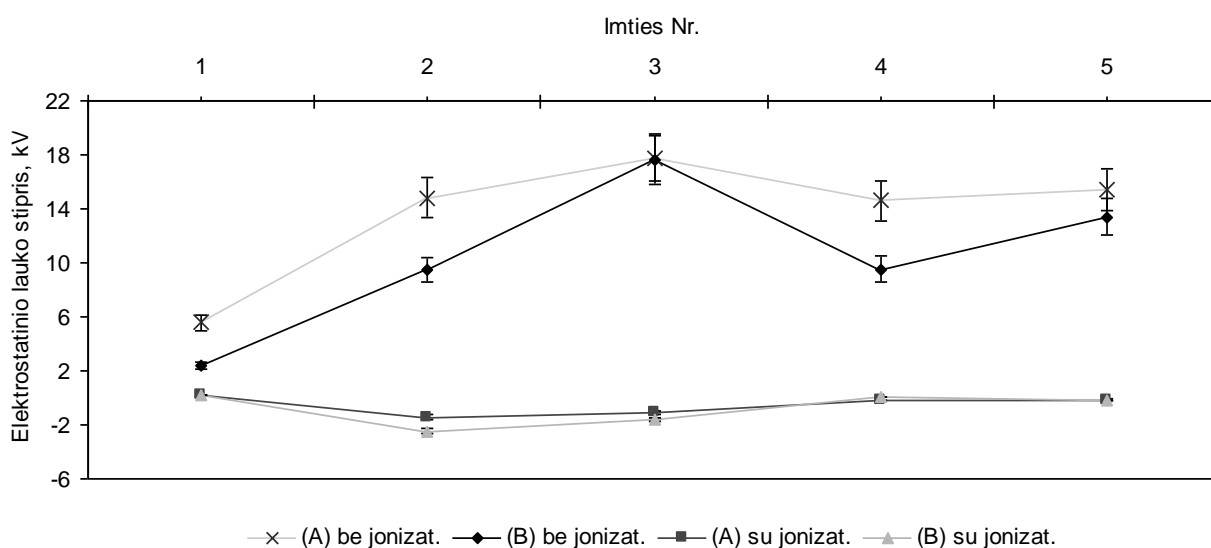
Partija Nr. 2. Didžiausias susidaręs elektrostatinio lauko stipris buvo išmatuotas plėvelėje, kuri taip pat buvo nejonizuota. A pusės vidutinis elektrostatinio lauko stipris siekė 14,2 kV, tai 17% daugiau nei B plėvelės pusė, kuri neturėjo tiesioginio kontakto su guminiu prispaudimo velenu (žr. 40 pav). Elektrostatinio lauko stipris nejonizuotoje plėvelėje tiražo metu kito netolygiai. Tarp mažiausios ir didžiausios išmatuotos reikšmės imtyje (imties Nr. 1-3) nustatytas 58% skirtumas. Jonizuotos plėvelės A ir B pusių elektrostatinio lauko stipris išmatuotas 0,8 kV ir 0,6 kV, tai 18 ir 20 kartų mažesnis rezultatas nei nejonizuotos imties.



40 pav. Elektrostatinio lauko stiprio priklausomybė *BOPP WSS 20* polimerinėje plėvelėje taikant jonizatorių

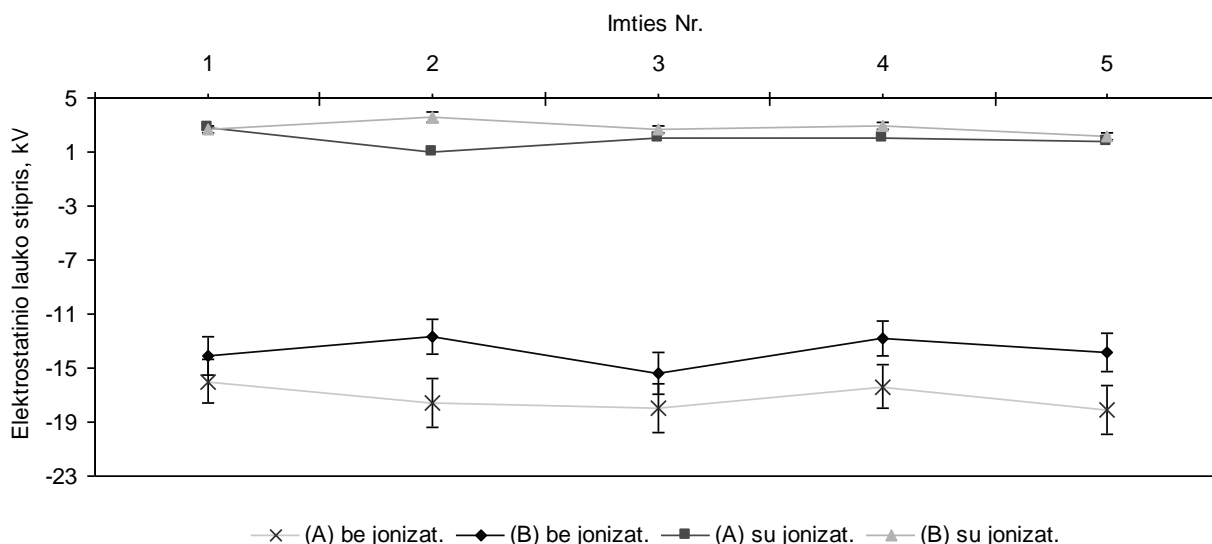
Partija Nr. 3. Šioje partijoje taip pat didžiausią elektrostatinę krūvį įgavo nejonizuoti gaminiai. A pusės vidutinis elektrostatinio lauko stipris siekė 13,6 kV, tai 30% daugiau nei B plėvelės pusė, kuri neturėjo tiesioginio kontakto su guminiu prispaudimo velenu (žr. 41 pav). Po pirminių tyrimų rezultatų buvo manoma, kad dėl dažų sluoksnio sukeltos trinties yra gaunami elektrostatinio lauko skirtumai skirtingose plėvelės pusėse. Tačiau šioje partijoje buvo tiriami dviejų plėvelių BOPP TSS kompozitai (dažų sloksnis neturi kontakto su velenais), kuriuose taip pat pastebėtas šis reiškinys.

Jonizatoriaus panaudojimas, elektrostatinį lauką sumažino apytiksliai 19 kartų. Plėvelės elektrostatinio lauko stipris po jonizavimo vidutiniškai siekė -0,5 kV (A) ir -0,8 kV (B).



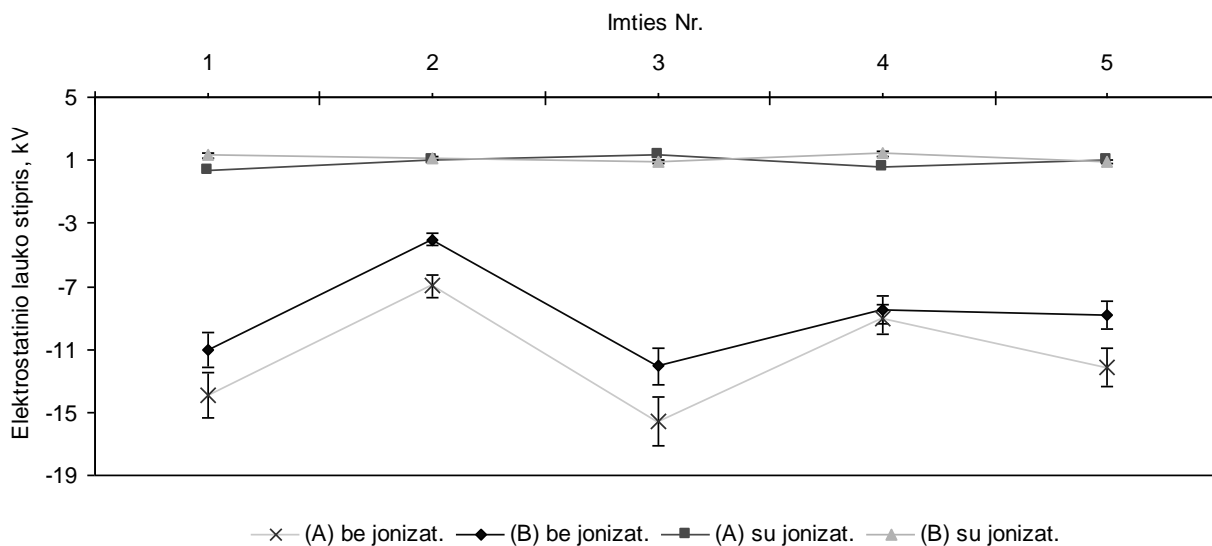
41 pav. Elektrostatinio lauko stiprio priklausomybė BOPP TSS 20 polimerinės plėvelės kompozite taikant jonizatorių

Partija Nr. 4. Didžiausias susidaręs elektrostatinio lauko stipris buvo išmatuotas plėvelėje, kuri buvo nejonizuota. Nors plėvelės A pusė buvo dengta antistatiniu laku, šios pusės vidutinis elektrostatinio lauko stipris siekė -17,2 kV - tai 26% daugiau nei B plėvelės pusė, kuri neturėjo tiesioginio kontakto su guminiu prispaudimo velenu (žr. 42 pav). Jonizuotos plėvelės A ir B pusių vidutinis elektrostatinio lauko stipris išmatuotas 1,9 kV ir 2,8 kV. Jonizatoriaus panaudojimas, elektrostatinį lauką sumažino apytiksliai 6 kartus. Tačiau tai didžiausias išmatuotas elektrostatinio lauko stiprumo rezultatas lyginant su kitomis jonizuotomis plėvelių partijomis.



42 pav. Elektrostatinio lauko stiprio priklausomybė *BOPP LGL 38* polimerinėje plėvelėje taikant jonizatorių

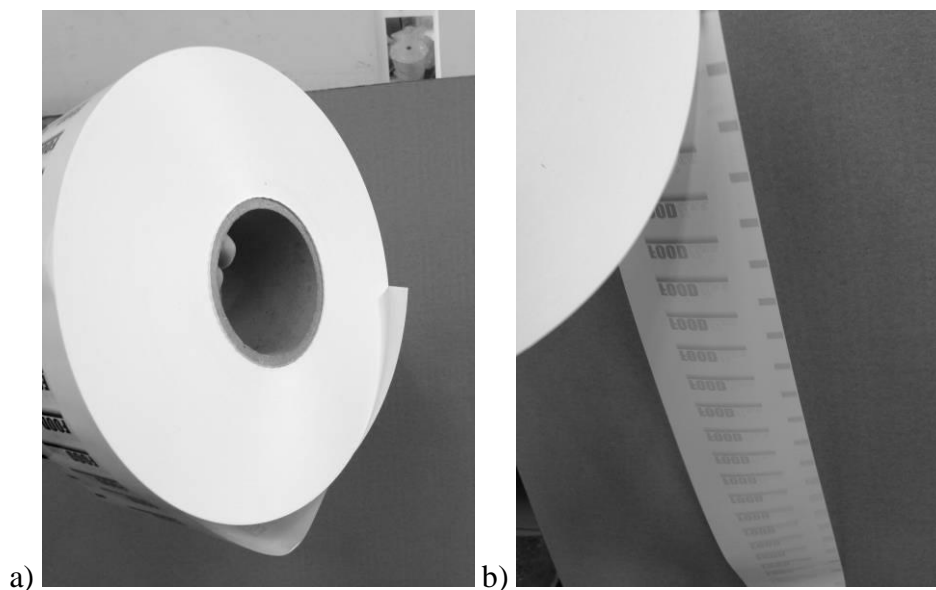
Partija Nr. 5. Šioje partijoje taip pat didžiausią elektrosstatinį krūvį įgavo nejonizuoti gaminiai. A pusės vidutinis elektrosstatinio lauko stipris siekė -11,5 kV, tai 33% daugiau nei B plėvelės pusė, kuri neturėjo tiesioginio kontakto su guminiu prispaudimo velenu (žr. 43 pav). Plėvelės elektrosstatinio lauko stipris po jonizavimo vidutiniškai siekė 0,9 kV (A) ir 1,15 kV (B). Jonizatorius apytiksliai 10 kartų padėjo sumažinti elektrosstatinio lauko stiprį.



43 pav. Elektrostatinio lauko stiprio priklausomybė *BOPP LGL 38* polimerinėje plėvelėje taikant jonizatorių

Stipraus (+/- 10 kV) elektrosstatinio lauko esančio plėvelės paviršiuje sukeliamas elgesys atvaizduotas žemiau pateiktame paveiksle (žr. 44 pav. a.). Po išilginio pjovimo/pervyniojimo operacijos, įsielektrinusi plėvelė tampa sunkiai suvaldoma dėl ją veikiančių jėgų. Plėvelė yra

traukiama prie kitų objektų, taip pat vyksta smulkių dalelių iš aplinkos trauka. Siekiant įvertinti elektrostatinio lauko jėgos trukmę yra būtina atlikti papildomus tyrimus polimeriniams ritiniams, nustatant elektrostatinio lauko mažėjimo priklausomybę nuo laiko ir aplinkos sąlygų.



44 pav. Elektrostatinio lauko stiprio požymiai a) be jonizatoriaus, b) su jonizatoriumi.

IŠVADOS

1. Išmatavus bandinių paviršiaus įtempimų reikšmes buvo nustatyta, kad 3 rūšys žaliavų (*PP Intercoat 7650*, *Primax Plus*, *BOPP LGL 38*) neatitinka dažų gamintojo rekomenduotinių paviršiaus įtempimų reikšmių. Šių medžiagų paviršiaus įtempimų reikšmės siekė ≤ 38 dyn/cm.

2. Drėkinimo kampo matavimų rezultatai rodo, kad skirtingos spausdinamosios polimerinės medžiagos skirtingai reaguoja į paviršiaus modifikavimą vainikiniu išlydžiu. Todėl kiekvienai medžiagai vainikinio išlydžio galingumo parametrus reikia nustatyti individualiai.

3. Tyrimo metu buvo nustatytos maksimalios medžiagų paviršiaus įtempimų ribos, tačiau daugumoje atvejų jos buvo pasiektos su 70 W/min/m^2 koronavimo įrenginio galia.

4. Mažėjant drėkinimo kampui, dažai tolygiau pasiskirsto ant spausdinamojo paviršiaus, to pasekoje didėja dažų optinio tankio matavimo rezultatai. Didžiausios optinio tankio vertės buvo pasiektos naudojant 70 W/min/m^2 korona įrenginio aktyvavimo galingumą. Didžiausią optinio tankio pokytį pavyko pasiekti *BOPP WSS 20* medžiagai, papildomai aktyvuojant 28 W/min/m^2 korona energijos. Lyginant su papildomai neaktyvuotu bandyniu, optinis tankis padidėjo 38%.

5. Mažiausi spaudos elementai buvo puikiai atkurti ant *BOPP LGL 38* (38 dyn/cm) ir patenkinamai ant *PP Intercoat 7650* (35 dyn/cm) medžiagų, be papildomo paviršiaus aktyvavimo. Tačiau siekiant aukščiausios spausdinimo kokybės, rekomenduojama medžiagas papildomai aktyvuoti 70 W/min/m^2 galingumu.

6. Spauda be papildomo aktyvavimo ant *BOPP WSS 20* (40 dyn/cm) ir *Primax Plus* (37 dyn/cm) medžiagų gauta netenkinamos kokybės. Todėl jas būtina papildomai aktyvuoti.

7. Rastrinių taškų padidėjimo priklausomybė nuo paviršiaus įtempimo dydžio nebuvo pastebėta.

8. Paviršiaus aktyvavimas vainikiniu išlydžiu atspaudų kokybei turėjo teigiamą efektą visais atvejais.

9. Jonizatoriaus panaudojimas *Jurmet 500* įrenginyje, neutralizavo susidariusį elektrostatinį krūvį galutinėje produkcijoje visais atvejais.

10. Plėvelės pusė (A), kuri turi tiesioginį kontaktą su guminiu prispaudimo velenu, vidutiniškai 25% įgaudavo didesnę elektrostatinio lauko stiprį, nenaudojant jonizatoriaus.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

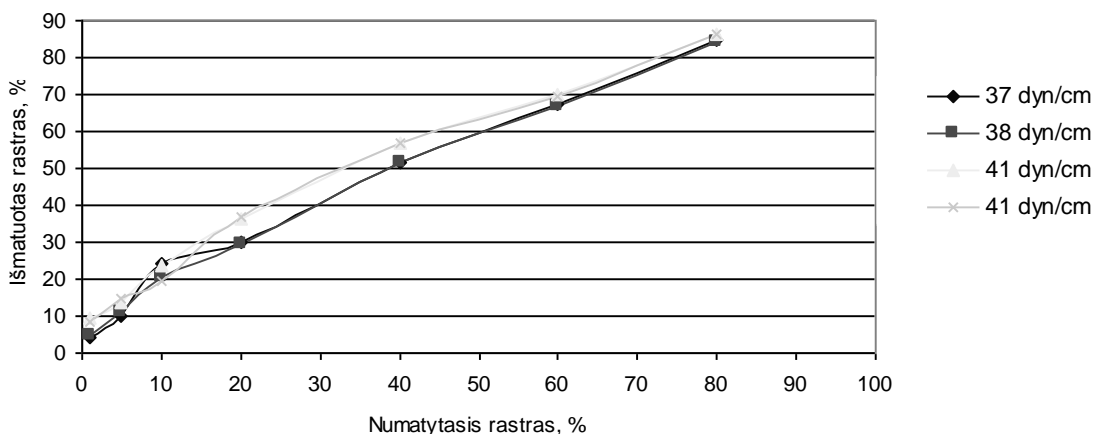
1. Vadillo, D. C., Soucemarianadin, A. Delattre, C., Roux, D. C. Dynamic contact angle effects onto the maximum drop impact spreading on solid surfaces D. Physics of Fluids 21. – USA, 2009
2. Pavey, I. Industrial Electrostatics - Hazards, Problems and Applications, Chilworth Technology Ltd, p. 64
3. Duncan, B., Mera, R. Leatherdale, D., Taylor, M., Musgrove, R. Techniques for characterising the wetting, coating and spreading of adhesives on surfaces, National Physical Laboratory, UK, 2005, 48 p.
4. A/S Vetaphone. Corona-Plus user manual, 2006, 86 p.
5. Mesic, B., Lestelius, M., Engstrom, G., Edholm, B. Printability of PE-coated paperboard with water-borne flexography: Effects of corona treatment and surfactants addition. Pulp & Paper Canada 106(11), 2005, 36-41 p.
6. Nantong Sanxing. Corona treatment iliustracija [žiūrėta 2014 m. lapkričio 25 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.ntsaxin.com/En/Products/Corona-treater/>>
7. Tamulevičius, S., Jucius, D. Medžiagų mokslas, 2007, p. 200, ISBN: 978-9955-686-30-9
8. UAB „Parelita“. Paviršiaus aktyvavimas ir susiję sistemos [žiūrėta 2014 m. gruodžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.perelita.lt/page5.php>>
9. ASTM D7305-08a(2013). Standard Test Method for Reflection Density of Printed Matter, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org
10. Rinkevičius, V. Elektra ir magnetizmas. Vilniaus universitetas, 2004 m. p. 241, ISBN 9955-19-646-9
11. Adams, C.K. Nature's electricity. Tab books, 1987 m. p. 147, ISBN 978-0830-627-6-91
12. Shelton, S. A practical guide to controlling electrostatic charges on film webs. Simco Industrial Static Control Hatfield, Pennsylvania. www.tapi.com
13. Žemaitaitis, A. Polimerų fizika ir chemija. Kaunas, Technologija, 2001 m. p. 567 ISBN 9955-09-052-9
14. Stapulionis, T., Kavčinskis, G. Statinė elektra ir įžeminimas. Energijos erdvė 2014-1, p. 12-15, ISSN 2029-3119
15. 715 static meter operating manual. Fraser antistatic techniques. United Kingdom, 2012m. p. 14
16. Valentinavičius, V. Fizika 9. Šviesa 2005 m. p. 217, ISBN 5-430-04010-X
17. Koganei Corporation. Static Electricity Removing Unit IONIZER Technical Information Guidebook. [žiūrėta 2015 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.humphrey-products.com/>>
18. Apex Microscopes. Mikroskopo iliustracija. [žiūrėta 2015 m. vasario 2 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.apexmicroscopes.co.uk/apexdinolightam4113t.html>>
19. FRASER. 715 Static Meter Operating Instructions. Fraser Anti-Static Techniques Ltd, UK, p. 14

20. FRASER. Operating Instructions 3024 F & 3024. Fraser Anti-Static Techniques Ltd, UK, p. 18
21. Jurmet Slitter 500 technical documentation. „JURMET” spółka z o.o. 2005m. p. 48
22. Valdec, D., Zjakić, I., Milković, M. The influence of variable parameters of pflexographic printing on dot geometry of pre-printed printing substrate, 2013, 661 p. ISSN 1848-6339

PRIEDAI

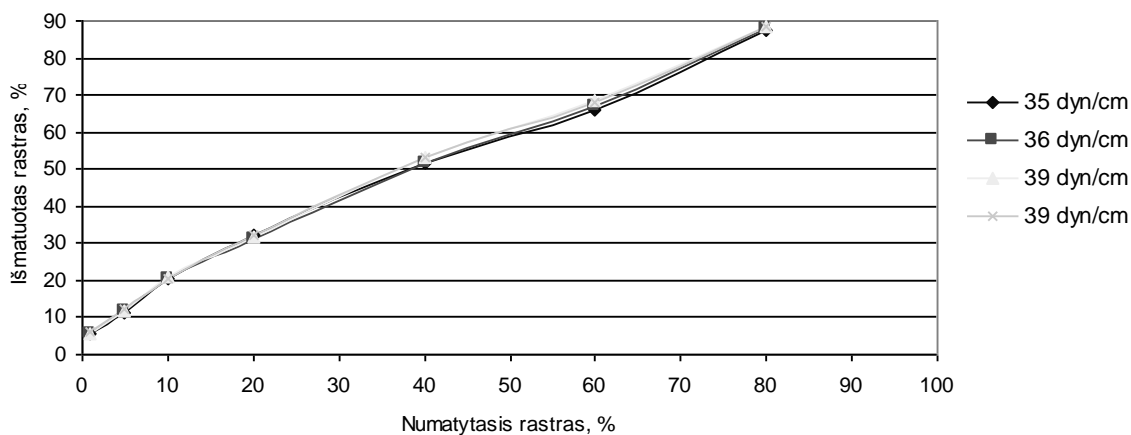
Rastrinio taško patižimo priklausomybė nuo plastiko paviršiaus įtempimų verčių

Primax Plus



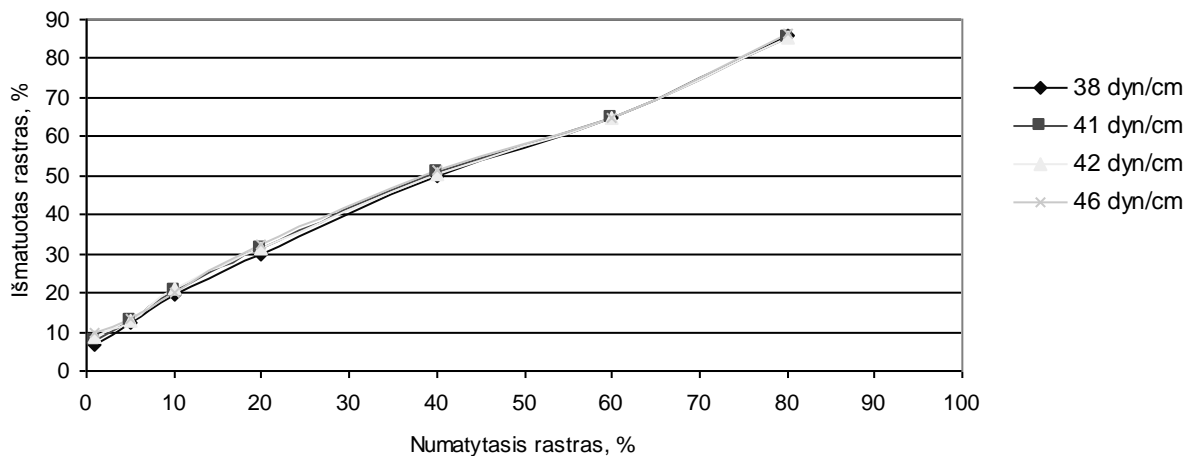
1 pav. Rastrinio taško patižimas Primax Plus medžiagoje

PP Intercoat 7560

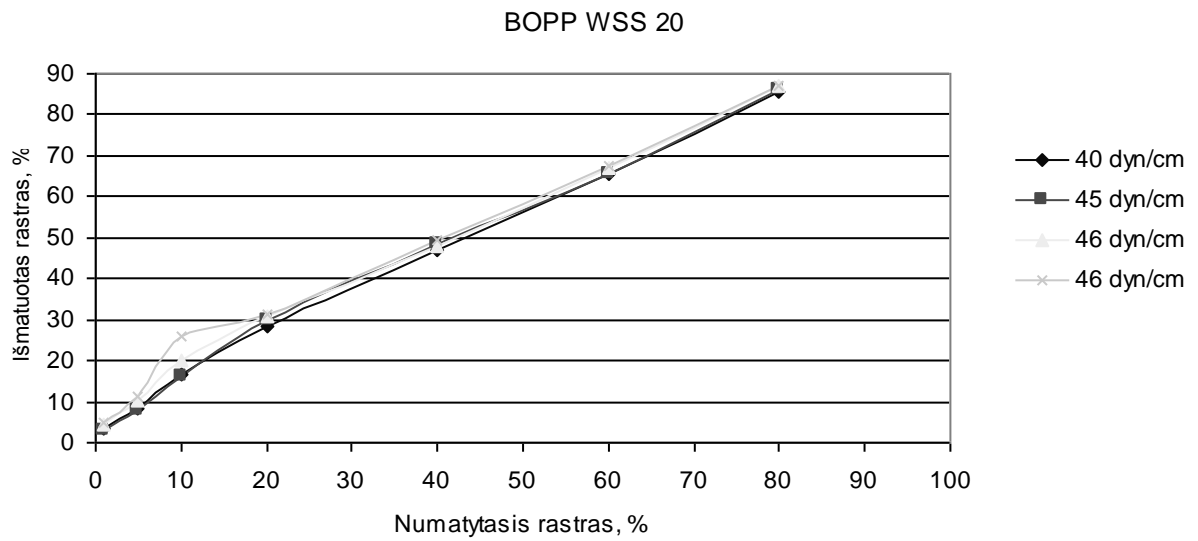


2 pav. Rastrinio taško patižimas PP Intercoat 7560 medžiagoje

BOPP LGL 38



3 pav. Rastrinio taško patižimas BOPP LGL 38 medžiagoje



4 pav. Rastrinio taško patižimas BOPP WSS 20 medžiagoje