



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

Justina Kiudulaitė

**DAUGIASLUOKSNIŲ POLIMERINIŲ MAISTO PAKUOČIŲ
TERMOSTABILUMO VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Eglė Fataraitė-Urbonienė

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

DAUGIASLUOKSNIŲ POLIMERINIŲ MAISTO PAKUOČIŲ
TERMOSTABILUMO VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Plastikų inžinerija (621J40001)

Vadovas

Doc. dr. Eglė Fataraitė-Urbonienė

Recenzentas

Doc. dr. Tadas Kleveckas

Projektą atliko

Justina Kiudulaitė

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Justina Kiudulaitė

(Studento vardas, pavardė)

Plastikų inžinerija (621J40001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Daugiasluoksnių polimerinių maisto pakuočių termostabilumo vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 29 d.

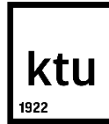
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Justinos Kiudulaitės**, baigiamasis projektas tema „Daugiasluoksnių polimerinių maisto pakuočių termostabilumo vertinimas“ 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 nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
(fakulteto pavadinimas)

20__-__-__ Nr. __-__

RAŠTO DARBO PLAGIATO NUSTATYMO AKTAS
2017 m. gegužės 29 d.
(data)

Studento duomenys

Justina Kiudulaitė Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(studento vardas, pavardė, fakultetas)

Plastikų inžinerija, magistras, MD M-5/8

(studento studijuojama studijų programa, pakopa, kursas, akad. grupė)

Studijų modulio duomenys

T000M193 Magistro baigiamasis projektas 01 Pagrindinė; 30kr.

(studijų modulio, kurio rašto darbe nustatytas plagiatas, pavadinimas, kodas ir apimtis kreditais)

Pažeidimo aprašymas (studijų modulio dėstytojas / baigiamojo projekto vadovas pažymi tinkamą atsakymą ☒)

Bendra rašto darbo sutaptis su kitais šaltiniais bei paties autoriaus darbais, kuri laikoma plagiatu iki 14 % 15–24 % 25 % ir daugiau

Didžiausia bendra rašto darbo sutaptis su vienu kito autoriaus šaltiniu, kuri laikoma plagiatu iki 4 % 5 % ir daugiau

Plagiatu laikoma sutaptis paneigia rašto darbo vertę iš esmės Taip Ne

(Jei reikia, nurodykite kitas aplinkybes: plagiatas tyčinis ar dėl studento nežinojimo, studentas jau buvo įspėtas anksčiau dėl plagijavimo ir pan.)

Pridedama (pažymėkite):

- originalumo ataskaitos suvestinė
 rašto darbas, kuriame nustatytas plagiatas
 kita (įrašykite)

Studijų modulio dėstytojas /
Baigiamojo projekto vadovas

(parašas)

(vardas, pavardė)

Susipažinau:
Studentas

(parašas)

(vardas, pavardė)

Išvada dėl plagiato fakto patvirtinimo ir nuobaudos skyrimo studentui
(pildo studijų prodekanas / kvalifikacijos komisijos pirmininkas)

Studijų prodekanas /
Kvalifikacijos komisijos
pirmininkas

(parašas)

(vardas, pavardė)

Kiudulaitė Justina. Daugiasluoksnių polimerinių maisto pakuočių termostabilumo vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Eglė Fataraitė-Urbonienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: bendroji inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: daugiasluoksnės polimerinės plėvelės, termostabilumas, maisto pakuotė, mechaninės savybės tempiant.

Kaunas, 2017. 55 p.

SANTRAUKA

Daugiasluoksnės polimerinės plėvelės yra plačiai naudojamos maisto pakuočių gamybai. Prieš pakuojant maisto produktus, pakuotėms būna atliekama sterilizacija, išlaikant jas aukštoje temperatūroje tam tikrą laiką.

Tirtos polietilentereftalato (PET), polietileno (PE) ir lieto polipropileno (CPP) plėvelių, aliuminio (AL) folijos sistemos: PET/AL, PET/PET/ CPP, PET/AL/ CPP, PET/AL/PE. Laminavimui naudoti poliuretaninginiai klijai. Vertintas termostabilumas ir mechaninės savybės tempiant.

Nustatyta, kad plėvelių terminis stabilumas priklauso nuo jų kilmės ir bandinio orientacijos liejimo krypties atžvilgiu. Didžiausiu terminiu stabilumu pasižymėjo PET ir CPP plėvelės. Tuo tarpu, kai PE plėvelės matmenys skersine ir išilgine kryptimi sumažėjo net 35 %.

Tiriant daugiasluoksnių PET/AL, PET/PET/ CPP, PET/AL/ CPP plėvelių, laminuotų Adcote 811A EA /F klijais ir daugiasluoksnės PET/AL/PE plėvelės, laminuotos Adcote L 785 / CR 765 klijais, terminį stabilumą nustatyta, kad didžiausiu terminiu stabilumu pasižymi PET/AL plėvelė. Jos matmenys skersine ir išilgine kryptimi po terminio poveikio pakito nežymiai. PET/PET/ CPP plėvelės matmenys po terminio poveikio 120°C temperatūroje sumažėjo 2 kartus, o išilgine kryptimi - 3 kartus, PET/AL/ CPP plėvelės matmenys skersine ir išilgine kryptimis sumažėjo 2 kartus. PET/AL/PE plėvelės matmenys po termopoveikio 120°C temperatūroje skersine kryptimi sumažėjo 5 kartus, o išilgine kryptimi - 6 kartus.

Tirtos PET, PE, CPP polimerinių plėvelių mechaninės savybės tempiant priklausomai nuo plėvelės orientacijos liejimo krypties atžvilgiu. Nustatyta, kad didžiausiu stipriu trūkimo metu pasižymėjo PET plėvelė. PE ir CPP plėvelių stiprio tempiant vertėms plėvelės orientacijos įtaka yra nežymi. Nustatyta, kad po termopoveikio plėvelių deformacinės savybės prastėja, o stiprio tempiant vertės priklauso nuo sluoksnių kilmės ir plėvelės orientacijos liejimo krypties atžvilgiu.

Kiudulaitė Justina. Evaluation of Thermostability of Multilayer Polymeric Food Packaging: Master's thesis/ supervisor assoc. prof. Eglė Fataraitė-Urbonienė. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: general engineering, technology science.

Key words: polymer films, multilayer polymer films, thermostability, food packaging, mechanical characteristics.

Kaunas, 2017. 55 p.

SUMMARY

Multilayer polymer films are widely used in manufacturing food packaging. Before putting food products inside them, packages usually undergo sterilization process in high temperatures.

In this work research was done on film systems composing of polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), cast polypropylene (CPP), aluminum foil (AL) : PET/AL, PET/PET/CPP, PET/AL/CPP, PET/AL/PE. Polyurethane glue was used for film lamination. Thermostability and mechanical characteristics were evaluated while stretching samples.

It was determined that thermostability of film depends on its origin and casting orientation. It was found that most thermostable films are PET and CPP. While PE showed 35% reduction of its size.

While researching multilayer PET/AL, PET/PET/CPP, PET/AL/CPP films laminated with Adcote 811 A EA/F glue and PET/AL/PE film laminated with Adcote L 785/CR765 glue, it was concluded that PET/AL film shows highest thermostability. Its dimensions after testing showed practically no change. PET/PET/CPP films dimensions after thermal exposure to 120°C temperature reduced 2 times in size laterally and 3 times longitudinally. PET/AL/CPP film dimensions laterally and longitudinally decreased twofold. PET/AL/PE film after exposure to 120°C temperature shrunk 5 times laterally and 6 times longitudinally.

PET, PE, CPP polymer films mechanical characteristics dependence on film orientation during casting was researched. It was found that PET film had highest tensile strength. PE and CPP film casting orientation had no impact for its tensile strength. It was determined that after exposure to thermal effect, film deformation properties get worse, and tensile strength depends on film origin and film orientation during molding process.

TURINYS

SANTRUMPŲ SAŖAŠAS	8
ĮVADAS	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA	10
1.1. Daugiasluoksnių polimerinių plėvelių pakuotėms savybės	10
1.2. Daugiasluoksnių polimerinių plėvelių gamybos technologijos, savybių tyrimo metodai ..	17
2. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	21
3. DARBO METODIKA	22
3.1. Tyrimų medžiagos	22
3.2. Daugiasluoksnių plėvelių gamybos metodika	23
3.3. Bandinių storio matavimo metodika.....	24
3.4. Terminio atsparumo vertinimo metodika	24
3.5. Mechaninių savybių nustatymo metodika	25
3.6. Rezultatų matematinė statistinė analizė.....	26
4. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....	27
4.1. Polimerinių plėvelių terminio atsparumo vertinimas	27
4.2. Polimerinių plėvelių savybės tempiant.....	30
4.3. Terminio poveikio ir kilmės įtaka polimerinių plėvelių mechaninėms savybėms tempiant ..	39
IŠVADOS.....	46
LITERATŪROS SAŖAŠAS.....	48
PRIEDAI	50

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AL – aliuminio folija

CPP – lietas polipropilenas

L₀ – pradinis ilgis, išilgine kryptimi, mm

L – po terminio poveikio ilgis, išilgine kryptimi, mm

ΔL – matmenų pokytis išilgine kryptimi, %

PE – polietilenas

PET – polietileno tereftalatas

T₀ – pradinis ilgis, skersine kryptimi, mm

T – po terminio poveikio ilgis, skersine kryptimi, mm

ΔT – matmenų pokytis skersine kryptimi, %

h – storis, mm

t – temperatūra, °C

s – sekundės

τ – laikas

σ – stipris tempiant, MPa

ε – ištįsa, %

IVADAS

Daugiasluoksnės plėvelės yra plačiai naudojamos maisto produktų pakuočių gamybai, norint apsaugoti nuo aplinkos poveikio ir kuo ilgiau išsilaikyti nepakitusią gaminio prekinę išvaizdą. Svarbu, kad maistas patektų į dezinfekuotą pakuotę, o su pakuote į maistą nepatektų nešvarumai. Dėl šios priežasties pakuotės prieš pakavimą būna sterilizuojamos.

Sterilizacija – tai procesas, kurio metu daugiasluoksnė plėvelė būna kaitinama 100 °C ir aukštesnėje temperatūroje $\tau=2-10$ min. Todėl laminuotos daugiasluoksnės polimerinės maistinės pakuotės turi būti atsparios aukštos temperatūros poveikiui sterilizacijos metu.

Plėvelių sterilizacija būna atliekama jau po spausdinimo ir paruošus reikiamą produkciją pakavimui, todėl temperatūros poveikis negali pakeisti plėvelės estetinės išvaizdos ir mechaninių savybių. Yra žinoma, kad maistinių pakuočių mechaninės, barjerinės ir terminės savybės priklauso nuo jos gamybai naudojamų sluoksnių kilmės, todėl pagrindinis šio darbo tikslas – ištirti daugiasluoksnių plėvelių atskirų sluoksnių kilmės įtaką jų terminiam atsparumui ir savybėms tempiant.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Daugiasluoksnių polimerinių plėvelių pakuotėms savybės

Jau nuo 1970 metų lanksčios pakuotės yra vienas iš sparčiausiai augančių pakuočių gamybos sektorių. Didžiausias šių pakuočių pranašumas lyginant su kitomis pakuotėmis yra lankstumas, mažas storis ir gebėjimas prisitaikyti prie pakuojamo produkto formos. Kai nebeužteko pakuotės lankstumo ir mažo barjerų skaičiaus, buvo pradėti moksliniai tyrimai, siekiant atrasti naujas struktūras, kurios pasižymėtų geresnėmis barjerinėmis savybėmis. Taip buvo pradėtos gaminti daugiasluoksniės pakuotės, kurios buvo sudarytos iš skirtingų kilmės medžiagų ir su galimybe vienoje pakuotėje turėti kelis skirtingus barjerus [1].

Deguonies ir drėgmės absorbcija į pakuotės vidų tai dvi savybės, dėl kurių supakuotas maistas gali prarasti savo maistinę vertę, gerą skonį, traškesį ir kt. Visa tai gali būti išspręsta naudojant daugiasluoksnes struktūras, kurios apsaugo produktą nuo kontakto su aplinkos oru ir drėgme. Šios pakuotės taip pat gali padėti išspręsti ir ekologines problemas, mažinant pakuotėms reikalingos žaliavos kiekį [2].

Pakuotės tikslas yra izoliuoti ir apsaugoti gaminius nuo mechaninių pažeidimų, o taip pat nesąveikauti su juo [3, 4]. 1.1 lentelėje yra pateikiama pakuočių klasifikacija ir joms keliami reikalavimai.

1.1 lentelė. Daugiasluoksnių polimerinių plėvelių reikalavimai ir savybės

Eil. Nr.	Paskirtis	Reikalavimai ir savybės
1.	Pakuotės naudojamos medicinoje	Sterilizacijos galimybė; mikrobinis barjeras; atsparumas pradūrimui; savybė plyšti lygiai.
2.	Maisto pakuotės	Pakuotės liečiasi su maistu, todėl turi būti nekenksmingos, higieniškos ir nepalikti liekanų ant maisto produktų. Yra skiriama 13 maistinių pakuočių grupių [5].
2.1.	Neapdorotos ir šviežios mėsos pakuotės (susitraukiančios vakuume)	Reikalingas didelis susitraukimo laipsnis, kad visiškai apgobtų neregulias formas; puikios optinės savybės; žemas susitraukimo laipsnis; turi būti minkštos ir elastingos; reikalingas barjeras deguoniui, drėgmei, kvapui, riebalams; atsparumas šaldymui; turi pailginti produkto galiojimo laiką; turi lengvai išsipakuoti; turi turėti mažesnę deguonies laidumo laipsnį nei 1.0 m ³ per dieną [6].

Eil. Nr.	Paskirtis	Reikalavimai ir savybės
2.2.	Apdorotos mėsos pakuotės	<p>Šiems produktams naudojama barjerinė plėvelė, dėl kurios deguonis nepatenka į pakuotę, taip pailginant produkto galiojimo laiką. Pakuotes gali sudaryti:</p> <ul style="list-style-type: none"> barjerinis sluoksnis; spausdinimo sluoksnis, dažniausiai iš polietileno tereftalato (PET) arba poliamido (PA), šis sluoksnis taip pat suteikia atsparumą mechaniniam poveikiui; mažo linijinio tankio polietileno (LLDPE) arba itin mažo tankio polietileno (ULDPE) stiprinamasis sluoksnis; hermetiškas sluoksnis, kuris gali būti iš LLDPE [7].
2.3.	Paukštienos ir žuvies pakuotės	<p>Šiose pakuotėse labai svarbu drėgmės barjeras. Šios pakuotės dažniausiai yra vakuumuojamos ir jose naudojami hermetiški polimerai, tokie kaip etileno-vinil acetato kopolimeras (EVA), LLDPE.</p>
2.4.	Sausų pusryčių maišeliai	<p>Šios pakuotės turi drėgmės barjerą. Jo gamybai naudojamas didelio tankio polietilenas (HDPE), EVA ar jų mišiniai [8].</p>
2.5.	Užkandžių pakuotės	<p>Bulvių traškučių pakuotėms dažniausiai naudojamos daugiasluoksnės metalizuotos plėvelės. Polimerinės plėvelės metalizavimas suteikia deguonies, drėgmės ir šviesos barjerines savybes. Šviesos barjeras reikalingas tam, kad apsaugotų nuo ultravioletinės spinduliuotės poveikio. Sujungimas kaitinant turi būti patvarus, bet tuo pačiu ir lengvai atidaromas vartotojo. Patrauklumas vartotojui taip pat yra svarbus faktorius.</p>
2.6.	Sūrių užkandžių pakuotės	<p>Sūrių užkandžių pakuotės dažniausiai turi daug riebalų, todėl pakuotei reikalingas deguonies barjeras, kad negestų riebalai. Pakuotės turi būti atsparios riebalams, kad jie neįsiskverbtų į medžiagą. Sūrūs užkandžiai gali būti supakuoti barjerine plėvele su folija, metalizuota polimerine plėvele iš etileno vinilo alkoholo (EVOH) arba polivinilideno chlorido (PVDC).</p>
2.7.	Kepinių pakuotės	<p>Pakuočių, naudojamų kepiniams pakuoti, pagrindinė savybė yra drėgmės barjeras. Tai užtikrinama naudojant plėveles iš LDPE, LLDPE, HDPE arba polipropileno (PP). Sandarumo ir optinėms savybėms užtikrinti naudojama EVA kopolimero plėvelė. Skonio ir aromato barjerui naudojamos polietileno (PE) plėvelės.</p>

Eil. Nr.	Paskirtis	Reikalavimai ir savybės
2.8.	Sūrio pakuotės	Sūrio ir tarkuoto sūrio pakuotėms reikalingas labai geras deguonies barjeras, kad neaugtų pelėsis ir produktas negestų. Kaip deguonies barjeras dažniausiai naudojamas EVOH, PVDC arba PVOH. Sūrio pakuotės turi būti sandarios ir atsparios pažeidimams [9].
2.9.	Pieno maišeliai	Pieno maišeliai turi būti sandarūs. Jų gamybai naudojamas LLDPE arba LDPE ir LLDPE mišinys. Jei reikalingas ilgas galiojimo laikas ir geras deguonies barjeras, tada naudojamos PA plėvelės [7].
2.10.	Šaldytų maisto produktų pakuotės	<p>Daug maisto produktų pakuojama PE plėvelėje su spauda. Brangesni produktai pakuojami daugiasluoksnėse pakuotėse. Pagrindiniai pakuočių reikalavimai:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stiprumas žemoje temperatūroje; • Didelis sandarumas; • Sujungimas kaitinant turi būti patvarus. <p>Kai kurios pakuotės turi būti skaidrios, o kitos – blizgios. Šioms pakuotėms gaminti naudojamos LLDPE, ULDPE, EVA ir POP plėvelės. Greitam pakavimui pakuotės turi būti standžios. Pakuotės taip pat turi būti atsparios plyšimui ir pradūrimui, kad nebūtų pažeistos transportavimo ir sandėliavimo metu.</p>
2.11.	Šviežių nuskintų vaisių ir daržovių pakuotės	Pagrindinis reikalavimas, keliamas šviežių produktų pakuotėms, yra deguonies ir anglies dioksido laidumas. Norint pailginti produktų galiojimo laiką, šių pakuočių deguonies ir anglies dioksido pralaidumo santykis turi sutapti su produkto dujų išskyrimu, nes nuskinti produktai naudoja deguonį ir išskiria anglies dioksidą. Tam, kad iš aplinkos nepatektų dujos, šios pakuotės turi būti visiškai sandarios. Pakuotės gali būti gaminamos iš PP, LLDPE, ULDPE, EVA.
2.12.	Maišeliai konteineriai	Šios lanksčios daugiasluoksnės pakuotės vis dažniau naudojamos vietoje metalinių sandarių skardinių. Maišeliai dažniausiai gaminami iš dviašės orientacijos PE, deguonies barjerui naudojama aliuminio folija, kaip sandarumo plėvelė naudojama PP. Šie maišeliai naudojami ilgą galiojimo trukmę turintiems produktams pakuoti (konservams, gyvūnų maistui). Pakuotė turi būti atspari aukštos temperatūros poveikiui.

Eil. Nr.	Paskirtis	Reikalavimai ir savybės
		Pagrindinės šių pakuočių savybės yra stiprumas, sandarumas, barjeriškumas [10].
2.13.	Maistinio aliejaus pakuotės	Maistinio aliejaus pakuotėse dėl reikalingo deguonies barjero savybių naudojamas PA, sandarumui padidinti dažniausiai naudojama etilileno-akrilo rūgštis. [10]

Apibendrinant galima išskirti šias pagrindines medžiagų, naudojamų pakuotėms, savybes:

- barjerinės savybės – pakuočių gamybai labai svarbu daugiasluoksnės plėvelės barjerinės savybės, t.y. plėvelės gebėjimas pasipriešinti tam tikrų dalelių (jonų, atomų, molekulių) difuzijai per medžiagą [11];
- laidumas vandens garams – drėgmės patekimas į pakuotę arba iš jos, gali neigiamai paveikti pakuotėje esančius produktus ir sutrumpinti jų galiojimo laiką. Šiai charakteristikai nusakyti nustatomas vandens garų laidumo koeficientas, parodo drėgmės per tam tikrą laiką persiskverbia per tam tikrą medžiagos plotą [12];
- selektyvus pralaidumas – deguonies ir anglies dioksido laidumas siekiant pratęsti produkto galiojimo laiką;
- atsparumas pažeidimams – tam kad nebūtų pakenkta pakavimo medžiagai ir pakuotės turiniui transportavimo ir sandėliavimo metu. Nustatomas atsparumas pradūrimui, plyšimui ir smūgiams. Kai kurios pakuotės turi pasižymėti stipriai žemose temperatūrose arba neprarasti savybių po terminio poveikio;
- nesudėtingas siūlės sudarymas – tam kad pakuotės galėtų būti gaminamos dideliu greičiu ir užlidydas būtų patvarus;
- patrauklumas vartotojui – pakuotės išvaizda yra svarbus faktorius norit pritraukti vartotoją. Tam daugiausiai įtakos turi spaudos kokybė ir pakuotės blizgumas [4],[10].

Daugiasluoksnėms pakuotėms gaminti naudojamas platus plėvelių asortimentas. Kiekviena plėvelė pasižymi skirtingomis savybėmis, todėl dažniausiai jų deriniai parenkami atsižvelgiant į plėvelės paskirtį ir naudojimo pobūdį. Pagrindinės plėvelių gamybai naudojamų medžiagų savybės yra pateiktos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Daugiasluoksnių polimerinių pakuočių asortimentas [4, 13, 14]

Eil. Nr.	Medžiagos pavadinimas	Savybės	Panaudojimo sritis
1.	Polietilenas (PE)		
	Itin mažo tankio polietilenas (ULDPE)	Didelis suvirintos siūlės atsparumas ir hermetiškumas. Didelis atsparumas pradūrimui.	Itin patvarūs maišai, durpių maišai, prekybiniai maišeliai, pakuotės sūriui, mėšai, kavai, skalbiklių pakuotės.
	Mažo tankio polietilenas (LDPE)	Didelis elastingumas.	Maisto pakuotės, duonos kepinių ir kita, tekstilės pakuotės.
	Mažo linijinio tankio polietilenas (LLDPE)	Didelis elastingumas.	Agro plėvelės.
	Vidutinio tankio polietilenas (MDPE)	Didelis elastingumas.	Siuntimo vokai, patvarūs siuntinių maišai, šviežių produktų pakuotės.
	Didelio tankio polietilenas (HDPE)	Didelis elastingumas.	Maisto pakuotės: pieno produktai, vandens buteliukai, kosmetika, medicinos produktai, namų apyvokos cheminių medžiagų laikymas.
2.	Polipropilenas (PP)	Mažas tankis, ekonomiška, naudojama vietoj: polietileno, polivinilchlorido, poliesterio.	Termo vakuumavimams, maisto, namų apyvokos chemikalų, kosmetikos, permatomos pakuotėms, elektriniuose kondensatoriuose.
	Dviašio orientavimo polipropilenas (BOOP)	Puikus atsparumas pradūrimui, geros deguonies bei aromato barjerinės savybės.	Užkandžių ir tabako pakuotėse, sintetinio popieriaus gamyboje, maisto pakuotėms.
	Dviašio orientacijos poliamidas (BOPA)	Puikus atsparumas pradūrimui, geros deguonies bei aromato barjerinės savybės.	Pakuotės sūriui, dešrelėms, žuviai ir skystiems produktams.

Eil. Nr.	Medžiagos pavadinimas	Savybės	Panaudojimo sritis
3.	Polibutenas-1 (PB - 1)	Lengvai atsiderančios, nulupamos pakuotės	Maisto ir medicininės pakuotėms.
4.	4 –metilpentanu – 1 pagrindu gauti poliolefinai (PMP)	Lengvas, labai gera elektros izoliacija, atsparumas hidrolizei, labai didelis skaidrumas, dujų pralaidumas, atsparumas karščiui ir cheminiams junginiams.	Popieriaus padengimas, kepimo popierius, laidžios vaisių ir daržovių pakuotės.
5.	Ciklinis poliafino kopolimeras (COC)	Itin žemas vandens sugeriamumas, puikios vandens garų barjero savybės, didelis tvirtumas ir kietumas, atsparumas rūgštims ir šarmams.	Tablečių pakuočių suplyštantis sluoksnis, maisto pakuotės.
6.	Polietilentereftalatas (PET)	Labai standus, tvirtas, didelis elastingumas, maža vandens sugertis.	Kepimo maišeliai, audio, video kasetės, pernešamoji plėvelė.
7.	Polietileno naptalatas (PEN)	Panašus į PET tik tvirtesnis, atsparesnis aukštai temperatūrai, atsparus hidrolizei.	Tekstiliniai ir industriniai pluoštai, plėvelės, talpos gazuotiems gėrimams, vandeniui ir kitiems skysčiams.
8.	Polikarbonatas (PC)	Didelis stipris, didelis skaidrumas, atsparumas aukštai temperatūrai, UV šviesai, nedegus.	Medicininė prietaisų pakuotėms.
9.	Polistirenas (PS)	Atsparus smūgiams.	Jogurto, grietinėlės, sviesto, mėsos, kiaušinių, vaisių, tortų, kepinių, sausainių pakuotės. Medicininės pakuotės, mažų ir didelių buities prietaisų pakuotės.
10.	Polivinilchloridas (PVC)	Stiprus, skaidrus. Pats didžiausias atsparumas temperatūrai.	Buteliai, dėžutės.
11.	Plivinilidenochloridas (PVDC)	Nepraleisti specifinių dujų į pakuotę.	Maistinės plėvelės, medicininės pakuotės,

Eil. Nr.	Medžiagos pavadinimas	Savybės	Panaudojimo sritis
			šviežios mėsos, sūrio ir dešrelių pakuotės.
12.	Poliamidas 6 (PA 6)	Tvirtas, atsparus drėgmei, cheminis atsparumas, atsparumas ilgalaikiams aukštam karščiui, didelė vandens absorbcija.	Daugiasluoksnės maisto ir medicininių priemonių pakuotės, maišeliai ir tvirtos plėvelės.
13.	Poliamidas 12 (PA 12)	Labai maža drėgmės absorbcija, mažas trinties koeficientas, mažas stiprumas ir atsparumas karščiui.	Dešrelių apvaskalams ir šaldytų produktų pakuotėms.
14.	Poliamidas 66 (PA 66)	Atsparumas cheminėms medžiagoms, didelė vandens absorbcija, atsparumas ilgalaikiams aukštam karščiui, prastas atsparumas rūgštims ir bazėms.	Mėsos ir sūrio, užkandžių, padažų, kavos pakuotės, meno kūrinių transportavimo plėvelė.
15.	Poliamidas 66/610 (PA 66/610)	Atsparumas cheminėms medžiagoms, didelė vandens absorbcija, atsparumas ilgalaikiam aukštam karščiui, prastas atsparumas rūgštims ir bazėms.	Lanksčios maisto pakuotės, medicininės pakuotės.
16.	Poliamidas 6/12 (PA 6/12)	Labai atsparus: smūgiams, riebalams, kurui, vandeniui, naftos produktams. Mažas trinties koeficientas.	Daugiasluoksnės pakuotės ir pakuotės, kurias galima virti.
17.	Poliamidas 6/69 (PA 6/69)	Didelis stiprumas ir atsparumas nusidėvėjimui.	Brandinamo sūrio pakuotės, susitraukiančios pakuotės mėsai, sūriui, dešrelėms ir žuviai.
18.	Amorfinis poliamidas	Labai didelis skaidrumas, atsparumas aukštai temperatūrai, smūgiams, geros elektrinės savybės.	Mėsos ir sūrio pakuotės, permatomi buteliai, pakavimo plėvelė.

Šiuo metu yra sukurtos technologijos, kurias taikant galima gaminti 3, 5 arba 7 sluoksnių plėvelę, bet pačios populiariausios yra 3 sluoksnių plėvelės. Vidurinis sluoksnis dažniausiai gaminamas iš PP, o išoriniai sluoksniai sudaryti iš PP kopolimero [4]. Išoriniai sluoksniai turi žemesnę lydymosi temperatūrą, kuri yra reikalinga pakuočių uždarymo kaitinant procese. Procesas vykdomas temperatūrose, kuriose pagrindinis sluoksnis nesideformuoja. Išoriniai sluoksniai lemia šias savybes:

- sliduma, trinties koeficiento dydis, paviršiaus šiurkštumą;
- sandarumą;
- paviršiaus tinkamumą spaudai, klijavimui ir metalizavimui;
- antistatiškumą;
- karšto užlydymo;
- skaidrumą;
- blizgumą;
- baltumą;
- standumą;
- barjerines savybes.

Naudojant penkių sluoksnių plėveles, galima gauti pakuotes pasižyminčias geresnėmis optinėmis: blizgumo, skaidrumo, matiškumo savybėmis. Jos taip pat turi privalumų kainos atžvilgiu. Brangios plėvelės dažniausiai naudojamos kaip tarpiniai sluoksniai, taip suteikiama papildomų savybių [4][15].

1.2. Daugiasluoksnių polimerinių plėvelių gamybos technologijos, savybių tyrimo metodai

Parinkus vieną polimerą dažniausiai nėra užtikrinami visi galutiniam produktui keliami reikalavimai, tokie kaip didelis mechaninis, terminis atsparumas, standumas, optinės savybės, barjerinės savybės ir kt. Tam, kad būtų gautas visų savybių kompleksas, naudojamos daugiasluoksnės polimerinės struktūros, apimančios daug platesnį savybių spektrą. Plėvelės gali būti puikus pasirinkimas tiek lankstiems, tiek standiems gaminiams. Jos gali būti gaminamos iš įvairių medžiagų, parenkamų priklausomai nuo produktui keliamų reikalavimų. Daugiasluoksnės polimerinės plėvelės dažniausiai sudaro du ar daugiau sluoksnių. Daugiasluoksnė plėvelė, net jei ji sudaryta iš trijų tos pačios medžiagos sluoksnių, yra 25-30 % atsparesnė plyšimui, nei tos pačios medžiagos storesnė vienasluoksnė plėvelė. Šis savybės pagerėjimas leidžia sumažinti gaminamos plėvelės storį, taip

sutaupant 35-40 % žaliavos. Daugiasluoksniškumas taip pat pagerina barjerines savybes ir leidžia plėveles panaudoti sudėtingiems gaminiams, kuriems keliami kompleksiniai reikalavimai. [2]

Yra daugybė būdų jungti skirtingas medžiagas į daugiasluksnę struktūrą. Toliau detaliau pateikiami keli gamybos metodai.

Metodas „sluoksnis po sluoksniu“ – tai paprastas ir universalus plonų plėvelių gaminimo metodas. Visos medžiagos, pavyzdžiui polimerai, proteinais, nano dalelės, gyvos ląstelės ir kitos, kurios gali būti naudojamos kaip vandeniniai tirpalams ir gali suformuoti jonų ar vandenilio jungtis, gali būti panaudotos daugiasluksnėse kompozicijose, sukurtose sluoksnis po sluoksniu metodu [16].

Ekstruzija išpučiant yra dažniausiai naudojama plėvelių gamybos technologija. Gamybos procesą sudaro keturi etapai:

- polimero granulės išlydomos į vientisą klampią masę, kuri išspaudžiama per žiedinę ekstruderio angą;
- per ekstruderio centre esančią skylę, pradedamas pūsti oras, išlydyta masė pradeda pūstis į šonus. Tam, kad plėvelės storis būtų vienodas, palaikomas pastovus slėgis;
- suformuojamas vamzdis, nuolat traukiamas iš ekstruderio. Plėvelė aušinama iš vidaus pučiant orą, tuo pačiu oro srovė kelia vamzdį į viršų;
- plėvelei atvėsus, ji traukiama per velenus ir suspaudžiama. Plėvelė pjaunama iki reikiamo pločio ir susukama į rulonus [17].

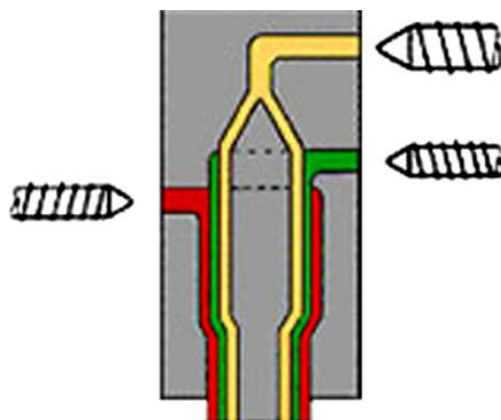
Koekstruzijos būdu gautos plėvelės yra padidinto funkcionalumo. Kai kurios savybės yra susijusios su paviršiaus savybėmis – tai trinties koeficientas, blizgesys, matiškumas, sandarumas, paviršiaus įtempumas ir imlumas chemikalams, kuris svarbus norint spausdinti ant medžiagos [19], o kitas nulemia visos plėvelės tūris [18].

Injekcinis išpučiamasis formavimas – tai dviejų etapų procesas. Šis metodas buvo sukurtas gaminti gazuotų gėrimų buteliams. Pradžioje pagaminamas tūbelės formos pusgaminis. Naudojant infraraudonąją spinduliuotę pusgaminis įkaitinamas, talpinamas į formą ir oru išpučiamas. Forma atvėsinama ir užfiksuojama galutinė gaminio forma [22].

Laminavimas – tai procesas, kurio metu du ar daugiau plėvelės sluoksnių sujungiami klėjais [23]. Gali būti derinami polimerinės plėvelės, popierius ir aliuminio folija. Klėjais padengiamas prastesnėmis absorbcinėmis savybėmis pasižymintis sluoksnis ir tada abu sluoksniai sujungiami taip gaunant dvisluksnį laminatą. Laminavimo privalumas prieš koekstruziją – galima sujungti ne tik du plastikus, bet ir kitos kilmės medžiagas, tokias kaip popierius ar aliuminis. Yra keli laminavimo būdai norint pagaminti daugiasluksnes plėveles.

1.1 paveiksle pavaizduotas koekstruzijos blokas, kuriame trijų ekstruderių pagalba pagaminama trijų sluoksnių asimetrinė struktūra. Šis produktas išorėje turi barjerą, o tarpinis

sluoksnis sujungia barjerinį su pagrindiniu sluoksniu [20]. Naudojant vėsinimo velenus plėvelė atvėsinama ir susukama į ruloną [21].



1.1 pav. Daugiasluoksnių plėvelių gamybos koekstruzijos blokas

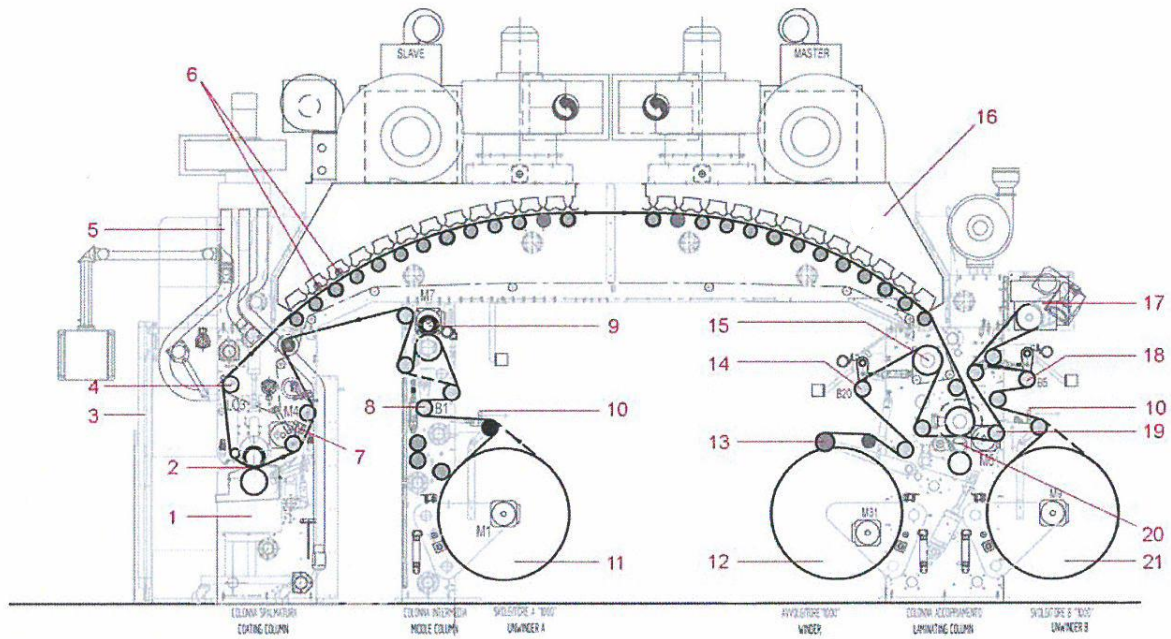
Ekstruzinis laminavimas – tai metodas, kai išlydytas polimeras ekstruderiu užnešamas iš abiejų pusių ant kitos plėvelės. Tada visi trys sluoksniai suspaudžiami ir atvėsunami velenais.

Laminavimas su klėjais. Šiai kategorijai priskiriami keli metodai [25]:

- šlapias laminavimas – plėvelė padengiama klijų sluoksniu, dažniausiai velenų arba peilių, pučiant orą metodais. Tada plėvelės suspaudžiamos velenų pagalba [23];
- sausas laminavimas – plėvelės padengiamos klijų sluoksniu, išdžiovinamos ir po to abu sluoksniai sujungiami įkaitintu presavimo įrenginiu [23];
- laminavimas vašku – plėvelė padengiama vašku arba klijų lydalų sluoksniu ir po to abi medžiagos suspaudžiamos. Dažniausiai naudojamas popierius – popierius sistema arba folija – popierius sistemų laminavimui [25];
- betirpiklinis laminavimas – tai laminavimas klėjais, kurie savo sudėtyje neturi organinių tirpiklių. Laminavimo procese nebelieka kaitinimo kameros, užnešus klėjais plėvelės yra suspaudžiamos velenų pagalba [23];
- karštas laminavimas – tai kai dvi plėvelės sujungiamos tarp velenų veikiant slėgiu ir temperatūra, o vėliau atvėsinant aušinimo velenais [26].

Metalizacija – tai procesas, kai polimerinė plėvelė padengiama plonu metalo sluoksniu. Įkaitintas metalas užgarinamas vakuume. Dažniausiai naudojamas aliuminis, retkarčiais nikelis ar chromas. Metalo sluoksnis labai plonas, todėl plėvelė turi geras dujų ir drėgmės barjero savybes. Metalizuota plėvelė yra gera alternatyva aliuminio folija laminuotoms plėvelėms [27].

1.2 paveiksle pavaizduotas laminavimo įrenginys. Medžiaga (11) iš rulono traukiama per velenų sistemą, patenka tarp valenų (2), kuriais užnešami klijai ant medžiagos. Medžiaga su klijais keliauja džiovinimo krosnimi (16). Iš džiovinimo krosnies medžiaga su klijais patenka į velenų sistemą (20), kurioje yra sujungiama su antra medžiaga (21). Sujungtos medžiagos susukamos į ruloną (12) ir paliekama atsigulėti.



1.2. pav. Laminavimo mašinos schema. 1 – klijų rezervuaras, 2 – užtepto sluoksnio guminis presas, 3 – apsauginės durys, 4 – apkrovos daviklis, 5 – garų ištraukimo vamzdis, 6 – infraraudonųjų spindulių lempos, 7 – jonizavimo stypai, 8 – įtempimo velenėlis, 9 – variklis, 10 – juostos nukreipimo jutiklis, 11 – išvyniojimo įrenginys, 12 – suvyniojimo įrenginys, 13 – ritės presas, 14 – įtempimo velenėlis, 15 – aušinamasis kalandras, 16 – džiovinimo krosnis, 17 – karūninis įtaisas, 18 – įtempimo velenėlis, 19 – perkeliamos ašies velenas, 20 – sujungimo blokas, 21 – išvyniojimo įrenginys

2. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Atsižvelgiant į literatūros apžvalgoje aptartus pakuočių plėvelių parinkimo principus, savybes ir gamybos būdus buvo suformuoti darbo tikslai ir uždaviniai.

Darbo tikslas – ištirti daugiasluoksnių plėvelių atskirų sluoksnių kilmės įtaką jų terminiam atsparumui ir savybėms tempiant.

Šiam tikslui pasiekti, buvo iškelti šie uždaviniai:

- nustatyti polimerinių plėvelių kilmės įtaką terminiam atsparumui;
- nustatyti daugiasluoksnių polimerinių plėvelių savybes tempiant, priklausomai nuo jų sudarančių plėvelių ir naudojamų klijų kilmės.

3. DARBO METODIKA

3.1. Tyrimų medžiagos

Tyrimams naudotų medžiagų ir jų savybių sąrašas pateiktas 1.1 ir 1.2 lentelėse.

1.1 lentelė Naudotos plėvelės ir jų savybės

Medžiagos pavadinimas, gamintojas	Žymė- jimas	Savybės			
		Storis, μm	Takumo riba, m^2/kg	Stipris tempiant, N/mm^2	
				Skersine kryptimi	Išilgine kryptimi
Polietileno tereftalatas (F-PAP), Flex Film Ltd., Lenkija	PET	12	59,52	196	186
Lietas polipropilenas (CastfolPP LS), EUROCAST Sp. Z o. O., Lenkija	CPP	80	13,9	30	40
Polietilenas (ECSTFR), Ela Wyrób olini i opakowań Sp. Z o.o., Lenkija	PE	100	11	>10,8	>14,7
Aliuminio folija (1235), Transparent Paper Ltd., Šveicarija	AL	7	46,22	70	70

1.2 lentelė Naudoti klijai ir jų savybės

Pavadinimas	Žymėjimas	Savybės					
		Komponetotipas	Koncentracija, %	Klampa, mPa*s	Tankis, g/cm ³	Tirpiklis	Maišymo santykis
Adcote 811A EA/F, The Dow Chemical Company, Italija	Klijai 1	Komponentas su izocianato (-NCO) grupėmis	75	800 – 1700	1,12	Etilacetatas EA	2:1
		Komponentas su polialio (-OH) grupėmis	75	3000-4000	1,16		
Adcote L785/CR765, The Dow Chemical Company, Italija	Klijai 2	Komponentas su izocianato (-NCO) grupėmis	60	3300-4300	1,05		10:1
		Komponentas su polialio (-OH) grupėmis	75	1800-2300	1,17		

Tyrimo metu naudotų daugiasluoksnių plėvelių sistemos pateiktos 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė Naudotų daugiasluoksnių plėvelių struktūra

Eil. Nr.	Žymėjimas	PET	PE	CPP	AL	Klijai 1	Klijai 2	Dažytas paviršius
1.	PET/AL	X			X	X		PET
2.	PET/AL/PP	X		X	X	X		
3.	PET/PET/PP	X		X		X		
4.	PET/AL/PE	X	X		X		X	PET

3.2. Daugiasluoksnių plėvelių gamybos metodika

Laminuotos daugiasluoksnės plėvelės (PET/AL/PE, PET/AL) buvo tirtos jau padengtos dažų sluoksniu. Daugiasluoksnių plėvelių laminavimas atliktas naudojant įrenginį, kurio schema pateikta 1.2 paveiksle. Laminavimo režimai: velenų spaudimo slėgis – 0,3 Mpa, kaitinimo kameros

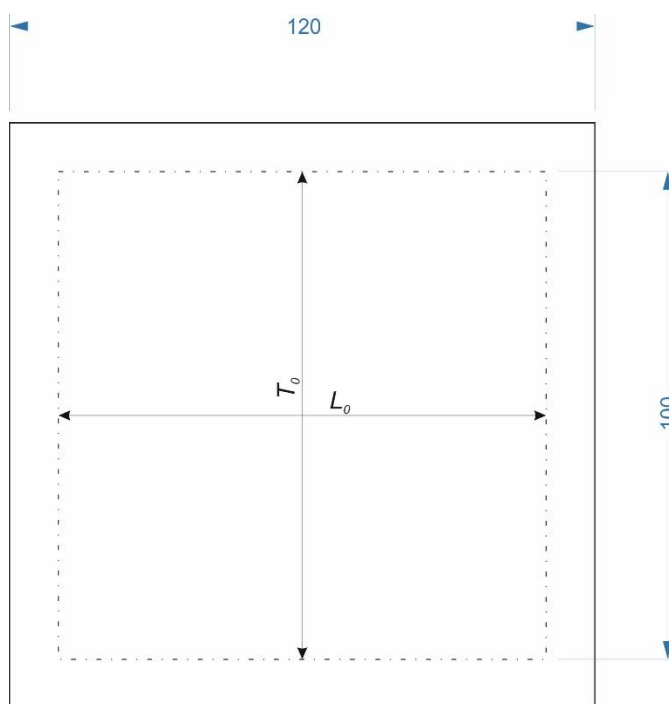
temperatūra $t=70^{\circ}\text{C} \div 90^{\circ}\text{C}$. Eksperimentas buvo atliekamas praėjus ne mažiau kaip 110 val. po laminavimo.

3.3. Bandinių storio matavimo metodika

Plėvelių storio nustatymui naudotas horizontalusis optimetras IKG (padalos vertė $0,01 \mu\text{m}$). Storis matuojamas trijuose taškuose ir išvedamas vidurkis.

3.4. Terminio atsparumo vertinimo metodika

Terminio atsparumo vertinimas buvo atliktas taikant standartinį metodą *Plastikai. Plėvelės ir lakštai. Matmenų pokyčio kaitinant nustatymas* (ISO 11501:1995). Buvo paruošti 120x120 mm bandiniai, juose pažymėta darbo zona 100 x 100 mm. Bandinių žymėjimo pavyzdys pateiktas 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Terminio atsparumo vertinimo bandinio schema

Bandiniai buvo išlaikomi kameroje $\tau=10\text{min}$, esant $85^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, keliant ją kas 5°C . Vienam eksperimentiniam taškui gauti buvo naudoti 3 bandiniai. Bandinio darbo zonai matuoti buvo naudotas skaitmeninis slankmatis (MB 601/5), tikslumas – $0,01\text{mm}$. Bandinio matmenų pokytis vertintas išilgine (L) ir skersine (T) kryptimi. Matavimai daromi prieš kaitinimą ir iškart po kaitinimo. Rezultatai skaičiuoti pagal formules:

$$\Delta L = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

$$\Delta T = \frac{T-T_0}{T_0} \times 100 \quad (4)$$

L_0 - atstumas išilgine kryptimi prieš kaitinimą;

T_0 - atstumas skersine kryptimi prieš kaitinimą;

L - atstumas išilgine kryptimi po kaitinimo;

T - atstumas skersine kryptimi po kaitinimo.

3.5. Mechaninių savybių nustatymo metodika

Mechaninių savybių tempiant įvertinimui buvo iškiršti dvigubo kastuvėlio formos bandiniai, kurių darbinė zona 50 mm x 7 mm. Mechaninės savybės buvo nustatytos aplinkos temperatūroje vienašio tempimo būdu universalia bandymo mašina H25KT (Tinius Olsen, Anglija), esant 100 mm/min viršutinio veržtuvo judėjimo greičiui. Savybės tempiant nustatytos naudojant standartinius metodus *Plastikai. Tempiamųjų savybių nustatymas. 1 dalis. Bendrieji principai* (ISO 527-1:1993) ir *Plastikai. Tempiamųjų savybių nustatymas. 3 dalis. Plėvelių ir lakštų sąlygos* (ISO 527-3:1995). Bandymo metu buvo nustatyti šie rodikliai:

Įtempiai:

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (1)$$

M – jėga, N

S – bandinio skerspjūvio plotas, mm²

Santykinė deformacija:

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100, \% \quad (2)$$

l_0 – bandinio pradinės darbinės zonos ilgis;

l – bandinio darbinės zonos ilgis deformuojant.

3.6. Rezultatų matematinė statistinė analizė

Rezultatų patikrinimui įvertinti atlikta matmenų statistinė rezultatų analizė. Skaičiuoti šie statistiniai parametrai:

Aritmetinis vidurkis:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (5)$$

X_i – atskirų bandymų reikšmė;

n – bandymų skaičius.

Vidutinis kvadratinis nuokrypis:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (6)$$

$x_i - \bar{X}$ – atskiro rezultato nuokrypis nuo aritmetinio vidurkio.

Variacijos koeficientas:

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100, \% \quad (7)$$

Pasikliautinis intervalas:

$$I = (\bar{X} - t_r R)(\bar{X} + t_r R) \quad (8)$$

R – variacijos plotis;

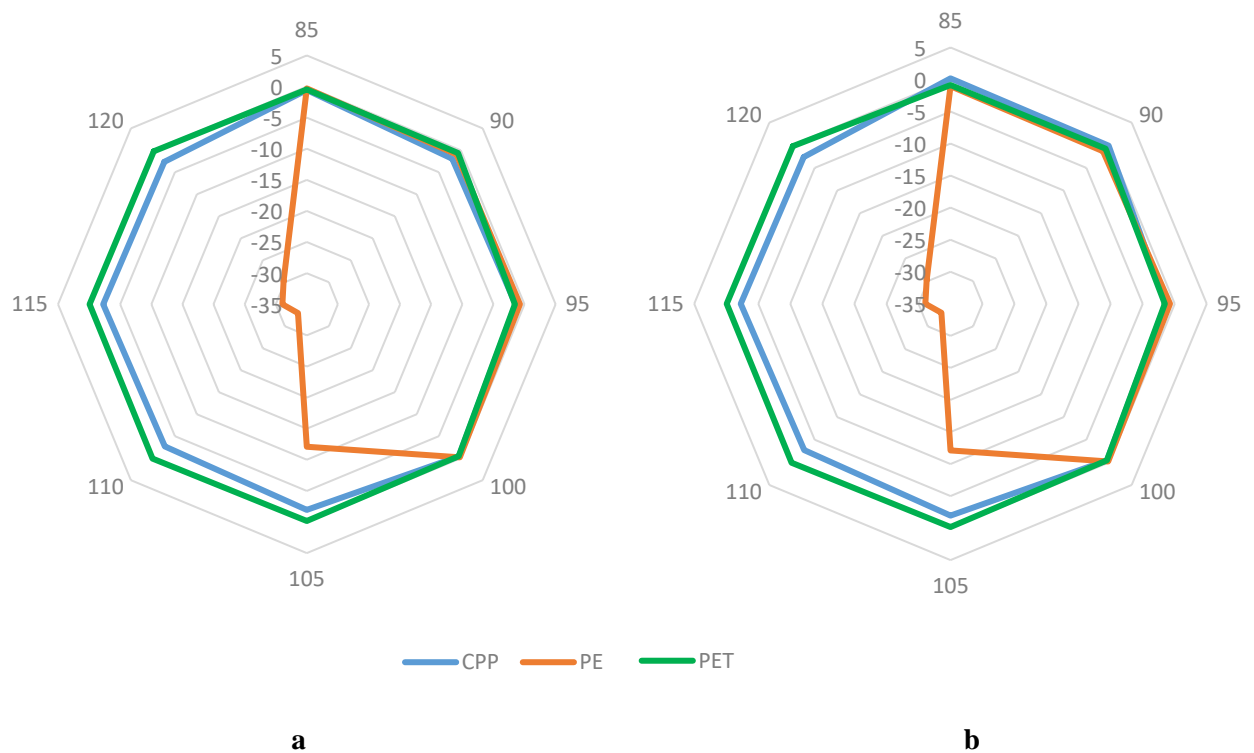
t_r – koeficientas, priklausantis nuo bandinių skaičiaus.

4. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

4.1. Polimerinių plėvelių terminio atsparumo vertinimas

Daugiasluoksnės plėvelės yra plačiai naudojamos maisto produktų pakuočių gamybai, norint apsaugoti nuo aplinkos poveikio ir kuo ilgiau išsilaikyti nepakitusių gaminio prekinę išvaizdą. Svarbu, kad maistas patektų į dezinfekuotą pakuotę, kad su pakuote į maistą nepatektų nešvarumai. Dėl šios priežasties pakuotės prieš pakavimą būna sterilizuojamos.

Sterilizacija – tai procesas, kurio metu daugiasluoksnė plėvelė būna kaitinama 100 °C ir aukštesnėje temperatūroje $\tau=2-10$ min. Siekiant išsiaiškinti atskirų sluoksnių įtaką terminiam atsparumui, buvo tiriamas tiek pavienių, tiek daugiasluoksnių plėvelių atsparumas temperatūros poveikiui.



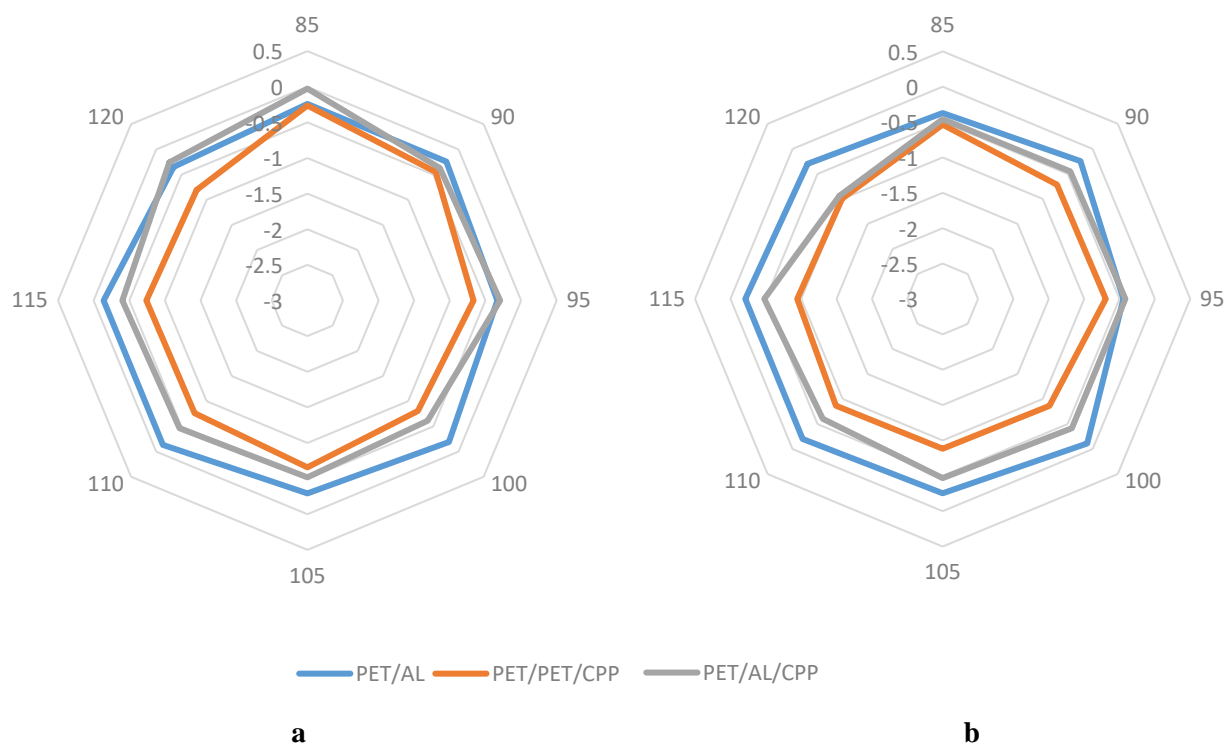
3.1.1 pav. Vienasluoksnių plėvelių matmenų pokytis po terminio poveikio

a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi.

Iš 3.1.1 pav. pateiktų rezultatų matyti, kad atsparumas terminiam poveikiui, kuris buvo vertinamas, kaip bandinio matmenų pokytis skersine ir išilgine kryptimi, priklauso nuo bandymo temperatūros ir plėvelės kilmės bei jos orientacijos krypties. Analizuojant plėvelių terminį atsparumą esant 85°C temperatūrai, matyti, kad šiomis sąlygomis plėvelės matmenys, nepriklausomai nuo jų

kilmės, išlieka nepakitę. Tokia tendencija tiriant matmenų pokytį išlieka išilgine kryptimi kylant temperatūrai iki 95°C. Toliau keliant temperatūrą, išryškėja plėvelių kilmės ir orientacijos įtaka. Nepriklausomai nuo kaitinimo temperatūros PET plėvelės matmenys išlieka beveik nepakitę tiek skersine, tiek išilgine kryptimi. Tačiau PE plėvelės matmenų pokytis išilgine kryptimi pradedamos matyti aukštesnėje kaip 100°C ir toliau keliant temperatūrą mažėja. Pasiekus aukštesnę kaip 110°C temperatūrą, PE plėvelės matmenys sumažėja net 3 kartus. Tokie patys PE plėvelės matmenų pokyčiai matomi ir skersine kryptimi. CPP plėvelių matmenys skersine ir išilgine kryptimis, po terminio poveikio aukštesnėje kaip 105°C temperatūroje tik nežymiai sumažėja.

Toliau buvo vertintas Adcote 811A EA /F poliuretatiniais klizais sujungtų polimerinių plėvelių sistemų PET/AL, PET/PET/CPP, PET/AL/CPP terminis atsparumas. Gauti rezultatai yra pateikti 3.1.2 paveiksle.

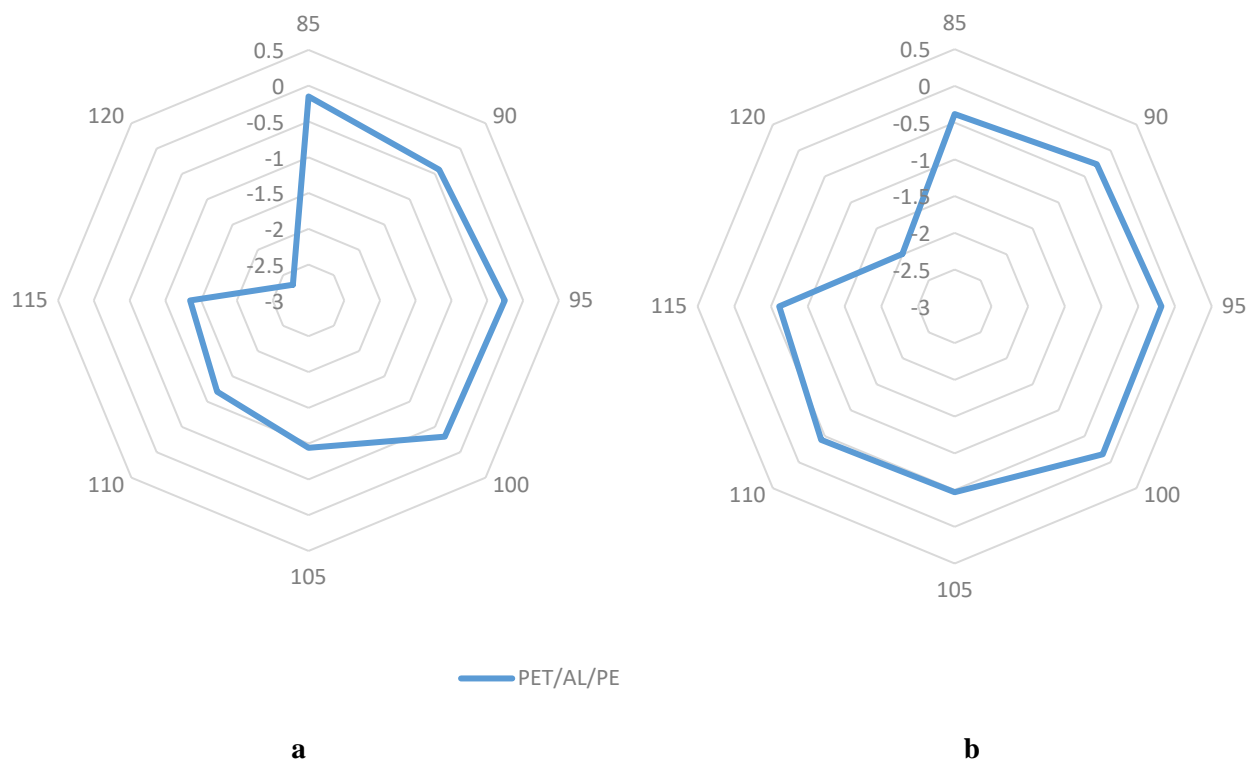


3.1.2 pav. Daugiasluoksnių plėvelių, laminuotų Adcote 811A EA /F klizais matmenų pokytis po terminio poveikio, a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

Kaip matyti 3.1.2 paveiksle, matmenų pokyčiai atsiranda jau po terminio poveikio didesnėje nei 85°C temperatūroje. PET/AL plėvelės nepasikeitė matmenų pokyčiai po terminio poveikio. PET/PET/CPP plėvelės matmenų pokytis išilgine kryptimi pradėjo matytis nuo 95°C temperatūros ir toliau keliant temperatūrą ryškesnio matmenų pokyčio nenustatyta. PET/AL/CPP plėvelės matmenų

kitimas skersine kryptimi pasikeitė nuo 115°C temperatūros ir toliau keliant temperatūrą matmenys tik mažėjo. PET/AL/PE plėvelės matmenys išilgine kryptimi po termopoveikio išliko nepakitę.

3.1.3 paveiksle yra pateikta PET/AL/PE plėvelių laminuotų su Adcote C 785/CR 765 klėjais matmenų pokyčio po termopoveikio diagrama.



3.1.3 pav. Daugiasluoksnių PET/AL/PE plėvelių, laminuotų Adcote C 785/CR 765 klėjais, matmenų pokytis po terminio poveikio, a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

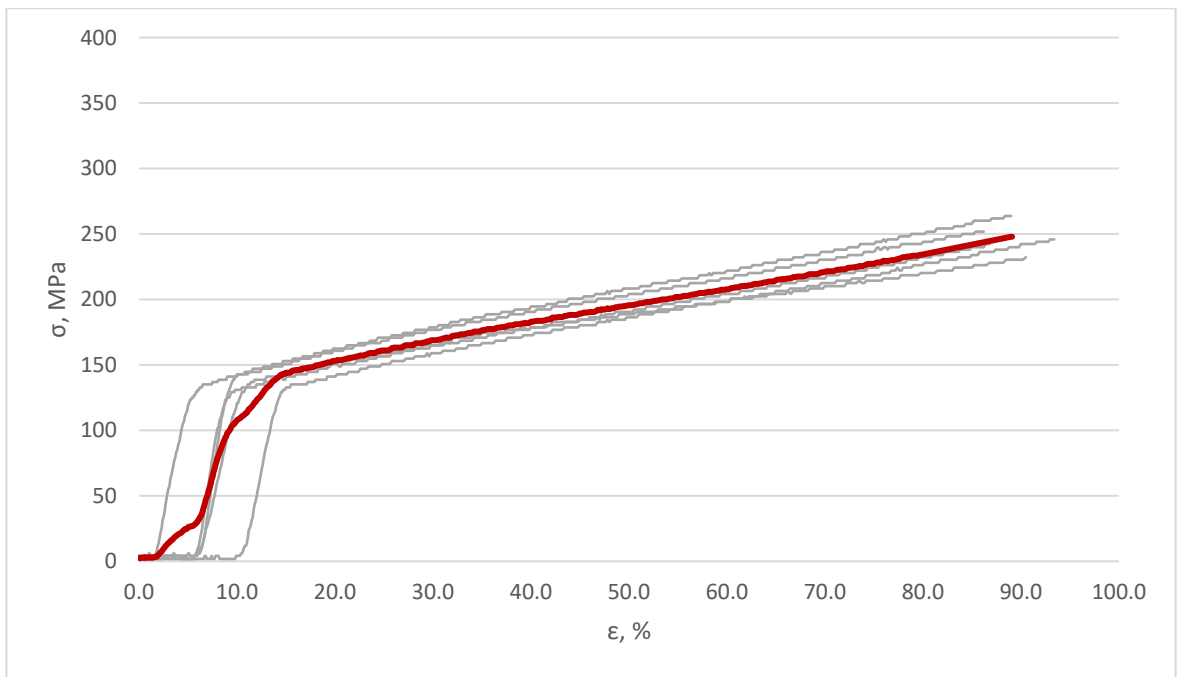
Lyginant 3.1.3 paveiksle pateiktas PET/AL/PE plėvelių termopoveikio įtakos vertinimo diagramas, matoma akivaizdi plėvelės orientacijos įtaka: matmenų pokytis išilgine kryptimi yra didesnis, nei išilgine kryptimi. Matomi matmenų pokyčiai atsiranda jau po kaitinimo 100°C ir aukštesnėje temperatūroje, skersine kryptimi matmenys sumažėjo nežymiai, o išilgine kryptimi 2 kartus. Jau esant ir 85°C kaitinimo temperatūrai, stebimas PET/AL/PE matmenų sumažėjimas tiek skersine, tiek išilgine kryptimi.

Lyginant 3.1.1 ir 3.1.2 paveikslus matyti, kad PE plėvelė turi įtakos PET/AL/PE plėvelės terminiam atsparumui, nes kaip ir PE plėvelės, ir PET/AL/PE plėvelės matmenų pokyčiai prasideda nuo 100°C temperatūros ir toliau keliant temperatūrą matmenys tik mažėja. Lyginant PET/AL, PET/PET/PE, PET/AL/PE, PET/AL/PE, PET/AL/PE plėvelių sistemas matyti, kad PET/AL plėvelės matmenys mažiausiai pakito.

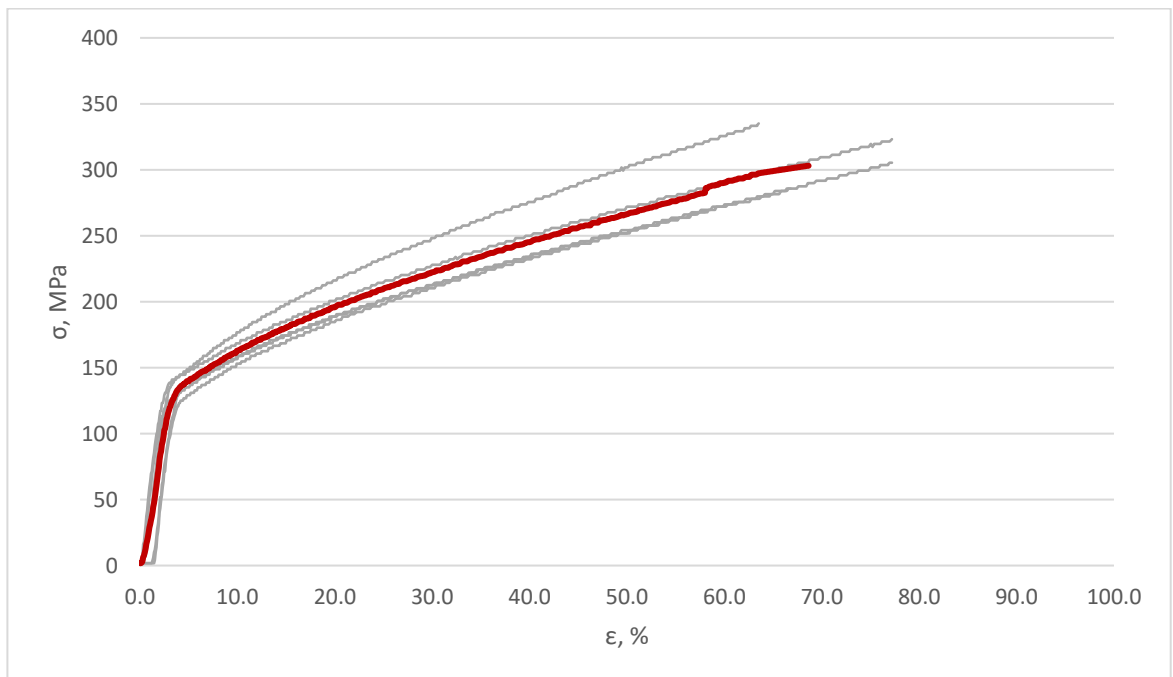
Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti, kad PET laminavimas su PE ir CPP mažina daugiasluoksnių plėvelių PET/PET/PPP, PET/AL/PPP, PET/AL/PE terminį stabilumą, nes jų yra mažesnis nei vienasluoksnių PET plėvelės.

4.2. Polimerinių plėvelių savybės tempiant

Vienas iš svarbiausių pakuočių mechaninių savybių rodiklių yra jų stipris tempiant. Dėl šios priežasties darbo metu buvo vertintos tiek pavienių, tiek daugiasluoksnių plėvelių savybės tempiant. 3.2.1 – 3.2.3 paveiksluose yra pateikiamos atskirų PET, PE, PPP plėvelių vienašio tempimo kreivės. Iš kreivių kitimo pobūdžio matyti, kad PET ir PE plėvelių kreivės yra būdingos amorfinės struktūros polimerų elgsenai, kai tuo tarpu PPP tempimo kreivėje išreikšta priverstinė elastingumo riba, rodo kristalinės fazės buvimą. Reikia pastebėti, kad plėvelės orientacijos įtaka savybėms tempiant priklauso nuo jų kilmės. PE plėvelės stipris tempiant nepriklauso nuo jos orientacijos, išilgine kryptimi iškirstų bandinių deformacija trūkimo metu yra didesnė beveik 150 %. PET plėvelės bandinių skersine kryptimi stipris tempiant yra didesnis, tačiau geresnės deformacinėmis savybėmis pasižymi išilgine kryptimi iškirsti bandiniai. Taip pat matyti, kad PET plėvelės stipris tempiant yra 10 kartų didesnis nei PE ir PPP plėvelių, tačiau PET plėvelių deformacinės savybės yra prasčiausios. Deformacija trūkimo metu neviršija 90 %, kai tuo tarpu PE plėvelės deformacija trūkimo metu išilgine kryptimi yra 300 %, o skersine 450 %, PPP plėvelės deformacija trūkimo metu išilgine ir skersine kryptimi yra apie 450 %.

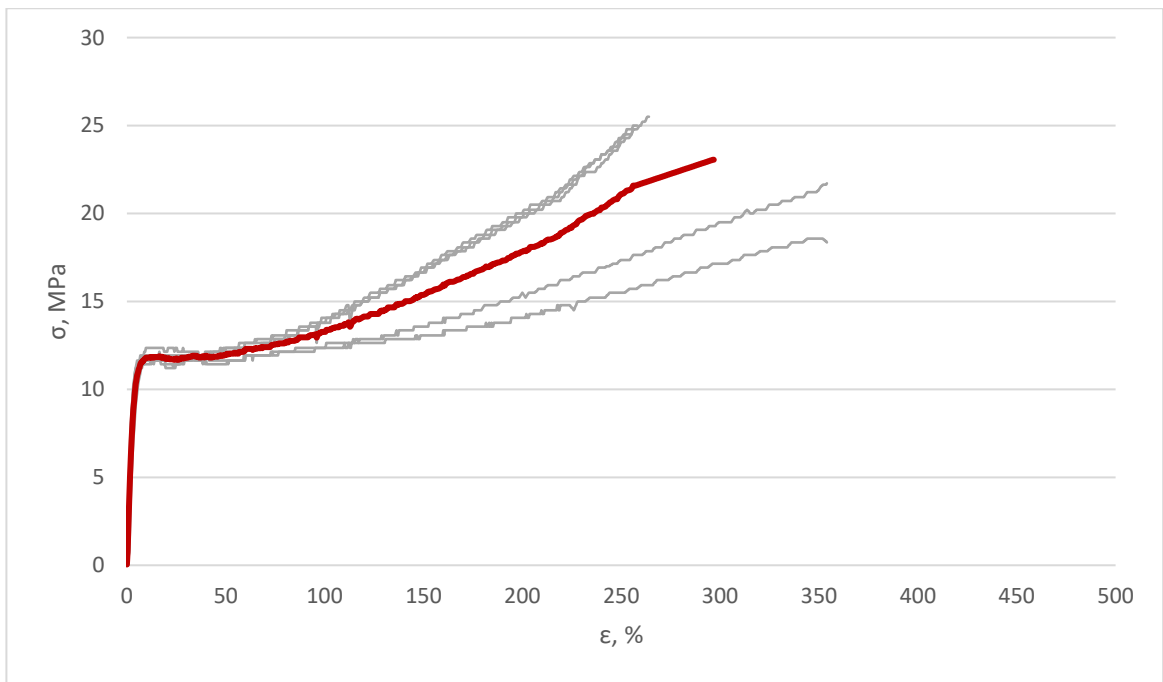


a

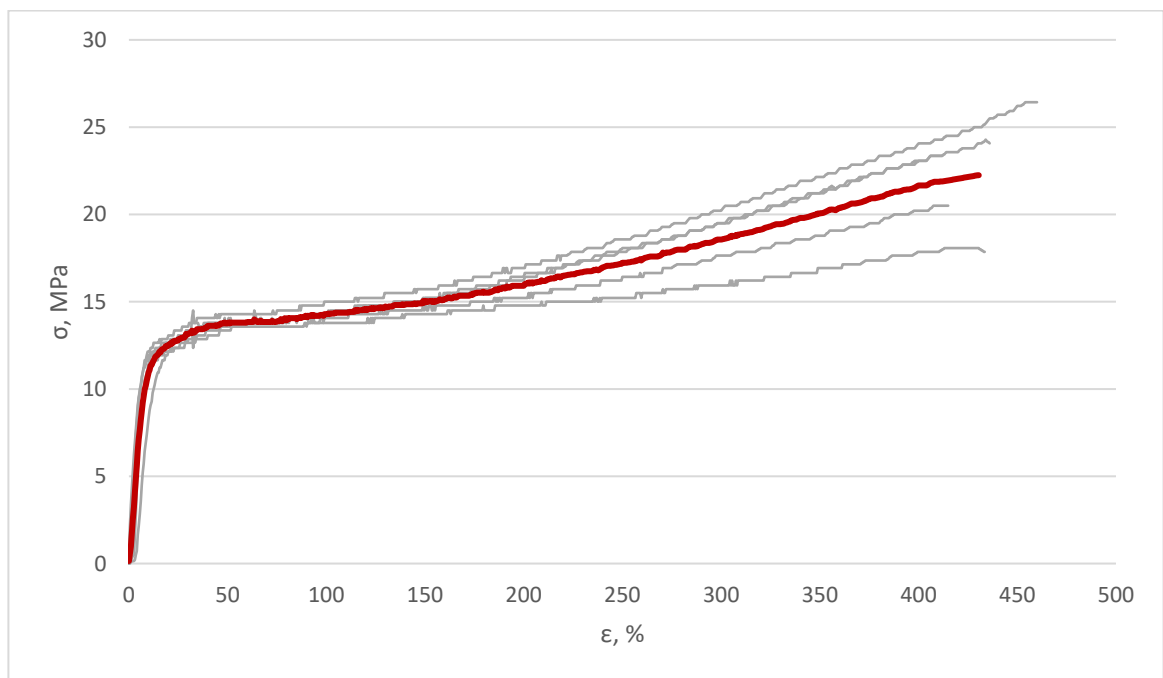


b

**3.2.1 pav. PET plėvelės tempimo kreivės: a – išilgine kryptimi,
b – skersine kryptimi**

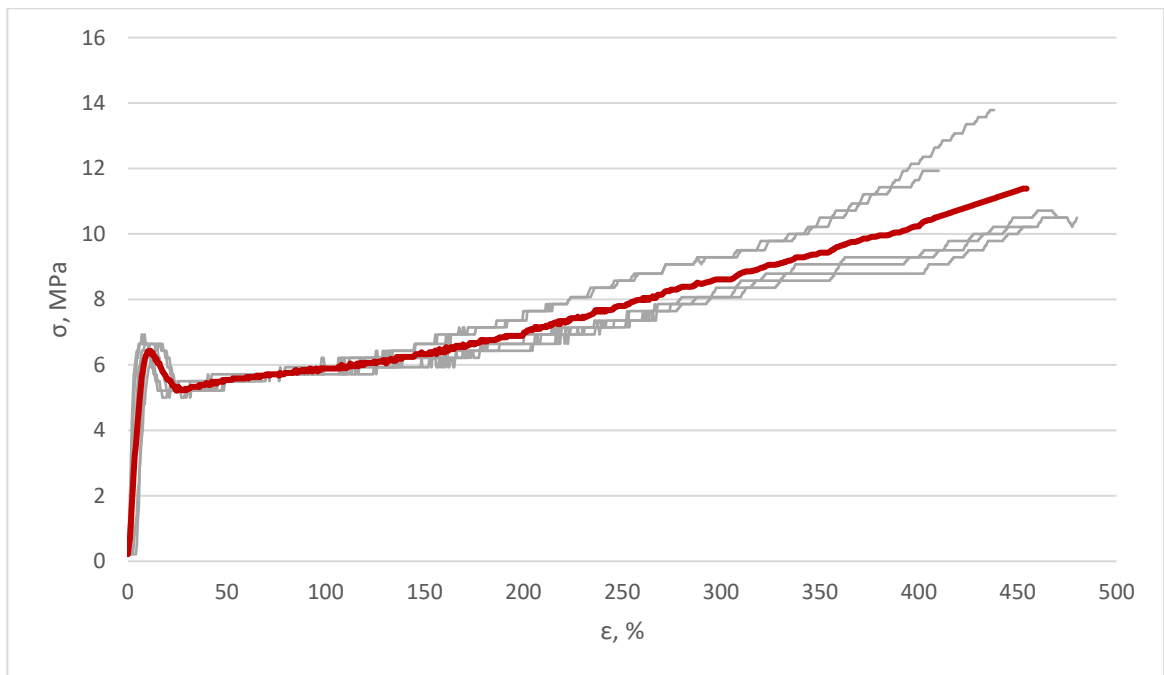


a

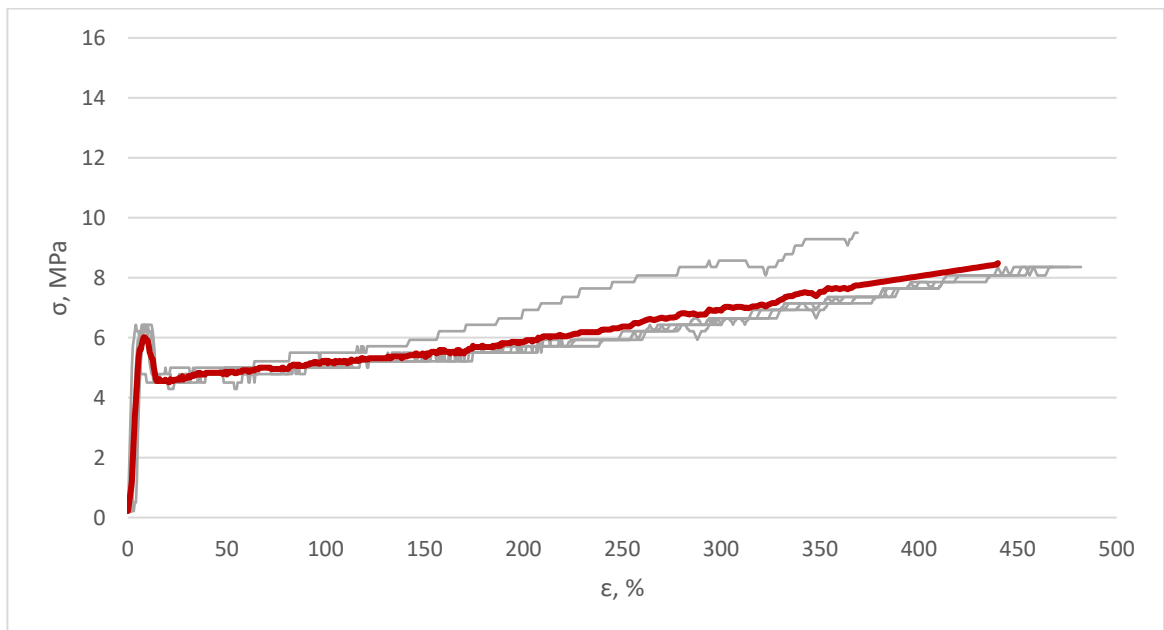


b

3.2.2 pav. PE plėvelės tempimo kreivės: a – išilgine kryptimi,
b – skersine kryptimi



a



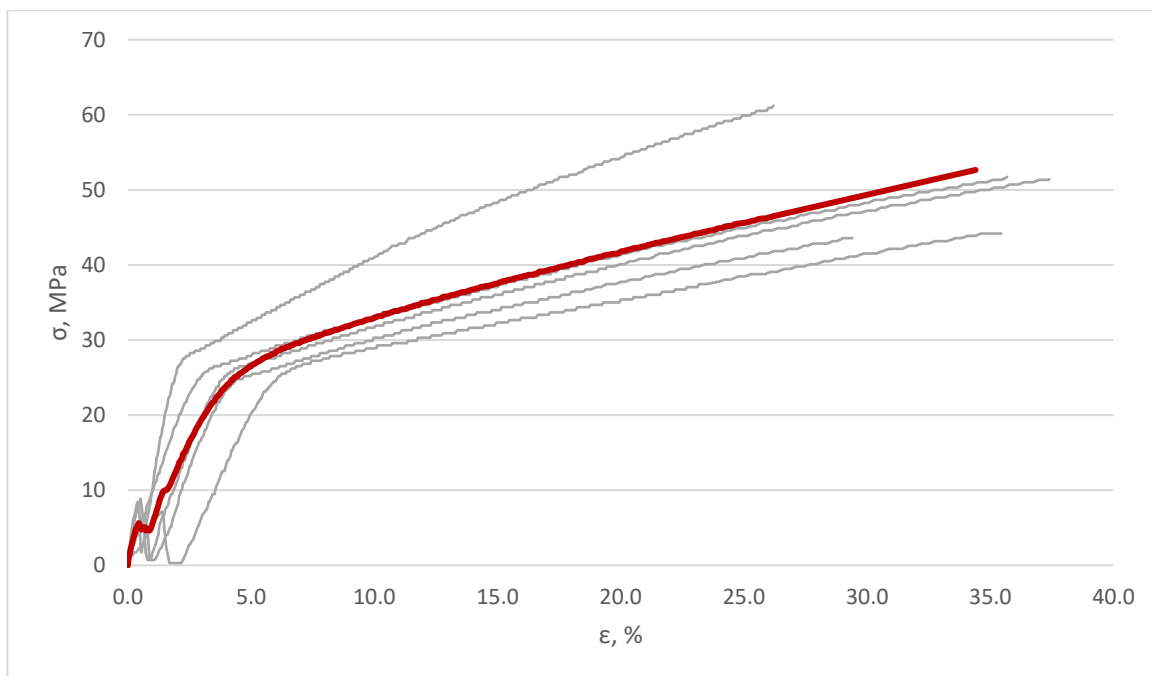
b

3.2.3 pav. CPP plėvelės tempimo kreivės: a – išilgine kryptimi,
b – skersine kryptimi

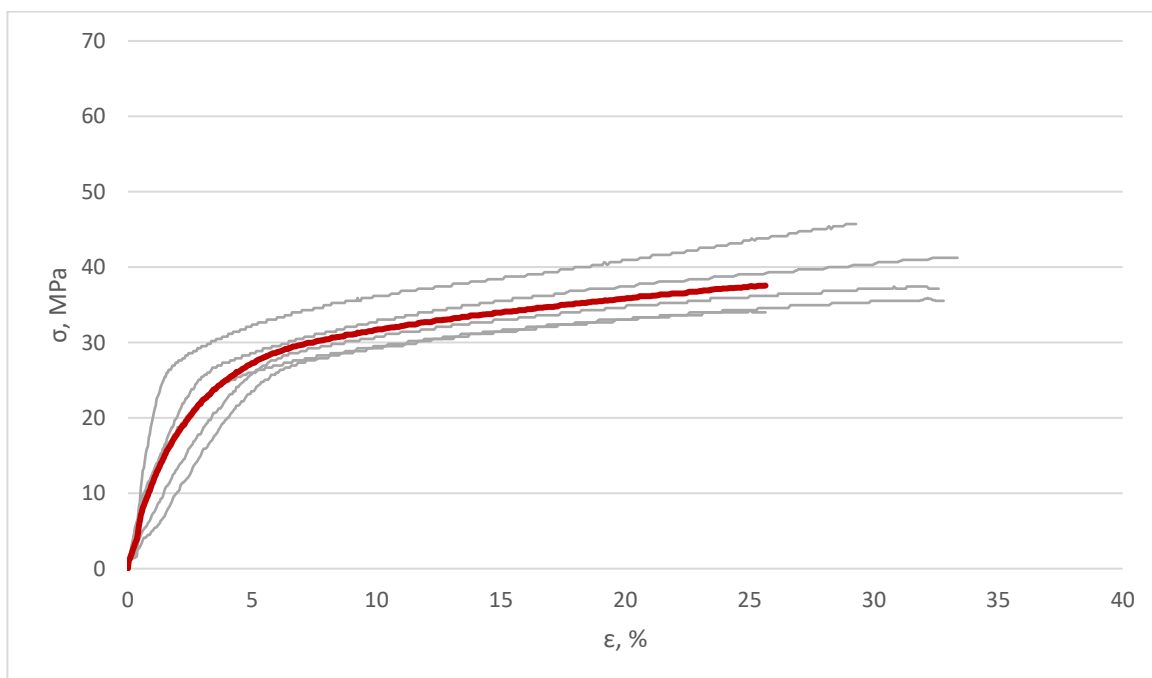
Charakteringos PET/AL, PET/PET/PPP, PET/AL/PPP, PET/AL/PE daugiasluoksnių plėvelių tempimo kreivės pateiktos 3.2.4 - 3.2.7 paveiksluose.

PET/AL plėvelės trūkimo įtempis išilgine kryptimi yra 1,3 karto didesnis nei skersine kryptimi šių plėvelių (3.2.4 pav.). Deformacinės savybės yra prastos ir nuo orientacijos beveik nepriklauso (išilgine kryptimi ϵ - 34 %, skersine ϵ - 33 %). Matyti, kad po laminavimo AL sluoksniu PE plėvelių stipris, lyginant su vienasluoksne PET plėvele, ženkliai sumažėjo. Trūkimo įtempis yra

9 kartus mažesnis negu vienasluoksnės PET plėvelės. Lyginant kitų (PET/PET/PPP, PET/AL/PPP, PET/AL/PE) daugiasluoksnių plėvelių tempimo kreives matyti, kad visom joms ties 30-40 % pailgėjimo yra būdingas staigus stiprio sumažėjimas. Tikėtina, kad to priežastimi yra PET sluoksnio suardymas.



a



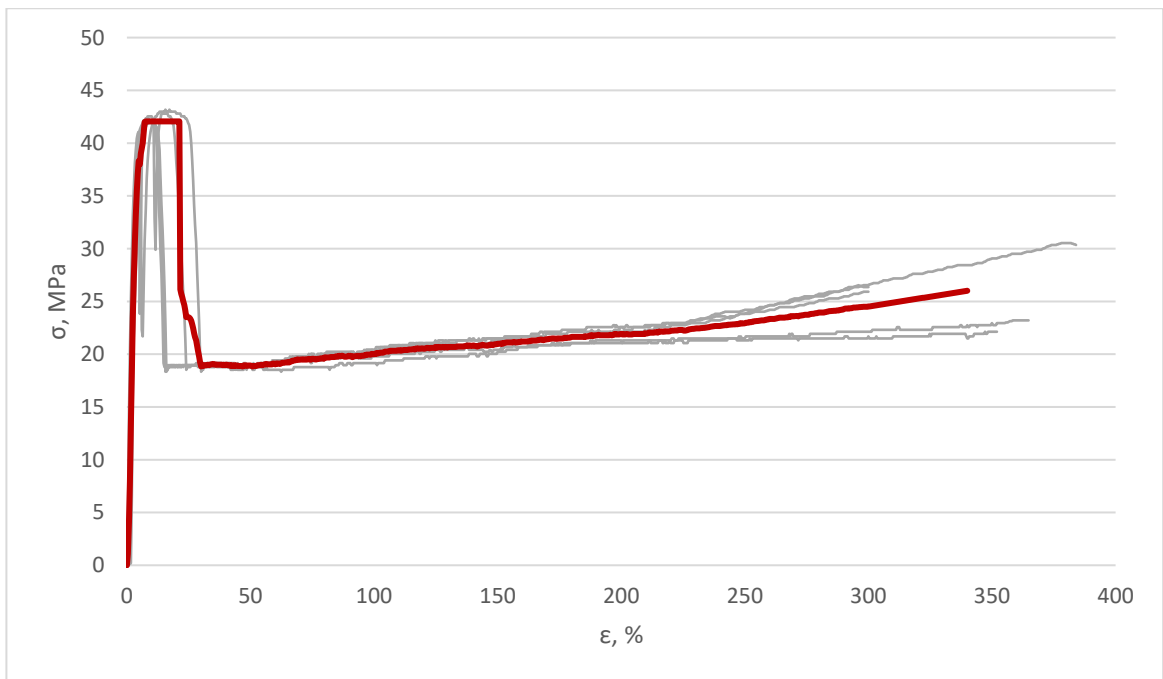
b

3.2.4 pav. PET/AL plėvelės, laminuotos Adcote 811A EA /F klijais, tempimo kreivės prieš termopoveikį:
a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

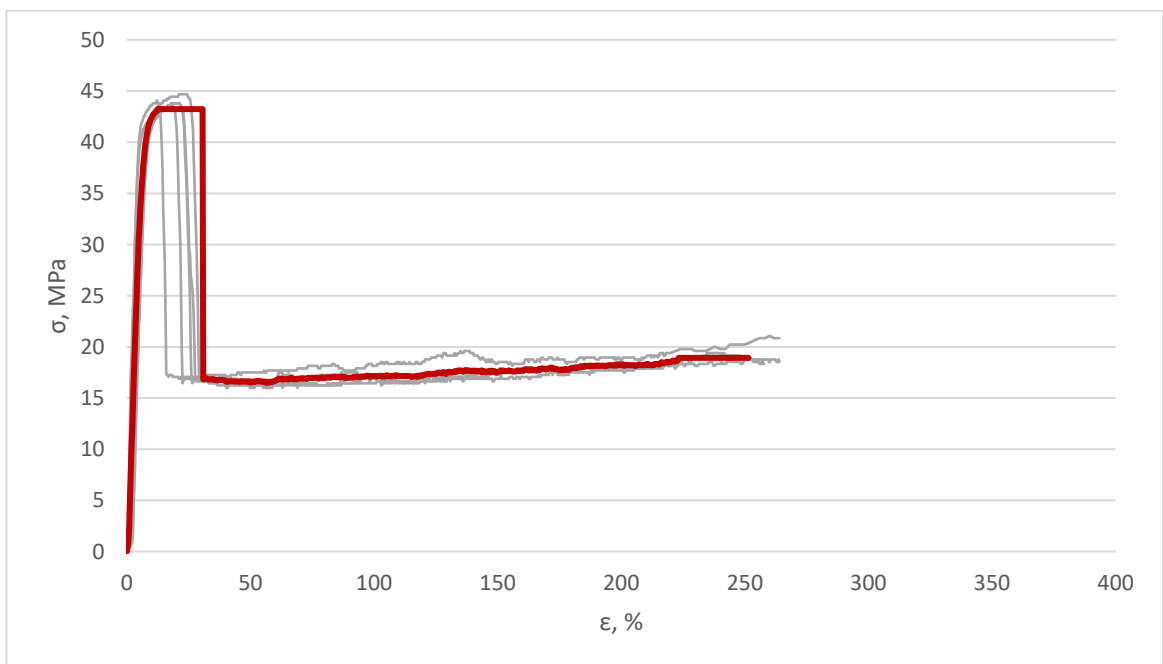
3.2.5 paveiksle yra pateiktos PET/AL/PPP plėvelės tempimo kreivės. Esant 20 % deformacijai išilgine kryptimi, o skersine kryptimi 30 %, stebimas staigus stiprio sumažėjimas skersine kryptimi iki $\sigma=17\text{MPa}$ ir išilgine kryptimi iki $\sigma=19\text{MPa}$. Toliau didėjant deformacijai, stiprio vertės tolygiai didėja. PET/AL/PPP plėvelės stipris trūkimo metu skersine kryptimi yra 19MPa, o išilgine kryptimi 26MPa, t.y. PET/AL/PPP plėvelės trūkimo stipris išilgine kryptimi yra 1,4 karto didesnis negu skersine kryptimi, o ištiesa trūkimo metu skersine kryptimi - 250 %, išilgine kryptimi - 350 %.

3.2.6 paveiksle parodyta PET/PET/PPP plėvelių, laminuotų Adcote 811A EA /F klįjais tempimo kreivės išilgine ir skersine kryptimi. Tempimo kreivėms taip pat būdingas staigus stiprio sumažėjimas esant 38 % santykinei deformacijai ir nežymus jo augimas iki nutrūkstant. Reikia pastebėti, kad plėvelės trūkimo įtempis išilgine kryptimi yra 1,8 karto didesnis negu skersine kryptimi, o ištiesa 1,3 karto didesnė skersine kryptimi negu išilgine. Toliau didėjant deformacijai stiprio vertės didėja tolygiai. Lyginant su 3.2.2 ir 3.2.3 paveikslais matyti, kad PET/PET/PPP plėvelės ištiesa nutrūkstant yra šiek tiek mažesnė nei PPP plėvelės.

Iš 3.2.7 paveikslo matyti, kad trūkimo įtempimui PET/AL/PE plėvelės orientacija didelės įtakos neturi. Ištiesa išilgine kryptimi yra 10 % mažesnė negu skersine kryptimi, t.y. esminio skirtumo tarp deformacinių savybių taip pat nėra. Tempimo kreivėms taip pat būdingas staigus stiprio sumažėjimas esant skersine kryptimi 30 % deformacijai, o išilgine kryptimi 26 % deformacijai, toliau stebimas nežymus jo augimas iki nutrūkstant.

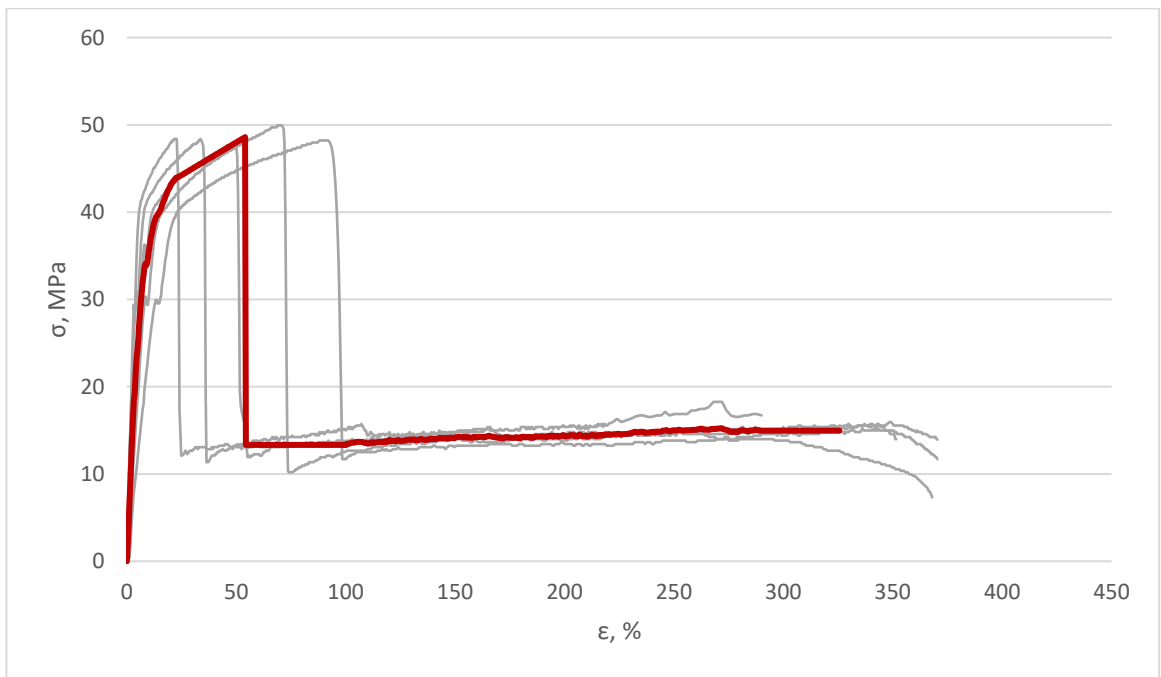


a

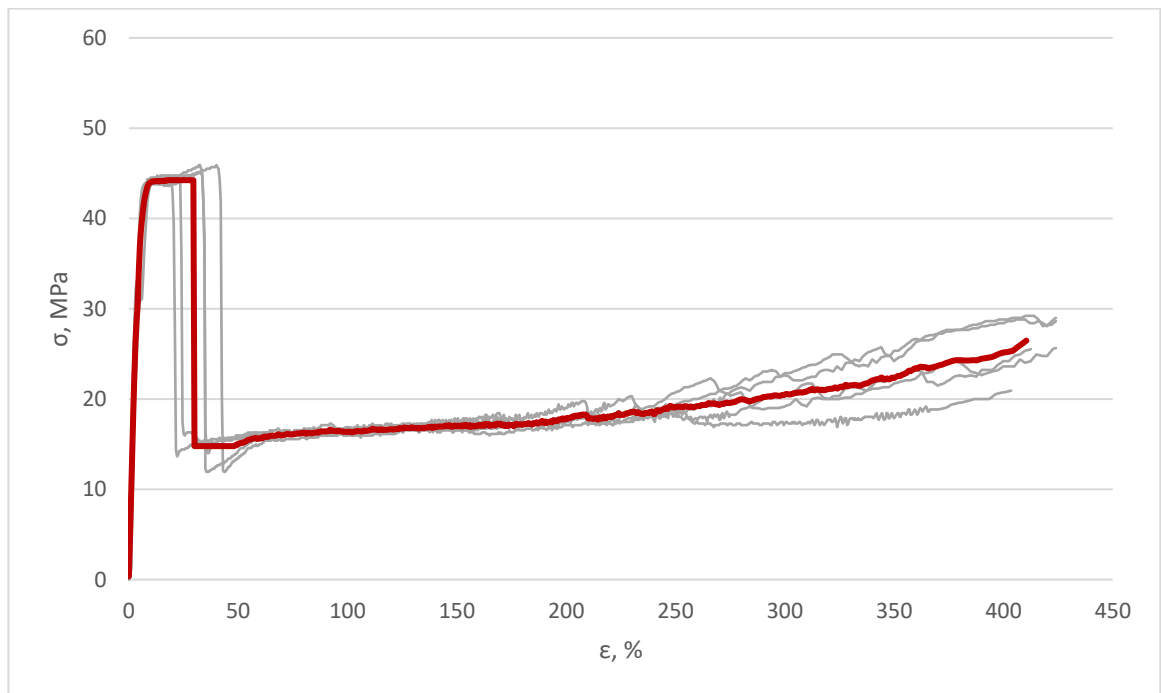


b

3.2.5 pav. PET/AL/PPP plėvelės, laminuotos Adcote 811A EA /F klijais, tempimo kreivės prieš termopoveikį: a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

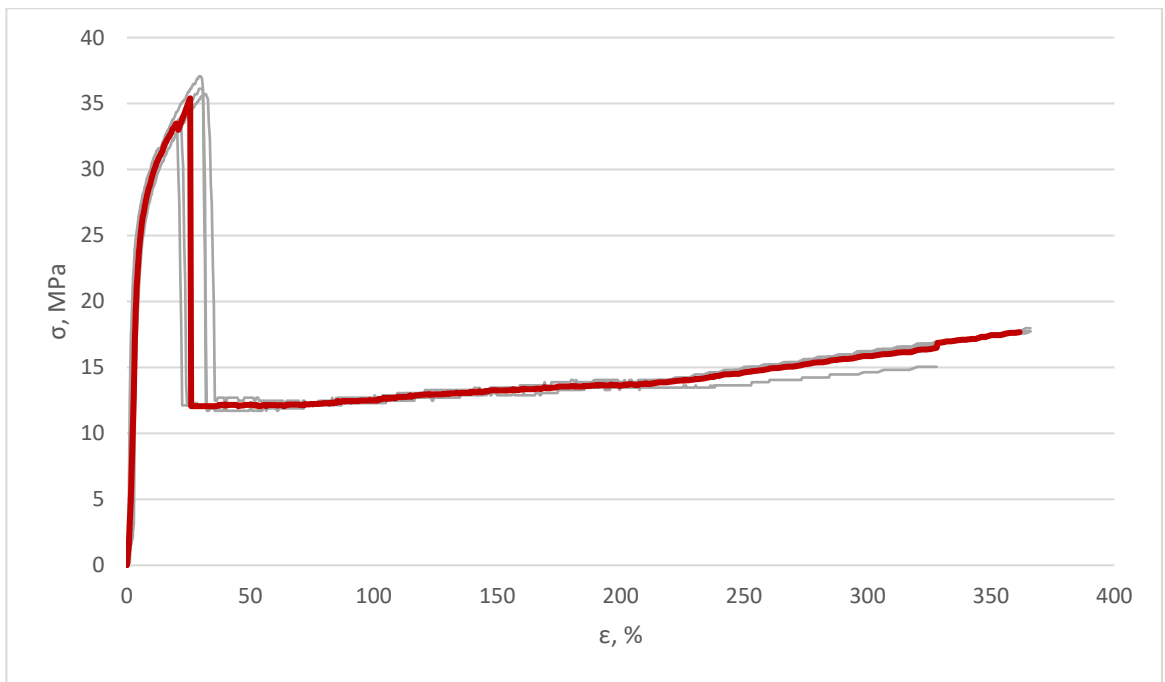


a

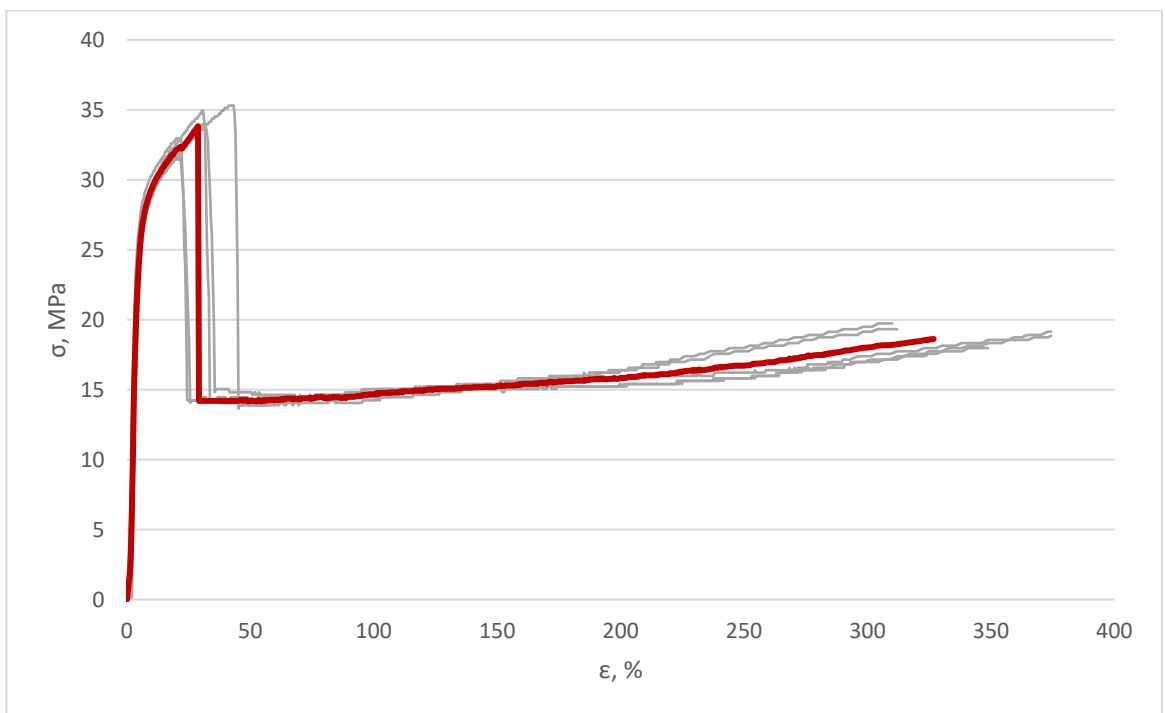


b

3.2.6 pav. PET/PET/PPP plēvelēs laminuotų Adcote 811A EA /F klijais tempimo kreivēs 20°C temperatūroje: a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi



a



b

3.2.7 pav. PET/AL/PE plēvelēs, laminuotos Adcote L 785 Adhesive/ CR 765 Coreactant kljais, tempimo kreivēs prieš termopoveikj: a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

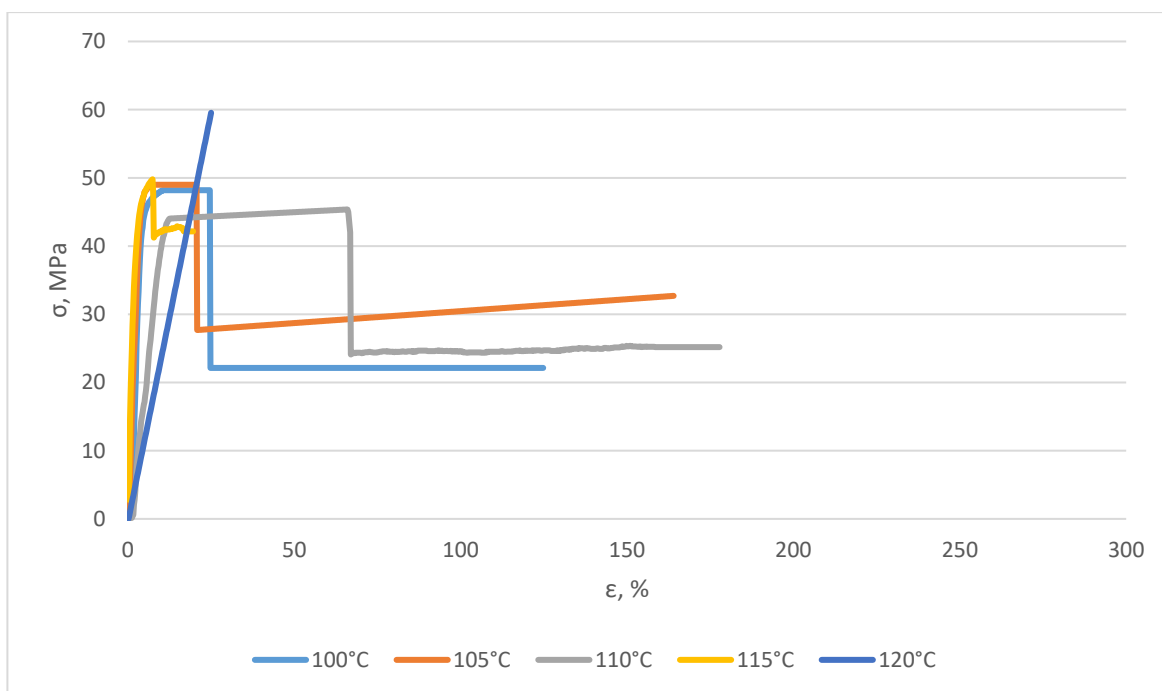
4.3. Terminio poveikio ir kilmės įtaka polimerinių plėvelių mechaninėms savybėms tempiant

Vertinant sistemų atsparumą terminiam poveikiu nustatyta, kad jis priklauso nuo atskirų plėvelių kilmės ir nuo plėvelių orientacijos liejimo krypties atžvelgiu. Tikėtina, kad terminis poveikis įtakoja ir medžiagų mechanines savybes tempiant. Todėl toliau buvo vertinta daugiasluoksnių plėvelių elgsena po termopoveikio. Gauti rezultatai yra pateikti 3.3.1 – 3.3.3 paveiksluose.

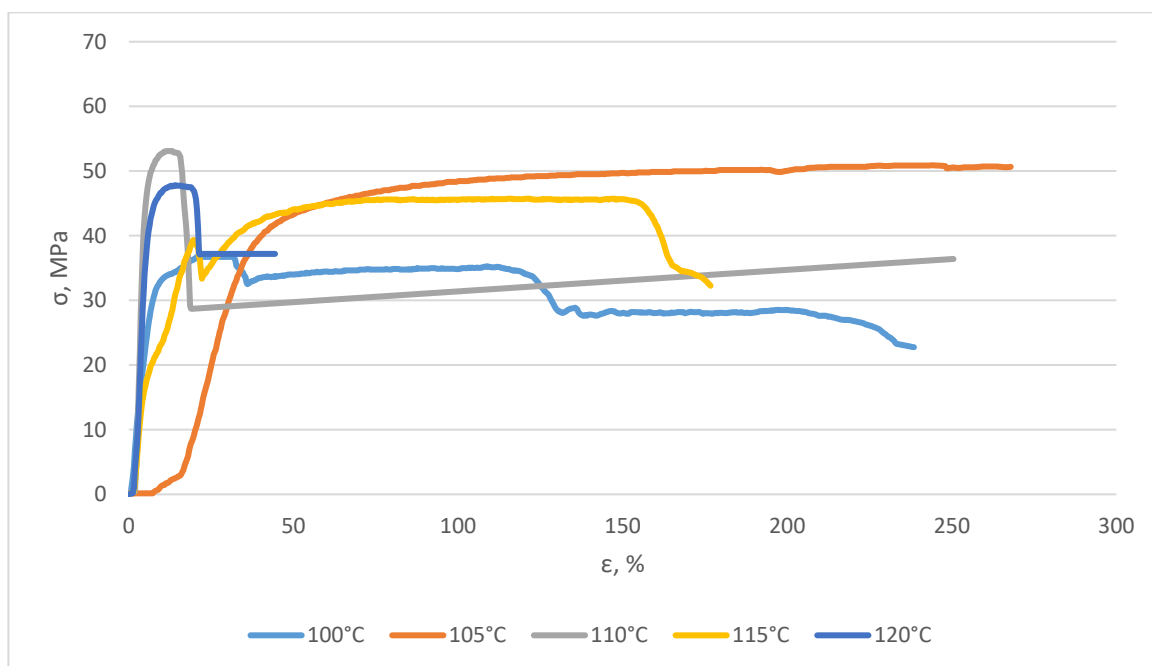
Iš 3.3.1 paveiksle pateiktų daugiasluoksnių PET/AL/PPP plėvelių sujungtų Adcote 811A EA/F klėjais, tempimo kreivių matyti, kad jo pobūdis priklauso nuo temperatūros ir plėvelės orientacijos. PET/AL/PPP plėvelės ištiesai temperatūros poveikis turėjo didesnės įtakos išilginei kryptimi, nes jau nuo 115°C temperatūros ištiesa smarkiai sumažėjo, net 7 kartus, tuo tarpu išilginei kryptimi toks ženklus deformacinių savybių pablogėjimas prasidėjo tik nuo 120°C temperatūros. Be to pasikeitė ir kreivės pobūdis. Negautas kreivėms būdingas staigus stiprio sumažėjimas, vėlesnis jo augimas, bet stebimas tolygus stiprio augimas iki plėvelės nutrūkimo.

3.3.2 paveiksle pateikta PET/PET/PPP plėvelių, sujungtų Adcote 811A EA /F klėjais tempimo kreivės. Jei išilginei kryptimi tempimo kreivės iš esmės nesikeičia, tai išilginei kryptimi orientuotų bandinių ištiesa trūkimo metu, esant 105°C ir aukštesnei temperatūrai, sumažėja net 3 kartus. Tuo tarpu išilginei kryptimi toks ženklus deformacinių savybių pablogėjimas prasidėjo tik nuo 115°C temperatūros. Be to pasikeitė ir kreivės pobūdis. Negautas kreivėms būdingas staigus stiprio sumažėjimas, vėlesnis jo augimas.

Lyginant 3.3.3 paveikslą su 3.2.6 paveikslu matyti, kad PET/PET/PPP plėvelės tempimo pobūdis išilginei kryptimi prie 120°C temperatūros smarkiai pasikeičia. Išnyksta tempimo kreivei būdingas staigus stiprio sumažėjimas pasiekus 50 % santykinę deformaciją. Kylant temperatūrai, prastėja plėvelių deformacinės savybės. Pakilus termopoveikio temperatūrai nuo 100°C iki 115°C deformacija trūkimo metu sumažėjo, išilginei kryptimi nuo 150 % iki 260 %, skersine kryptimi kirtstų bandinių nuo 140 % iki 200 %.

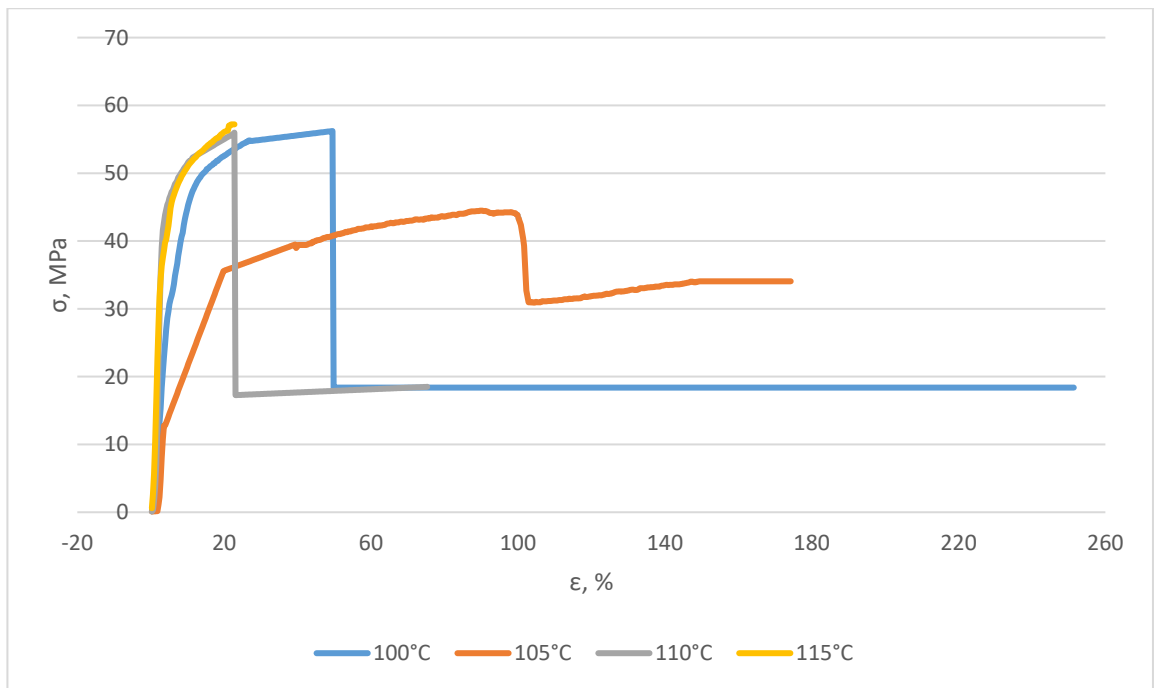


a

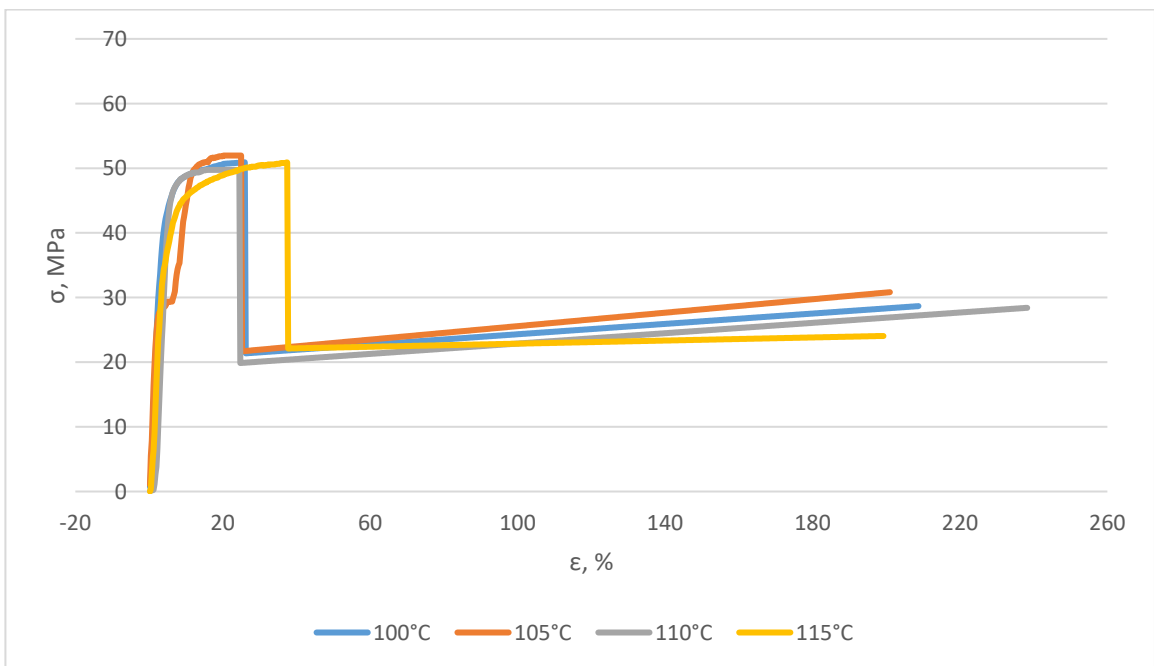


b

3.3.1 pav. PET/AL/CPP plėvelių, sujungų Adcote 811A EA /F klėjais charakteringos tempimo kreivės po terminio poveikio: a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

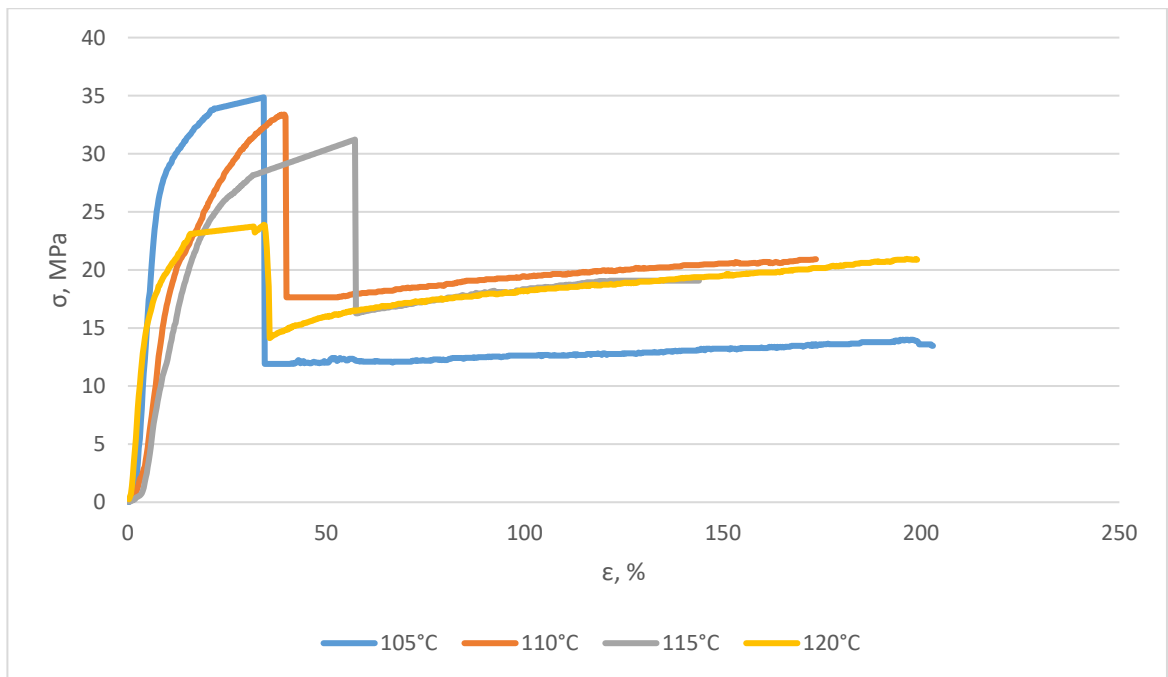


a

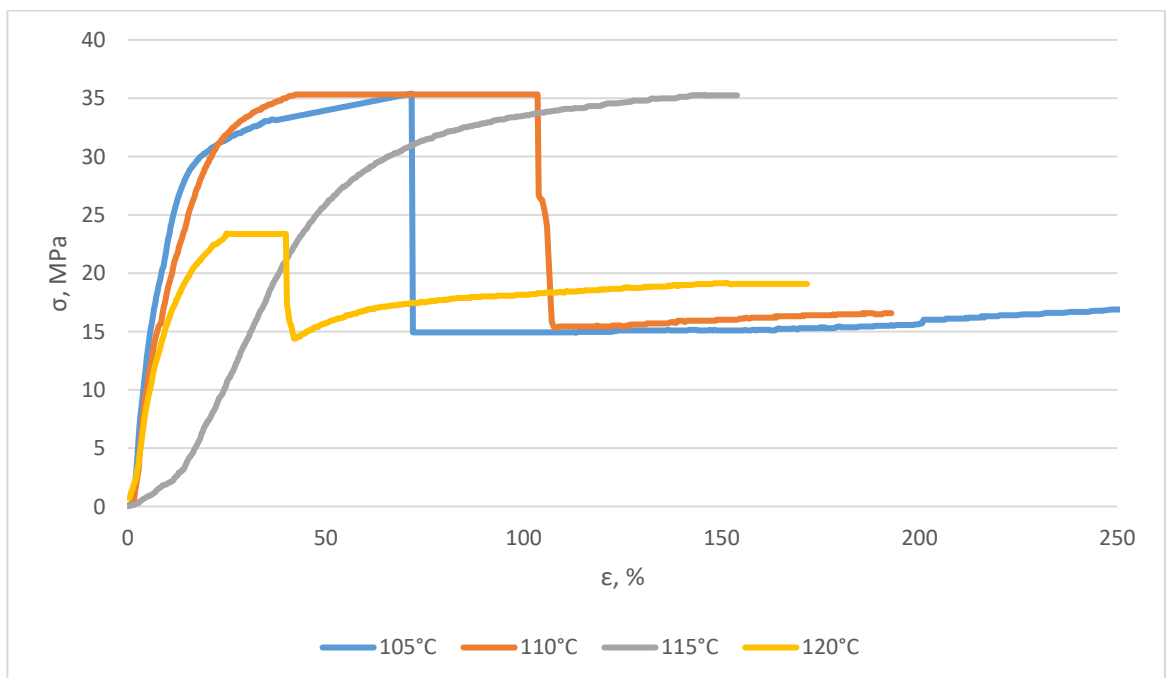


b

3.3.2 pav. PET/PET/CPP plėvelių sujungtų Adcote 811A EA /F klijais charakterinės tempimo kreivės po terminio poveikio a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi



a



b

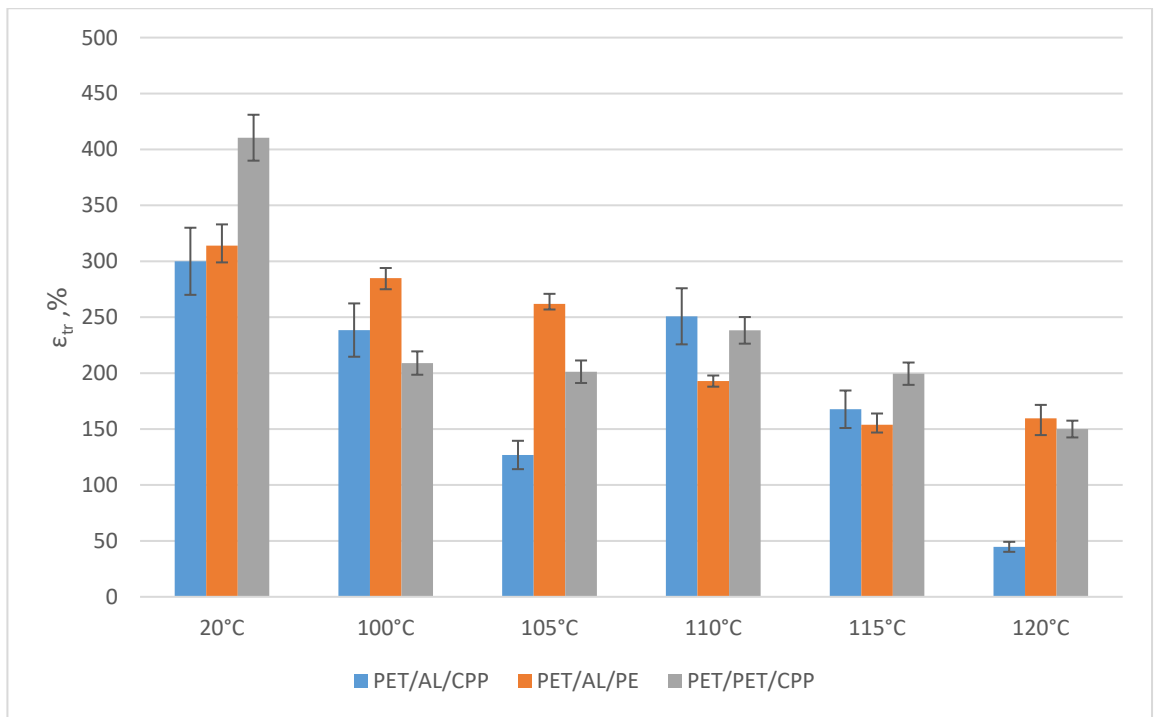
3.3.3 pav. PET/AL/PE plėvelių, sujungtų Adcote L 785 / CR 765 klėjais, charakterinės tempimo kreivės po terminio poveikio: a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi

Akivaizdžiau temperatūros poveikio tempiant įtaka parodyta 3.3.4 ir 3.3.5 paveiksluose, kur yra pateikiamos deformacinių savybių ir stiprio tempiant pokytis, priklausomai nuo daugiasluoksnių plėvelių sudėties.

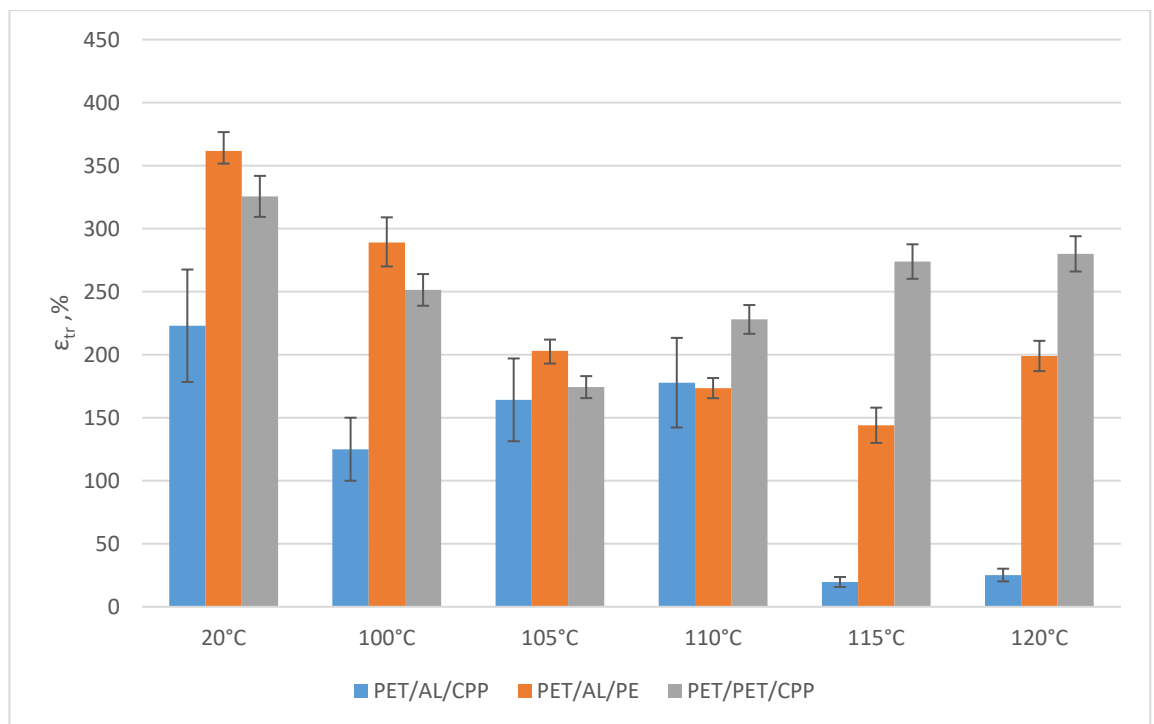
3.3.4 paveiksle pateiktos daugiasluoksnių plėvelių pailgėjimo trūkimo metu po terminio poveikio vidutinės kreivės. Matyti, kad visų plėvelių deformacinės savybės po terminio poveikio

prastėja. Daugiasluoksnės PET/AL/PE plėvelės po terminio poveikio 100°C temperatūroje deformacija tempiant sumažėjo išilgine ir skersine kryptimi 2 kartus. PET/PET/PPP plėvelės skersine kryptimi deformacija išilgine kryptimi po termo poveikio 120°C temperatūroje sumažėjo 2,8 karto, o skersine kryptimi beveik nepakito. Didžiausia terminio poveikio įtaka yra nustatyta PET/AL/PPP plėvelių deformacinėms savybėms temperatūrai pakilus nuo 20°C iki 120°C, deformacijos trūkimo metu išilgine kryptimi sumažėjo net 7,5 karto, o skersine kryptimi net 10 kartų.

3.3.5 paveiksle pateiktos daugiasluoksnių plėvelių po terminio poveikio stiprio tempiant vertės. Stiprio tempiant vertės priklauso nuo plėvelės kilmės, bandinio orientacijos ir temperatūros. Įdomu pažymėti tai, kad po termopoveikio aukštesnėje nei 105°C temperatūroje, PET/AL/PPP plėvelių stipris tempiant yra didesnis už nekaitintą plėvelę. Ši tendencija stebima plėvelėms išlietoms tiek skersine, tiek išilgine kryptimi. Lyginant nekaitintų ir kaitintų 120°C temperatūroje plėvelių stiprį gauta, kad po terminio poveikio išilgine kryptimi padidėjo 1,4 karto, o skersine kryptimi 3,6 karto. Daugiasluoksnių PET/AL/PE plėvelių stipris skersine kryptimi po kaitinimo beveik nekito, nes stiprio verčių svyravimai nustatyti tik pasiklaulinio intervalo ribose. Išilgine kryptimi orientuotų bandinių stiprio sumažėjimas gautas tik po terminio poveikio 120°C temperatūroje. Visais kitais atvejais jis buvo toks, kaip nekaitintų bandinių. PET/PET/PPP plėvelių orientuotų išilgine kryptimi stiprio tempiant vertės taip pat buvo artimos nekaitintų plėvelių stiprio vertėms. Kai tuo tarpu skersine kryptimi prienuotų bandinių stipris tempiant kylant temperatūrai tik didėja. Gauta, kad terminio poveikio 120°C temperatūroje šių plėvelių stipris tempiant padidėjo net 3,5 kartus.

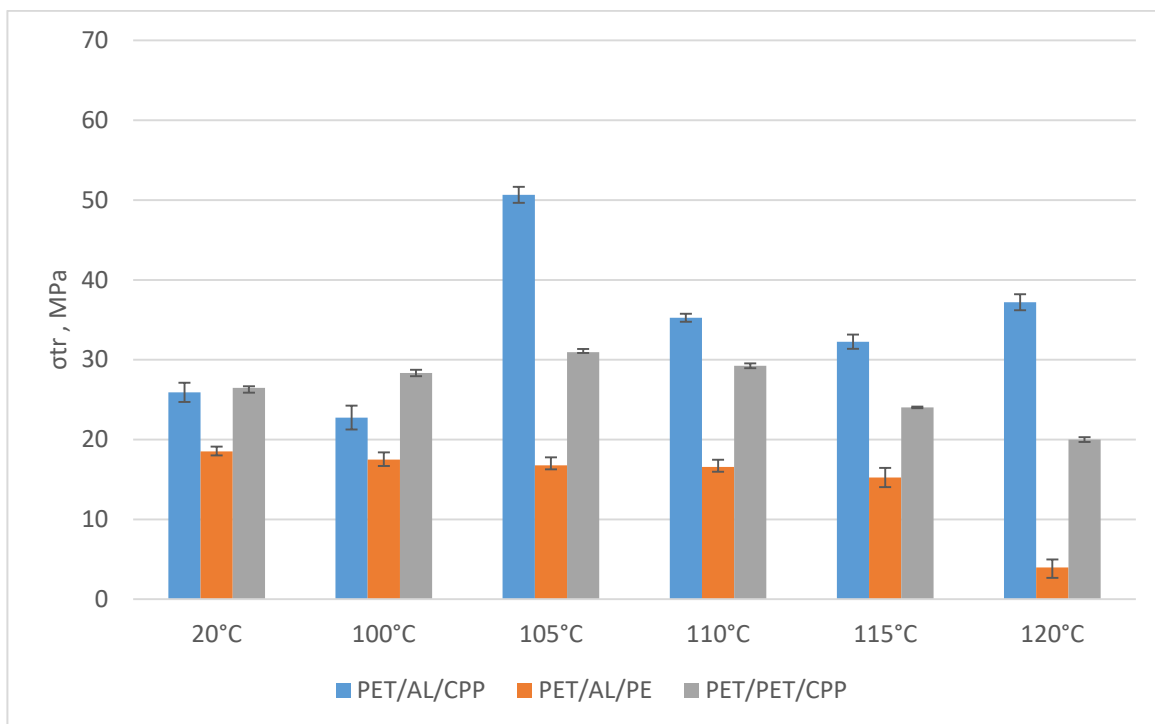


a

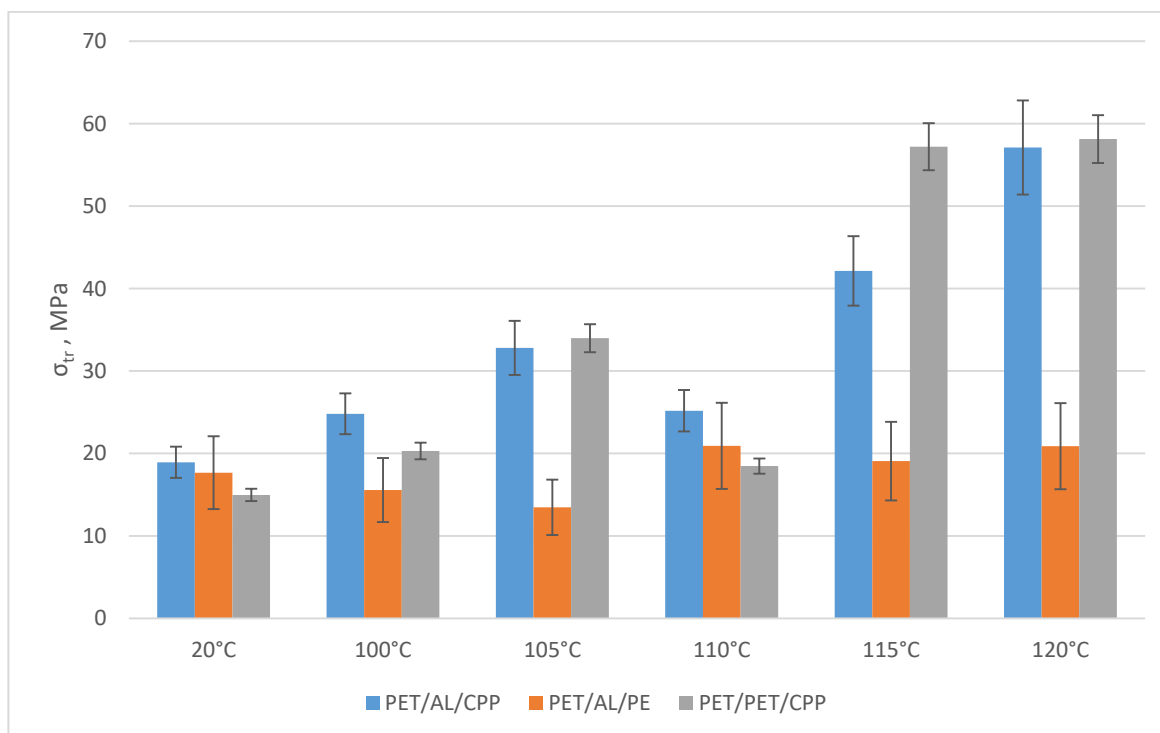


b

3.3.4 pav. Terminio poveikio įtaka daugiasluoksnių plėvelių pailgėjimui trūkimo metu (a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi)



a



b

3.3.5 pav. Terminio poveikio įtaka daugiasluoksnių plėvelių stipriui tempiant: (a – išilgine kryptimi, b – skersine kryptimi)

IŠVADOS

1. Tirtas PET, PE ir CPP polimerinių plėvelių atsparumas terminiam poveikiui.
 - 1.1. Plėvelių terminis stabilumas priklauso nuo jų kilmės ir bandinio orientacijos liejimo krypties atžvilgiu.
 - 1.2. Didžiausiu terminiu stabilumu pasižymėjo PET ir CPP plėvelės. Jų matmenys skersine ir išilgine kryptimis pakito nežymiai.
 - 1.3. Mažiausias terminis stabilumas būdingas PE plėvelėi. PE plėvelės bandinių matmenys skersine ir išilgine kryptimi sumažėjo net 35 %.
2. Tirtas daugiasluoksnių PET/AL, PET/PET/PPP, PET/AL/PPP plėvelių, laminuotų Adcote 811A EA /F klėjais ir daugiasluoksnės PET/AL/PE plėvelės, laminuotos Adcote L 785 / CR 765 klėjais, terminis stabilumas.
 - 2.1. Didžiausiu terminiu stabilumu pasižymi PET/AL plėvelė. Jos matmenys skersine ir išilgine kryptimi po terminio poveikio pakito nežymiai.
 - 2.2. PET/PET/PPP plėvelės matmenys po terminio poveikio 120°C temperatūroje sumažėjo 2 kartus, o išilgine kryptimi - 3 kartus, PET/AL/PPP plėvelės matmenys skersine ir išilgine kryptimis sumažėjo 2 kartus. PET/AL/PE plėvelės matmenys po termopoveikio 120°C temperatūroje skersine kryptimi sumažėjo 5 kartus, o išilgine kryptimi - 6 kartus.
 - 2.3. Tirtos PET, PE, CPP polimerinių plėvelių mechaninės savybės tempiant priklausomai nuo plėvelės orientacijos liejimo krypties atžvilgiu. Nustatyta, kad didžiausiu stipriu trūkimo metu pasižymėjo PET plėvelė. Jos stipris tempiant skersine kryptimi - 250 MPa, o išilgine kryptimi - 300 MPa. PE ir CPP plėvelių stiprio tempiant vertėms plėvelės orientacijos įtaka yra nežymi.
3. Tirta termio poveikio įtaka daugiasluoksnių PET/AL, PET/PET/PPP, PET/AL/PPP plėvelių, laminuotų Adcote 811A EA /F klėjais ir daugiasluoksnės PET/AL/PE plėvelės, laminuotos Adcote L 785 / CR 765 klėjais, mechaninėms savybėms tempiant.
 - 3.1. Nustatyta, kad po termopoveikio plėvelių deformacinės savybės prastėja.
 - 3.2. Terminis poveikis iki 115°C temperatūros nekeičia daugiasluoksnių PET/AL/PPP plėvelių tempiant skersine kryptimi verčių, o išilgine kryptimi orientuotų bandinių stipris po termopoveikio didėja.
 - 3.3. Nepriklausomai nuo plėvelės orientacijos liejimo krypties atžvilgiu, termopoveikis iki 115°C, daugiasluoksnių PET/AL/PE plėvelių stiprio tempiant vertėms įtakos neturi.
 - 3.4. Nustatyta, kad daugiasluoksnių PET/PET/PPP plėvelių, orientuotų skersine kryptimi stiprio tempiant vertės po termopoveikio 105-120°C temperatūroje didėja, o išilgine kryptimi

orientuotų bandinių stiprio tempiant vertės po poveikio aukštesnėje kaip 110°C temperatūroje mažėja.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Lange J., Wyser Y. 2003. Recent innovations in Barrier Technologies for Plastic Packaging – a Review. *Packaging Technology and Science*, 16(4), 149-158psl.
2. Engelmann S. 2012. *Advanced thermoforming: methods, machines and materials, applications and automatio.*
3. A. Vareikis, 2012. *Polimerinės dangos.*
4. Ebnesajjad, S., 2012. *Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology and Applications*
5. Schrenk, W.J., Veazey, E.W., 1984. *Films, Multilayer*, vol. 7. *John Wiley Plastics Encyclopedia.*
6. Morris, B.A., 2002. Predicting the performance of ionomer films in heat-seal process. In: *Tappi Place Conference*, TAPPI Press, Atlanta, GA.
7. Poisson, C., et al., 2008. Mechanical, optical and barrier properties of PA6/nanoclay-based single- and multilayer blown films. *Polym. Polym. Compos.*
8. Lazić, V.L.,etal.,2010.Barrier properties of coated and laminated polyolef in films for food packaging.
9. Giles, G.A., Bain, D.R., 2000. *Materials and Development of Plastics Packaging for the Consumer Market.* Sheffield Academic Press, Sheffield.
10. Thomas I. Butler and Barry A. Morris, 2013, *straipsnis; PE-Based Multilayer Film Structures*
11. Hirvikorpi T. 2014. Barrier properties of plastic films coated with an Al₂O₃ layer by roll-to-roll atomic layer deposition. *Thin Solid Films*
12. Dhawan S. 2013. *Polymeric-based multilayer food packaging films for pressure-assisted and microwave-assisted thermal sterilization.* Ph.D thesis, Washington State University
13. Fornes, T.D., Paul, D.R., 2004. Structure and properties of nanocomposites based on nylon-11 and -12 compared with those based on nylon-6. *Macromolecules.*
14. L.W. McKeen, 2013, *straipsnis; Iintroduction to Use of Plastics in Food Packaging*
15. Pardos, Françoise, *Rapra Technology Limited*, 2004. *Plastic Films: Situation and Outlook: a Rapra Market Report*
16. Decher G. 2012. Layer-by-layer assembly. In: *Multilayer thin films: sequential assembly of nanocomposite materials.*
17. Vogler J. 1984. *Small scale recycling of plastics.* Intermediate Technology Publication.
18. Gates, P.C., 1987. Coextrusion: mechanical and practical considerations in blown film die design. In: *Tappi PL&C*, TAPPI Press, Atlanta, GA.
19. Abdel-Bary, E. M., *Rapra Technology Limited*, 2003. *Handbook of Plastic Films*
20. Wanger, J.R., 2010. *Hand Book of Multilayer Flexible Packaging Technology and Applications for Food, Personal Care and Over-the Counter Pharmaceutical Industries.* Elsevier, Burlington, VA.

21. Armstrong SR. 2014. Co-extruded polymeric films for gas separation membranes.
22. Dixon J. 2011. Packaging materials: 9. Multilayer packaging for food and beverages.
23. V. Jankauskaitė, E. Fataraitė, 2008. Polimerinės dangos ir jų formavimas. 122-139psl.
24. A.R. Ajitha, M.K. Aswathi, Hanna J. Maria, Joanna Izdebska and Sabu Thomas. 2016. Multicomponent Polymeric Materials.
25. Saldivar-Guerra E, Vivaldo-Lima E. 2013. Handbook of polymer synthesis, characterization, and processing.
26. Abdel-Bary E. 2003. Handbook of plastic films. Smithers Rapra.

PRIEDAI

1 lentelė Daugiasluoksnės PET/AL plėvelės orientuotos skersine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	$\sigma_{tr.}$
1	0.102	0.204	0.306	26.224	33.367	44.184
2	0.306	0.510	24.490	30.918	39.490	51.735
3	6.327	15.306	30.918	39.796	53.571	61.224
4	0.102	3.776	19.388	28.571	36.429	43.571
5	6.122	5.408	25.816	30.918	39.490	52.041
\bar{X}	2.592	5.041	20.184	31.286	40.469	50.551
V	128.016	121.900	58.688	16.429	19.154	14.224
σ	3.318	6.145	11.845	5.140	7.752	7.190
S	11.009	37.758	140.313	26.419	60.087	51.700
I	4.119	7.629	14.706	6.381	9.623	8.926

2 lentelė Daugiasluoksnės PET/AL plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	$\sigma_{tr.}$
1	0.190	0.286	8.762	28.286	33.333	37.143
2	0.286	0.286	23.810	31.143	36.476	41.238
3	8.857	25.429	31.429	35.905	40.667	45.714
4	0.190	9.238	24.095	28.571	32.667	35.524
5	0.286	0.476	2.381	24.762	31.429	34.000
\bar{X}	1.962	7.143	18.095	29.733	34.914	38.724
V	196.485	152.921	66.573	13.891	10.643	12.266
σ	3.855	10.923	12.047	4.130	3.716	4.750
S	14.860	119.311	145.120	17.059	13.808	22.561
I	4.786	13.560	14.955	5.127	4.613	5.897

3 lentelė Daugiasluoksnės PET/PET/PPP plėvelės orientuotos skersine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	$\sigma_{tr.}$
1	19,977	28,399	40,899	44,528	15,956	13,998	14,228	7,892	14,977
2	23,618	22,431	43,203	47,062	13,076	14,401	15,150	13,998	23,618
3	19,740	23,652	29,954	41,071	15,104	13,076	13,825	7,316	6,740
4	19,772	20,910	38,191	43,203	17,984	13,652	14,574	8,065	10,772
5	26,901	20,150	45,507	42,673	13,422	14,574	17,915	16,705	26,901
\bar{X}	22,001	23,108	39,551	43,707	15,108	13,940	15,138	10,795	16,601
V	14,516	14,077	15,201	5,142	13,222	4,314	10,744	39,622	51,217
σ	3,194	3,253	6,012	2,247	1,998	0,601	1,626	4,277	8,503
S	10,200	10,582	36,144	5,050	3,991	0,362	2,645	18,294	72,296
I	3,965	4,038	7,464	2,790	2,480	0,747	2,019	5,310	10,556

4 lentelė Daugiasluoksnės PET/PET/PP plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	$\sigma_{tr.}$
1	14,401	23,445	40,726	44,182	42,800	15,956	16,705	17,684	28,975
2	10,152	24,574	36,866	44,528	44,528	15,956	16,878	17,684	25,634
3	10,641	25,380	31,279	43,779	44,528	13,422	15,956	17,108	20,910
4	10,389	18,836	37,846	43,952	44,182	15,553	16,129	19,009	28,629
5	13,076	21,889	38,594	43,779	43,779	14,228	16,129	17,857	25,518
\bar{X}	11,732	22,825	37,062	44,044	43,963	15,023	16,359	17,869	25,933
V	16,184	11,331	9,527	0,720	1,638	7,603	2,477	3,905	12,497
σ	1,899	2,586	3,531	0,317	0,720	1,142	0,405	0,698	3,241
S	3,605	6,689	12,467	0,101	0,518	1,305	0,164	0,487	10,503
I	2,357	3,211	4,384	0,394	0,894	1,418	0,503	0,866	4,023

5 lentelė PE plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	$\sigma_{tr.}$
1	4,071	5,929	9,500	12,143	12,857	14,286	15,000	16,929	26,429
2	4,786	7,643	9,500	11,643	12,643	13,786	14,286	16,214	23,357
3	4,714	6,071	7,857	10,714	12,143	13,571	14,071	15,214	20,500
4	4,071	6,500	2,143	7,857	11,929	13,357	13,786	14,786	17,857
5	5,500	6,071	6,643	11,214	12,643	13,786	14,286	16,429	24,071
\bar{X}	4,629	6,443	7,129	10,714	12,443	13,757	14,286	15,914	22,443
V	12,837	10,930	42,590	15,699	3,128	2,506	3,142	5,573	14,808
σ	0,594	0,704	3,036	1,682	0,389	0,345	0,449	0,887	3,323
S	0,353	0,496	9,218	2,829	0,152	0,119	0,202	0,787	11,044
I	0,738	0,874	3,769	2,088	0,483	0,428	0,557	1,101	4,126

6 lentelė PE plėvelės orientuotos skersine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	$\sigma_{tr.}$
1	0,214	3,786	9,500	12,357	12,143	11,643	12,357	14,071	18,357
2	0,257	3,214	9,500	11,929	11,929	12,357	14,071	20,000	25,000
3	0,250	3,071	7,857	11,643	11,929	11,429	12,357	15,429	21,714
4	0,171	3,143	8,143	11,429	11,429	12,143	13,786	19,786	24,786
5	0,214	3,429	6,643	11,643	11,214	12,143	13,786	19,786	25,500
\bar{X}	0,221	3,329	8,329	11,800	11,729	11,943	13,271	17,814	23,071
V	15,470	8,664	14,511	3,039	3,319	3,259	6,350	15,939	13,115
σ	0,034	0,288	1,209	0,359	0,389	0,389	0,843	2,839	3,026
S	0,001	0,083	1,461	0,129	0,152	0,152	0,710	8,063	9,156
I	0,043	0,358	1,500	0,445	0,483	0,483	1,046	3,525	3,756

7 lentelė PET plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{tr}
1	4,167	4,786	105,167	120,786	141,071	184,524	245,833
2	4,786	4,786	110,786	129,167	148,810	190,476	242,262
3	4,786	4,167	105,357	141,071	160,714	208,333	263,690
4	4,167	4,167	105,167	136,905	158,929	202,381	251,786
5	4,786	4,167	110,786	108,929	150,595	188,690	232,143
\bar{X}	4,538	4,414	107,452	127,371	152,024	194,881	247,143
V	7,472	7,681	2,833	10,125	5,257	5,145	4,727
σ	0,339	0,339	3,044	12,897	7,993	10,028	11,682
S	0,115	0,115	9,265	166,327	63,882	100,553	136,480
I	0,421	0,421	3,779	16,011	9,923	12,449	14,503

8 lentelė PET plėvelės orientuotos skersine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{tr}
1	1,738	67,262	150,595	176,786	216,071	301,786	335,119
2	1,724	83,333	136,905	156,548	188,690	251,786	267,857
3	1,786	91,905	141,071	158,929	188,690	254,167	305,357
4	1,786	90,167	129,167	152,976	184,524	251,786	285,714
5	1,762	91,071	148,810	168,452	200,595	272,024	323,214
\bar{X}	1,759	84,748	141,310	162,738	195,714	266,310	303,452
V	1,585	12,210	6,224	5,974	6,574	8,098	8,993
σ	0,028	10,348	8,795	9,723	12,866	21,567	27,288
S	0,001	107,083	77,346	94,529	165,533	465,136	744,650
I	0,035	12,847	10,918	12,070	15,973	26,775	33,877

9 lentelė Daugiasluoksnės PET/AL/PP plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	σ_{tr}
1	1,126	26,511	40,013	41,909	18,963	18,963	20,417	22,566	30,341
2	1,393	26,625	37,737	42,162	18,116	18,963	19,785	21,302	23,198
3	1,264	24,728	35,841	41,530	12,794	18,774	19,153	21,049	22,124
4	1,349	23,831	41,277	42,162	18,963	18,963	20,417	22,566	26,359
5	1,228	29,267	43,831	42,541	18,963	18,963	20,228	22,124	25,917
\bar{X}	1,272	26,192	39,740	42,061	17,560	18,925	20,000	21,922	25,588
V	8,218	7,977	7,795	0,887	15,316	0,448	2,697	3,239	12,513
σ	0,105	2,089	3,098	0,373	2,689	0,085	0,539	0,710	3,202
S	0,011	4,365	9,596	0,139	7,233	0,007	0,291	0,504	10,252
I	0,130	2,594	3,846	0,463	3,339	0,105	0,670	0,882	3,975

10 lentelė Daugiasluoksnės PET/AL/PP plėvelės orientuotos skersine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	$\sigma_{tr.}$
1	1,454	15,360	20,645	43,616	43,067	16,435	18,142	20,860
2	1,924	20,860	29,381	42,541	41,277	15,992	16,877	18,521
3	1,453	19,595	22,427	42,162	43,805	15,992	17,067	18,331
4	1,759	19,264	23,388	41,530	43,805	17,509	17,257	18,774
5	1,442	10,822	22,756	42,541	44,437	16,625	16,435	18,142
\bar{X}	1,606	17,180	23,719	42,478	43,278	16,511	17,155	18,925
V	13,847	23,903	14,016	1,786	2,818	3,775	3,672	5,846
σ	0,222	4,107	3,325	0,759	1,220	0,623	0,630	1,106
S	0,049	16,864	11,052	0,575	1,487	0,388	0,397	1,224
I	0,276	5,098	4,127	0,942	1,514	0,774	0,782	1,373

11 lentelė Daugiasluoksnės PET/AL/PE plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	$\sigma_{tr.}$
1	4,117	10,176	25,000	29,684	32,611	13,876	14,813	16,393	19,731
2	4,293	10,274	24,180	28,689	31,616	14,052	14,227	15,222	18,852
3	4,347	11,710	25,176	28,864	31,440	14,227	14,813	15,398	17,974
4	4,801	12,705	27,108	30,269	32,963	14,052	15,047	16,393	19,321
5	4,400	10,040	23,244	29,098	32,026	14,813	14,461	15,808	19,145
\bar{X}	4,392	10,981	24,941	29,321	32,131	14,204	14,672	15,843	19,005
V	5,747	10,715	5,745	2,216	2,014	2,551	2,215	3,443	3,462
σ	0,252	1,177	1,433	0,650	0,647	0,362	0,325	0,545	0,658
S	0,064	1,384	2,053	0,422	0,419	0,131	0,106	0,298	0,433
I	0,313	1,461	1,779	0,807	0,803	0,450	0,403	0,677	0,817

12 lentelė Daugiasluoksnės PET/AL/PE plėvelės orientuotos skersine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	$\sigma_{tr.}$
1	1,176	23,056	25,176	29,684	33,548	12,119	12,471	13,876	17,740
2	1,054	22,166	22,073	28,103	32,787	12,705	12,295	13,466	15,047
3	1,181	21,487	26,932	30,445	33,372	12,119	12,705	13,876	16,979
4	1,171	22,881	25,000	29,684	34,368	12,119	12,471	13,466	18,560
5	1,347	22,635	23,244	28,864	33,372	11,885	12,471	13,466	17,740
\bar{X}	1,186	22,445	24,485	29,356	33,489	12,190	12,482	13,630	17,213
V	8,808	2,813	7,666	3,053	1,699	2,505	1,168	1,647	7,749
σ	0,104	0,631	1,877	0,896	0,569	0,305	0,146	0,224	1,334
S	0,011	0,399	3,523	0,803	0,324	0,093	0,021	0,050	1,779
I	0,130	0,784	2,330	1,113	0,707	0,379	0,181	0,279	1,656

13 lentelė CPP plėvelės orientuotos skersine kryptimi liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	σ_{tr}
1	0,214	0,214	2,643	6,429	4,500	4,786	5,000	5,714	8,357
2	0,214	0,250	2,929	6,214	4,500	4,786	5,214	5,500	8,357
3	0,214	0,214	2,214	5,929	4,500	4,786	5,214	5,500	8,357
4	0,214	0,214	2,786	6,429	4,500	4,500	5,214	5,714	7,857
5	2,643	0,250	2,214	4,500	4,786	5,000	5,500	6,929	9,500
\bar{X}	0,243	0,229	2,557	5,900	4,557	4,771	5,229	5,871	8,486
V	0,220	8,558	12,861	13,713	2,804	3,728	3,402	10,229	7,152
σ	5,808	0,020	0,329	0,809	0,128	0,178	0,178	0,601	0,607
S	0,013	0,000	0,108	0,655	0,016	0,032	0,032	0,361	0,368
I	0,000	0,024	0,408	1,004	0,159	0,221	0,221	0,746	0,753

14 lentelė CPP plėvelės orientuotos išilgine liejimo kryptimi stipris tempiant

Eil. Nr.	σ_1	σ_2	σ_5	σ_{10}	σ_{20}	σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	σ_{tr}
1	0,229	0,286	2,429	6,643	5,214	5,500	5,929	7,357	13,786
2	0,214	0,214	2,214	6,429	5,929	5,500	5,929	6,643	10,500
3	0,214	0,207	2,214	6,643	5,214	5,714	5,929	7,643	11,929
4	0,250	0,214	2,500	6,643	5,214	5,500	5,929	6,643	10,214
5	0,214	0,250	2,143	5,714	6,214	5,500	5,714	6,429	10,500
\bar{X}	0,224	0,234	2,300	6,414	5,557	5,543	5,886	6,943	11,386
V	7,055	14,294	6,738	6,270	8,642	1,729	1,628	7,574	13,171
σ	0,016	0,033	0,155	0,402	0,480	0,096	0,096	0,526	1,500
S	0,000	0,001	0,024	0,162	0,231	0,009	0,009	0,277	2,249
I	0,020	0,042	0,192	0,499	0,596	0,119	0,119	0,653	1,862

15 lentelė Plėvelių deformacinės savybės

Eil. Nr.	PET skersine liejimo kryptimi σ_{tr} , %	PE skersine liejimo kryptimi σ_{tr} , %	CPP skersine liejimo kryptimi σ_{tr} , %	PET išilgine liejimo kryptimi σ_{tr} , %	PE išilgine liejimo kryptimi σ_{tr} , %	CPP išilgine liejimo kryptimi σ_{tr} , %
1	64	354	476	93,4	460	438
2	58	258	482	87	412	475
3	77,2	354	468	89	415	410
4	67	257	408	86	434	457,5
5	77,2	264	369	91	436	480
\bar{X}	68,584	297,4	440,600	89,28	431,4	452,100
V	12,385	17,396	11,295	3,358	4,475	6,356
σ	8,494	51,737	49,767	2,998	19,308	28,737
S	72,161	2676,8	2476,800	8,992	372,8	825,800
I	10,545	64,230	61,785	3,722	23,97024	35,676

16 lentelė Daugiasluoksnių plėvelių deformacinės savybės

Eil. Nr.	PET/PET/PPP skersine liejimo kryptimi ϵ_{tr} , %	PET/AL/PPP skersine liejimo kryptimi ϵ_{tr} , %	PET/AL/PE skersine liejimo kryptimi ϵ_{tr} , %	PET/PET/PPP išilgine liejimo kryptimi ϵ_{tr} , %	PET/AL/PPP išilgine liejimo kryptimi ϵ_{tr} , %	PET/AL/PE išilgine liejimo kryptimi ϵ_{tr} , %
1	381,2	264	366	424	384	310
2	351,6	266	330	424	365	374
3	368	258	330	404	352	349
4	396,4	251	368	424	300	312
5	351,6	223	380	413	300	374
\bar{X}	369,76	252,4	354,8	417,6	340,2	343,92
V	5,242	6,911	6,556	2,232	11,293	9,253
σ	19,385	17,444	23,263	9,323	38,421	31,825
S	375,808	304,3	541,2	86,925	1476,2	1012,832
I	24,066	21,656	28,881	11,5746	47,698	39,509