



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Milda Zakarauskaitė

POLIMERINIŲ MAISTO PAKAVIMO MEDŽIAGŲ DEGUONIES
PRAL AidUMO MAŽINIMO TECHNOLOGIJOS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Prof.habil.dr. Edmundas Kibirkštis

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

POLIMERINIŲ MAISTO PAKAVIMO MEDŽIAGŲ DEGUONIES
PRAL AidUMO MAŽINIMO TECHNOLOGIJOS

Baigiamasis magistro projektas
Grafinių komunikacijų inžinerija (kodas 621H74002)

Vadovas

(parašas) Prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis

(data)

Recenzentas

(parašas) dr. Valdas Miliūnas

(data)

Projektą atliko

(parašas) Milda Zakarauskaitė

(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Milda Zakaruskaitė

(Studento vardas, pavardė)

Grafinių komunikacijų inžinerija, kodas 621H74002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Polimerinių maisto pakavimo medžiagų deguonies pralaidumo mažinimo technologijos“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mildos Zakaruskaitės**, baigiamasis projektas tema „Polimerinių maisto pakavimo medžiagų deguonies pralaidumo mažinimo technologijos“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesažiningumo 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 (parašas, data)
katedros vedėjas 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 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-11-8.

2. Projekto tikslas _____

3. Projekto struktūra _____

4. Reikalavimai ir sąlygos _____

5. Projekto pateikimo terminas 2017 m. gegužės mėn. 25 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

Studentas _____ (studento vardas, pavardė) _____ (parašas, data)

Vadovas _____ (pareigos, vardas, pavardė) _____ (parašas, data)

Eil. Nr.	Formatas	Žymėjimas	Pavadinimas	Lapų skaičius	Egz. Nr.	Pastaba
1	A4		<u>Aiškinamoji dalis</u>	53	1	
2	A4		<u>Priedai</u>	2	1	
			<u>Brėžiniai</u>			
3	A1		Laminavimo įrenginio Super Combi 3000 technologinė schema	1	1	
4	A1		Srautų diagrama. Pakuočių su barjeriniu laku gamybos technologija	1	1	
5	A1		Tyrimų objektas ir tikslas	1	1	
6	A1		Deguonies pralaidumo matavimo įrenginio principinė schema. Tyrimų rezultatai	1	1	
Grupė		KTU Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas		Polimerinių maisto pakavimo medžiagų deguonies pralaidumo mažinimo technologijos		
MDM-5/4	Studentas			Žiniaraštis		Laida
	Vadovas					O
Pr. etapas	Gamybos inžinerijos katedra Studentų g. 56, LT-51424 Kaunas		2017 - GI - MBP - 01		Lapas	Lapų
MBP					1	1

Zakarauskaitė, Milda. Polimerinių maisto pakavimo medžiagų deguonies pralaidumo mažinimo technologijos. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Medžiagų inžinerija, Technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: *deguonies pralaidumas, pakavimas, polimerinės medžiagos, barjerinis lakas,*

Kaunas, 2017. 53 p.

SANTRAUKA

Pastaruoju metu Europos Sąjungoje didėja dėmesys maisto produktų saugai ir kokybei. Tai lemia naujas vartotojų požiūris į maistą, susirūpinimas aplinkos tarša, jos įtaka maistui ir žmonių sveikatai. Labai svarbu, kad vartotojai naudotų kokybišką, tinkamai paženklintą ir saugų maistą. Tai užtikrina ne tik pačio maisto produkto gaminimo ir pateikimo principas, bet ir kaip, ir kur jis bus laikomas. Todėl labai svarbu užtikrinti kad maisto produktai būtų pakuojami į tinkamas medžiagas, kurios turi atitikti reglamentą ((EB) Nr. 1935/2004) medžiagoms ir gaminiams, skirtiems liestis su maistu

Pagrindinis šio tyrimo tikslas yra nustatyti deguonies pralaidumą daugiasluoksnei polimerinei kompozicijai, kuri buvo padengta specialiu barjeriniu SunBar laku. Darbe buvo nustatyti kiti fizikiniai ir mechaniniai parametrai, tokie kaip storis, gramatūra, trinties koeficientas, siūlės ir sluoksnių sukibimo stipris.

Atlikus deguonies pralaidumo matavimus, buvo nustatyta, kad padengus vidutinio barjeringumo daugiasluoksne polimerinę kompoziciją specialiu barjeriniu SunBar laku, galima sumažinti deguonies pralaidumą. Šiuo laku padengta dvisluoksne kompozicija gali būti naudojama kaip alternatyva trisluoksne kompozicijoms, tokiu būdu sumažinamas sunaudojamas žaliavų kiekis.

Deguonies pralaidumo tyrimas buvo atliktas UAB „Aurika“ įmonės fizikinių tyrimų laboratorijoje.

Zakarauskaitė, Milda. Technologies Of The Oxygen Permeability Reduction in Polymeric Food. *Master's* thesis: Production and Manufacturing Engineering / supervisor assoc. Prof. Habil. Dr. Edmundas Kibirkštis. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Materials Engineering, Technological Sciences.

Key words: *oxygen permeability, packaging, polymeric materials, barrier coating*

Kaunas, 2017. 53 p.

SUMMARY

At present the attention to safety of food products and quality has been expanding. It is influenced by consumers' new approach to food, caring about environment pollution, its influence on food and human's health.

That's why it is important to ensure that food products would be encased into corresponding materials which have respective requirements to materials and manufacture, Regulations Nr. 1935/2004 designed for touching food.

The main aim of investigation is to determine oxygen permeability for multilayer polymeric composition which was coated by special barrier SunBar coating. It was found other physical and mechanical parameters like thickness, grammage, friction coefficient, seal strength and strength of layers adhesion.

Carrying out measures of oxygen permeability, it was found that covering multilayer polymeric composition with special barrier Sun Bar coating, it is possible to reduce permeability of oxygen. Covering by coating two layers composition could be used like alternative to three layers composition, quantity of raw materials is reduced this way.

Investigation of oxygen permeability is carried out in JSC „Aurika“ in the laboratory of physical testing.

TURINYS

ĮVADAS.....	9
1. LITERATŪROS ANALIZĖ	10
1.1. Maisto produktų pakavimo medžiagoms keliami reikalavimai	10
1.2. Pralaidumo teorija	10
1.3. Deguonies įtaka maisto produktams	13
1.4. Deguonies barjerinę turinčios medžiagos skirtos pakavimui.....	14
1.5. Inovatyvūs sprendimai maisto pakavimui.....	16
1.6. Polimerinių plėvelių barjerinių savybių matavimo metodai ir įranga.....	19
1.7. Literatūros analizės išvados	22
2. Pakuočių su barjeriniu laku gamybos technologija.....	23
2.1. Srautų diagrama. Lanksčių pakuočių gamyba.....	23
2.1.1. Specialus barjerinis SunBar lakas	24
2.1.2. Bandinių padengimas barjeriniu SunBar laku.....	24
2.1.3. Bandinių spausdinimas ir laminavimas.....	25
2.2. Barjerinių žaliavų laminavimas.....	26
3. TYRIMO METODIKA.....	28
3.1. Tyrime naudota įranga ir parametrai	28
3.1.1. Bandiniai ir jų medžiagos.....	28
3.2. Fizikinių parametru nustatymas	28
3.2.1. Storis. Tyrimo metodika ASTM D2251–03.....	29
3.2.2. Gramatūra. Tyrimo metodika D4321–09	30
3.2.3. Sluoksnių sukibimo stipris. Tyrimo metodika F 904–98	31
3.2.4. Siūlės sukibimo stipris. Tyrimo metodika F88–07a.....	32
3.2.5. Trinties koeficientas. Tyrimo metodika - ASTM D1894–08.....	34
3.3. Deguonies pralaidumo tyrime naudota įranga, charakteristikos ir metodika.....	36
3.3.1. Deguonies pralaidumo nustatymas. Tyrimo metodika ASTM D3985–05.....	36
3.3.2. Matavimo įranga ir jos techninės charakteristikos.....	38
4. REZULTATŲ ANALIZĖ	40
4.1. Fizikinių ir mechaninių savybių tyrimų rezultatai	40
4.2. Barjerinių daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų deguonies pralaidumo nustatymas.....	48
4.3. SunBar lako įtaka deguonies pralaidumui.....	49
4.3.1. Daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų, padengtų specialiu SunBar laku, deguonies pralaidumo tyrimų rezultatai.....	49
IŠVADOS.....	51
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	52
PRIEDAI	54

IVADAS

Pakavimo medžiagų pralaidumas tampa vis svarbesnis pakavimo, maisto ir medžiagų mokslo technologams. Pakuotės, pagamintos iš plastiko, yra pralaidžios smulkioms molekulėms tokioms kaip dujos, vandens ir organiniai garai, taip pat, mažos molekulinės masės junginiams, pavyzdžiui, aromato, skonio ir įvairių priedų įeinančių į maistą. Žinios, apie šių junginių įvairių būsenų elgseną pro polimerinę žaliavą, darosi vis svarbesnės, ypačiai polimerų, naudojamų maisto pakavimo srityje, kur svarbu išvengti užteršimo nuo išorinės aplinkos, taip pat svarbu maisto produktų galiojimo laikas.

Nagrinėjant įvairių polimerinių plėvelių pralaidumo savybes svarbu suprasti kaip bus pakuojamas pasirinktas produktas, kokiomis sąlygomis jis bus laikomas ir ar pasirinkta žaliava yra pritaikyta pakavimui, skirtu kontaktui su maistu.

Mažas deguonies pralaidumas padeda prailginti maisto produkto galiojimo laiką ir išsaugoti pakuojamo produkto kokybę nuo oksidacijos. Vis ieškoma būdų kaip spręsti šią problemą. Maisto produktų pakavimui, kuriems reikalingas mažas deguonies pralaidumas yra naudojamos daugiasluoksnės kompozicijos, turinčios aukštą barjerumą. Siekiant surasti alternatyvą barjerinėms plėvelėms, buvo nuspręsta išbandyti specialų barjerinį SunBar laką, kuris turėtų padidinti vidutinio barjerumo turinčias daugiasluoksnės plėveles iki aukšto barjerumo. Šiame darbe bus siekiama nustatyti ar specialus barjerinis lakas galėtų būti alternatyva barjerinėms žaliavoms.

Tyrimo tikslas:

nustatyti daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų, kurios padengtos specialiu barjeriniu *SunBar* laku, deguonies pralaidumą.

Tyrimo problema:

ar barjerinis lakas galėtų būti alternatyva barjerinėms žaliavoms, siekiant išlaikyti tinkamą deguonies pralaidumą, pakuotėms, skirtoms liestis su maistu bei sumažinti atliekų kiekį.

Tyrimo uždaviniai:

1. atlikti analitinę deguonies pralaidumo mažinimo technologijų ir jo nustatymo analizę;
2. nustatyti daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų, padengtų specialiu barjeriniu *SunBar* laku fizikines savybes;
3. nustatyti daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų deguonies pralaidumą;
4. nustatyti daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų, padengtų specialiu barjeriniu *SunBar* laku deguonies pralaidumą.
5. įvertinti kokios daugiasluoksnei polimerinei kompozicijai galėtų būti alternatyva kompozicija, padengta specialiu barjeriniu *SunBar* laku.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

Atliekant literatūros analizę buvo siekiama plačiau išsiaiškinti polimerinių pakuočių, besiliečiančių su maisto produktais, medžiagoms keliamus reikalavimus, deguonies pralaidumo mažinimo būdus, jų ištirtumą ir svarbą ne tik poligrafijos srityje, bet ir maisto saugoje.

1.1. Maisto produktų pakavimo medžiagoms keliami reikalavimai

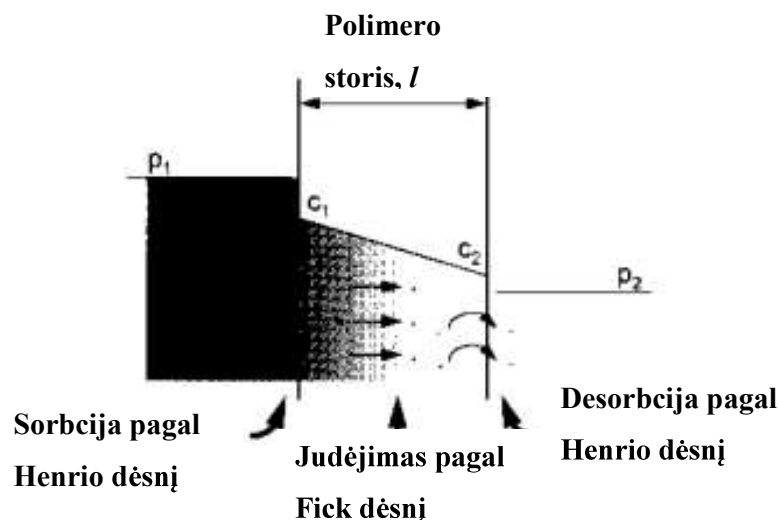
Pakuotė yra įvardijama kaip pati svarbiausia funkcija, apsaugoti maisto produktus nuo išorinių poveikių. Pakuotė apsaugo maisto produktus nuo maistinių medžiagų, funkcinių savybių, spalvos, kvapo ir skonio netekimo bei išlaiko bendrą išvaizdą, kurios tikisi vartotojas. Geras maisto produktų įpakavimas turi sukurti tinkamą barjerą tarp maisto produkto ir išorinės aplinkos, įskaitant ir vandens garų ir deguonies poveikį, bei mikroorganizmus. Galiojimo laikas, kada produktas yra tinkamas vartoti, priklauso nuo pakuotės barjerinių savybių. Antroji pakuotės funkcija yra ta, kad įpakuotą maisto produktą yra lengviau transportuoti. Be to, geras maisto produkto įpakavimas užtikrina tikslią informaciją apie maisto produktą galutiniam vartotojui ir pritraukia jį įsigyti. Maisto produktų pakavimas, priklausomai nuo tam naudojamos medžiagos yra naudojamas tam, kad apsaugotų maisto produktus nuo užteršimo ir tam, kad išlaikytų kokybę nuo pagaminimo ir perdavimo į pardavimus ir galutinio vartojimo. Polimerinės plėvelės, kurios yra naudojamos maisto produktams įpakuoti, privalo turėti tokią savybę, kaip mechaninis atsparumas pervežimams, įvairioms laikymo sąlygoms, šaldymui ir ultravioletinių spindulių poveikiui. Maisto produktų pakavimui taip pat reikia šiluminio stabilumo, jeigu pakuotė po to bus apdorojama tokiuose procesuose kaip pasterizacija ar sterilizacija [1]. Reglamento (EB) Nr. 1935/2004 16 straipsnio 1 dalyje nustatyta, kad prie medžiagų ir gaminių, kurioms taikomos specialios priemonės, pridedama rašytinė atitikties deklaracija, patvirtinanti jų atitiktį jiems taikomiems reikalavimams. Siekiant sustiprinti tiekėjų veiklos koordinavimą ir atsakomybę, kiekvienu gamybos etapu, įskaitant pradinių medžiagų etapą, atsakingi asmenys turi įrašyti informaciją apie atitiktį atitinkamiems reikalavimams atitikties deklaracijoje, kuri turi būti prieinama jų klientams [2].

1.2. Pralaidumo teorija

Sorbcijos ir difuzijos mechanizmai, kurie vyksta per plėvelių struktūrą, kurie yra apsupta dviejų skysčių fazių, siekiant nustatyti, prasiskverbimo procesą (žr. 1 pav.)

Prasiskverbimo procesas apima tris žingsnius. (1) Permeato molekulė iš susidarancio skysčio etapo, daliniu slėgiu, pI , įsiskverbia į polimero paviršių. Jeigu slėgis yra mažesnis nei 1 atmosfera, tai permeato koncentracija polimero ir aplinkos tarpfazėje paklūsta Henrio dėsniai. (2) Permeatas difunduoja per polimero plėvelę nuo didelės koncentracijos pusės link mažos koncentracijos pagal

Fick dėsnį. (3) Permeatas pasilieka priešingoje polimero tarpfazėje, tam, kad galėtų difunduoti pastovioje fazėje (skysčio arba dujų) prie slėgio p_2 [3].



1 pav. Sorbcijos ir difuzijos mechanizmai per plėvelių struktūrą [3].

Difuzija per nejudančią, neporėtą polimerinę plėvelę yra apskaičiuojama pagal lygtį:

$$F = -D \frac{\Delta c}{l} \quad (1)$$

F – srovė, tekanti per plėvelę, arba dujų pralaidumas

Δc – permeato koncentracijos polimero/dujų fazės interfazėje

D – difuzijos koeficientas

l – plėvelės storis

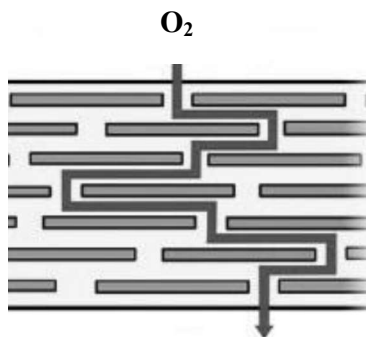
c – vertės susijusios su daliniu slėgiu p pagal Henrio pusiausvyros dėsnį

$$c = Sp \quad (2)$$

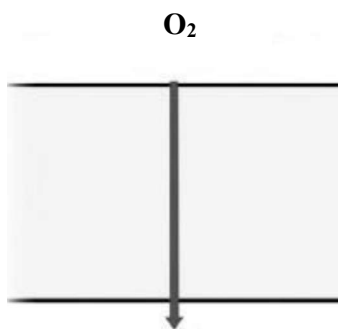
S – permeato tirpumo koeficientas ($\text{kg/m}^3/\text{Pa}$)

Pralaidumas yra apibrėžiamas kaip, dujų arba garų kiekio perdavimas per medžiagą, per tam tikrą laiką. Pralaidumo sąvoka yra siejama su plastikinių medžiagų barjerinių savybių kiekybiniu įvertinimu. Pirminis mechanizmas dujų ar vandens garų srauto tekėjimui per plėvelę yra pagrįstas difuzijos principu [4]. Laidumas dujoms yra nusakomas dujų molekulių adsorbcijos greičiu į polimero matricą, aplinkos/polimero sandūroje ir adsorbuotų dujų molekulių per polimero matricą greičiu. Adsorbcijos greitis dažniausiai priklauso nuo laisvojo tūrio skylių susiformavimo polimere, kurios susikuria vykstant atsitiktiniam Brauno judėjimui ar terminiam polimero grandinių judėjimui. O difuzija turi įtakos dujų molekulių šuoliams į susidariusias laisvas skylės. Barjerinės savybės pagerėja, esant dviem būdams. Pirmuoju dėl to, jog įterpus nanodaleles, dujų molekulėms keliauti sukuriama „vingiuotas“ kelias (žr. 2 pav.). Kadangi užpildų medžiagos iš esmės yra

nepralaidžios, neorganiniai kristalai, dujų molekulės jas turi aplenkti, tokiu būdu nekeldamos „tiesiausių“ keliu (žr. 3 pav.) [5].



2 pav. Dujų molekulėms keliauti sukuriamas „vingiuotas“ kelias



3 pav. Dujų molekulės keliauja „tiesiausių“ keliu

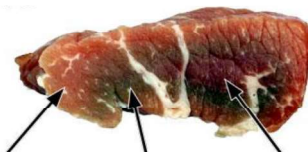
Laidumo molekulių skaičius, kuris prasiskverbia į pakuotę, priklauso nuo polimero charakteristikos, nuo prasiskverbiančių molekulių charakteristikos, temperatūros įtakos bei laidumo koncentracijos pakuotės viduje ir išorėje. Tačiau, dujų pralaidumo koeficientas gali kisti priklausomai nuo polimero cheminės struktūros, polimero savybės, tokios kaip kristalizacija ir kartais nuo jau įvykusio šiluminio ar mechaninio poveikio turėjusioms pakavimo juostoms. Plėvelės orientacija taip pat turi nemažą įtaką barjerinėms savybėms. Orientuotos plėvelės yra stipresnės negu neorientuotos [6]. Viensluoksnės plėvelės neturi reikiamų savybių maisto produktams įpakuoti. Viensluoksnės plėvelės yra pralaidžios įvairioms dujoms. Barjerinės plėvelės yra daugiasluoksnės plėvelės, kurios yra specialiai sukurtos tam, kad būtų nelaidžios dujoms. Daugiasluoksnės plėvelės yra dažniausiai naudojamos maisto produktams pakuoti ir yra pagaminamos laminavimo ar koekstruzijos technologijomis. Norint kad sukurti daugiasluoksnę plėvelės struktūrą, kuri turėtų puikias barjerines savybes (vandens garams ir deguoniui) ir mechaninį atsparumą, ji yra pagaminama jungiant ir maišant skirtingus polimerus.

1.3. Deguonies įtaka maisto produktams

Deguonis (O_2) – bespalvės, bekvapės dujos. Jos turi mažą tirpumą vandenyje. Deguonis skatina pablogėjimo reakcijų maisto produktuose, įskaitant riebalų oksidaciją, spalvos pakeitimo reakciją ir pigmento oksidaciją. Deguonis paskatina gedimo bakterijų ir grybelių augimą. Todėl siekiant padidinti maisto produktų galiojimo laiką, pakuotės turi turėti tinkamą O_2 likutinę vertę ir pakuotė turi turėti mažą pralaidumą deguoniui. Reikėtų pažymėti, kad kai kuriuose maisto produktuose esanti didelė O_2 koncentracija gali sukelti kokybės ir maisto saugos problemas (pavyzdžiui, netinkama spalva, pasikeičia raudonos mėsos pigmentas, gendantys vaisiai ir daržovės augina bakterijas, kurios gali nuuodyti). Bakterijos, mielės ir pelėsiai turi skirtingus kvėpavimo ir medžiagų apykaitos poreikius. Deguonis gali skatinti lipidų oksidaciją ir taigali paveikti kai kurių maisto produktų spalvą ir skonį. Lipidų arba riebalų peroksidacijos, dar kitaip vadinamas oksidaciniu aitrumu, yra veikiamos O_2 . Oksidacinis aitrumas yra pagrindinė priežastis dėl pernelyg greito maisto sugedimo. O_2 reakcijos su nesočiosiomis riebalų rūgštimis, kurių sudėtyje yra riebalų, gali būti viena iš riebalų ar riebalų turinčių maisto produktų sugedimo priežasčių. Nesočiųjų riebalų oksidacija, kitaip dar vadinama autooksidacija (angliškai *autoxidation*). Hidroperoksidacija (angliškai *hydroperoxidation*) yra pradinė produkto reakcija tarp riebalų rūgščių ir O_2 .

Kai kurie iš šių produktų, tokių kaip rūgštys ir aldehidai yra dažniausiai atsakingi už prastą skonį ir blogo kvapo savybes, bei už aitrų maistą. Todėl būtina pašalinti iš pakuotės O_2 arba naudoti N_2 arba CO_2 , arba jų mišinius, siekiant užkirsti ankščiau minėtų dalykų vystymąsi esant deguoniui pakuotėje Mėsoje yra trys pagrindiniai spalvos pigmentai: oksimioglobinas, mioglobinas ir metmioglobinas.

Vartotojai vertina raudoną spalvą (oksimioglobina) kaip šviežios mėsos garantiją. Šviežios mėsos spalvos ciklas yra vertinamas grįžtamai ir dinamiškai, su trimis pigmentais (žr. 4 pav.): oksimioglobinas (angl. *oxymyoglobin*) (raudona), mioglobinas (angl. *myoglobin*) (rausvas) ir metmioglobinas (angl. *metmyoglobin*) (rudas) [7]. 1992 metais atliktame Jorrun Aasgaard Grini tyrime [8], kuriame buvo naudojamos medžiagos su didesniu deguonies pralaidumu ir mažesniu deguonies pralaidumu. Tyrime buvo nustatyta, kad naudojant medžiagą, kuri turi mažesnę deguonies pralaidumą, po 28 dienų, mėsos spalva nepakito, o naudojant medžiagą, kuri turi didesnę pralaidumą deguoniui, mėsa ne tik patamsėjo, tačiau atsirado ir nemalonus kvapas jau po 3 dienų.



OKSIMIOGLOBINAS METMIOGLOBINAS MIOGLOBINAS

4 pav. Deguonies įtaka žaliai mėsei [9].

1.4. Deguonies barjeringumą turinčios medžiagos skirtos pakavimui

Norint sukurti tinkamą polimerinės pakuotės struktūrą, kuri atitiktų maisto produktų pakavimo reikalavimus, medžiagos yra parenkamos priklausomai nuo pakavimo linijos. Dauguma maisto produktų pakuočių yra sudarytos iš daugiasluoksnių kompozicijų, norint pasiekti visus norimus reikalavimus.

Polimero savybių nustatymas yra labai svarbus siekiant įvertinti ir prognozuoti produktų pakuotės tinkamumo laiką. Konkretaus barjero savybių reikalavimas pakuotei priklauso nuo maisto savybių esant numatomam galutiniam vartojimo laikui. Paprastai plastikas yra pralaidus mažų molekulių, tokių kaip dujų, vandens garų, organinių medžiagų garų ar skysčių, ir jie gali būti įvairaus perdavimo charakteristikų, pradedant nuo puikių iki mažų barjerinių savybių, kurios yra svarbios įvairių maisto produktų pakavimo atveju. Daugiausiai neigiamų pokyčių produkto kokybei ir galiojimo laikui turi vandens garų ir deguonies pralaidumas, nes jie gali veikti tiek iš išorės, tiek iš vidaus. Pavyzdžiui, deguonies barjero didinimas yra labai svarbus, nes deguonis skatina daug skilimo mechanizmų, tokių kaip korozijos reiškiniai, oksidacija ir išryškėja didelė organoleptinių savybių modifikacija. Norėdami išvengti maisto degradacijos (modifikacijos), anglies dioksidas tampa labai svarbus MAP (modifikuota atmosfera) technologijoje, nes jis gali potencialiai sumažinti irimo reiškinius, susijusius su apdorotų šviežių daržovių produktais, todėl produktus galima išlaikyti šviežius ilgesnį laiką. MAP yra natūralus metodas, prailginantis produkto galiojimo laiką. Šio metodo populiarumas sparčiai auga pasaulyje ir jis dažnai papildo kitus metodus. Tinkamos sudėties MAP dujų mišinys išlaiko nepakitusią maisto produktų kokybę – originalų skonį, struktūrą ir išvaizdą. Dujų atmosfera turi būti atidžiai pritaikoma kiekvienam atskiram maisto produktui ir jo savybėms. Taikant MAP neriebiems, turintiems daug drėgmės produktams, didžiausias dėmesys skiriamas mikroorganizmų dauginimuisi slopinti. Tačiau didelį riebalų kiekį ir mažą vandens aktyvumą turinčius produktus svarbu apsaugoti nuo oksidacijos. MAP dujų mišiniai paprastai yra sudaryti iš normalių atmosferos dujų: anglies dioksido, azoto ir deguonies. Mikroorganizmų dauginimąsi tam tikru dydžiu galima nuslopinti ir kitomis dujomis – diazoto oksidu, argonu ir vandeniliu. Visos dujos turi unikalių savybių, turinčių įtakos jų sąveikai su maisto produktais. Dujos gali būti naudojamos atskirai arba maišomos tam tikromis proporcijomis. Anglies dioksidas yra pačios svarbiausios dujos MAP technologijoje. Daugumai mikroorganizmų (pelėsiams ir daugeliui įprastų aerobinių bakterijų) anglies dioksidas turi didelę įtaką. Anglies dioksido įtaka anaerobinių mikroorganizmų dauginimuisi yra žymiai mažesnė. Anglies dioksidas slopina mikrobu aktyvumą, efektyviai ištirpdamas produkto vandenyje ir riebaluose, taip sumažindamas jų pH vertę. Jis taip pat prasiskverbia per biologines membranas, sukeldamas jų laidumo ir funkcijų pokyčius [25].

Azotas yra inertinės dujos. Juo dažniausiai pakeičiamas deguonis, siekiant išvengiant oksidacijos pakuotėse. Būdamas mažai tirpus vandenyje, azotas neleidžia pakuotei subliūksti ir išlaiko tūrį. Daugelio maisto produktų pakuotėse turi būti kuo mažiau deguonies. Taip slopinamas aerobinių mikroorganizmų dauginimasis ir sumažinamas oksidacijos greitis. Vis dėlto yra kelios išimties. Deguonis padeda išsaugoti oksiduotą mioglobina, suteikiantį mėsai raudonos spalvos. Deguonis taip pat reikalingas, kad maistas ir daržovės „kvėpuotų“ [10].

Maisto produktams pakuoti dažniausiai yra naudojami tokie polimerai kaip polipropilenas, aukšto tankio polietilenas, žemo tankio polietilenas, poliamidas ir polietileno tereftalatas. Sulydomas sluoksnis užtikrina daugiasluoksnio kompozito hermetiškumą, siekiant apsaugoti produktą. Į pagrindinį sluoksnį įterpiamos mažą dujų pralaidumą turinčios medžiagos, tokios kaip poliamidas (PA), etileno ir vinilo alkoholis (EVOH) ir polivinilideno chloridas (PVDC). J. Lagaron, R. Catala ir R. Gavara tyrime nustatė, kokia žaliava turi mažiausią deguonies pralaidumą (žr. 1.1. lentelė) [11].

1.1 lentelė **Medžiagų deguonies pralaidumas**

Medžiaga	Deguonies pralaidumas (cm³/m²/24 val., 0% RH)	Deguonies pralaidumas (cm³/m²/24 val., 100% RH)
PVDC	0.004	0.004
EVOH	0.003	0.25
PA	0.5	1.3
PET	1.5	1.5

Pagal šiuos matavimus buvo nustatyta, kad kai kurios žaliavos, kurios turi aukštą deguonies barjerą, gali būti jautrios vandens garams. Norint apsaugoti produktą nuo drėgmės, deguonies barjerą turinti žaliava turi būti įterpta, tarp sluoksnių, kurie turi aukštą barjerą vandens garams. 2014 m. buvo atliktas tyrimas, kurio pagrindinis tikslas buvo ištirti temperatūros ir santykinės drėgmės įtaką barjerinėms savybėms BOPP ir BOPPPVA plėvelėms. Vandens garų pralaidumas buvo atliekami tokiomis sąlygomis 10 °C–40 °C / 50 % santykinė drėgmė arba 23 °C / 35%–90% santykinė drėgmė. Visi matavimai buvo atlikti remiantis ASTM F 1249-90 metodika su PERMATRAN – W 3/33 įrenginiu. Tyrimo aplinkos sąlygos buvo drėgmė 50 ± 5%, temperatūra 23 °C ± 1 °C. Matuojamo paviršiaus plotas - 50cm². Vandens garų koncentracija buvo vykdoma skirtinguose lygiuose reguliuojant santykinės drėgmės srovės reguliatorium. Matavimo sistemoje buvo pučiama azoto dujomis, o vėliau bandomasis pavyzdys buvo paliktas kondicionuotis. Matavimo vertės buvo įvertintos sistemiskai ir išvedamas vidurkis. Plėvelių deguonies pralaidumas buvo matuojamas remiantis ASTM D 3985-81 metodika. Visi parametrai buvo nustatyti tokie: santykinė drėgmė 0 %, 23 °C temperatūra. Matavimo plotas - 50 cm². Matavimo metu buvo reguliuojama temperatūra 10 °C–40 °C arba santykinė drėgmė nuo 30 % iki 90 %. Naudojamos

dujos buvo H_2 ir N_2 . Kiekvienas testas buvo kartojamas 4 kartus, ir išvestas vidurkis. Nustatyta, kad plėvelei BOPVA vandens garų pralaidumo kiekio ir dujų deguonies pralaidumo kiekio vertės padidėjo didinant santykinę drėgmę. Didinant temperatūrą didėjo tik vandens garų pralaidumas, bet dujų pralaidumas sumažėjo, kuomet buvo didinama temperatūra. Plėvelei BOPP vandens garų pralaidumo (WVTR) vertės didėjo didinant santykinę drėgmę, bet deguonies pralaidumas (OTR) tokiu atveju mažėjo. Santykinė drėgmė turi skirtingą poveikį barjerinėms savybėms, tiriamoms plėvelėms. Didesnį poveikį pralaidumui BOPP plėvelei turėjo temperatūra, bet BOPVA didesnę įtaką turėjo santykinė drėgmė [12].

1.5. Inovatyvūs sprendimai maisto pakavimui

Principinės funkcijos pakavimo technologijose yra apsauga nuo išorinių veiksnių. Į šias funkcijas įtraukiama: galiojimo laiko išsaugojimas, išplečiamas galiojimo laikas ir kokybės ir apsaugos priežiūra supakuoto produkto. Pakuotė apsaugo maistą nuo išorinių veiksnių, tokių kaip karštis, šviesa, drėgmės buvimas arba nebuvimas, deguonis, spaudimas, kvapai, mikroorganizmai, purvas, dulkės, dujų emisijos ir t.t. Ilginant galiojimo laiką reikia reguliuoti: temperatūrą, drėgmę, priedų įdėjimą: druska, cukrus, pipirai ir t.t. Aukšto barjero pakuotė gali smarkiai sumažinti absorbciją, desorpciją ir dujų, bei vandens skverbimąsi į pakuotę. Tai yra prevencija prieš deguonį, aukšto slėgio skystį, dujas, ar vandens garų, kurie yra nepageidaujami maisto laikymui. Barjerines savybes galima padidinti kombinuojant žaliavas su kita aukšto barjero žaliava, tarkim padengtą apsauginiu sluoksniu ar metalizuotą. Mišinio morfologija susijusi su pralaidumu. Aukšto barjero struktūra mažina pralaidumą, bet ji ne tokia efektyvi kaip daugiasluoksnis kompozitas [13].

Barjerinės funkcijos gali būti įtraukiamos į pakavimo medžiagas dvejais būdais arba įdedant barjerinę žaliavą kaip papildomą sluoksnį arba įmaišant barjerinę medžiagą į polimero bazę. Dažniausiai naudojamas būdas sukurti barjerinę kompoziciją yra laminuojant žaliavas arba gaminant koekstruzijos technologija su aukšto barjeringumo polimeru, tokiu kaip polivinilidenochloridu (toliau – PVDC), etilenvinilo alkoholiu (toliau – EVOH), polivinilalkoholiu (toliau – PVAL) ar poliamidu (toliau PA). Dauguma šių polimerų (PVAL, EVOH, dalis PA) turi aukštą barjerą deguoniui tik esant sausomis sąlygomis, tai reiškia, jog jie turi būti įterpti tarp vandens garams atsparių žaliavų, tam, kad apsaugoti jų deguonies barjero funkcijas. 1.2 lentelėje yra pateikiami dažniausiai naudojamų polimerų, kurie yra skirti maisto produktų įpakavimui, deguonies pralaidumo matavimai [14]. Jau daugiau kaip 10 metų Europoje, tokie polimerai kaip PVC ir PVDC yra uždrausti naudoti pakuotėms, skirtoms liestis su maistu. Buvo iširta, kad jie turi per didelį kiekį kancerogeninių medžiagų. PVC ir PVDC yra vieni iš pelningiausių plastikų gamintojams, tačiau jis dar brangiau atsieina aplinkai. Yra duomenų, kad ftalatų priedai išsiskiria iš PVC ir PVDC gaminių ir kenkia jų naudotojams.

1.2 lentelė. Polimerų deguonies pralaidumo matavimai

Polimero pavadinimas	Deguonies pralaidumas $\text{cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val. (23 }^\circ\text{C, 0 \%)}$
Polietilentereftalatas (PET)	1–5
Polipropilenas (PP)	50–100
Polietilenas (PE)	50–200
Poliesteris (PS)	100–150
Polivinilchloridas (PVC)	2–8
Poliamidas (PA)	0.1–1
Polivinilalkoholis (PVAL)	0.002
Etilenvinilakoholis (EVOH)	0.001–0.01
Polivinilidenochloridas (PVDC)	0.01–0.3

1.3 lentelėje pateikiami deguonies pralaidumo matavimai, daugiasluoksnių kompozicijų, kurios yra dažniausiai naudojamos maisto produktų įpakavimui. Barjeringumas nežymiai sumažėjęs, nes buvo atliekama prie didesnės santykinės drėgmės. Tai dar kartą įrodo, jog drėgmė turi didelės įtakos deguonies pralaidumo padidėjimui.

1.3 lentelė Daugiasluoksnių kompozicijų deguonies pralaidumo matavimai

Daugiasluoksniė kompozicija	Deguonies pralaidumas $\text{cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val. (23 }^\circ\text{C, 50 \%)}$
PET 12/Alu 9/PE 50	0
PET 12/MET/PE 50	1–2
PET 12/EVOH 5/PE 50	1
PET 12/PVDC 4/PE 50	5
PET 12/PVAL 3/PE 50	2
PET 12/PE 50	15–20

Kita inovatyvi idėja didinant barjeringumą yra naudoti skaidrų silicio oksido sluoksnį ant PET, PP ar PA plėvelių. Šis atradimas pradėtas 1980 metais, tačiau jų panaudojimas nėra labai didelis. Silicio oksido plėvelės yra skaidrios, atsparios vandeniui ir karsčiui, bei gali būti naudojamos kaip alternatyva metalizuotoms plėvelėms. Tokių plėvelių pralaidumo duomenys yra pateikiami 1.4 lentelėje. Palyginimui taip pat pateikiami nepadengtų silicio oksidu PET ir PP plėvelių deguonies pralaidumo matavimai. Šių plėvelių didžiausias minusas yra tas, kad jos nėra labai lanksčios ir yra brangūs pagaminimo kaštai [15].

1.4 lentelė Silicio oksidu padengtų plėvelių deguonies pralaidumo matavimai

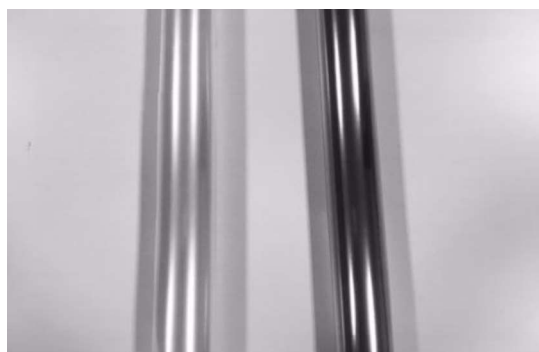
Plevėlės pavadinimas	Deguonies pralaidumas $\text{cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val. (23 } ^\circ\text{C, 50 \%)}$
PET 12/ SiO_x	0.5–5
PP 20/ SiO_x	1–20
PA 20/ SiO_x	1
PET 12	110
PP 20	1500–1800

Aliuminio oksido (toliau– AlO_x) dangos yra plačiai naudojamos kaip aukštą deguonies ir vandens garų barjeringumą turintys sluoksniai, maisto įpakavimo technologijose, siekiant apsaugoti maisto produktą nuo užteršimo ir prailginti galiojimo laiką. Ploni sluoksniai aliuminio garų, kelių dešimčių nanometrų, yra termiškai padengiami polimero paviršiuje. Buvo nustatyta, kad padengus PET plėvelę AlO_x sluoksniu, barjeringumas sumažėja 12 kartų, o BOPP – 10 kartų (žr. 1.5. lentelę) [16].

1.5. lentelė Aliuminio oksidu padengtų plėvelių deguonies pralaidumo matavimai

Polimero pavadinimas, storis μm	Nepadengtų plėvelių OTR (23 $^\circ\text{C, 50 \% RH}$)	AlO_x padengtų plėvelių OTR 23 $^\circ\text{C, 50 \% RH}$
BOPP, 30 μm	~ 1600	150–200
BOPP, 15 μm	~ 2700	~ 100
BOPP, 20 μm	~ 2400	~ 50
BOPP, 18 μm	~ 500	~ 1
PET, 12 μm	~ 120	~ 1

Tačiau, metalų oksidais padengtos plėvelės turi minusą, net ir naudojant naujausias technologijas, tam, kad plėvelė būtų skaidri, ji šiuo metu nėra tokia skaidri, kaip įprasta polimerinė plėvelė, be metalų oksidų (žr. 5 pav.) [17].






1. 2.

5 pav. 1) PET skaidri plėvelė; 2) AlO_x padengta polimerinė plėvelė


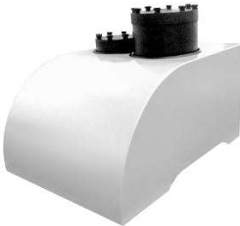


1.6. Polimerinių plėvelių barjerinių savybių matavimo metodai ir įranga

Yra nemažai prieinamų standartinių metodų, tam, kad pamatuoti, deguonies, vandens garų ir anglies dioksido laidumą per polimerinę plėvelę. Visi jie yra išleisti patvirtintų organizacijų, tokių kaip ASTM (Amerikos medžiagų tyrimų organizacija) ir tarptautinė standartų organizacija (ISO). 1.6 lentelėje yra pateikiami dažniausiai naudojami pralaidumo ir perdavimo per polimerinę plėvelę tyrimų metodai [18].




1.6 Barjerinių savybių matavimo metodikos ir įranga

Metodas	Pavadinimas	Matavimų apibūdinimas	Matavimo įrenginys
Deguonis			
ASTM D3985	Metodas, skirtas nustatyti deguonies perdavimo greitį.	O ₂ perdavimo greitis per polimerinę plėvelę, laminatus ir t.t.	Labthink OX2/231 
ASTM F1307	Metodas, skirtas nustatyti deguonies perdavimo greitį per polimerines pakuotes, naudojant kulonometrinių jutiklių	Deguonies perdavimo greitis per polimerines pakuotes.	OTS-E29 
ASTM F1927	Metodas, skirtas nustatyti deguonies pralaidumą kontroliuojant santykinę drėgmę ir naudojant sensorius.	Deguonies dujų pastovaus perdavimo greičio nustatymas prie tam tikros temperatūros ir santykinės drėgmės.	Labthink OX2/230 

1.6 lentelės tęsinys

JIS K 7126	Metodas, skirtas nustatyti dujų perdavimo greitį per polimerinę plėvelę, laminatus ir t.t.	Deguonies dujų perdavimo greitis.	LABMEN LA-APT-61 
DIN-53380	Plastikų bandymai–dujų perdavimo greičio nustatymas	Deguonies dujų perdavimo greičio nustatymo bandymai per polimerinę plėvelę ar polimerinius junginius.	CarboPack BT 
ISO–14663-2	Metodas, skirtas nustatyti deguonies perdavimo greitį	Deguonies dujų pastovaus perdavimo greičio nustatymas per polimerinę plėvelę	PERMATRAN W Model 3/33 
Vandens garai			
ASTM F 1249	Metodas, skirtas nustatyti deguonies perdavimo greitį ir pralaidumą prie santykinės drėgmės (RH), naudojant kolorimetrinį jutiklį per barjerines žaliavas.	Vandens garų perdavimo greitis.	Labthink W3/230 

1.6 lentelės tęsinys

<p>ASTM F6701</p>	<p>Metodas, skirtas nustatyti vandens garų perdavimo greitį per polimerines plėvelės, kurios nebus termiškai apdorojamos ir polimerines barjerines medžiagas.</p>	<p>Vandens garų perdavimas nuo 500–100,000 g/m²/24 val. Šis metodas skirtas matuoti pakavimui naudojamas polimerines plėveles, kurios nebus termiškai apdorojamos, per daugiasluoksnius sintetinius ar nesintetinius polimerus iki 3 mm storio.</p>	<p>Mocon OX-TRAN 2/21</p> 
<p>JIS K-7129</p>	<p>Instrumentis matavimo metodas, skirtas nustatyti vandens garų perdavimo greitį per polimerines juostas ir lakštus.</p>	<p>Vandens garų perdavimo greitis nustatomas naudojant infraraudonųjų spindulių jutiklį</p>	<p>GINTRONIC Gravitest 6400-50</p> 
<p>Anglies dioksidas</p>			
<p>ASTM F2476</p>	<p>Metodas, skirtas nustatyti anglies dioksido dujų perdavimo greitį per barjerines medžiagas naudojant infraraudonųjų spindulių detektorius.</p>	<p>Nustatomas, pastovus anglies dioksido dujų perdavimo greitis, pralaidumas ir pralaidumo koeficientas.</p>	<p>PermeCO₂</p> 

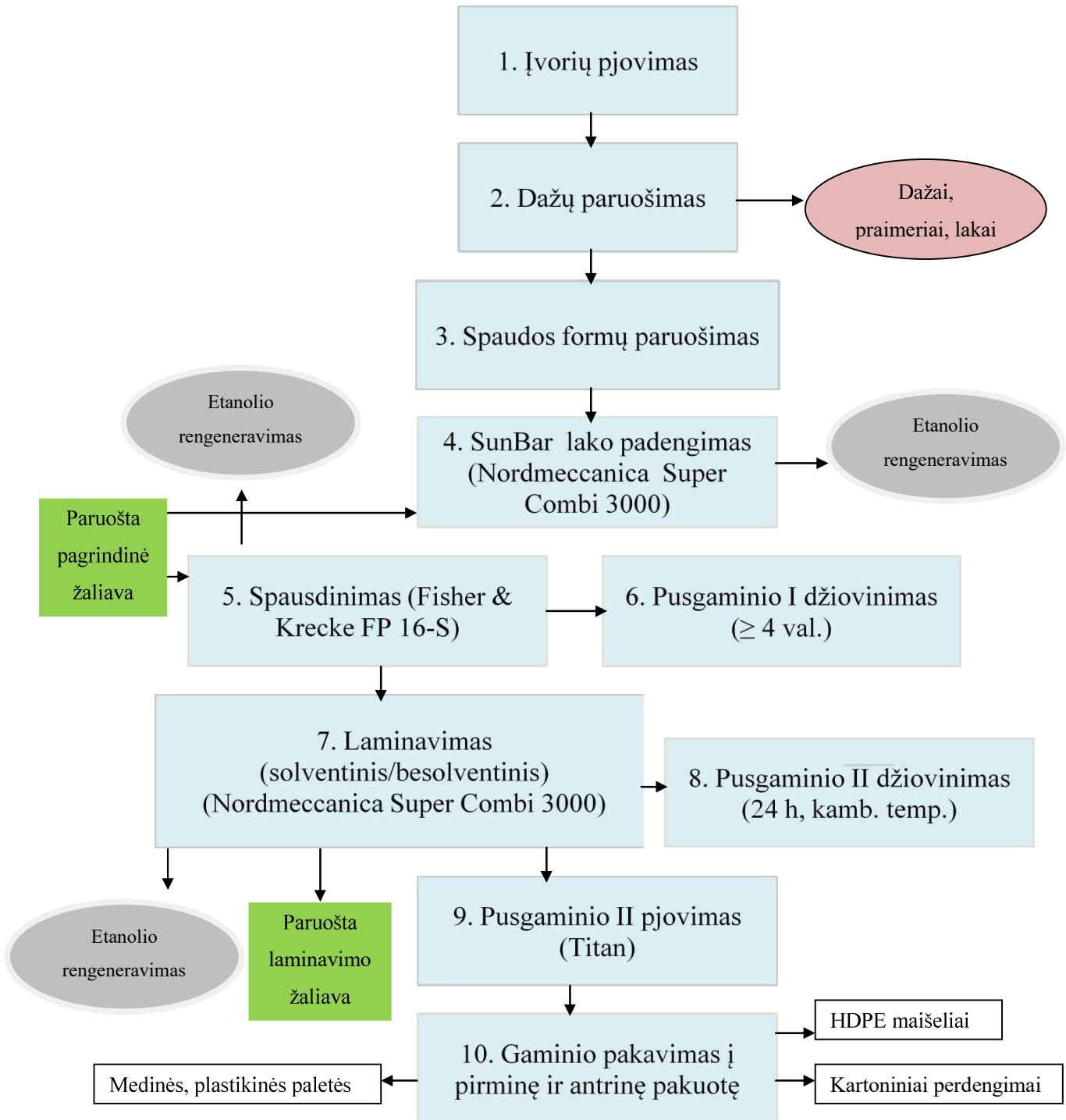
1.7. Literatūros analizės išvados

1. Maisto produktai turi būti pakuojami į tinkamas medžiagas, kurios turi atitikti reikalavimus medžiagoms ir gaminiams, skirtiems liestis su maistu reglamentą (EB) Nr. 1935/2004.
2. Laidumas dujoms yra nusakomas dujų molekulių adsorbcijos greičiu į polimero matricą, aplinkos/polimero sandūroje ir adsorbuotų dujų molekulių per polimero matricą greičiu.
3. 1992 metais buvo atliktas tyrimas, kuriame buvo naudojamos medžiagos su didesniu deguonies pralaidumu ir mažesniu deguonies pralaidumu. Tyrime buvo nustatyta, kad naudojant medžiagą, kuri turi mažesnę deguonies pralaidumą, po 28 dienų, mėsos spalva nepakito, o naudojant medžiagą, kuri turi didesnę pralaidumą deguoniui, mėsa ne tik patamsėjo, tačiau atsirado ir nemalonus kvapas jau po 3 dienų.
4. Pagal *J. Lagaronas, R. Catala & R. Gavara* atliktus matavimus, kuriuose buvo tiriama, ar drėgmė turi įtakos deguonies pralaidumui, išsiaiškinta, jog PVDC medžiagai, drėgmė deguonies pralaidumui, neturi, tačiau kitoms barjerinėms žaliavoms, turi.
5. Aukšto barjero struktūra mažina pralaidumą, bet ji ne tokia efektyvi kaip daugiasluoksnis kompozitas.
6. *C. F. Strullera, b, I, P. J. Kellya, N. J. Copelandb and C. M. Liauw* nustatė, kad padengus PET plėvelę AlO_x sluoksniu, barjeriškumas sumažėja 12 kartų, o BOPP – 10 kartų.
7. Deguonies pralaidumui nustatyti yra naudojami šie tyrimų metodai: ASTM D3985, ASTM F1307, ASTM F1927, JIS K 7126, DIN-53380, ISO-14663-2.
8. Vandens garų pralaidumui nustatyti yra naudojami šie tyrimų metodai: ASTM F 1249, ASTM F6701, JIS K-7129, TAPPI T-557.

Atlikus literatūros analizę, tyrimų, susijusių su deguonies pralaidumo nustatymu, atliktų su daugiasluoksnėmis kompozicijomis PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus ir PET 36 + PE 70 skaidrus, kurios būtų padengtos specialiu barjeriniu SunBar laku, nebuvo rasta, todėl atsižvelgiant į tai, buvo nuspręsta atlikti šių kompozicijų deguonies pralaidumo matavimus, palyginti su tokiais pat daugiasluoksnėmis polimerinėmis kompozicijomis nepadengtomis laku ir išsiaiškinti, ar šis lakas galėtų būti alternatyva barjerinėms žaliavoms, siekiant išlaikyti tinkamą deguonies pralaidumą, pakuotėms, skirtoms, liestis su maistu bei sumažinti atliekų kiekį.

2. Pakuočių su barjeriniu laku gamybos technologija

2.1. Srautų diagrama. Lanksčių pakuočių gamyba



6 pav. Principinė lanksčių pakuočių gamybos srautų diagrama

2.1.1. Specialus barjerinis SunBar lakas

SunBarTM 1.1 barjerinis lakas yra vandenį sugeriantis, dviejų sluoksnių lakas, skirta pakeisti ar pagerinti esamus deguonies barjero parametrus.

Šis lakas yra skirtas naudoti tam, kad pagerinti daugiasluoksnės polimerinės kompozicijos struktūrą. Jis gali būti taikomas fleksografinės spaudos procesuose. Šis produktas užtikrina gerą barjero veikimą ir sukibimo stiprį, priklausomai nuo naudojamos antrinės žaliavos barjeringumo.

SunBar lako privalumai:

- be chlo-ro;
- labai skaidrus;
- atsparus mechaniniams poveikiams;
- tinka įvairioms plėvelėms;
- stabilios barjero savybės iškart po lako padengimo;
- tinkamos laminavimui, naudojant atitinkamus klijus;
- tinka kelių sluoksnių pakuotėms gaminti.

Naudojant specialų barjerinį SunBar laką galima pagerinti deguonies barjerą, jis gali būti naudojamas kaip alternatyva, netgi plėvelėms, kuriose įterpti metalų oksidai (nanodalelės)[19].

2.1.2. Bandinių padengimas barjeriniu SunBar laku

Deguonies pralaidumo tyrime bandiniai buvo padengiami barjeriniu SunBar laku su laminavimo įrenginiu Nordmeccanica Super Combi 3000 (žr. 7 pav.). Laku buvo pirmiausia padengiama polietilentereftalato (PET) plėvelė, kurios storis 36 μm. PET – šviesi, skaidri, labai tvirta, chemiškai inertinė medžiaga, be kvapo ir skonio, mažai laidži drėgmei, turinti vidutinį deguonies barjeringumą. PET plėvelė yra atspari tirpikliams (kurie įeina į daugumos dažų, laku ir kt. sudėtį), turi didelį temperatūrų diapazoną, yra atspari mechaniniams poveikiams, tokiems kaip nusitrynimai ir gniūždymas. Laminavimo įrenginio Nordmeccanica Super Combi 3000 techninės charakteristikos pateikiamos priede Nr.1. (žr. 1 lentelė) Lako dengimo parametrai nurodyti 2.1 lentelėje.



7 pav. Laminavimo įrenginys Nordmeccanica Super Combi 3000 [20].

2.1 lentelė **Lako dengimo parametrai**

Greitis	80 m/min
Aniloksinis velenas	Rotograviūrinis velenas Helical 100°
Lakas	SunChemical SunBar™ 1.1
Rulono plotis	960 cm
Džiovinimo temperatūra	80° C
Žaliava	PET 36 transparent FF

2.1.3. Bandinių spausdinimas ir laminavimas

Deguonies pralaidumo tyrime bandiniai buvo spausdinti po to, kai buvo plėvelė padengta specialiu barjeriniu *SunBar* laku, dešimtspalve fleksografinė spausdinimo mašina *Fisher & Krecke FP 16-S* (žr. 8 pav.). Techninės charakteristikos pateiktos priede Nr. 1 (žr. 2 lentelė). Buvo spausdinama ant polietilentereftalato (PET) plėvelės, kurios storis 36 μm.

8 pav. Fleksografinė spaudos mašina *Fisher & Krecke FP 16-S* [21]

Visiems bandiniams spausdinti buvo išlaikomi vienodi spausdinimo parametrai, buvo naudojama tos pačios spaudos formos. (žr. 2.2 lent.).

2.2 lentelė **Spausdinimo parametrai**

Greitis	450 m/min
Aniloksiniai velenai	160x2, 460x3, 360x3
Spaudos formos	Kodak Flexcel NXC
Dažai	SunChemical
Spalvų skaičius	8
Rulono plotis	960 cm // 1100 cm
Žaliava 1	PET 36 transparent FF
Žaliava 2	PE 50 transparent ELA

Laminuoti (laminavimo parametrai nurodyti 2.3 lentelėje) naudota atspausdinta PET plėvelė, kuri jau buvo padengta specialiu SunBar laku ir 50 µm storio polietilenas (PE) be spaudos. PE plėvelė gaunama iš dervos ekstruzijos būdu. Ji yra skaidri, netoksiška, atspari drėgmei, neturi skonio ir kvapo, elastinga esant žemai temperatūrai, dažniausiai ji naudojama kaip sulydimo žaliava, tam, kad padaryti siūlei (suvirinti). Ši plėvelė nepasižymi dideliu barjeringumu deguoniui, todėl yra dažniausiai laminuojama su barjerine žaliava, tam, kad būtų galima pakuoti maisto produktus, tokius kaip: mėsa, daržovės, žuvis, šaldytus produktus ir kt. Laminavimo darbams buvo pasirinkti universalūs klįjai tinkantys visoms standartinėms pakuotėms L75-100/C102 Mor Free. Visoms standartinėms pakuotėms yra naudojami Mor Free klįjai L75-100/C102, kurie susideda iš: Derva L75-100 + kietiklis C102. Jų maišymo santykis: 100% dervos + 45% kietiklio pagal svorį ir 100% dervos + 48% kietiklio pagal tūrį. Darbinės temperatūros:

Maišytuvus *World Mixer*:

- derva 45°C
- kietiklis 30°C
- padavimo šlanga 45°C

Laminatorius:

- Dozavimo velenas (Meter Roller) 45°C
- Pernešimo velenas (Coater) 50°C
- Suspaudimo velenas (Nip Roller) 55°C.

2.3 lentelė **Laminavimo parametrai**

Greitis	100 m/min
Aniloksinis velenas	360
Klįjai	Mor Free klįjai L75-100/C102
Rulono plotis	1100 cm
Džiovinimo temperatūra	80° C
Žaliava	PE 50 transparent ELA

2.2. Barjerinių žaliavų laminavimas

Laminuojant barjerines žaliavas ir neteisingai nustačius laminatoriaus parametrus išvengti broko yra neįmanoma. Tai įvyksta todėl, kad paruošus laminavimui skirtus klįjus, o tai reikšia sumaišius reikiamu santykiu (būtina laikytis klįjų gamintojo rekomendacijų) kietiklį su derva prasideda cheminė reakcija kurios metu išsiskiria dujos. Dujų išsiskyrimo išvengti neįmanoma.

Gaminant laminatą, kur laminuojamos žaliavos yra ne berjerinės pvz. BOPP+BOPP arba, kur naudojama tik viena barjerinė žaliava pvz. PET+BOPP dujų išsiskyrimo problema klįjuose yra nelabai aktuali, nes ne barjerinės žaliavos struktūra lengvai leidžia susidariusioms dujoms

pasišalinti iš laminato. Todėl ant gauto produkto niekuomet nematysim susidariusių nedidelių burbulų.

Tai ypač aktualu, kada abi laminuojamos žaliavos yra barjerinės pvz. PET+PE/EVOH/PE. Susidariusioms dujoms žaliavos struktūra nebeleidžia pasišalinti, todėl nesilaikant barjerinių žaliavų laminavimo taisyklių bus gaminamas brokas.

Kadangi dujų išsiskyrimo klajuose išvengti neįmanoma, tai siekiant sulaminuoti kokybišką produktą reikia panaudoti kuo didesnę slėgį tam, kad nedideli dujų burbuliukai negalėtų susijungti tarpusavyje į vizualiai matomus stambius burbulus, dėl kurių pakuotė bus brokuojama.

Kaip tik dėl šios priežasties laminuojant dvi barjerines žaliavas susukamo rulono prispaudimas arba kitaip dengimas ant laminatoriaus turi būti ne mažesnis nei 4–4,5 Baro. Didelis slėgis leis suvynioti kietesnį ruloną kuriame nesusidarys vizualiai matomi dujų burbuliukai.

Taip pat ne ką mažiau svarbus yra laminavimo greitis. Laminuojant nedideliu greičiu 100 m/min. iš plonai pernešto ant žaliavos klijų sluoksnio, spėja pasišalinti ganėtinai didelis susidariusių dujų kiekis iki to momento, kol dvi žaliavos "nip" veleno pagalba yra sujungiamos į vieną laminatą ir taip visos likusios dujos yra "užrakinamos" laminato viduje. Todėl laminuojant 100 m/min greičiu pernešti ant žaliavos klijai "vėdinasi" apie 3,6 sekundes. O padidinus greitį iki 150 m/min. pernešti klijai iki "nip" veleno nukeliauja vos per 2,4 sekundės ir taip beveik visos dujos yra "uždaromos" laminato viduje.

Kitas labai svarbus dalykas yra laminuojamos pakuotės piešinio dizainas. Kuo daugiau yra tuščių langelių tuo tokia pakuotė yra sudėtingesnė, kadangi tas vietas yra labai sunku stipriai suspausti net ir naudojant didelį dengimą, kad burbulai negalėtų susijungti į vizualiai matomus. Tokiai pakuotei rekomenduojamas greitis turėtų būti dar mažesnis 85-90 m/min. Lygiai toks pats nedidelis greitis yra rekomenduojamas ir tam laminatui kuriame vienas iš sluoksnių yra aliuminis.

Kitas svarbus parametras yra klijų kiekis. Barjerams laminuoti rekomenduojama naudoti minimalią leistiną klijų normą. Kuo mažesnis klijų sluoksnis, tuo mažiau susidarys burbulų, nes plonesnis sluoksnis geriau "prasivėdins" tarp klijų pernešimo stoties ir "nip" veleno. Taip pat plonesnis klijų sluoksnis bus stipriau suspaudžiamas suvyniojamame rulone.

3. TYRIMO METODIKA

3.1. Tyrime naudota įranga ir parametrai

3.1.1. Bandiniai ir jų medžiagos

Tiriant deguonies pralaidumą, bandymams atlikti buvo naudojama 2 skirtingos daugiasluoksnės polimerinės kompozicijos PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus ir PET 36 skaidrus + PE 70 skaidrus (žr. 3.1. lentelę), kurios buvo padengtos specialiu barjeriniu SunBar laku. Šios kompozicijos, su barjerine plėvele, yra dažniausiai naudojamos įpakuoti greitai gendančius maisto produktus: sūrio, mėsos, žuvies produktus. Palyginimui, ar specialiu barjeriniu SunBar laku padengtos daugiasluoksnės kompozicijos galėtų būti kaip alternatyva barjerinėms kompozicijoms, buvo paimta 8 skirtingos dažniausiai naudojamos maisto įpakavimui daugiasluoksnės polimerinės kompozicijos (žr. 3.2 lentelę).

3.1 lentelė **Bandinių medžiagos padengtos SunBar laku**

Polimero tipo pavadinimas	Polimerų kompozicija
PET36-SunBar1	PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus (SunBar)
PET36-SunBar2	PET 36 skaidrus + PE 70 skaidrus (SunBar)

3.2 lentelė **Bandinių medžiagos**

Polimero tipo pavadinimas	Polimerų kompozicija
PET36-PE50	PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus
PET36-PE70	PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus
PET-EVOH1	PET 12 skaidrus + PE/EVOH/PE 70 skaidrus
PET-EVOH2	PET 12 skaidrus + PE/EVOH/PE skaidrus BU
PET36-EVOH	PET 36 skaidrus + PE/EVOH/PE skaidrus BP
PET-met	PET 12 skaidrus + PET 12 metalizuotas + PE 50 skaidrus
PET-met-EVOH	PET 12 skaidrus + PET 12 metalizuotas + PE/EVOH/PE 50 skaidrus
BOPP-PA/EVOH	BOPP 20 skaidrus + PE/PA/EVOH/PA/PE 50 skaidrus

3.2. Fizikinių parametru nustatymas

Siekiant gauti kuo tikslesnius deguonies pralaidumo matavimus, pirmiausia buvo nustatomi kiti daugiasluoksninių polimerinių plėvelių fizikiniai parametrai, tokie kaip storis, gramatūra, sulaminavimo stipris ir siūlės sukibimo stipris, bei trinties koeficientas. Sukibimo stipris buvo matuojamas, kas 2 mėnesius, siekiant išsiaiškinti, ar panaudojus specialų barjerinį SunBar laką, nekinta daugiasluoksnės polimerinės kompozicijos, padengtos laku, sukibimo stipris, lyginant su

daugiasluoksne polimerine kompozicija, naudojant barjerinę plėvelę. Visi matavimai buvo atliekami laboratorijos aplinkoje, esant 20 ± 2 °C temperatūrai, $50 \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei.

3.2.1. Storis. Tyrimo metodika ASTM D2251–03

TIKSLAS. Tyrimo metodas skirtas įvertinti laminatų ir viensluoksnių, pagamintų iš lanksčių medžiagų (toliau plėvelių), juosiančių plėvelių ir kitų, pakuotėms skirtų plėvelių, storio matavimą.

REIKŠMĖ IR TAIKYMAS. Esant netinkamai plėvelių storiui, plėvelių eksploatacinės savybės gali pablogėti. Storis gali kisti dėl plėvelėms naudojamos žaliavos, technologinių procesų, taip pat dėl eksploatacinių parametrų (temperatūra, riebalai ir kt.). Šis bandymo metodas skirtas matuoti ir palyginti panašių medžiagų storį standartinėmis sąlygomis ir gali būti naudojamas kitomis galutinio naudojimo sąlygomis (po pasterizacijos, sterilizacijos, giluminio šaldymo ir kt.).

TYRIMO METODIKA. Susiję dokumentai: ASTM D2251–03 standartinė tyrimo metodika „Standard Test Method for Thickness Measurement of Flexible Packaging Material“. Storis įvertinamas matuojant su mikrometru. Matuojamas kiekvienas bandinys po 10 kartų.

MATAVIMO APARATŪRA IR PRIEMONĖS. Rankinis storio matuoklis (mikrometras) – Mitutoyo Company Thickness Gage ID-C112BS, papildomos priemonės – žirkklės, bandinių pjoviklis.

ĖMINIŲ ĖMIMAS. Ėminiai imami iš plėvelių, kurios po sulaminavimo buvo paliktos stovėti ne mažiau nei tris paras, esant 20 ± 2 °C temperatūrai ir $50 \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei. Ėminiai imami prieš supjaustant plėveles. Ėminiai imami iš plėvelių, kurios yra švarios, be broko, mechaninių ar kitų pažeidimų. Imant ėminius tiksliai žinoma plėvelių sudėtis. Imami vienodi ėminiai iš skirtingų plėvelių vietų (atsižvelgiant į spaudą). Naudojant bandymo pjoviklį, atpjaunami tokio ploto bandiniai, kad būtų patogu matuoti. Jei norima įvertinti atskirų sluoksnių storį, pjaunamas bandinys toje vietoje, kur nenupjauti nesulaminuoti plėvelės galai.

PROCEDŪRA. Pagal aukščiau aprašytą ėminių ėmimo procedūrą paruošiamas bandinys. Paruošiamas naudoti mikrometras. Nuvalomas mikrometro sąlyčio paviršius (kojelė ir atrama). Nesant bandiniui, skalės vertė nunulinama. Tarp matuoklio kojelės ir atramos įdedamas bandinys. Matuojami bandinių stori, laikant mikrometrą statmenai bandiniui. Bandinys turi būti lygiagretus atramai ir kojelei. Matuojant kojelės dydis ir spaudimas turi būti maksimaliai vienodi. Bandinys turi būti nepažeistas mechaniškai. Bandinio storis išmatuojamas ir fiksuojamas matuoklio ekrane (nusistovėjusi vertė).

REZULTATŲ APDOROJIMAS. Apskaičiuojama, bandinių svorių, aritmetinis vidurkis. Įvertinamas standartinis nuokrypis. Bandinių storis išreiškiama μm .

3.2.2. Gramatūra. Tyrimo metodika D4321–09

TIKSLAS. Tyrimo metodas skirtas įvertinti laminatų ir viensluoksnių, pagamintų iš lanksčių medžiagų (toliau plėvelių), juosiančių plėvelių ir kitų, pakuotėms skirtų plėvelių, gramatūrą (masė vienam ploto vienetui).

REIKŠMĖ IR TAIKYMAS. Esant netinkamai plėvelių gramatūrai, plėvelių eksploatacinės savybės gali pablogėti. Žinant gramatūrą, nustatoma kiek vienetų arba pakuočių galima pagaminti tam tikru būdu, apdorojant konkrečią plėvelės masę. Gramatūra gali kisti dėl plėvelėms naudojamos žaliavos, technologinių procesų, taip pat dėl eksploatacinių parametrų (temperatūra, riebalai ir kt.). Šis bandymo metodas skirtas matuoti ir palyginti panašių medžiagų gramatūrą standartinėmis sąlygomis ir gali būti naudojamas kitomis galutinio naudojimo sąlygomis (po pasterizacijos, sterilizacijos, giluminio šaldymo ir kt.).

TYRIMO METODIKA. Susiję dokumentai: ASTM D 4321–09 standartinė tyrimo metodika „Standart Test Method for Package Yield of Plastic Film“. Gramatūra įvertinama pasvėrus bandinį, kurio plotas tiksliai žinomas. Matuojamas kiekvienas bandinys po 10 kartų.

MATAVIMO APARATŪRA IR PRIEMONĖS. Analitinės svarstyklės – KERN Company ABT 100-5M. Svarstyklių padala ne mažesnė nei 0,001 gramo. **Horizontalus plokščias paviršius** – rėžti skirta lentelė, sumažinanti slydimą tarp paviršių. **Šablonas** – tikslų matmenų (10cm x 10cm) kvadratinė metalinė plokštelė. **Papildomos priemonės** – žirkklės, liniuotė, bandinių pjoviklis.

ĖMINIŲ ĖMIMAS. Ėminiai imami iš plėvelių, kurios po sulaminavimo buvo paliktos stovėti ne mažiau nei tris paras, esant 20 ± 2 °C temperatūrai ir $50 \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei. Ėminiai imami prieš supjaustant plėveles. Ėminiai imamai iš plėvelių, kurios yra švarios, be broko, mechaninių ar kitų pažeidimų. Imant ėminius tiksliai žinoma plėvelių sudėtis. Imami vienodi ėminiai iš skirtingų plėvelių vietų (atsižvelgiant į spaudą). Naudojant šabloną ir bandymo pjoviklį, atpjaunami $0,01 \text{ m}^2$ ploto bandiniai. Pjaunant svarbu, kad plėvelė būtų tolygiai paskirstyta ant paviršiaus, nepertempta. Bandinys turi neslysti horizontaliu paviršiumi, siekiant atpjauti tikslų parametrų bandinius. Jei norima pagaminti 1 m^2 ploto bandinį (ar kitokio ploto), naudojamos metalinėmis liniuotės.

PROCEDŪRA. Pagal aukščiau aprašytą ėminių ėmimo procedūrą paruošiamas bandinys. Paruošiamos naudoti analitinės svarstyklės. Svarstyklės kalibruojamos ir nesant bandiniui, skalės vertė nunulinama. Pasveriami bandiniai 0,001g dalies tikslumu.

REZULTATŲ APDOROJIMAS. Apskaičiuojama, bandinių svarių, aritmetinis vidurkis. Įvertinamas standartinis nuokrypis. Apskaičiuojama gramatūra pagal žemiau pateiktą formulę:

$$G = m / (axb);$$

G- gramtūra, g/m²;

m- bandinio svoris, g

a – bandinio plotis, m

b –bandinio ilgis, m

Iš išmatuotų bandinių gramatūrų (mažiausiai trijų bandinių), išvedamas aritmetinis vidurkis ir išreiškiama g/m^2 .

3.2.3. Sluoksnių sukibimo stipris. Tyrimo metodika F 904–98

TIKSLAS. Tyrimo metodas skirtas įvertinti laminatų, pagamintų iš lanksčių medžiagų (toliau – laminatų), sluoksnių sukibimo (susiklijavimo) stiprį.

REIKŠMĖ IR TAIKYMAS. Esant netinkamam laminatų sluoksnių sukibimui, laminatų eksploatacinės savybės gali pablogėti. Sukibimo stipris gali kisti dėl technologinių procesų, taip pat dėl eksploatacinių parametrų (temperatūra, riebalai ir kt.). Šis bandymo metodas skirtas matuoti ir palyginti panašių medžiagų sukibimo stiprį standartinėmis sąlygomis ir gali būti naudojamas kitomis galutinio naudojimo sąlygomis (po pasterizacijos, sterilizacijos, giluminio šaldymo ir kt.).

TYRIMO METODIKA. Susiję dokumentai: ASTM F 904-98 standartinė tyrimo metodika „Comparison of Bond Strength or Ply Adhesion of Similar Laminates Made from Flexible Materials“. Laminatų sluoksnių sukibimo stipris įvertinamas sluosnius atskyrus mechaniškai. Vėliau toks bandinys patalpinamas tarp dviejų įrenginio griebtuvų. Griebtuvai traukiami tolyn vienas nuo kito pastoviu greičiu. Jėga, reikalinga perskirti sluosnius prilyginama sluosnių sukibimo stipriui. Matuojamas kiekvienas bandinys po 10 kartų.

MATAVIMO APARATŪRA IR PRIEMONĖS. Matavimo įrengimas – Thwings-Albert Instrument Company FP – 2255. Matavimo įrenginį sudaro tokios pagrindinės dalys:

Spaustukai (griebtuvai) – sistema sumažinanti slydimą ir netolygų įtempių pasiskirstymą;

Sensorius (jutiklis) - Thwings-Albert Instrument Company 10 kgf;

Traukiamasis įtaisas – įtaisas užtikrinantis pastovų greitį.

Programinė įranga – Thwings-Albert Instrument Company FPDAS 2.1 Software.

Bandinių pjoviklis – Thwings-Albert JDC Precision Sample Cutter.

Papildomos priemonės – žirkklės, liniuotė, bandinio pjoviklis.

ĖMINIŲ ĖMIMAS. Ėminiai imami iš laminatų, kurie po sulaminavimo buvo palikti stovėti ne mažiau nei tris paras, esant 20 ± 2 °C temperatūrai ir $50 \pm 5\%$ santykinėi oro drėgmei. Ėminiai imami prieš supjaustant laminatus (nenujauti laminatų kraštai). Ėminiai imami iš lamintų, kurie yra švarūs, be broko, mechaninių ar kitų pažeidimų. Imant ėminius tiksliai žinoma laminatų sudėtis. Imami vienodi ėminiai iš skirtingų laminato vietų (atsižvelgiant į spaudą). Bandymo pjovikliu atpjaunamos 15 mm pločio juostelės – bandiniai. Tokių bandinių ilgis pakoreguojamas iki 7,5 cm ilgio. Kraštai nupjaunami statmenai siūlės kryptčiai. Tyrimui atlikti imami ne mažiau nei trys ėminiai.

PROCEDŪRA. Pagal aukščiau aprašytą ėminių ėmimo procedūrą paruošiamas bandinys. Bandinio sluoksniai atskiriami mechaniškai, tai yra rankomis. Sluoksniai atskiriami 3,5 cm, likę 4 cm paliekami sulaminuoti. Nepavykus mechaniškai atskirti sluoksnių, sluoksnių susiklijavimo stipris prilyginamas, kaip tinkamas. Paruošiamas naudoti bandymo įrengimas, griebtuvai sulygiuojami vertikaliai, suvienodinamas aukštis ir atstumas tarp jų (6 cm). Tempimo vertė tokioje pozicijoje (nesant bandiniui) nunulinama. Nustatoma bandymo įrenginyje iš anksto sudaryta programa 2TEN (Force – N; Distance – cm; Threshold – 55,000 N; Break% - 90; Speed – 15,0 cm/min) ir suvienodinami parametrai programinėje sistemoje (Test type – Tensile; Load unit – Newtons; Speed – 15; Speed unit – cm/min). Bandinys talpinamas tarp griebtuvų, atskirus bandinio galus įspaudus į spaustukus. Laisva (sulaminuota) bandinio dalis paliekama laisvai judėti. Įjungiamas bandymo įrengimas ir registruojama jėga, kurios reikia atskirti 1,5 cm pločio, 4,0 cm ilgio bandinio atkarpą, traukiant pastoviu 15 cm/min greičiu. Pakartojama procedūra su kiekvienu imties bandiniu.

REZULTATŲ APDOROJIMAS. Automatiškai programos apskaičiuojama didžiausia jėga ir registruojamų jėgų aritmetinis vidurkis, reikalinga atskirti 1,5 cm pločio, 4,0 cm ilgio bandinio atkarpą, traukiant pastoviu 15 cm/min greičiu. Įvertinamas standartinis nuokrypis. Jėga, reikalinga atskirti bandinių sluoksnius, registruojama kompiuteryje skaitmeniniu ir grafiniu pavidalu. Pradinė jėga, reikalinga bandinio sluoksnių atskyrimui būna didesnė, o vėlesnė – mažesnė. Registruojamų jėgų aritmetinis vidurkis yra naudojamas sluoksnių sukibimo stiprio įvertinimui. Iš išmatuotų (mažiausiai trijų bandinių) sluoksnių sukibimo stiprių, išvedamas aritmetinis vidurkis ir išreiškiama N/15mm.

3.2.4. Siūlės sukibimo stipris. Tyrimo metodika F88–07a

TIKSLAS. Tyrimo metodas skirtas įvertinti laminatų ir viensluoksnių (toliau plėvelių), pagamintų iš lanksčių medžiagų, siūlių (užtvaros) sukibimo stiprį.

REIKŠMĖ IR TAIKYMAS. Esant netinkamam plėvelių siūlės sluoksnių sukibimui, plėvelių eksploatacinės savybės gali pablogėti. Užtvaros stipris gali kisti dėl plėvelėms naudojamos žaliavos savybių, žaliavų tarpusavio sukibimo stiprumo, technologinių procesų, taip pat dėl eksploatacinių parametrų (temperatūra, riebalai ir kt.). Šis bandymo metodas skirtas matuoti ir palyginti panašių medžiagų siūlių stiprį standartinėmis sąlygomis ir gali būti naudojamas kitomis galutinio naudojimo sąlygomis (po pasterizacijos, sterilizacijos, giluminio šaldymo ir kt.).

TYRIMO METODIKA. Susiję dokumentai: ASTM F88–07a standartinė tyrimo metodika „Standart Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials“. Plėvelių siūlės stipris įvertinamas sudarant siūlę. Siūlė sudaroma veikiant plėvelę optimalia temperatūra ir prispaudimu per tam tikrą laiką. Toks bandinys talpinamas tarp dviejų įrenginio griebtuvų. Griebtuvai traukiami

tolyn vienas nuo kito pastoviu greičiu. Jėga, reikalinga suardyti užtvaramą prilyginama užtvaros sukibimo stipriui. Matuojamas kiekvienas bandinys po 10 kartų.

MATAVIMO APARATŪRA IR PRIEMONĖS. Matavimo įrengimas – Thwings-Albert Instrument Company FP – 2255. Matavimo įrenginį sudaro tokios pagrindinės dalys:

Spaustukai (griebtuvai) – sistema sumažinanti slydimą ir netolygų įtempių pasiskirstymą;

Sensorius (jutiklis) - Thwings-Albert Instrument Company 10 kgf.

Traukiamasis įtaisas – įtaisas užtikrinantis pastovų greitį.

Programinė įranga – Thwings-Albert Instrument Company FPDAS 2.1 Software.

Bandinių pjoviklis – Thwings-Albert JDC Precision Sample Cutter.

Laminatorius – Labthink Instrument Heat Seal Tester HST-H3.

Papildomos priemonės – žirkklės, liniuotė, bandinio pjoviklis.

ĖMINIŲ ĖMIMAS. Ėminiai imami iš plėvelių, kurios po sulaminavimo buvo paliktos stovėti ne mažiau nei tris paras, esant 20 ± 2 °C temperatūrai ir $50 \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei. Ėminiai imami prieš supjaustant plėveles. Ėminiai imamai iš plėvelių, kurios yra švarios, be broko, mechaninių ar kitų pažeidimų. Imant ėminius tiksliai žinoma plėvelių sudėtis. Imami vienodi ėminiai iš skirtingų plėvelių vietų (atsižvelgiant į spaudą). Paruošiami ėminiai bandymo pjovikliu atpjaunt reikiamo dydžio lakštą (dydis priklauso nuo to, kokio dydžio pakuotė formuojama). Lakšto kraštinės negali būti didesnės, nei 60cm.

PROCEDŪRA. Pagal aukščiau aprašytą ėminių ėmimo procedūrą paruošiamas ėminys. Lakšto kraštai sulydomi laminatoriumi (sudaroma siūlė), 0,8 sekundę slegiant 251kPA slėgiu ir veikiant optimalia temperatūra. Temperatūra parenkama atsižvelgiant į panaudotas žaliavas (plačiau skiltyje „Papildoma informacija“). Lakšto kraštai laminuojami vidine puse su vidine (B-B), jei pakuotė formuojama kitaip, siūlė gali būti sudaroma ir laminuojant vidinę pusę su išorine (B-A) arba išorinę pusę su išorine puse (A-A). Jei reikia tiriami keli ar visi siūlės sudarymo budai. Sulydžius lakšto kraštus, bandinys paliekamas vienai valandai, esant sąlygomis, kurios parašytos skiltyje „Bandymo sąlygos“. Bandymo pjovikliu atpjaunamos 15 mm pločio juostelės – bandiniai. Pjaunama statmenai siūlės kryptimi. Tokių bandinių ilgis pakoreguojamas, nukerpant virš siūlės esantį kraštą ir tada pakoreguojant ilgį iki 5,0 cm, kaip parodyta paveiksle 1. Bandiniai imami iš skirtingų kraštinių. Paruošiamas naudoti bandymo įrengimas, griebtuvai sulygiuojami vertikaliai, suvienodinamas aukštis ir atstumas tarp jų (6 cm). Tempimo vertė tokioje pozicijoje (nesant bandiniui) nunulinama. Nustatoma bandymo įrenginyje iš anksto sudaryta programa 2TEN (Force – N; Distance – cm; Threshold – 55,000 N; Break% - 90; Speed – 15,0 cm/min) ir suvienodinami parametrai programinėje sistemoje (Test type – Tensile; Load unit – Newtons; Speed – 15; Speed unit – cm/min). Bandinys talpinamas tarp griebtuvų, atskirus bandinio galus įspaudus į spaustukus.

Įjungiamas bandymo įrengimas ir registruojama jėga, kurios reikia atskirti 1,5 cm pločio, 1,0 cm ilgio siūlę, traukiant pastoviu 15 cm/min greičiu.

REZULTATŲ APDOROJIMAS. Automatiškai programos apskaičiuojama didžiausia jėga ir registruojamų jėgų aritmetinis vidurkis, reikalingi atskirti, 1,5 cm pločio ir 1,0 cm ilgio, siūlę, traukiant pastoviu 15 cm/min greičiu. Įvertinamas standartinis nuokrypis. Jėga, reikalinga atskirti užtvaram, registruojama kompiuteryje skaitmeniniu ir grafiniu pavidalu. Didžiausių jėgų aritmetinis vidurkis yra naudojamas sluoksnių sukibimo stiprio įvertinimui. Iš išmatuotų (mažiausiai trijų bandinių) užtvamos stiprių, išvedamas aritmetinis vidurkis ir išreiškiama N/15mm.

PAPILDOMA INFORMACIJA. Sudarant siūlę, laikas ir slėgis laikomi konstantomis, keičiama tik temperatūra. Temperatūra parenkama priklausomai su žaliavų, jų kombinacijos, sulydimo pusės. Norint parinkti optimalią temperatūrą vadovaujamosi žaliavų specifikacijomis ir atliekamas tyrimas, keičiant temperatūrą nuo minimalios (nesusidaro užtvara) iki maksimalios (užtvara lydos). Išmatuojamas užtvamos stipris, vadovaujantis „Procedūra“ skiltyje aprašyta procedūra. Pagal gautus duomenis randama optimali temperatūra. Toliau atliekant tyrimus, naudojant tas pačias žaliavas ir jų kombinacijas, naudojama prieš tai parinkta optimali temperatūra.

3.2.5. Trinties koeficientas. Tyrimo metodika - ASTM D1894–08

TIKSLAS. Tyrimo metodas skirtas nustatyti laminatų ir viensluoksnių, pagamintų iš lanksčių medžiagų (toliau plėvelių), ir juosiančių plėvelių, statinius ir kinetinius trinties koeficientus.

REIKŠMĖ IR TAIKYMAS. Esant netinkamai plėvelių trinčiai medžiagų eksploatacinės savybės gali pablogėti. Trintis gali kisti dėl plėvelėms naudojamos žaliavos savybių, žaliavų kombinacijos, technologinių procesų, taip pat dėl eksploatacinių parametrų (temperatūra, riebalai ir kt.) bei žaliavos senėjimo procesų. Šis bandymo metodas skirtas nustatyti ir palyginti panašių medžiagų statinius (pradinius) ir kinetinius (slydimo) trinties koeficientus, kai bandiniai tam tikromis sąlygomis slysta per tas pačias medžiagas. Metodas taikomas standartinėmis sąlygomis ir gali būti naudojamas kitomis galutinio naudojimo sąlygomis (po pasterizacijos, sterilizacijos, giluminio šaldymo ir kt.).

TYRIMO METODIKA. Susiję dokumentai: ASTM D1894–08 standartinė tyrimo metodika „Standart Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting“. Plėvelių trinties koeficientai įvertinami, bandiniams slystant tos pačios medžiagos (išimtiniais atvejais kitos medžiagos) paviršiumi. Trinties koeficientai įvertinami plėvelės išorei slystant išorine plėvelės dalimi, taip pat vidinei dalei slystant vidine. Esant būtinybei tyrimas gali būti atliekamas ir matuojant išorinę dalį su vidine ar net su visai kita medžiaga. Taikant šią metodiką naudojamas judamasis šliaužiklis ir nejudamoji plokštė.

MATAVIMO APARATŪRA IR PRIEMONĖS.

Matavimo įrengimas – Thwings-Albert Instrument Company FP – 2255. Matavimo įrenginį sudaro tokios pagrindinės dalys:

Šliaužiklis – 6 cm kvadratinė, maždaug 1 cm storio metalinė plokštelė, padengta guminiu sluoksniu. Plokštelę juosia spyruokliniai laikikliai, skirti įtvirtinti bandinį. Ant laikiklio viename gale pritvirtintas kilpinis varžtas, skirtas pritvirtinti šliaužiklį prie sensoriaus virvelės. Bendras šliaužiklio svoris 200g;

Atraminis paviršius (plokštė) – poliruotas metalo paviršius; *laikiklis* – įtaisas skirtas įtvirtinti bandinį; *šliaužiko traukiamasis įtaisas* – įtaisas užtikrinantis pastovų greitį; *sensorius (jutiklis)* - Thwings-Albert Instrument Company 10 kgf.

Programinė įranga – Thwings-Albert Instrument Company FPDAS 2.1 Software.

Bandinių šablonas – Tiksliai metalinė 6,5 x 12 cm matmenų plokštelė.

Papildomos priemonės – žirklys, liniuotė, bandinio pjoviklis.

ĖMINIŲ ĖMIMAS. Ėminiai imami iš plėvelių, kurios po pagaminimo buvo paliktos stovėti ne mažiau nei tris paras, esant 20 ± 2 °C temperatūrai ir $50 \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei. Ėminiai imami prieš supjaustant plėveles. Ėminiai imami iš plėvelių, kurios yra švarios, be broko, mechaninių ar kitų pažeidimų. Užteršus bandinio paviršių dulėmis, pūkais, pirštų antspaudais ar kitomis pašalinėmis medžiagomis gali pakisti bandinių paviršiaus savybės. Imant ėminius tiksliai žinoma plėvelių sudėtis. Imami vienodi ėminiai iš skirtingų plėvelių vietų (atsižvelgiant į spaudą). Paruošiami dviejų tipų ėminiai (bandymų komplektas). Bandinys X - naudojant bandymo peilį ir metalinį šabloną, atpjaunamas 6,50 x 12 cm stačiakambio formos bandinys. Bandinys Y - atkerpamas 18 x 50 cm stačiakampio formos bandinys (minimalūs matmenys 6,50 x 40 cm). Tyrimui atlikti imami 10 ėminių komplektai (trys - išore besiliesiančių medžiagų tyrimui, trys – vidine puse).

PROCEDŪRA. Pagal aukščiau aprašytą ėminių ėmimo procedūrą paruošiamas bandinių komplektas. Paruošiamas naudoti bandymo įrengimas. Nušluostomas atraminis pagrindas, kad pašalinti mechanines priemaišas. Šliaužiklio traukiamasis įtaisas nuleidžiamas maksimaliai žemai. Sensorius tvirtinamas, taip, kad slystų norima dalimi. Nustatoma bandymo įrenginyje iš anksto sudaryta programa COF (Force – N; Distance – cm; Measure – Dist.; Sled – 200g; Static – 0,5cm; Kinetic- 0,5cm; Total – 13cm; Speed – 15,0 cm/min) ir suvienodinami parametrai programinėje sistemoje (Test type – Friction; Load unit – Newtons; Speed – 15; Speed unit – cm/min; Sled – 200g; FPT provides ST & KI functionality – ST=2s; KI=2s). Bandinys X glotniai tvirtinamas prie šliaužiklio, suapvalinant kraštus ir prispaudžiant laikikliais. Bandinys Y dedamas ant metalinės plokštės, tvirtinant vieną kraštą prie laikiklio. Bandiniai turi būti lygūs, be raukšlių ar mechaninių priemaišų, nepertempti. Tokioje pozicijoje, bandiniui X dar nepritvirtintam prie sensoriaus virvelės,

trinties jėga nunulinama. Bandinius reikia tvirtinti taip, kad sąlyčio paviršiumi būtų ta pati bandinio pusė (išorė – išorė arba vidus-vidus). Šliaužiklis ant plokštelės dedamas lengvai ir švelniai, kad nesudarytų papildomos jėgos. Šliaužiklis tvirtinamas prie sensoriaus virvelės. Virvelė švelniai įtempama. Trinties koeficientų matavimai atliekami bandiniui slenkant tos pačios medžiagos paviršiumi, slėgiant jėga, kuri veikia paviršiui statmena kryptimi ir traukiant šliaužiklį 15 ± 3 cm/min greičiu, įrenginio kryptimi.

REZULTATŲ APDOROJIMAS. Trinties koeficientai (kinetinis) registruojami kompiuteryje skaitmeniniu ir grafiniu pavidalu. Trinties koeficientas yra lygus didžiausią trinties jėgą padalinus iš atramą slėgiančios jėgos (kūno svorio), kuri veikia paviršiui statmena kryptimi. Automatiškai programos yra apskaičiuojama didžiausias trinties koeficientas, reikalingas pajudinti šliaužiklį plokštės atžvilgiu. Šliaužiklis plokštės atžvilgiu pajuda, kai traukimo jėga tampa lygi arba didesnė už sąlyčio paviršių veikiančią statinę trinties jėgą. Toliau rodmenys fiksuojami atkarpoje, kurioje paviršiai vienas kitu slysta vienodai. Slydimo trinties jėga yra proporcinga atramą slėgiančiai jėgai, todėl dinaminis trinties koeficientas yra lygus slydimo jėgą padalinus iš šliaužiklio svorio. Registruojama slydimo trinties koeficientų aritmetinis vidurkis, reikalingas palaikyti dviejų paviršių judėjimą vienas kito atžvilgiu. Ši vertė atitinka dinaminę jėgą ir paprastai yra mažesnė nei statinė jėga. Kadangi statinis trinties koeficientas labai dažnai priklauso, nuo žmogiškųjų faktorių (kaip bus uždedamas šliaužiklis, ar nebus pažeista matuojama kompozicija), todėl bus atsižvelgiama tik į dinaminį trinties koeficientą. Išmatavus išore besiliesiančių ir vidine puse besiliesiančių medžiagų koeficientus išvedami aritmetiniai vidurkiai [24].

3.3. Deguonies pralaidumo tyrime naudota įranga, charakteristikos ir metodika

3.3.1. Deguonies pralaidumo nustatymas. Tyrimo metodika ASTM D3985–05

TIKSLAS. Tyrimo metodas skirtas įvertinti plėvelių (toliau – laminatų), pagamintų iš lanksčių ir kitų, pakuotėms skirtų plėvelių, deguonies pralaidumą.

REIKŠMĖ IR TAIKYMAS. Esant netinkamam laminatų deguonies pralaidumui, laminatų eksplotacinės savybės gali pablogėti. Pralaidumas gali kisti dėl technologinių procesų, taip pat dėl eksploatacinių parametrų (temperatūra, riebalai ir kt.). Šis bandymo metodas skirtas matuoti ir palyginti panašių medžiagų deguonies pralaidumą standartinėmis sąlygomis ir gali būti naudojamas kitomis galutinio naudojimo sąlygomis (po pasterizacijos, sterilizacijos, giluminio šaldymo ir kt.).

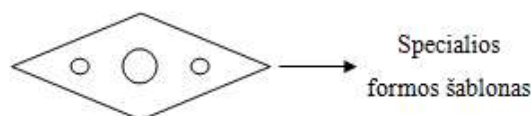
TYRIMO METODIKA. Susiję dokumentai: ASTM F 3985 05 - standartinė tyrimo metodika „Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and sheeting using a Coulometric Sensor“.

MATAVIMO APARATŪRA IR PRIEMONĖS. Matavimo įrengimas – deguonies pralaidumo nustatymo įrenginys Labthink OX2/ 230 *Naudojamos dujos: techninis deguonis ir*

azotas. Programinė įranga – WinPerme OX2-230 W3-330 Software. Papildomos priemonės – žirkklės, liniuotė, bandinio pjoviklis.

ĖMINIŲ ĖMIMAS. Ėminiai imami iš laminatų, kurie po sulaminavimo buvo palikti stovėti ne mažiau nei tris paras, esant 20 ± 2 °C temperatūrai ir $50 \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei. Ėminiai imami prieš supjaustant laminatus (nenupjauti laminatų kraštai). Ėminiai imamai iš laminatų, kurie yra švarūs, be broko, mechaninių ar kitų pažeidimų. Imant ėminius tiksliai žinoma laminatų sudėtis. Imami vienodi ėminiai iš skirtingų laminato vietų. Bandymo pjovikliu atpjaunamos 17 cm x 19 cm bandiniai. Siekiant gauti kuo tikslesnius rezultatus, matavimai buvo atliekami 12 bandinių. Įrenginys vienu metu gali matuoti 3 bandinius.

PROCEDŪRA. Bandymo pjovikliu atpjaunami 170 mm x 190 mm bandiniai (pagal specialios formos šabloną (žr. 9 pav.). Matavimo prietaisas vienu metu gali matuoti 3 bandinius. Bandiniai buvo įdėti į matavimui skirtas celes, nustatytas matavimo laikas, dujų srovė, bei slėgis. Automatiškai programos apskaičiuojama registruojamo pralaidumo aritmetinis vidurkis, įvertinamas standartinis nuokrypis. Pralaidumas registruojamas kompiuteryje skaitmeniniu ir grafiniu pavidalu. Azotas su deguonimi teka priešingose plėvelės pusėse. Toje pusėje kur yra azotas yra ir detektorius, kuris į azoto dujas nereaguoja. Bet kai pro plėvelę prasiskverbia deguonis į azoto pusę, tai azotas savo srautu nuneša deguonį į detektorių, tada detektorius sureaguoja ir užfiksuoja rezultatą. Azotas yra inertinės (nešančios) dujos (nereaguojančios, neaktyvios) todėl ir nereaguoja.



9 pav. Specialios formos šablonas

REZULTATŲ APDOROJIMAS. Automatiškai programos apskaičiuojama registruojamo pralaidumo aritmetinis vidurkis, įvertinamas standartinis nuokrypis. Pralaidumas registruojamas kompiuteryje skaitmeniniu ir grafiniu pavidalu. Iš išmatuotų (mažiausiai trijų bandinių) pralaidumo rezultatų, išvedamas aritmetinis vidurkis.

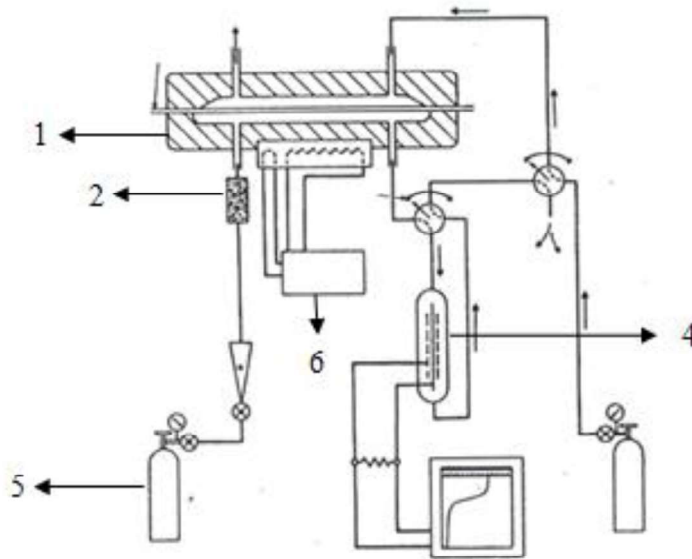
3.3.2. Deguonies pralaidumo įrenginio principinė schema

Diferencinės skenuojamosios kalorimetrijos metodu matuojama energija, reikalinga tai pačiai bandinio ir standartinės medžiagos (etalono) temperatūrai palaikyti juos kaitinant arba aušinant. Kaip rezultatas pateikiama šilumos srauto (šiluminės talpos) priklausomybė nuo temperatūros arba trukmės. DSK metodu paprastai nustatoma fazinio virsmo ar reakcijos entalpija ir šilumos talpa. Entalpijai apskaičiuoti reikia žinoti kalorimetro konstantą. Ji nustatoma pagal etalonus, kurių

virsmo entalpija yra žinoma. Šilumos talpa apskaičiuojama kaip šilumos srauto ir kaitinimo greičio santykis. Diferencinės terminės analizės (DTA) metodu matuojamas bandinio ir standartinės medžiagos (etalono) temperatūrų skirtumas juos kaitinant arba aušinant [22].

Deguonies pralaidumo principinė schema, susideda iš (žr. 10 pav.):

1. Difuzinės celės – jos turi būti sudarytos iš dviejų metalinių dalių (pusių), kurios tarpusavyje prilaikytų matuojamą bandinį, kuris turi atitikti apskritimo (matuojamą) plotą.
2. Katalizatoriaus – nedidelė, metalinė tūba su priedų jungiamosiomis dalelėmis, kuri yra tvirtinama prie azoto dujų įėjimo vamzdelio. Katalizatorius turi būti sudarytas iš (nuo 3 g–5 g, 0,5 %) platinos arba paladžio.
3. Srovės matuoklio.
4. Kalorimetrinio sensoriaus – nustato deguonies dujų kiekį;
5. Deguonies ir azoto dujų.
6. Temperatūros kontrolės.



10 pav. Deguonies pralaidumo Labthink OX2/230 principinė schema

3.3.3. Matavimo įranga ir jos techninės charakteristikos

Bandiniai buvo matuojami pagal ASTM D3985-05 metodiką, naudojant deguonies pralaidumo nustatymo įrenginį Labthink OX2/230 (žr. 11 pav.), kurio techninės charakteristikos nurodytos priede Nr. 1 (žr. 3 lentelę). Bandiniai buvo įdėti į matavimui skirtas celes, nustatytas matavimo laikas, dujų srovė, bei slėgis. Automatiškai programos apskaičiuojama registruojamo

pralaidumo aritmetinis vidurkis, įvertinamas standartinis nuokrypis. Pralaidumas registruojamas kompiuteryje skaitmeniniu ir grafiniu pavidalu. Vienu metu galima matuoti 3 bandinius.



11 pav. Deguonies pralaidumo nustatymo įrenginys Labthink OX2/ 230 [23]

4. REZULTATŲ ANALIZĖ

4.1. Fizikinių ir mechaninių savybių tyrimų rezultatai

Siekiant nustatyti, ar barjerinis lakas turi įtakos fizikinėms ir mechaninėms savybėms, buvo atlikti matavimai daugiasluoksnėms polimerinėms kompozicijoms, kurios padengtos specialiu barjeriniu SunBar laku ir palyginti su daugiasluoksnėmis polimerinėmis kompozicijomis be barjerinio lako. Matavimų rezultatai pateikiami 4.1 ir 4.2 lentelėje.

Sukibimo stipris buvo matuojamas kas 2 mėnesius, siekiant nustatyti, ar barjerinis lakas neturi įtakos sluoksnių sukibimo stiprumui. Matavimų rezultatai pateikiami 4.3 lentelėje.

Sekančiai buvo atliekami, daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų su barjeriniu laku, fizikinių ir mechaninių savybių matavimai.

4.1 lentelė. Fizikinių ir mechaninių savybių matavimo rezultatai be barjerinio lako

Polimero tipo pavadinimas	Storis	Gramatūra	Trinties koeficientas		Siūlės sukibimo stipris	Sluoksnių sukibimo stipris
			Dinam.tr.koef. išorė–išorė	Dinam.tr.koef. vidus–vidus		
Metodika ASTM	D 2251 – 03	D 4321 - 09			F 904 – 98	F 904 – 98
PET36-PE50	µm	g/m²	-	-	N/15mm	N/15mm
1 pakuotė	90	101,54	0,250	0,120	21,21	Nesisluoksniuoją
2 pakuotė	91	100,98	0,212	0,132	25,23	Nesisluoksniuoją
3 pakuotė	93	100,59	0,263	0,144	25,12	Nesisluoksniuoją
4 pakuotė	92	101,01	0,214	0,151	19,88	Nesisluoksniuoją
5 pakuotė	93	100,45	0,222	0,144	21,12	Nesisluoksniuoją
6 pakuotė	93	101,22	0,241	0,132	22,21	Nesisluoksniuoją
7 pakuotė	94	99,87	0,300	0,156	21,15	Nesisluoksniuoją
8 pakuotė	93	102,03	0,199	0,144	25,58	Nesisluoksniuoją
9 pakuotė	93	100,02	0,225	0,161	26,22	Nesisluoksniuoją
10 pakuotė	93	101,22	0,263	0,184	19,77	Nesisluoksniuoją
Vidurkis	93	101	0,239	0,147	22,75	NE
PET36-PE70	µm	g/m²	-	-	N/15mm	N/15mm
1 pakuotė	108	114,03	0,275	0,142	22,15	Nesisluoksniuoją
2 pakuotė	109	113,99	0,264	0,140	24,47	Nesisluoksniuoją
3 pakuotė	108	111,02	0,253	0,120	19,88	Nesisluoksniuoją
4 pakuotė	110	114,33	0,278	0,187	18,41	Nesisluoksniuoją

4.1 lentelės tęsinys						
5 pakuotė	110	113,65	0,212	0,125	25,14	Nesisluoksniuoja
6 pakuotė	108	112,62	0,299	0,155	19,35	Nesisluoksniuoja
7 pakuotė	105	114,30	0,277	0,136	22,15	Nesisluoksniuoja
8 pakuotė	107	112,25	0,245	0,154	17,77	Nesisluoksniuoja
9 pakuotė	109	113,98	0,231	0,173	26,16	Nesisluoksniuoja
10 pakuotė	110	114,25	0,222	0,151	21,65	Nesisluoksniuoja
Vidurkis	108	113	0,256	0,149	21,71	NE

Atlikus daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų fizikinių ir mechaninių savybių matavimus, nustatyta, kad kompozicijos be barjerinio lako PET36-PE50 storio vidurkis - 93 μm , gramatūra – 101 g/m^2 , statinis trinties koeficientas (vidus–vidus) – 0,239, dinaminis trinties koeficientas – 0,147, siūlės stiprumas – 22,75 N/15mm, kompozicijos PET36-PE70 storio vidurkis - 108 μm , gramatūra – 113 g/m^2 , statinis trinties koeficientas (vidus–vidus) – 0,256, dinaminis trinties koeficientas – 0,149, siūlės stiprumas – 21,71 N/15mm. Nepavykus mechaniškai atskirti sluoksnių, sluoksnių sukibimo stipris prilyginamas, kaip tinkamas.

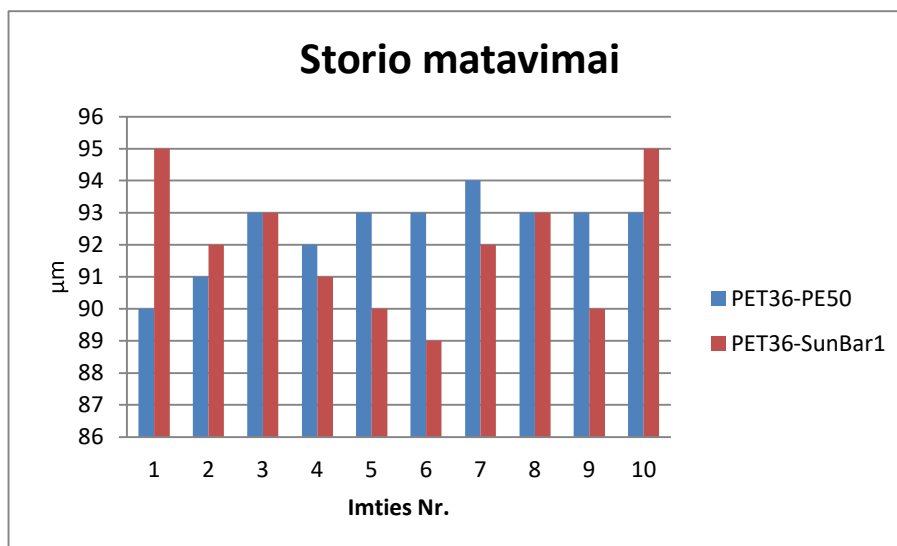
4.2 lentelė. Fizikinių ir mechaninių savybių matavimo rezultatai su barjeriniu laku

Polimero tipo pavadinimas	Storis	Gramatūra	Trinties koeficientas		Siūlės sukibimo stipris	Sluoksnių sukibimo stipris
			Dinam.tr.koef. išorė–išorė	Dinam.tr.koef. vidus–vidus		
Metodika ASTM	D 2251 – 03	D 4321 - 09			F 904 – 98	F 904 – 98
PET36-SunBar1	μm	g/m^2	-	-	N/15mm	N/15mm
1 pakuotė	95	102,15	0,254	0,178	22,17	Nesisluoksniuoja
2 pakuotė	92	101,98	0,241	0,154	26,25	Nesisluoksniuoja
3 pakuotė	93	104,25	0,239	0,144	24,25	Nesisluoksniuoja
4 pakuotė	91	103,13	0,264	0,149	19,87	Nesisluoksniuoja
5 pakuotė	90	102,15	0,222	0,153	16,54	Nesisluoksniuoja
6 pakuotė	89	100,14	0,246	0,177	21,15	Nesisluoksniuoja
7 pakuotė	92	101,13	0,274	0,165	25,55	Nesisluoksniuoja
8 pakuotė	93	99,98	0,248	0,135	24,14	Nesisluoksniuoja
9 pakuotė	90	104,36	0,256	0,148	26,24	Nesisluoksniuoja
10 pakuotė	95	100,25	0,254	0,136	20,02	Nesisluoksniuoja
Vidurkis	92	102	0,250	0,153	22,62	NE

4.2 lentelės tęsinys						
PET36-SunBar2	μm	g/m^2			N/15mm	N/15mm
1 pakuotė	108	115,02	0,251	0,189	19,74	Nesisluoksniuoja
2 pakuotė	107	116,87	0,214	0,155	25,14	Nesisluoksniuoja
3 pakuotė	105	115,33	0,244	0,150	24,12	Nesisluoksniuoja
4 pakuotė	108	116,25	0,241	0,169	25,69	Nesisluoksniuoja
5 pakuotė	107	116,01	0,233	0,147	21,12	Nesisluoksniuoja
6 pakuotė	107	115,99	0,241	0,111	20,06	Nesisluoksniuoja
7 pakuotė	106	116,87	0,211	0,198	20,01	Nesisluoksniuoja
8 pakuotė	104	118,25	0,265	0,174	24,13	Nesisluoksniuoja
9 pakuotė	106	119,01	0,248	0,180	21,88	Nesisluoksniuoja
10 pakuotė	109	116,41	0,279	0,143	23,11	Nesisluoksniuoja
Vidurkis	107	117	0,242	0,161	22,50	NE

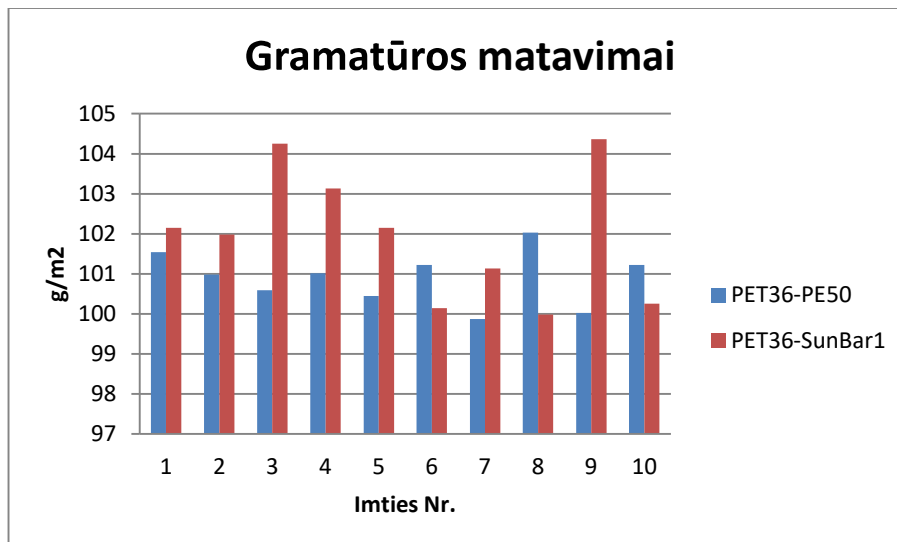
Atlikus, daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų su barjeriniu laku, fizikinių ir mechaninių savybių matavimus, nustatyta, kad kompozicijos PET36-SunBar1 storio vidurkis - 92 μm , gramatūra - 102 g/m^2 , dinaminis trinties koeficientas (išorė-išorė) - 0,250, dinaminis trinties koeficientas (vidus-vidus) - 0,153, siūlės stiprumas - 22,62 N/15mm, kompozicijos PET36-SunBar2 storio vidurkis - 107 μm , gramatūra - 117 g/m^2 , dinaminis trinties koeficientas (išorė-išorė) - 0,242, dinaminis trinties koeficientas (vidus-vidus) - 0,161, siūlės stiprumas - 22,50 N/15mm. Nepavykus mechaniškai atskirti sluoksnių, sluoksnių sukibimo stipris prilyginamas, kaip tinkamas.

Išmatuotos vertės tarp PET36-PE50 ir PET36-SunBar1 yra pateikiamos 12-16 pav., vertės tarp PET36-PE70 ir PET36-SunBar2 pateikiamos 17-21 pav.



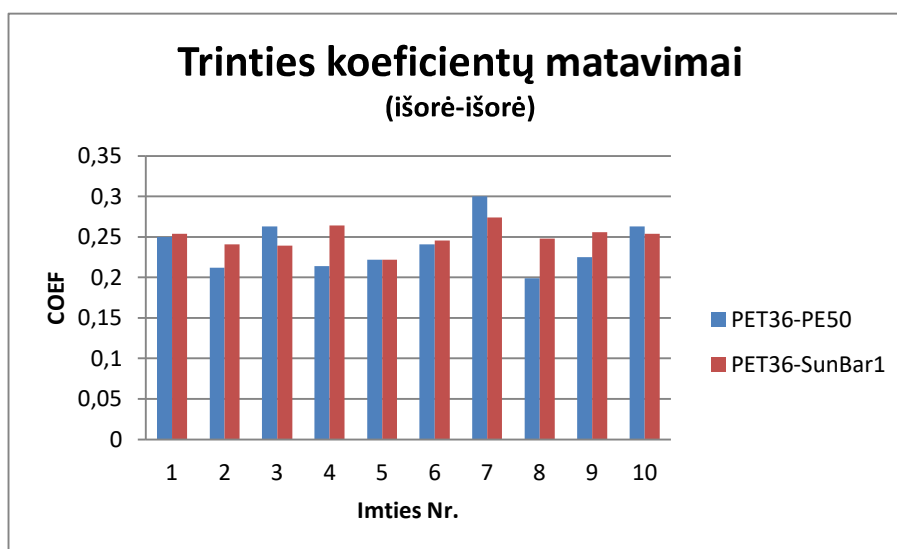
12 pav. Storio matavimų diagrama

Atlikus tiriamų plėvelių storio matavimus, buvo nustatyta, jog barjerinis lakas storiui įtakos didelės neturi. Svyravimai didesni pastebėti matuojant daugiassluksnę polimerinę kompoziciją padengtą laku (nuo 89 iki 95 mikronų), mažesni (nuo 90 iki 94 mikronų) – įprastą kompoziciją. Tai galima daryti išvadą, jog tai galėjo įtakoti netolygus lako dengimas ir kt. lako dengimo parametrai, tokie kaip greitis, džiuavimo temperatūrą, rotograviūrinio veleno nusidėvėjimas.

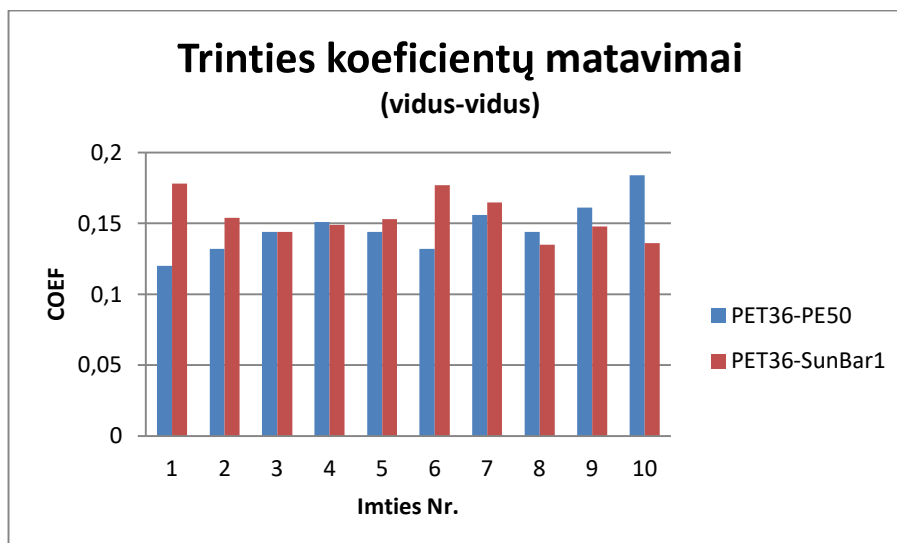


13 pav. Gramatūros matavimų diagrama

Atlikus tiriamų plėvelių gramatūros matavimus, buvo nustatyta, jog barjerinis lakas šiai kompozicijai, didelės įtakos neturi. PET36–PE50 nuo PET36–SunBar1 skirtumas gautas apie 1 g/m².

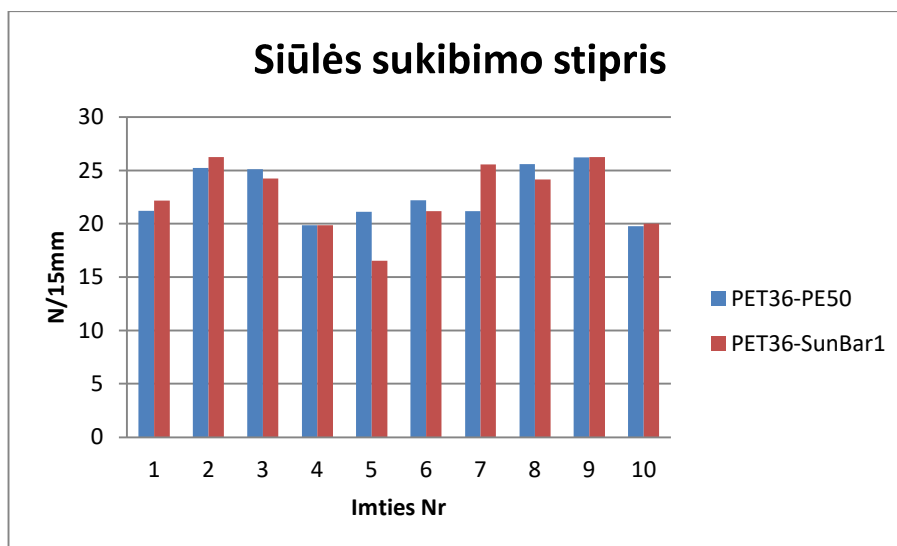


14 pav. Trinties koeficiento matavimų diagrama (išorė-išorė)



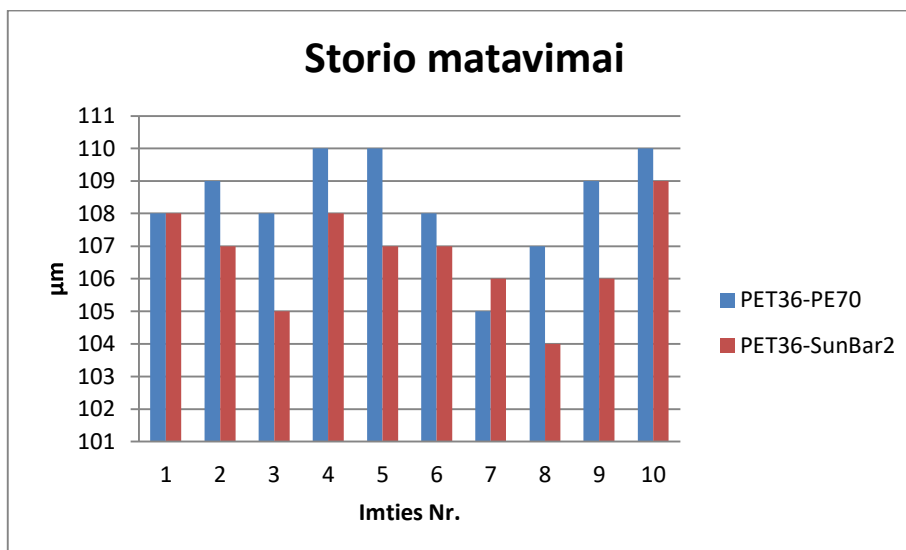
15 pav. Trinties koeficiento matavimų diagrama (vidus-vidus)

Atlikus trinties koeficiento matavimus, tiek vidine, tiek išorine puse, pokyčiai nepastebėti. Kadangi, barjerinis lakas yra tarp dviejų sluoksnių, o ne ant paviršiaus, jis neturėjo įtakos trinties koeficientui, tad neturės įtakos ir pakavimo linijose, kur trinties koeficientas yra itin svarbus. Nuo plėvelės slidumo priklauso pakavimo linijos greitis. Jeigu pakavime bus naudojamos greitaeigės mašinos, joms reikia slidesnių plėvelių, kuomet pakavimo mašinos greitis mažesnis, tuo jam mažiau svarbu trinties koeficientas.



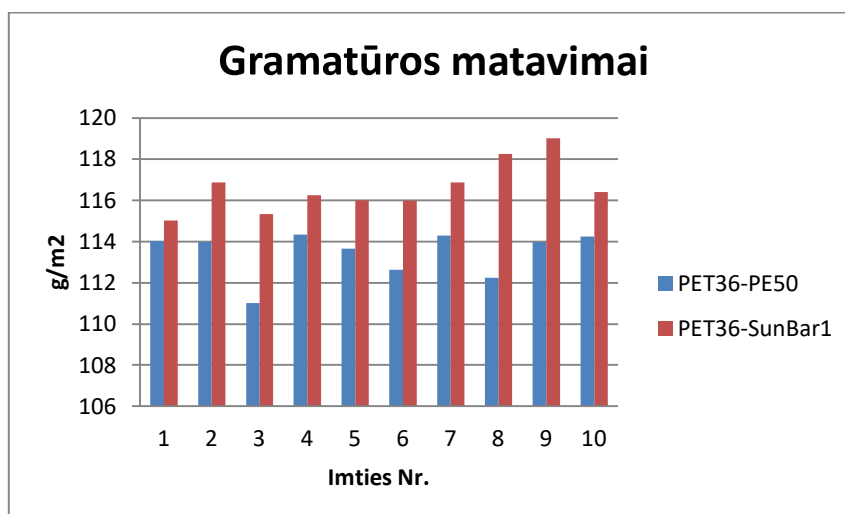
16 pav. Siūlės sukibimo stiprio matavimų diagrama

Atlikus siūlės sukibimo stiprio matavimus, didelių skirtumų taip pat nepastebėta. Skirtumas tarp išmatuotų kompozicijų siekė tik 0,13 N. Matuojant siūlės stiprio sukibimo jėgą toks skirtumas yra nereikšmingas.



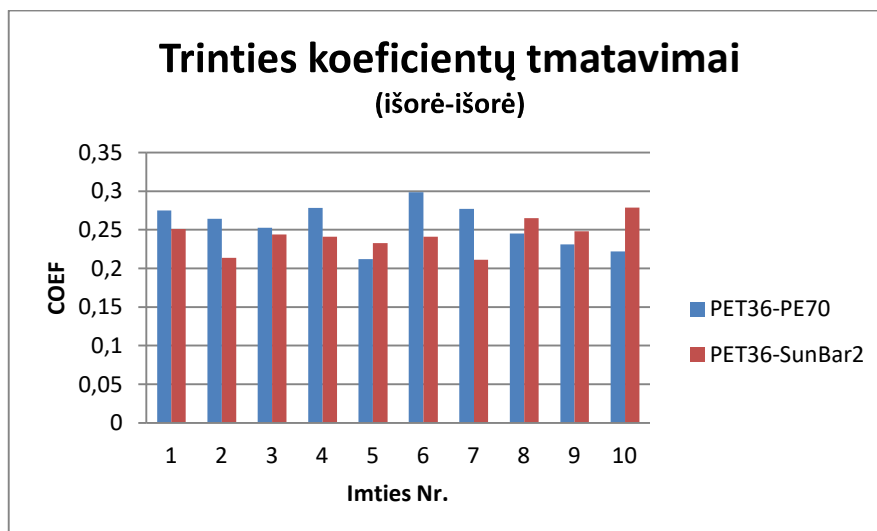
17 pav. Storio matavimų diagrama

Atlikus tiriamų plėvelių storio matavimus, buvo nustatyta, jog šiai kompozicijai barjerinis lakas storiui įtakos didelės neturi. Nustatyta, kad kompozicija, kuri padengta barjeriniu laku, 1 mikronu plonesnė, negu kompozicija, kuri nebuvo padengta laku. PET36–PE70 storis svyravo nuo 105 iki 110 mikronų, o PET36–SunBar2 storis svyravo nuo 104 iki 109 mikronų.

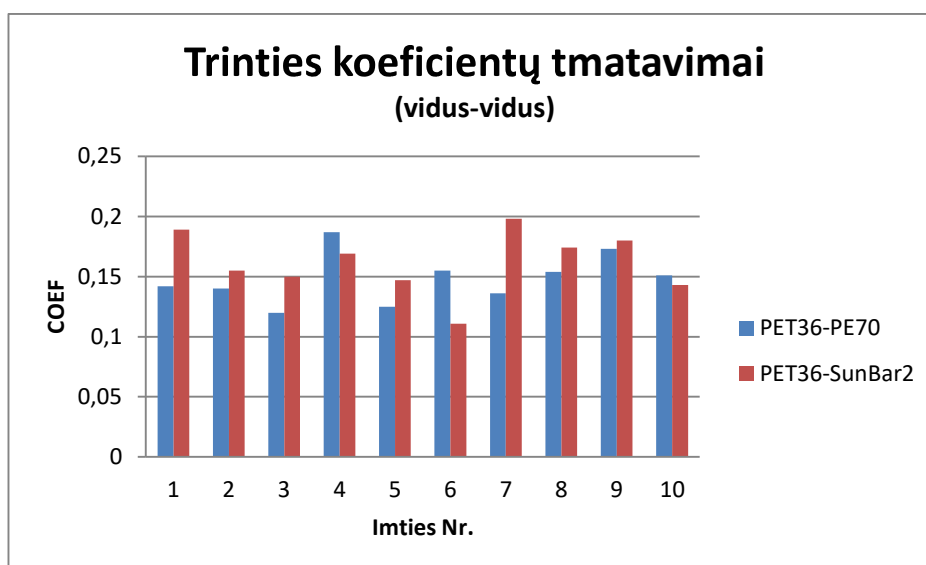


18 pav. Gramatūros matavimų diagrama

Atlikus gramatūros matavimus, nustatyta, jog didžiausi svyravimai buvo kompozicijai, kuri buvo padengta laku. Matavimai svyravo nuo 115,02 g/m² iki 119,01 g/m². Tai galima daryti išvadą, jog tai galėjo įtakoti netolygus lako dengimas ir kt. lako dengimo parametrai, tokie kaip greitis, džiūvimo temperatūra, pačio rotograviūrinio veleno nusidėvėjimas ir t.t.

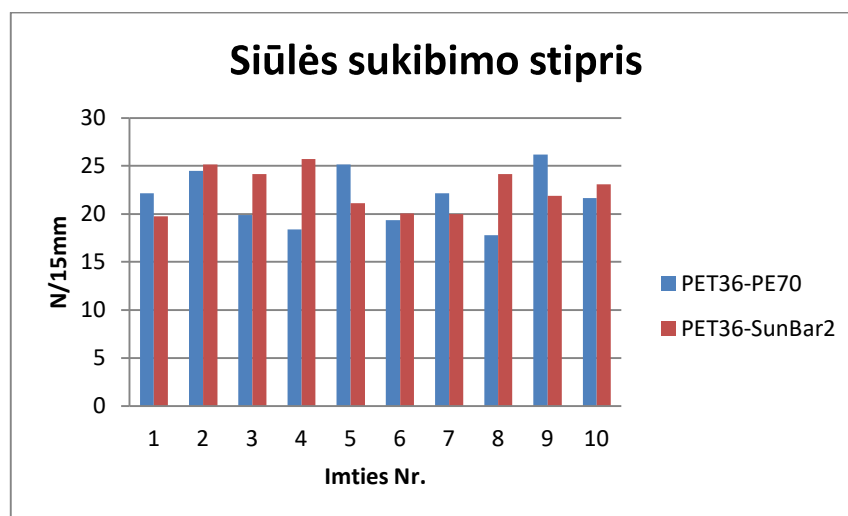


19 pav. Trinties koeficiento matavimų diagrama (išorė-išorė)



20 pav. Trinties koeficiento matavimų diagrama (vidus-vidus)

Atlikus trinties koeficiento matavimus, tiek vidine, tiek išorine puse, pokyčiai nepastebėti.



21 pav. Siūlės sukibimo stiprio matavimų diagrama

Atlikus siūlės sukibimo stiprio matavimus, didelių skirtumų taip pat nepastebėta. Skirtumas tarp išmatuotų kompozicijų siekė 0,79 N. Matuojant siūlės stiprio sukibimo jėgą toks skirtumas yra nereikšmingas.

4.3 lentelė. Sukibimo stiprio matavimų rezultatai

Data	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*
2016.04.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2016.06.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2016.08.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2016.10.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2016.12.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2017.02.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2017.04.01	Nesisluoksniuoja	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

* N/15mm – NE (nesisluoksniuoja)

Atlikus sukibimo stiprio matavimus, kompozicijoms, padengtoms specialiu barjeriniu SunBar laku, nepavyko mechaniškai atskirti sluoksnių. Todėl sluoksnių sukibimo stipris prilyginamas, kaip tinkamas.

Atlikus daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų su laku ir be lako, fizikinių ir mechaninių savybių matavimus, pateiktose diagramose matoma, jog barjerinis lakas labiausiai įtakoja gramatūrą, čia pastebėti didžiausi svyravimai ir pokyčiai. Tarp PET36–PE70 ir kompozicijos PET36–SunBar2 gramatūros skirtumas gautas 4 g/m². Tai galėjo įtakoti netolygus dengimas rotograviūriniu velenu, lako dengimo greitis, džiūvimo temperatūra ir kt.

4.2. Barjerinių daugi sluoksnių polimerinių kompozicijų deguonies pralaidumo nustatymas

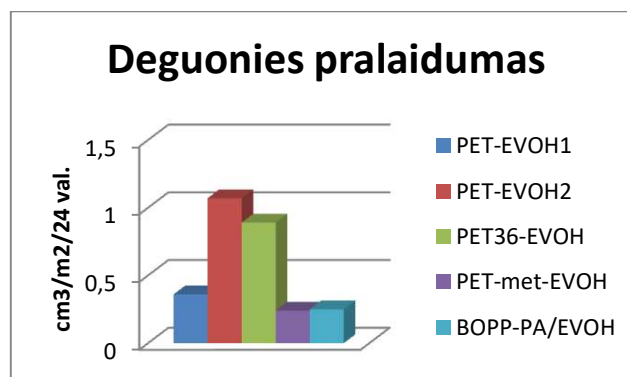
Tam, kad išsiaiškinti, ar specialus barjerinis lakas galėtų būti alternatyva barjerinėms plėvelėms, pirmiausia buvo atlikti tyrimai su aukštą barjerumą turinčiomis daugi sluoksniomis polimerinėmis kompozicijomis. Buvo matuojamos dažniausiai maisto įpakavimui (mėsai, sūriui, žuviai) naudojamos daugi sluoksniškos polimerinės kompozicijos. Atlikus deguonies pralaidumo matavimus buvo gauti rezultatai, kurie pateikti 4.4 lentelėje.

4.4 lentelė. **Deguonies pralaidumo nustatymas**

Polimero tipo pavadinimas	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*	Vidurkis
PET-EVOH1	0,33	0,45	0,29	0,31	0,42	0,29	0,36	0,44	0,40	0,28	0,41	0,20	0,36
PET-EVOH2	1,15	1,02	1,03	1,22	1,01	1,00	1,03	1,02	1,03	1,14	1,11	1,07	1,07
PET36-EVOH	0,96	0,85	0,88	0,90	0,98	0,75	0,96	0,88	0,80	0,73	0,99	0,98	0,89
PET-met	0,38	0,32	0,44	0,33	0,38	0,41	0,37	0,40	0,44	0,35	0,42	0,33	0,38
PET-met-EVOH	0,32	0,21	0,20	0,20	0,27	0,24	0,41	0,30	0,20	0,22	0,18	0,18	0,24
BOPP-PA/EVOH	0,26	0,25	0,24	0,30	0,24	0,18	0,24	0,21	0,29	0,26	0,20	0,29	0,25

* - $\text{cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$

Atlikus daugi sluoksnių polimerinių kompozicijų, turinčių aukštą deguonies barjerą, nustatyta, kad kompozicija PET-EVOH1 deguonies pralaidžia – $0,36 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET-EVOH2 – $1,07 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET36-EVOH – $0,89 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET-met – $0,38 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET-met-EVOH – $0,24 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, BOPP-PA/EVOH – $0,25 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$ Atlikus deguonies pralaidumo matavimus, nustatyta, kad mažiausiai deguonies pralaidžia trisluoksni kompozicija PET-met-EVOH, o daugiausiai – PET-EVOH1. Matavimų rezultatai pavaizduoti 22 diagramoje.



22 pav. Deguonies pralaidumo matavimų diagrama

4.3. SunBar lako įtaka deguonies pralaidumui

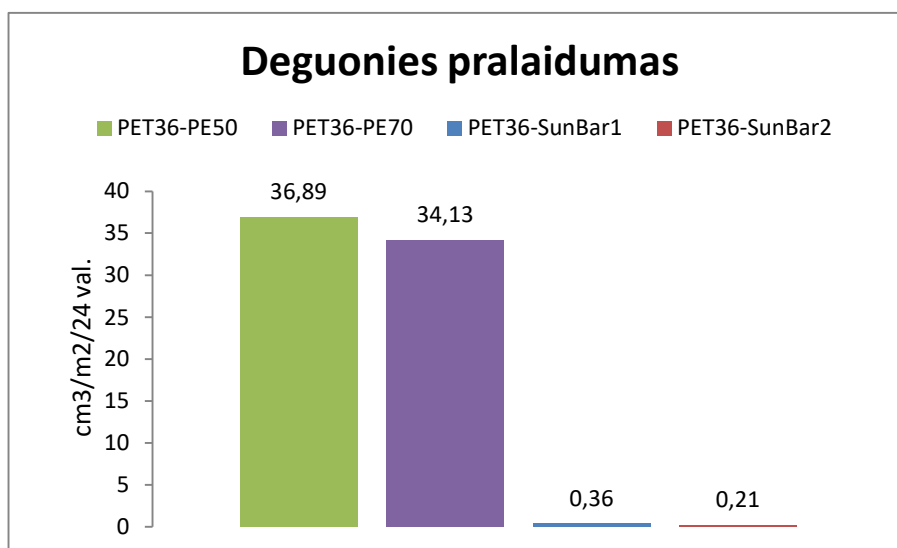
4.3.1. Daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų, padengtų specialiu SunBar laku, deguonies pralaidumo tyrimų rezultatai

Tam, kad išsiaiškinti, kiek specialus barjerinis lakas įtakoja plėvelės barjeringumą, pirmiausia buvo atlikti tyrimai su vidutinio barjeringumo kompozicijomis. Sekančiai buvo matuojamos tokios pačios kompozicijos su specialiu barjeriniu SunBar laku. Gauti rezultatai pateikti 4.5 lentelėje. Matavimų rezultatai pavaizduoti 23 diagramoje.

4.5 lentelė. Vidutinio barjeringumo kompozicijų deguonies pralaidumo matavimų rezultatai

Polimero tipas	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*	Vidurkis
PET36-PE50	38,08	38,01	35,02	34,11	39,25	34,55	38,45	38,65	33,25	34,53	38,95	39,91	36,89
PET36-PE70	35,22	31,11	36,15	33,11	31,58	37,45	32,25	33,36	38,11	35,45	32,12	33,65	34,13
PET36-SunBar1	0,20	0,44	0,45	0,25	0,44	0,42	0,26	0,41	0,22	0,26	0,44	0,49	0,36
PET36-SunBar2	0,17	0,17	0,29	0,20	0,15	0,22	0,24	0,19	0,27	0,20	0,17	0,26	0,21

* $\text{cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$

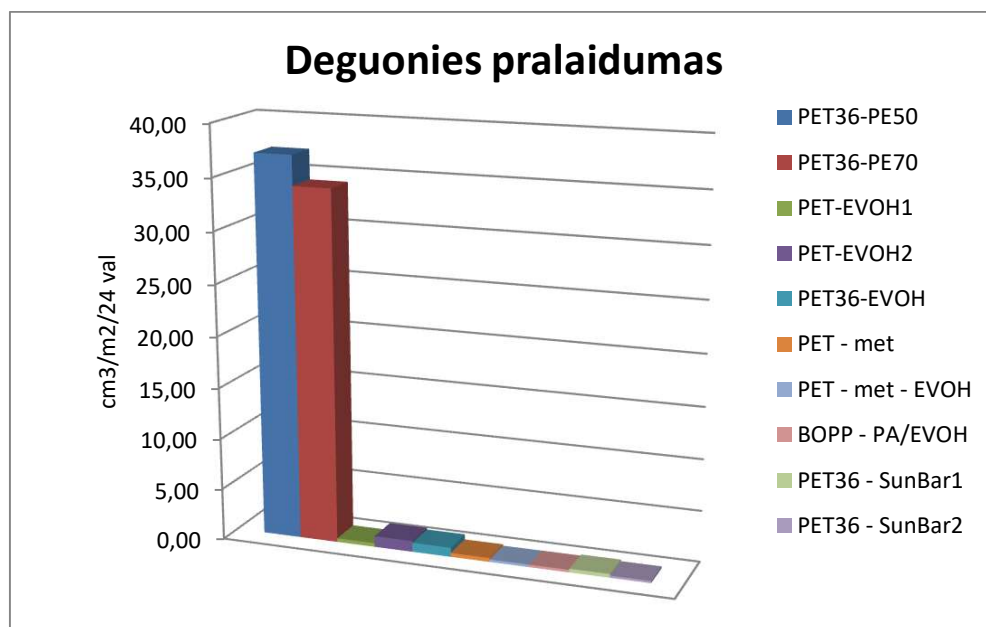


23 pav. Deguonies pralaidumo matavimų diagrama

Atlikus vidutinio barjeringumo daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų, nustatyta, kad kompozicija PET36-PE50 deguonies praleidžia – $36,89 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET36-PE70 – $34,13 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, o daugiasluoksnes kompozicijos padengtos specialiu barjeriniu SunBar laku - PET36-SunBar1 – $0,36 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET36-SunBar2 – $0,21 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$ Nustatyta, kad

naudojant SunBar laką, PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus plėvelių deguonies barjerumas padidėja 99,03 %, o PET 36 skaidrus + PE 70 skaidrus – 99,39 %.

Siekiant išsiaiškinti, kokioms kompozicijoms galėtų būti alternatyva barjerinis SunBar lakas, buvo palygintos su 6-iomis dažniausiai maisto pakuotėms naudojamos polimerinių medžiagų kompozicijos ir palygintos su kompozicijomis kurios buvo padengtos barjeriniu laku. Matavimų rezultatai pavaizduoti 24 diagramoje.



24 pav. Deguonies pralaidumo matavimų diagrama

Nustatyta, jog barjeriniu laku padengtos dvisluoksnės plėvelės gali būti alternatyva trisluoksnėms kompozicijoms. Gauti rezultatai - PET36–PE50 – 37,04 cm³/m²/24 val; PET36–PE70 – 34,16 cm³/m²/24 val; PET–EVOH1 – 0,36 cm³/m²/24 val; PET–EVOH2 – 1,07 cm³/m²/24 val; PET36–EVOH – 0,90 cm³/m²/24 val; PET–met - 0,38 cm³/m²/24 val; PET–met–EVOH - 0,24 cm³/m²/24 val; BOPP–PA/EVOH - 0,25 cm³/m²/24 val; PET36–SunBar1 – 0,36 cm³/m²/24 val; PET36–SunBar2 – 0,21 cm³/m²/24 val. Taip pat nustatyta, kad naudojant SunBar laką, kaip alternatyvą trisluoksnėms kompozicijoms, taip pat galime sumažinti naudojamų atliekų kiekį, nes bus sunaudota mažiau žaliavų.

IŠVADOS

1. Atlikus, daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų su laku ir be lako, fizikinių ir mechaninių savybių matavimus, nustatyta jog barjerinis lakas labiausiai įtakoja gramatūrą, čia pastebėti didžiausi svyravimai ir pokyčiai. Tarp PET36–PE70 ir kompozicijos PET36–SunBar2 gramatūros skirtumas gautas 4 g/m^2 . Tai galėjo įtakoti netolygus dengimas rotograviūriniu velenu, lako dengimo greitis, džiūvimo temperatūra ir kt.
2. Atlikus daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų deguonies pralaidumo matavimus, turinčių aukštą deguonies barjerą, nustatyta, kad kompozicija PET–EVOH1 deguonies praleidžia – $0,36 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$, PET–EVOH2 – $1,07 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET36–EVOH – $0,89 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET–met – $0,38 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET–met–EVOH – $0,24 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, BOPP–PA/EVOH – $0,25 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$. Nustatyta, kad mažiausiai deguonies praleidžia trisluoksnė kompozicija PET–met–EVOH, o daugiausiai – PET–EVOH1.
3. Atlikus vidutinio barjeringumo daugiasluoksnių polimerinių kompozicijų deguonies pralaidumo matavimus, nustatyta, kad kompozicija PET36–PE50 deguonies praleidžia – $36,89 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$, PET36–PE70 – $34,13 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, o daugiasluoksnės kompozicijos padengtos specialiu barjeriniu SunBar laku - PET36–SunBar1 – $0,36 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val.}$, PET36–SunBar2 – $0,21 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$. Naudojant SunBar laką, PET 36 skaidrus + PE 50 skaidrus plėvelių deguonies barjeringumas padidėja 99,03 %, o PET 36 skaidrus + PE 70 skaidrus – 99,39 %.
4. Nustatyta, jog barjeriniu laku padengtos dvisluoksnės plėvelės gali būti alternatyva trisluoksnėms kompozicijoms. Gauti rezultatai - PET36–PE50 – $37,04 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET36–PE70 – $34,16 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET–EVOH1 – $0,36 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET–EVOH2 – $1,07 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET36–EVOH – $0,90 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET–met - $0,38 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET–met–EVOH - $0,24 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; BOPP–PA/EVOH - $0,25 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET36–SunBar1 – $0,36 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$; PET36–SunBar2 – $0,21 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ val}$.
5. Nustatyta, kad naudojant SunBar laką, kaip alternatyvą trisluoksnėms kompozicijoms, taip pat galime sumažinti atliekų kiekį, nes bus sunaudota mažiau žaliavų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. **Sinna Ebnesaĵjad.** Plastic Films in Food Packaging – Materials, Technology and Applications, 71 p., 2013.
2. **EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS REGLAMENTAS (EB) Nr. 1935/2004, 2004 m. spalio 27 d. dėl žaliavų ir gaminių, skirtų liestis su maistu, ir panaikinantį Direktyvas 80/590/EEB ir 89/109/EEB.**
3. **Kenneth J.Valentas, Enrique Rotstein, R. Paul Singh.** Food Engineering Practice, 1997, p. – 346-347.
4. **Valentina Siracusa.** Food Packaging Permeability Behaviour: A Report, International Journal of Polymer Science Volume 2012 (2012), Article ID 302029, p. 1 -11.
5. **Edmundas Kibirkštis. Valdas Miliūnas.** Valdomų savybių išmaniosos medžiagos ir nanotechnologijos. Mokomoji knyga. Leidykla „Technologija“, 2016, p.111.
6. **Gordon L. Robertson.** Food Packaking - Principles and Practice. Third Edition, 2016, p. – 26.
7. **Richard Coles, Dereck McDowell, Mark. J. Kirwing.** Food Packaging technology, 2003, p. – 306.
8. **Jorrun Aasgaard Grini, Oddvin Sorheim and Hilde Nissen.** The effect of Packingng Materials and Xygen on the Colour Stability of Sliced Bologna, 1992, p. – 1.
9. Meet myoglobin. [žiūrėta 2017m. balandžio 5d.] Prieiga per internetą: <http://www.genuineideas.com/ArticlesIndex/srmeatmyoglobin.html>.
10. **J. Galić, K. Galić, M. Kurtanjek, and N. Ciković.** Gas permeability and DSC characteristics of polymers used in food packaging. Polymer Testing, vol. 20, no. 1, pp. 49–57, 2000.
11. **J. Lagaronas, R. Catala & R. Gavara.** Structural Characteristics defining high barrier properties in polymeric materials, 2013.
12. **Mo Chen, Yuang Wang, Shijiu Yin.** Effects of Temperature and Humidity on the barrier Properties of Biaxially-oriented Polypropylene and Polivinyl Akohol Films, 2014, p. – 45.
13. **Aaron L. Brody, Betty Bugusu, Jung Han, Claire Koelschsand, Tarah Mcugh.** The Institute of Food Technologists has issued this Scientific Status Summary to inform readers of recent innovations in food packaging materials. „Innovative Food Packaging Solutions“ Vol. 73, Nr. 8, 2008 - JOURNAL OF FOOD SCIENCE.
14. **J.Lange. Ybes Wyser.** Recent Innovations in Barrier Technologies for Plastic Packaging. 2003, p.–149-158.
15. **Aaron L. Brody, Betty Bugusu, Jung Han, Claire Koelschsand, Tarah Mcugh.** Innovative Food Packaging Solutions. 2008, p. 111.
16. **C. F. Strullera, b, 1 , P. J. Kellya , N. J. Copelandb and C. M. Liauwc.** Aluminum oxide barrier layers on polymer web.

17. **Paolo Scopece, Andrea Viaro, Roberta Sulcis, Ilya Kulyk, Alessandro Patelli, Massimo Guglielmi.** SiO_x-Based Gas Barrier Coatings for Polymer Substrates by Atmospheric Pressure Plasma Jet Deposition. 2008, p. – 705.
18. **Sina Ebnesajjad.** Plastic Films in Food Packaging. Materials, technology and applications, 2013, p. – 86-87.
19. **SunBar.** [žiūrėta 2017m. balandžio 12d.] Prieiga per internetą:
<<http://www.sunchemical.com/product/sunbar/>>.
20. **Laminator Super Combi 3000.** [žiūrėta 2017m. balandžio 13d.] Prieiga per internetą:
<<http://www.directindustry.com/prod/nordmeccanica/product-28431-1111357.html>>.
21. **Fisher & Krecke FP 16-S.** [žiūrėta 2017m. balandžio 13d.] Prieiga per internetą:
<<http://company.unipack.ru/1503/publications/30162>>.
22. **Kampf G.** Characterization of Plastics by Physical Methods. – Hanser Publishers, 1986.
23. **Oxygen transmission rate system.** [žiūrėta 2017m. kovo 1d.] Prieiga per internetą:
<<http://www.labthinkinternational.com/product/classic-230-oxygen-transmission-rate-tester.html>>
24. **Fizikinių tyrimų metodika.** UAB „Aurika“ fizikinių tyrimų laboratorijos metodinė medžiaga
25. **Pakuotės su modifikuota atmosfera.** [žiūrėta 2017m. balandžio 13d.] Prieiga per internetą:
<http://www.aga.lt/lt/processes_ren/modified_controlled_atmospheres/modified_atmosphere_packaging/index.html>.

PRIEDAI

Priedas Nr. 1

1 lentelė. Laminavimo ir lakavimo įrenginio techniniai duomenys

Dengiamos juostos plotis	1315 mm
Maks.mechaninis greitis	400 m/min
Elektros duomenys	400V, 50Hz, 135A, 250A
Didžiausia temperatūra	150 °C
Dujų slėgis	30±150 mBar

2 lentelė Fleksografinė spaudos mašina Fisher & Krecke FP 16-S techniniai duomenys

Elektros duomenys	400V, 50Hz., 3 fazės, 280kVA, 400A
Maks.mechaninis greitis	460 m/min.
Spausdinimo presų skaičius	10
Spausdinimo plotis	1250 mm
Medžiagos plotis	1300 mm
Min.spaudmenų ilgis	320 mm
Maks.spaudmenų ilgis	880 mm
Spausdinamoji medžiaga	PE (20µm – 100 µm)
	LDPE (20µm – 100 µm)
	HDPE (20µm – 100 µm)
	PET (10µm – 100 µm)
	PA (10µm – 100 µm)
	PP ((20µm – 100 µm)

3 lentelė Įrenginio Labthink OX2/ 230 techninės charakteristikos

Drėgmės diapazonas	0% RH, 35% RH ~ 90% RH
Drėgmės tikslumas	± 1% RH
Temperatūros tikslumas	± 0,1° C
Naudojamos dujos	Deguonis
Matavimo plotas	50 cm ²
Nešančios dujos	99.999 grynos azoto dujos arba azoto su 2% vandenilio.
Nešančių dujų slėgis	≥ 0,28MPa
Įrenginio dydis	690 mm x 350 mm x 360 mm
Įrenginio svoris	70g