



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

KOMBUCHA BIOPLĖVELĖS TAIKYMAS APRANGOS GAMYBAI

Baigiamasis magistro projektas

Judita Simonaitytė
Projekto autorė

Doc. Dr. Jurgita Domskienė
Vadovė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

***KOMBUCHA* BIOPLĖVELĖS TAIKYMAS APRANGOS GAMYBAI**

Baigiamasis magistro projektas
Aprangos mados inžinerija (kodas 621J40004)

Judita Simonaitytė
Projekto autorė

Doc. dr. Jurgita Domskienė
Vadovė

Lekt. Doc. dr. Vaida Jonaitienė
Recenzentė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Judita Simonaitytė

***Kombucha* bioplėvelės taikymas aprangos gamybai**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Juditos Simonaitytės, baigiamasis projektas tema „*Kombucha* bioplėvelės taikymas aprangos gamybai“ 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
Studijų programa.....

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS**

Studentui(-ei) **Juditai Simonaitytei**

1. Baigiamojo projekto tema.

Kombucha bioplėvelės taikymas aprangos gamybai.

The Use of the *Kombucha* Biofilm for the Clothing Production.

2. Projekto tikslas ir uždaviniai:

Ištirti *Kombucha* bioplėvelės mechanines ir storio savybes, įvertinant saugojimo sąlygų ir trukmės įtaką, išanalizuoti galimus plėvelės jungimo būdus.

3. Pradiniai projekto duomenys: *Kombucha* bakterijų kultūra.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos:

Aprangos mados inžinerijos baigiamasis projektas turi būti originalus bei atitinkantis magistro baigiamajam darbui keliamus reikalavimus.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

Santrauka, Literatūros apžvalga, Tyrimo metodika, Rezultatai, Išvados ir rekomendacijos, Literatūros sąrašas, Priedai.

6. Projekto konsultantai: doktorantė F. Sederavičiūtė.

Magistrantas:
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas:
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programų vadovas:.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

TURINYS

ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	11
1.1 Celiuliozės ir bakterinės celiuliozės struktūra ir savybės.....	11
1.1.1. Bakterinės celiuliozės savybės.....	14
1.2. Bioplėvelės panaudojimas ir perspektyvos.....	15
1.3. Plėvelės savybių tyrimo metodai.....	19
1.3.1. Plėvelių stiprumo ir tamprumo nustatymo metodai.....	19
1.3.2. Aprangos jungimo būdai.....	20
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas.....	22
2. TYRIMŲ METODIKA.....	23
2.1. Tyrimo objektas, sandara ir morfologija.....	23
2.2. Tyrimų metodikos.....	24
2.2.1. Saugojimo sąlygų įtaka BC bioplėvelės mechaninėms savybėms.....	24
2.2.2. BC plėvelės storio pokyčio nustatymas.....	26
2.2.3. Bioplėvelės jungimo būdų tyrimo metodika naudojant adhezyvą.....	26
2.2.4. Bioplėvelės jungimo būdų tyrimo metodika nenaudojant adhezyvo.....	26
2.2.5. Džiovinimo įtakos stiprumui nustatymas.....	27
3. REZULTATAI.....	29
3.1. Plėvelės savybių priklausomybė nuo džiovinimo sąlygų.....	29
3.2. Plėvelės mechaninių savybių priklausomybė nuo saugojimo sąlygų.....	31
3.3. Plėvelės storio priklausomybė nuo saugojimo sąlygų.....	34
3.4. Plėvelės jungimo tyrimai.....	34
3.4.1. Plėvelės jungimo be adhezyvo tyrimai.....	34
3.4.2. Slėgio įtaka BC plėvelės junginio savybėms.....	36
3.4.3. Adhezyvo ir jungimo parametrų įtaka BC plėvelės junginio savybėms.....	37
3.5. BC plėvelės storio priklausomybė nuo džiovinimo temperatūros.....	39
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	41
NAUDOTA LITERATŪRA.....	43
PRIEDAI.....	47
1 PRIEDAS.....	48
2 PRIEDAS.....	51
3 PRIEDAS.....	52

Paveikslų sąrašas

1 pav. Celiuliozės cheminė struktūra (Quijano, 2017).....	11
2 pav. Bakterinės celiuliozės struktūra (X2000) (Fernando G. Torres, 2012).....	13
3 pav. Augalinės celiuliozės struktūra (X20000) (Fernando G. Torres, 2012).....	13
4 pav. Bioplėvelės panaudojimas smegenų dangalui (Charles ir kt., 2011).....	16
5 pav. Bakterinė celiuliozė – odos pakaitalas (Zhang, 2013).....	16
6 pav. Dirbtinės kraujagyslės iš bakterinės celiuliozės (Science Daily, 2009).....	17
7 pav. Popierius iš bakterinės celiuliozės (Koto, 2012).....	17
8 pav. Nata de coco (Koto, 2012).....	18
9 pav. Moteriška palaidinė iš bakterinės celiuliozės plėvelės (Eryilmaz, 2013).....	18
10 pav. Gary Cass and Donna Franklin ir Susan Lee modeliai (Fairs, 2014).....	19
11 pav. Bandinio forma.....	24
12 pav. Bandinių išdėstymas BC plėvelėje	24
13 pav. Bandinių ženklinimo pavyzdys, kai medžiaga saugojama 10 dienų.....	25
14 pav. Adhezyvu jungto bandinio schema.....	26
15 pav. Be adhezyvo jungto bandinio schema.....	27
16 pav. Bandinio dydis.....	27
17 pav. šlapios BC plėvelės paviršiaus vaizdas (didinamas 4x).....	29
18 pav. 75 laipsnių temperatūroje išdžiovinotos BC plėvelės paviršiaus vaizdas (didinimas 10x).....	29
19 pav. Džiovinimo temperatūros įtaka trūkimo stipriui.....	30
20 pav. BC plėvelės trūkimo ištiesos priklausomybė nuo džiovinimo temperatūros.....	31
21 pav. BC plėvelės stiprio tempiant priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės.....	31
22 pav. Įtempio pokyčio ΔF priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų.....	32
23 pav. BC plėvelės trūkimo ištiesos priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės.....	33
24 pav. Plėvelės junginių nenaudojant adhezyvo stiprio priklausomybė nuo bandinių džiovinimo temperatūros.....	35
25 pav. BC plėvelės nenaudojant adhezyvo trūkimo ištiesos priklausomybė nuo džiovinimo temperatūros.....	35
26 pav. 75 °C temperatūroje džiovintų bandinių junginių po šlyties tempimo eksperimento vaizdai...36	
27 pav. Slėgio įtaka BC plėvelės junginio trūkimo stipriui.....	37
28 pav. BC plėvelės junginio su krakmolu skersinio pjūvio vaizdas (didinamas 4x).....	37
29 pav. BC plėvelės junginio su krakmolu stiprio tempiant priklausomybė nuo temperatūros.....	38
30 pav. BC plėvelės junginio su krakmolu trūkimo ištiesos priklausomybė nuo temperatūros.....	39

31 pav. BC plėvelės storio pokytis kartais veikiant skirtingoms temperatūroms.....	40
1 pav. Pramonės inžinerijos konferencijos pažymėjimas.....	51
2 pav. Jaunųjų mokslininkų konferencijos publikacija.....	52

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skirtingos kultūros gaminančios bakterinę celiuliozę [Chawla ir kt., 2009].....	12
2 lentelė. BC plėvelės storio matavimai.....	34
1 lentelė. „Tinius Olsen” tempimo mašina gautos tempimo kreivės ir bandiniai prieš ir po eksperiment.....	48

Simonaitytė, Judita. Kombucha bioplėvelės taikymas aprangos gamybai. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Jurgita Domskienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Polimerų ir tekstilės technologijos (F02), Technologijų mokslai (F).

Reikšminiai žodžiai: *kombucha*, bioplėvelė, apranga, mechaninės savybės.

Kaunas, 2018. 57 p.

SANTRAUKA

Visuomenė vis labiau susirūpinusi darnaus vystymosi ir vartojimo problemomis. Per paskutinį dešimtmetį ypač išaugo susidomėjimas alternatyviomis medžiagomis, kurios būtų mažiau toksiškos mūsų aplinkai. Tikimasi, kad bakterijų panaudojimas medžiagų gamybai sumažins taršą, nesukurs atliekų. Nors bakterinė celiuliozė žinoma nuo XIX a., tačiau jos taikymo aprangos gamybai galimybės nėra plačiai ištyrinėtos.

Šiame darbe tiriama bakterinės celiuliozės bioplėvelė. Gelio pavidalo medžiaga užauginama mieliagyrių ir acto rūgšties bakterijų simbiozės pagrindu, kaip antrinis *Kombucha* gėrimo produktas. Tiriamojo darbo tikslas nustatyti saugojimo sąlygų ir trukmės įtaką *Kombucha* bioplėvelės mechaninėms ir storio savybėms, išanalizuoti galimus plėvelės jungimo būdus bei įvertinti galimybes tiriamąją medžiagą naudoti kaip ekologišką alternatyvą tekstilės ir aprangos pramonėje

Tyrimų rezultatai rodo, kad pastovioje +4 laipsnių temperatūroje saugoti bakterinės celiuliozės bandiniai pasižymi geresnėmis deformacinėmis savybėmis negu laikyti pastovioje temperatūroje kambario sąlygomis. 30 dienų kambaryje saugotų bandinių stipris sumažėjo 73 %, o ištįsa sumažėjo iki 7 kartų jau po 20 d. bandinių saugotų vėsioje aplinkoje stipris po 30 dienų sumažėjo iki 24 %, o ištįsa 2 kartus. Nustatyta, kad aukštesnėje džiovavimo temperatūroje biomedžiaga netenka elastingumo ir praranda stiprumą. Džioviant 25 °C nustatyta 28 % trūkimo ištįsa, 50 °C temperatūroje - 12 %, o 75 °C - 9 %. Nustatyta, kad bakterinės celiuliozės medžiaga yra jautri paruošimo ir saugojimo sąlygoms.

Eksperimentais buvo įvertintos BC junginių be adhezyvo ir keičiant džiovavimo temperatūrą, su adhezyvu ir keičiant slėgį savybės. Nustatyta, kad keičiant junginių be adhezyvo džiovavimo temperatūrą, mažėja junginių stiprumas ir ištįsa. Nustatyta, kad BC junginiams panaudojus krakmolą ir džioviant 25 °C temperatūroje, šlyties stipris siekia 8,06 MPa, o ištįsa 14,26 %. Nustatyta slėgio įtaka BC plėvelės junginio savybėms. Didžiausia trūkimo jėga 30,61 MPa nustatyta junginiams, sudarytiems prie 0,06 Pa ir 25 °C temperatūros – tai beveik 6 kartais daugiau nei bandinius ruošiant be slėgio.

Simonaitytė, Judita. The use of the Kombucha biofilm for the production of clothing / Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Jurgita Domskienė; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): polymer and textile technology (F02), technology science (F).

Keywords: *kombucha*, biofilm, clothing, mechanical properties.

Kaunas, 2018. 57 pages.

SUMMARY

The nowadays society is concerned about developing and consuming problems. In the last decade the interest of alternative materials that are less toxic for our environment is being increased. It is believed that bacterial materials will reduce pollution and waste. Even though the bacterial cellulose has been known since XIXth century, its application in the clothing and textile industry is not widely analysed.

In this paper the author analyses cellulose biofilm. The gel like material is obtained from the symbiosis of yeasts and acetic bacteria. The aim of the paper is to estimate the influence of storage conditions and duration on mechanical properties and thickness of *kombucha* biofilm, to analyse biofilm joints and to evaluate the opportunities to use investigated material in the industry of textile and clothing.

The results show that in a constant temperature of 4 °C the biofilm of bacterial cellulose better preserve the deformation properties and inhibit vinegar syndrome, although biomaterial aging can't be completely stopped. The biofilm that was kept in controlled conditions lost their strength of 73% and their tensile stress was reduced 7 times in 20 days. The biofilm that was kept in a cold environment lost their strength by 24 % and measured tensile stress was less 2 times. Results proved that at higher drying temperature biofilm loses its elasticity and strength. Elongation of 28 % is estimated for samples dried at 25 °C, 12 % for sample dried 50 °C and 9 % at 75 °C. It was determined that bacterial cellulose biofilm is sensitive in terms of preparation and storage.

Experimental analysis was conducted to estimate properties of biomaterial joints without adhesive and with adhesive when drying temperature and pressure is changed. It was assessed that by increasing the temperature the strength of joints without adhesive decreases. It comes to the result that using starch for BC joints and drying temperature of 25°C, the shear strength of joints exceeded 8.00 MPa and 14.00 % of elongation. The influence of pressure for biofilm joints is established. The highest stress of 30.61 MPa was discovered for the joints obtained by 0.06 Pa and 25 °C that is 6 times more than for joints obtained at the same temperature without pressure.

IVADAS

Pasaulis susirūpinęs dėl darnaus vystymosi ir vartojimo, susiduriame su ekologinėmis problemomis, perdėtu vartojimu bei dideliais atliekų kiekiais. Paskutinį dešimtmetį ypač išaugo susidomėjimas medžiagomis, kurios galėtų pakeisti įprastines ir būtų ne tokios toksiškos mūsų aplinkai. Viena iš jų yra bakterinė celiuliozė.

Tam tikrų medžiagų fermentacijos metu gali būti išgaunama bakterinė celiuliozė, kuri yra išskirtinės sandaros ir pasižyminti unikaliomis savybėmis medžiaga. Kaip rodo moksliniai tyrimai ir komerciniai produktai, ši medžiaga gali pakeisti buitį, mediciną, popieriaus pramonę bei galime tikėtis teigiamo efekto darnaus vystymo link. Žinomi įdomūs tyrimai, kai bakterinės celiuliozės plėvelė pritaikoma aprangos gamybai. Bakterijų pritaikymas medžiagų gamybai iš esmės keičia įprastus gamybos metodus. Tokių medžiagų gamyba nereikalauja taršių procesų, o pasibaigus produkto galiojimo laikui, medžiaga natūraliai suris gamtoje. Pavyzdžiui padėvėtas drabužis, galės būti tiesiog kompostuojamas. Tikimasi, kad iš bakterijų užauginta medžiaga sumažins taršą, nes taikant šią technologiją nesukursime atliekų. Tačiau dar nėra plačiai iširta bakterinės celiuliozės taikymo aprangos gamybai problema, nežinomas medžiagos ilgaamžiškumas, technologinės savybės ir pan.

Tyrimo objektas. Mieliagybių ir acto rūgšties bakterijų simbiozės pagrindu užauginta gelio pavidalo bioplėvelė, sudaryta iš celiuliozės nanogijų tinklo.

Tyrimo tikslas - iširti saugojimo sąlygų ir trukmės įtaką *Kombucha* bioplėvelės mechaninėms ir storio savybėms, išanalizuoti galimus plėvelės jungimo būdus bei įvertinti galimybes tiriamąją medžiagą naudoti kaip ekologišką alternatyvą tekstilės ir aprangos pramonėje.

Darbo uždaviniai:

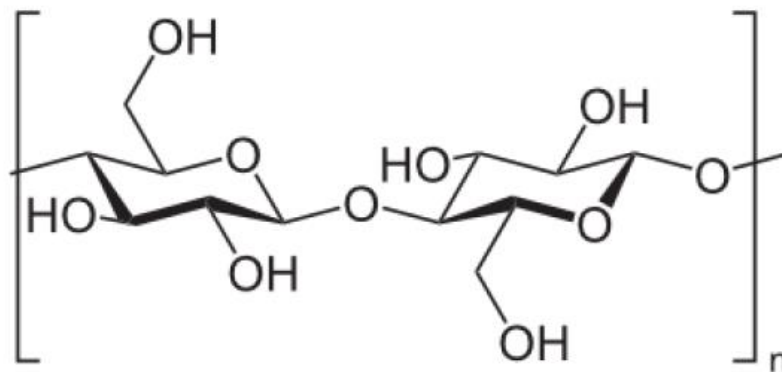
1. Remiantis žinoma informacija apie biomedžiagos struktūrą ir prigimtį sudaryti ilgaamžiškumo tyrimo planą, parinkti tyrimo metodus ir rodiklius.
2. Pasiruošti bakterinės celiuliozės bandinius mechaninių ir storio savybių tyrimui.
3. Nustatyti saugojimo sąlygų ir trukmės įtaką *Kombucha* bioplėvelės ilgaamžiškumui.
4. Išanalizuoti galimybes jungti biomedžiagos sluoksnius.
5. Nustatyti jungimo būdo parametrų įtaką junginio stiprumui.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Celiuliozės ir bakterinės celiuliozės struktūra ir savybės

Celiuliozė yra vienas iš pagrindinių žemės biopolimerų, kurio ekonominė svarba yra milžiniška. Celiuliozė yra pagrindinė medvilnės (daugiau kaip 94%) ir medienos (daugiau kaip 50%) sudedamoji dalis (Sherif MAS Keshk, 2014). Celiuliozė yra tvarus ir natūraliai atsinaujinantis išteklius (Quijano, 2017). Celiuliozė naudojama popieriaus, tekstilės, statybinių medžiagų ir kartono gamyboje.

Augalinė celiuliozė yra kieta medžiaga, todėl augalų sienelės būna stangrios, o kartu ir elastingos, nes ji šiek tiek brinksta. Celiuliozės molekulės sutelktos į išilgines grandinėles – micles. Celiuliozė – pagrindinis augalų struktūrinis polisacharidas. Jis yra labiausiai žemėje paplitęs organinis junginys. Celiuliozės dalis augalų ląstelių sienelėse sudaro 40–50 proc. Jos molekulinė masė yra apie 106 D, o molekulės ilgis gali būti iki 6–8 μm . Ji yra linijinis polisacharidas, sudarytas iš gliukozės liekanų, sujungtų tarpusavyje β -1,4 glikozidiniais ryšiais. Žmogaus virškinimo sistemoje nėra fermentų, skaidančių β -1,4 glikozidinius ryšius, bet celiuliozė, kaip maisto dalis, būtina normaliai virškinimo funkcijai. Celiuliozė turi daug -OH grupių, todėl ji labiau hidrofilinė (Quijano, 2017).



1 pav. Celiuliozės cheminė struktūra (Quijano, 2017)

Be tradiciniu būdu išgaunamos augalinės celiuliozės, ji gali būti auginama bakterijų simbiozės pagrindu. Bakterinė celiuliozė (BC) gali būti išgaunama iš skirtingų bakterijų kultūrų, pavyzdžiui *Gluconacetobacter* (anksčiau *Acetobacter*), *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina*, ir *Salmonella* (Chawla ir kt., 2009).

Celiuliozės produktas gautas iš *Acetobacter xylinum* pirmą kartą buvo paminėtas A.J. Brown'o darbuose dar 1886 metais. Jis pastebėjo, kad *Acetobacter* ląstelės dalyvaujant deguoniui ir gliukozei pagamina celiuliozę.

Prashantas (2009) savo moksliniame straipsnyje teigia, kad bakterinė celiuliozė egzistuoja kaip bazinė struktūra, žinoma kaip mikropluoštas, kuris yra sudarytas iš gliukanų grandinių, sukabintų

vandeniliu, sudarant kristalinę grandį. Bakterinės celiuliozės bioplėvelė yra mikroorganizmų bendruomenė, susidariusi ant augimo terpės paviršiaus. Genetinė įvairovė organizmų, kurie formuoja bioplėvelę įrodo, kad plėvelė yra mikroorganizmų gyvybės forma. Bakterinė bioplėvelė garantuoja bakterinių gyvenimo formų egzistavimą. Ir tai yra dominuojantis fenotipas gamtoje (Maric, 2014; Prashant, 2009).

Bakterinės celiuliozės mikropluošto struktūra lemia daugumą jos savybių. Ši medžiaga yra aktyva ir gali būti naudojama antibiotikų ar kitų vaistų pernešimui į žaizdą. Taip pat ir sudaro efektyvų fizinį barjerą išorinei infekcijai (Czaja ir kt., 2007).

1 lentelė. Skirtingos kultūros gaminančios bakterinė celiuliozė (Chawla ir kt., 2009)

Microorganism	Carbon source	Supplement	Culture time	Yield/(g/L)	Reference
<i>A. xylinum</i> BRC 5	glucose	ethanol, oxygen	50 h	15.30	(75)
<i>G. hansenii</i> PJK (KCTC 10505 BP)	glucose	oxygen	48 h	1.72	(20)
<i>G. hansenii</i> PJK (KCTC 10505 BP)	glucose	ethanol	72 h	2.50	(21)
<i>Acetobacter</i> sp. V6	glucose	ethanol	8 day	4.16	(44)
<i>Acetobacter</i> sp. A9	glucose	ethanol	8 day	15.20	(47)
<i>A. xylinum</i> BPR2001	molasses	none	72 h	7.820	(52)
<i>A. xylinum</i> BPR2001	fructose	agar oxygen	72 h	14.10	(64)
<i>A. xylinum</i> BPR2001	fructose	agar	56 h	12.00	(64)
<i>Acetobacter xylinum</i> ssp. <i>sucrofermentans</i> BPR2001	fructose	oxygen	52 h	10.40	(68)
<i>Acetobacter xylinum</i> ssp. <i>sucrofermentans</i> BPR2001	fructose	agar oxygen	44 h	8.70	(68)
<i>Acetobacter xylinum</i> E25	glucose	no	7 day	3.50	(78)
<i>G. xylinus</i> strain (K3)	mannitol	green tea	7 day	3.34	(46)
<i>Gluconacetobacter xylinus</i> IFO 13773	glucose	lignosulphonate	7 day	10.10	(48)
<i>Acetobacter xylinum</i> NUST4.1	glucose	sodium alginate	5 day	6.00	(65)
<i>Gluconacetobacter xylinus</i> IFO 13773	sugar cane molasses	no	7 day	5.76	(53)
<i>Gluconacetobacter</i> sp. RKY5	glycerol	no	144 h	5.63	(59)
Co-culture of <i>Gluconacetobacter</i> sp. st-60-12 and <i>Lactobacillus mali</i> JCM1116	sucrose	no	72 h	4.20	(60)

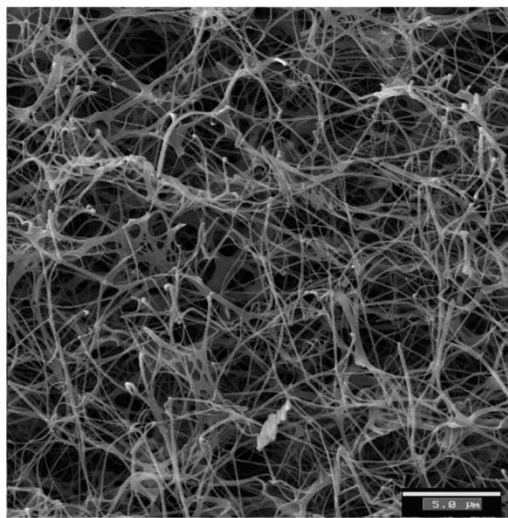
"*Gluconacetobacter xylinus*" bakterija gamina gryną, itin smulkaus neorientuoto pluošto celiuliozės tinklą, pasižymintį kristališkumu, dideliu vandens absorbciniu pajėgumu ir mechaniniu stiprumu. Nors bakterinė celiuliozė (BC) turi tokią pačią cheminę sudėtį, kaip augalinė celiuliozė, tačiau BC turi išskirtines fizines ir mechanines savybes, kurios atsiranda dėl jos specialios fibrilinio tinklo struktūros mikro lygmenyje (Czaja, 2007).

Puikios skysčio sugerties savybės pasireiškia dėl didelio paviršiaus ploto, o geras mechaninis stiprumas priklauso nuo tarpfibrinių vandenilinių jungčių, kurios suteikia struktūrai stabilumo (Scionti, 2010).

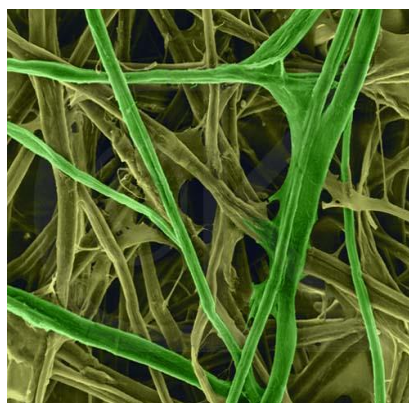
Bakterinės celiuliozės džiūvimo proceso metu nano-pluoštai sudaro lygiagrečius sluoksnius. Dėl šios priežasties džiūvintos celiuliozės lakštai yra labai stabilūs ir stiprūs, nes tarp pluoštų yra daugiau vandenilinių jungčių (Scionti, 2010).

Augalinės ir bakterinės celiuliozės molekulės yra vienodos: $(C_6H_{10}O_5)_n$. Lyginant bakterinę ir augalinę celiuliozę stebimi tam tikri skirtumai. Pasak autorių Araujo ir Moreiros de Silva (2015), bakterinė celiuliozė pasižymi unikaliomis mechaninėmis ypatybėmis ir grynumu, lyginant su augaline. Jai būdingos specifinės fizikinės ir cheminės savybės. Bakterinė celiuliozė turi aukštesnį polimerizacijos laipsnį, daugiau sugeria vandens, pasižymi geromis stiprumo savybėmis. Bakterinė celiuliozė yra sudėtingesnės struktūros, neturi lignino ir hemiceliuliozės, pasižymi ilgesniu pluoštu, kuris yra stipresnis. Autorius Bhatas (2016) mini, kad bakterinės celiuliozės pluoštai yra beveik 100 kartų plonesni nei augalinės celiuliozės (Bhat, 2016; de Silva, 2015).

Bakterijų sintezės metodu medžiaga gali būti užauginama bet kokios formos ir storio, galima gauti įvairius paviršius (Vandamme, 1998).



2 pav. Bakterinės celiuliozės struktūra (X2000) (Fernando G. Torres, 2012)



3 pav. Augalinės celiuliozės struktūra (X20000) (Fernando G. Torres, 2012)

Bakterinės celiuliozės trūkumai, apribojantys medžiagos komercinį pritaikymą:

- Aukšta kaina (50 kartų didesnė nei augalinės celiuliozės);
- Substratų (cukraus) aukšta kaina;
- Mažas našumas;
- Trūksta didelio masto gamybos pajėgumo;
- Didelės laiko sąnaudos, skirtos plėtrai ir ląstelių kultūros gamybos priežiūrai.

Pagrindiniai struktūriniai bioplėvelės vienetai yra mikrokolonijos, atskiros bakterinių ląstelių bendruomenės, integruotos į tarpląstelinę polisaharidinę terpę. Šitos kolonijos daugeliu atveju yra grybo formos ar panašios į strypą, jos gali susidaryti iš vieno bakterijų tipo arba kelių. Priklausomai nuo esamų bakterijų tipų, mikrokolonijos susideda iš 10-25 % ląstelių ir 79-90 % terpės. Šis faktas paaiškina kodėl plėvelė išdžiūsta ir praranda 90 % savo storio ir svorio. Ši terpė saugo bioplėvelės ląsteles nuo įvairių neigiamų aplinkos sąlygų, tokių kaip UV spinduliai, radiacija, staigūs pH pokyčiai ar sausra. Tokiu būdu tarp mikrokolonijų susiformuoja kanalai, per kuriuos teka vanduo. Vandeniniai kanalai bioplėvelėje funkcionuoja kaip cirkuliuojančios sistemos, skirstančios maistingas medžiagas (Varneš, 2007).

Celiuliozės bioplėvelė yra polimorfinė, kurios struktūra reguliuojama pagal maistingų medžiagų kiekį. Kai gliukozės koncentracija yra aukšta, mikrokolonijos pasidaro greitos ir bioplėvelės storis žymiai padidėja. Kai gliukozės koncentracija sumažėja, mažėja ir biomasė. Bioplėvelės įvairūs tyrimai parodė, kad skirtingomis hidrodinaminėmis sąlygomis bioplėvelės struktūra pasikeičia priklausomai nuo gliukozės srauto (Lianos, 2010, Klemm ir kt., 2005).

1.1.1. Bakterinės celiuliozės savybės

Bakterinė celiuliozė turi daug perspektyvių savybių. Tai gryna medžiaga, joje nėra lignino, pektino, hemiceliuliozės arba vaško, randamo augalinėje celiuliozėje. Tai sumažintų išlaidas, jeigu medžiaga yra naudojama gamybai. Beto, bakterinę celiuliozę sudaro beveik 100 % celiuliozės. Tuo tarpu, kai augalinė celiuliozė yra tik 60-70 % viso medžiagos kiekio (Klemm, 2001).

Bakterinė celiuliozė turi aukštesnį polimerizacijos laipsnį nei augalinė celiuliozė. Aukštas polimerizacijos laipsnis yra susijęs su didesniu mechaniniu stiprumu. Autoriai Quis ir Netravalis (2001) teigia, kad polimerizacijos laipsnis gali siekti 16000-20000, o augalinė celiuliozė siekia tik 13000-14000 polimerizacijos laipsnį [Quis, 2001].

Bakterinė celiuliozė gali sugerti milžinišką vandens kiekį. Ši medžiaga labai patraukli biomedicinos srityje. Bakterinė celiuliozė drėgnoje būsenoje primena hidrogelį. Vandens kiekis sudaro iki 98 % viso svorio (Qui ir Netravalis, 2016). Be to, aukštas polimerizacijos laipsnis suteikia bakterinei

celiuliozei didelį tempimo stiprį. Nustatyta, kad BC stipris siekia 114 GPa, tai yra panašus į stiprius sintetinius pluoštus [Qui, 2014].

Dėl biologinio skaidumo bakterinė celiuliozė yra tvari bei ekologiška medžiaga, patraukli įvairiose pramonės šakose. Pavyzdžiui, drabužių pramonė dažnai minima, kaip teršianti aplinką pramonės šaka, kadangi sukuriama daug atliekų tiek gamybos, tiek vartojimo metu. Dažniausiai drabužiai būna išmetami, nes tik dalis jų yra rūšiuojami ar perdirbami. Tekstilę, kuri pagaminta iš skirtingų pluoštų yra sunku perdirbti. Mados industrijoje pakeitus tradicinę medvilnę bakterinės celiuliozės alternatyviomis medžiagomis, drabužis galėtų būtų lengvai utilizuojamas pasibaigus jo tarnavimo laikui (Quijano, 2017).

1.2. Bioplėvelės panaudojimas ir perspektyvos

Nuo XX a. pradžios popieriniams dokumentams klijuoti buvo pradėti naudoti ir pusiau sintetiniai polimerai – tirpūs celiuliozės eteriai (modifikuota gamtinė celiuliozė) (Feller, 1990).

Nepriklausomai nuo to kokios žaliavos panaudojamos modifikuojant celiuliozę galima gauti plastiškumą, tirpumu organiniuose tirpikliuose ir kitomis savybėmis besiskiriančius junginius. Gauto produkto savybės priklauso ir nuo gamybos būdo bei panaudotos žaliavos (medvilnė, medienos celiuliozė ir kt.).

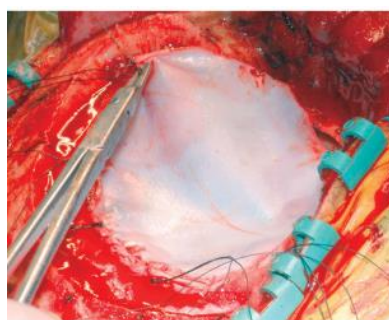
Naudojant celiuliozę kaip klijus popieriui, celiuliozės eteriai yra naudojami gryni arba maišomi su krakmolo kleisteriais. Šios polimerinės medžiagos gerai padengia paviršių, palaiko drėgmę. Mažos koncentracijos tirpalai gali būti naudojami popieriui klijuoti, taip pat naudojami kaip rišikliai tvirtinant (Fellee, 1990).

Dirbtinio sendinimo testais nustatyta, jog celiuliozės dariniai ilgai išlieka nepakitę, gana atsparūs mikroorganizmams, todėl tinkami restauravimo darbams. Nustatyta, kad įvairių rūšių celiuliozės eteriai skirtingai kinta senėjimo proceso metu. Kai kurių celiuliozės eterių yra atsisakyta dėl spartaus senėjimo (Paper Conservation Catalog, 1994).

Bakterinė celiuliozė gali būti auginama tiesiogiai iš saldintos arbatos kurioje bakterijų simbiozės pagrindu užauga gelio pavidalo bioplėvelė, sudaryta iš celiuliozės nanogijų tinklo (Wang, 2015). Ši medžiaga, yra struktūriškai ir chemiškai patvari. Jos mechaninis stiprumas, cheminės savybės, morfologinė sudėtis yra tinkama naudoti biomedicininiais tikslais. Pritaikant bakterinę celiuliozę medicinoje labai svarbios jos savybės yra biologinis suderinamumas ir netoksiškumas (Helenius, 2006; Petersen, 2011).

Bakterinė celiuliozė (BC), yra unikali ir perspektyvi medžiaga, kuri gali būti naudojama implantų ar kitų gyvų audinių inžinerijos srityse. BC bioplėvelė yra naudojama žaizdų perrišimui bei tvarstymui, nes sudaro drėgną terpę, ko pasekoje greičiau gyja žaizdos. Kadangi pati bakterinė

celiuliozė neturi antimikrobinų savybių, kas yra aktualu siekiant išvengti žaizdos infekcijų, sidabro nano dalelės gali būti įterpiamos į bakterinę celiuliozę augimo metu ją panardinus į sidabro nitrato tirpalą. Taip išgaunamos antimikrobinės savybės prieš *Escherichia coli* (E.coli) bei *Staphylococcus aureus* (auksinis stafilokokas) bakterijas (Maneerung ir kt., 2007). Bakterinė celiuliozė yra naudojama žmogaus kūno audinių prilaikymui, minkštųjų audinių keitimui, šlapimo pūslės kaklelio plastikai. Tyrinėjama galimybė BC naudoti kietajam smegenų dangalui, 5 paveiksle matome kaip bakterinę celiuliozę galima pritaikyti žmogaus odos pakaitalui. Pagrindinė ir svarbiausia savybė odos pakaitalui, kadangi yra laidumas orui ir galimybė sugerti skysčius, o tuo ir pasižymi bakterinė celiuliozė (Fu, Zhang, 2011; Charles ir kt., 2011).



4 pav. Bioplėvelės panaudojimas smegenų dangalui (Charles ir kt., 2011)



5 pav. Bakterinė celiuliozė – odos pakaitalas (Zhang, 2013)

Žinomi tyrimai, kurių pagrindu buvo suformuotos dirbtinės kraujagyslės, kaip matome 6 paveiksle. Celiuliozė, pagaminta iš bakterijų, ateityje gali būti pritaikyta gaminti dirbtines kraujagysles, kadangi tyrimai prognozuoja mažesnę krešulių pavojų, negu naudojant sintetines medžiagas (Science Daily, 2009).



6 pav. Dirbtinės kraujagyslės iš bakterinės celiuliozės (Science Daily, 2009)

Nors bakterinė celiuliozė turi didelį potencialą tapti svarbia biomedžiaga ateityje, tačiau šiuo metu komercializacija yra ribota. Bendrovės "Celiuliozė" sprendimai" ir "Xylos Corporation" sukūrė BC produktus prekių pavadinimais Dermafill™ ir XCell®, skirtus žaizdoms gydyti. Kai kurios priežastys, kodėl rinkoje nėra ypač populiarūs BC gaminiai, yra galimybės optimizuoti fermentacijos procesą, ir išsamiai ištirti medžiagos fizikines ir mechanines savybes (Scionti, 2010).

Atlikus tyrimus su celiulioze, galima pagaminti pakaitalą neiriam plastikui. Gudauskas (2016) teigia, kad kai bakterija sintetina celiuliozę, „Blankophor“ dažas jungiasi su celiulioze. Ultravioletinėje šviesoje tokia celiuliozės pagrindu sukurta medžiaga švyti. Vyne ir vaisių sultyse užaugintas bakterijas, gaminančias celiuliozę, genų inžinerijos pagalba pakeitė taip, kad jos būtų pritaikytos pakeisti dirbtinius pluoštus, išgaunamus iš naftos (Gudauskas, 2016).

Bakterinė celiuliozė gali būti naudojama popieriaus pramonėje (7 pav.), kreditinių kortelių gamyboje. R. A. Koto (2012), tyrimai rodo, kad ši medžiaga yra puikiai tinkama optimalaus poringumo ir vienodo storio popieriaus gamybai (Koto, 2012).



7 pav. Popierius iš bakterinės celiuliozės (Koto, 2012)

Bakterinė celiuliozė gali būti naudojama dietiniam maistui, Filipinų maisto pramonėje. Tradicinis filipiniečių desertas – nata de coco Tai želė gabaliukai su kokoso vandeniu. Želė yra bioceliuliozės produktas (Koto, 2012). Bakterinė celiuliozė dėl maistinių savybių patraukli kaip gyvulių pašaras.



8 pav. Nata de coco (Koto, 2012)

BC yra naudojama kaip „Sony“ kompanijos ausinių sudedamoji dalis. Bakterinė celiuliozė naudojama akustinei membranai, kuri užtikrina aukštos kokybės garsą gamyboje (Nishi ir kt.,1990).

Šiuo metu gana plačiai dizainerių pademonstruotas bakterinės celiuliozės panaudojimo būdas - aprangos gamyba. Bandydami įtraukti bakterinę celiuliozę į mados sektorių, autoriai tikisi, kad tai pagerintų gyvenimą, sutrumpintų drabužių vystymo procesą ir mažintų taršą. Tikimasi, kad BC gali tapti ekologišku pakaitalu įvairioms tekstilės medžiagoms. Šiuo metu tokie drabužiai yra pateikiami tik kaip prototipai (Eryilmaz, 2013).



9 pav. Moteriška palaidinė iš bakterinės celiuliozės plėvelės (Eryilmaz, 2013)

BC aprangos gamybai yra dažoma natūraliais būdais: geležies oksidacijos pagalba, vaisiais, daržovėmis arba galima bakterinę celiuliozę gaminti iš spalvotų arbatų rūšių. Tai visiškai nekenksmingi produktai, kurie leidžia išgauti norimą spalvą (Eryilmaz, 2013).

Kaip jau buvo minėta anksčiau, bakterinę celiuliozę galima užauginti įvairiose terpėse ir išgauti spalvas. Bakterijų *Acetobacter* simbiozės alaus terpėje pagrindu užauginta nanoceliuliozės balta biomedžiaga, kurią matome žemiau esančiame paveiksle (Fairs, 2014).



10 pav. Gary Cass and Donna Franklin ir Susan Lee modeliai [Fairs, 2014; Eryilmaz, 2013)

Tamsiai mėlyną bakterinės celiuliozės spalvą galima išgauti natūraliais indigo dažais. Pavyzdys pateiktas 10 paveiksle.

Vienas iš trūkumų pasak autorės Susanos Lee yra tai, kad bakterinės celiuliozės medžiaga nėra atspari vandeniui. Jeigu žmogus su tokiais drabužiais patektų į prastas oro sąlygas, medžiaga sugertų didelį kiekį vandens, ko pasekoje drabužiai pasidarytų labai sunkūs ir siūlės iširtų, todėl norint eksploatuoti šią drabužių liniją reiktų BC plėvelei pritaikyti cheminius paruošimo (plovimo) procesus ir apdailą, siekiant išgauti aprangai tinkamas savybes (Ha ir kt., 2008).

1.3. Plėvelės savybių tyrimo metodai

1.3.1. Plėvelių stiprumo ir tamprumo nustatymo metodai

Tempiamieji bandymai pateikia svarbią informaciją apie medžiagos mechanines savybes, ir yra dažnai naudojami analizuojant naujas medžiagas inžinerijos programoms, nes tai yra labai veiksmingi būdai palyginti skirtingų medžiagų savybes (Scionti, 2010).

Ar konstrukcija (jos elementas) yra pakankamai stipri, standi, stabili, galima spręsti tik tuo atveju, kai šalia įtemptą ir deformuotą jos būseną apibūdinančių dydžių (įrašų, įtempimų, poslinkių ir deformacijų) yra žinomos ir medžiagos mechaninės savybės: stiprumas, tamprumas, trapumas, kietumas ir kitos. Šias savybes kiekybiškai apibūdina jų rodikliai, pvz., stiprumą – stiprumo riba (trapioms medžiagoms) ir takumo riba (plastiškoms medžiagoms); tamprumą – proporcingumo riba, tamprumo riba, tamprumo ir šlyties moduliai bei Puasono koeficientas; plastiškumą – takumo riba, santykinis liekamasis bandinio ilgio pokytis, santykinis liekamasis bandinio skerspjūvio ploto pokytis ir t.t. Medžiagos mechaninėms savybėms tirti, jų rodikliams nustatyti atliekami medžiagų mechaniniai bandymai. Plačiąja prasme mechaninių bandymų tikslas yra trejopas (Vislavičius, 2005):

- 1) ištirti medžiagos irimo procesą bei įvairių veiksnių (temperatūros, radioaktyvaus švitinimo, terminio apdirbimo, cheminės sudėties, senėjimo ir kt.) įtaką medžiagos mechaninėms savybėms;

- 2) gauti medžiagų mechaninių savybių rodiklius (skaitines reikšmes);

3) patikrinti teorinius teiginius, formules ir skaičiuojamųjų schemų bei skaičiavimo metodų teisingumą.

Pirmaisiais dviem atvejais tiriami specialūs bandiniai, trečiuoju atveju – konstrukcijos, mazgai, sudėtingi statiniai ar jų maketai. Visais atvejais turi būti laikomasi norminiais dokumentais nustatyto sąlygų: bandiniai turi būti tam tikros formos ir matmenų, pagaminti jie turi būti reikiamo tikslumo ir prisilaikant tam tikrų taisyklių; normuojamas taip pat apkrovimo ir deformavimo greitis, temperatūra, bandinių skaičius, mechaninių rodiklių nustatymo metodika bei kiti dalykai. Laikytis šių sąlygų būtina, nes priešingu atveju įvairiose laboratorijose gautų rezultatų lyginimas neturėtų prasmės [Juodis J., 1989].

Lietuvos standartizacijos departamentas medžiagų tamprumo nustatymus įvardija tokius:

- Juostelės tempimo bandymai;
- Daugiaašiai bandymai;
- Stiprumo ribos plėšiant bandymas (LST EN 1875-3:2000)

Gumos arba plastiku padengtų medžiagų stiprumo nustatymui priskirtas - stiprumo ribos plėšiant nustatymas, kitaip vadinamas trapecijos metodas (LST EN 1875-3:2000).

Tekstilės tempiamosios medžiagų savybes nustatyti galime juostelės metodu (ISO 13934-1:2013) arba maksimalios jėgos nustatymas skiautės metodu (ISO 13934-2:2014). Medžiagų ir gatavų tekstilės gaminių siūlės tempimo savybes galime nustatyti siūlės nutraukimo juostelės metodo bandymu (ISO 13935-1:2014). O medžiagų ir gatavų tekstilės gaminių siūlės tempimo savybės - siūlės nutraukimo didžiausiosios jėgos nustatymas skiautės metodu (ISO 13935-2:2014).

Vienas iš pagrindinių medžiagos mechaninių bandymų yra tempimo bandymas. Jo tikslas yra gauti medžiagos stiprumo, tamprumo ir plastiškumo rodiklius, t.y. rodiklius, kurie inžineriniu požiūriu pakankamai visapusiškai atspindi svarbiausias medžiagos mechanines savybes (Juodis, 1989).

1.3.2. Aprangos jungimo būdai

Aprangos gamyboje naudojamos skirtingos medžiagos ir žinomos kelios skirtingos detalių jungimo technologijos.

Yra išskiriami trys pagrindiniai aprangos gaminių detalių jungimo būdai.

1. Siuvimas (ang. Sewing) – technologinis procesas, kai rankine ar mašinine adata praduriamos ir siūlais sujungiamos medžiagos.
2. Suvirinimas (ang. Welding) – aprangos gaminių detalių iš sintetinių ir dirbtinių medžiagų sujungimas kaitinant ir plastiškai deformuojant, kai suvirinimo siūlės vietoje kontaktiniame sluoksnyje susidaro tarpatominiai ir tarpmolekuliai ryšiai.

Suvirinimo technologijos yra kelios:

- Naudojamas karščio izoliavimo būdas
- Karšto oro ir karšto pleišto naudojimas
- Ultragarso ir dialektrinis suvirinimas
- Susiuvimas lazeriu (Vujasinovic, 2013).

3. Klijavimas (angl. Bonding) - aprangos gaminių detalių jungimo būdas kai atsiranda ryšys tarp klijuojamų paviršių dėl klijų sluoksnio adhezijos (Vujasinovic, 2013).

Klijai gali būti skirtingų fizinių formų: 1) klijų milteliai, 2) klijiniai siūlai, 3) tinkleliai, 4) klijiniai voratinkliai, 5) klijų plėvelės. Termoplastinės adhezinių plėvelių juostelės gali būti įvairaus pločio, gali būti pritaikytos krašto apdirbimui, todėl gaunamas sklandus krašto kontūras, kuris pagerina išvaizdą ir komfortą. Termoplastinės plėvelės skiriasi storiu, sandara. Jos gali būti juostelės formos arba kerpamos lazeriu pagal reikiamos formos lekalus. Klijuotinio sujungimo siūlėms skirta termoplastinė plėvelė dažniausiai gaminama su pagalbiniu silikoninio popieriaus sluoksniu, kuris klijavimo metu pašalinamas. Klijuojama karšto oro srove arba įkaitintais paviršiais, pvz. presais. Kadangi klijuojamų termoplastine plėvele detalių kraštai lieka atviri, detalės kerpamos lazeriu ar ultragarsu. Apdorojami kraštai šiek tiek apsilydo ir neyra (Lukoševičienė, 2005).

Medžiagų suklijavimo procesas apibūdinamas trimis pagrindiniais veiksniais: adhezija, kohezija ir autohezija. Adhezyvas – klijuojanti medžiaga – tai gamtinės ar sintetinės kilmės medžiaga, kuri dėl savo lipnumo gali sujungti odos, gumos, tekstilės ir pan. medžiagų detales, kai susidaro klijų plėvelės adhezinis ryšys su suklijuojamų medžiagų paviršiais. Turi būti vykdomas tam tikras procesas, norint sujungti medžiagas kartu, t.y., jas suklijuoti (Britannica, 2018).

Pritaikant įvairias detalių jungimo technologijas, dizaineriai gali tobulinti drabužių technologiją ir pagerinti jų konstrukciją. Naujos dizaino technologijos atvėrė kelią inovatyvioms galimybėms. Besiūlių drabužių technologija leidžia jaustis ir atrodyti gerai. Klijuotos siūlės gali būti vandeniui atsparios ir pritaikius tokias siūles drabužis paprastai sveria mažiau nei įprastai pasiūtas drabužis (Mateikaitė, 2010).

Beveik visos plastmasės tarpusavyje, o taip pat su kitomis medžiagomis gali būti suklijuojamos. Klijavimas pasižymi visa eile gerų ypatybių: klijuojamieji elementai nesusilpninami, suklijuojamas visas lietimosi paviršius, sujungimas sandarus, galima klijuoti įvairias medžiagas, suklijuota konstrukcija praktiškai nepasunkėja (Jemi, 2015).

Tirpiai termoplastines plastmases galima suklijuoti ne tik klijais, bet ir šių plastmasių tirpikliais. Jais suminkštinti klijuojamieji paviršiai yra suspaudžiami 0,5—2,0 kG/cm² jėga. Tirpiklis parenkamas, atsižvelgiant į klijuojamą termoplastinę plastmasę. Pavyzdžiui, organinį stiklą tirpina dichloretnas, celiulioidą — acetonas, polistirolą — benzolas ir t. t. Suklijuota siūlė yra vienesnė, kai vietoj tirpiklių naudojama klijuojamųjų polimerų tirpalai (Jemi, 2015).

Klijuotinė siūlė kietėdama traukiasi. Kuo siūlė storesnė, tuo didesnės jos absoliutinės deformacijos. Dėl to tiek siūlėje, tiek ir klijuojamoje medžiagoje atsiranda vidiniai įtempimai, kurie didėja, didėjant siūlės storiui. Nustatyta, kad įtempimų koncentracija neturi praktinės reikšmės, jei siūlės ir klijuojamosios medžiagos storių santykis mažesnis kaip 0,01. Be to, storesnės siūlės dažniau sutrūkinėja. Visa tai mažina klijuotų sujungimų stiprumą. Teoriškai siūlė būna stipriausia tada, kai jos storis lygus polimero molekulės ilgiui, t. y. apie 0,025. Praktiškai dėl klijuojamųjų paviršių nelygumo siūlės būna žymiai storesnės (Jemi, 2015).

Taigi jungimo būdai priklauso nuo įvairių dalykų, tačiau svarbiausia atsižvelgti į pačią medžiagą, o tada taikyti tinkamiausią jungimo būdą.

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Didėjantis vartojimas, greitai besikeičianti moda ir nuo jos priklausoma drabužių pramonė kelia didelį visuomenės susirūpinimą dėl poveikio aplinkai. Mados pasaulyje žodis ekologija sukėlė tam tikrą perversmą. Sparčiai kintantis klimatas bei senkantys gamtos išteklių priverčia keisti vartojimą ir įpročius. Tai ypač stipriai veikia mados industriją, kuri ilgus metus kaltinama besaikio vartojimo skatinimu. Dalis kūrėjų jau susirūpino savo kuriamais produktais ir pamėgino į viską pažvelgti kiek kitaip, ieškoti alternatyvių medžiagų.

Aprangos ir tekstilės pramonei mokslininkai jau siūlo išbandyti biotechnologiją kaip pagalbą siekiant darnaus vystymosi. Viena iš galimų medžiagų, su kuria jau yra kuriami prototipai - bakterinės celiuliozės bioplėvelė. Akivaizdu, kad bakterinė celiuliozė yra perspektyvus natūralios struktūros ir gerų mechaninių savybių biopolimeras. Atliekami tyrimai norint surasti geriausią BC plėvelės pritaikymo būdą.

Panaudojus alternatyvias medžiagas drabužiams, nereikės rūpintis dėl didelių atliekų kiekių, kadangi tokios medžiagos greitai yra ir gali būti perdirbamos.

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Tyrimo objektas, sandara ir morfologija

Tyrimo objektas – „*Kombucha*“ bioplėvelė, gauta mieliagybių ir acto rūgšties bakterijų simbiozės pagrindu. Bioplėvelė sudaryta iš bakterinės celiuliozės gijų tinklo, kuris susiformuoja ant auginimo terpės paviršiaus.

Auginimo terpės receptas: 2 litrai vandens, 200 g cukraus, 200 g 6 proc. obuolių acto, 5×5 cm² „*Kombucha*“ grybo ir 4 g žaliosios arbatos.

Statinės fermentacijos sąlygomis kambario temperatūroje bandiniai buvo auginami 10 dienų. Temperatūra svyravo nuo 20 °C iki 24 °C esant aplinkos drėgnumui nuo 25 iki 30 %. Nuo fermentacijos trukmės priklauso užaugusios bioplėvelės storis. Gelio plėvelei ypač yra svarbi temperatūra – aukštesnėje temperatūroje greičiau vyksta fermentacijos procesas ir per tą patį laikotarpį ant skystos auginimo terpės paviršiaus užauga storesnė plėvelė. Na Jingas ir kt. (2014), savo tiriamajame darbe su bakterine celiulioze nustatė, kad tinkama bioplėvelės augimo temperatūra yra 25 °C, aukštesnėje negu 30 °C temperatūroje plėvelės auginti nerekomenduojama, nes nuslopina bakterinės celiuliozės formavimą (Esam Al-Kalifawi, 2014).

E. Embuscadas ir kt. (1994) savo straipsnyje patvirtino informaciją, kad norint užtikrinti efektyvų fermentacijos procesą reikia rinktis 28 - 30 °C.

Ant skystos terpės paviršiaus užauginta bioplėvelė buvo išimama iš auginimo indo, kelias minutes plaunama po šiltu vandeniu, nusausinama iš abiejų pusių su gerai absorbuojančiu popierumi ir padedama džiuoti ant horizontalaus kieto paviršiaus. Gauta sausa bioceliuliozės plėvelė naudojama tolesniuose tyrimuose.

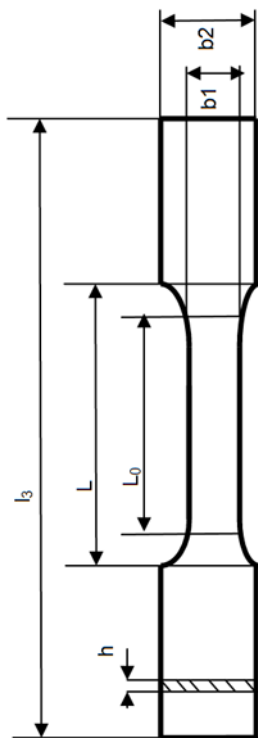
Bakterinės celiuliozės bioplėvelės bandiniai saugojimo sąlygų įtakos mechaninėms savybėms ir jungimo būdų tyrimams, kur buvo reikalinga sausa medžiaga, buvo džiovinami kambario temperatūroje (apie 23 °C) 7 dienas.

Džiovinimo sąlygų įtaka buvo tiriama bandinius džiovinant SNOL krosnelėje, kai temperatūra keičiama 25 °C, 50 °C ir 75 °C.

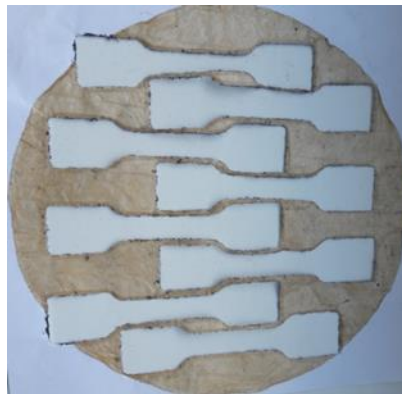
2.2. Tyrimų metodikos

2.2.1. Saugojimo sąlygų įtaka BC bioplėvelės mechaninėms savybėms

Saugojimo sąlygų įtaka biomedžiagos mechaninėms savybėms nustatyta atliekant tempimo eksperimentą. Stiprumo ir tąsumo savybės nustatomos remiantis standartu LST EN ISO 3376, kuris apibrėžia tyrimų sąlygas, nustatyti odos tempimo stiprio ir procentinės išťažos ypatybes. Pagal standarto reikalavimus tiriami dvigubo kastuvėlio formos bandiniai. Bendras ilgis - 102 mm, bandinio darbinis ilgis yra L 50 mm, tiesiosios zonos ilgis L_0 - 45 mm, centrinės zonos plotis b_1 - 10 mm, tvirtinimo zonos plotis b_2 - 20 mm (11 pav.).



11 pav. Bandinio forma



12 pav. Bandinių išdėstymas BC plėvelėje

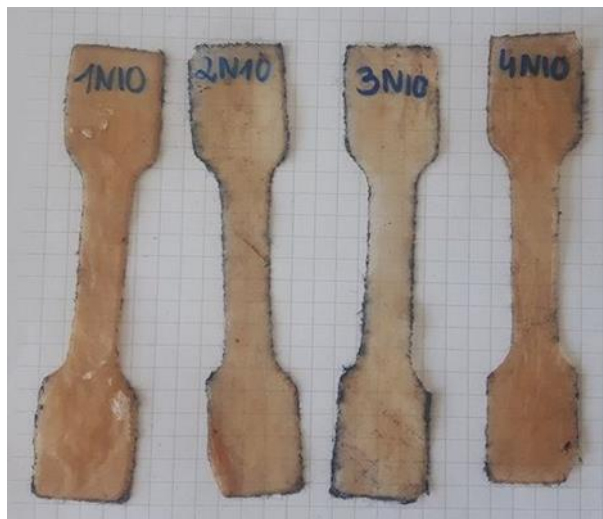
Bioplėvelės savybės buvo tiriamos įvertinant medžiagos saugojimo sąlygas. Bandinių paruošimo etapai:

- 0 (kontrolinis bandinys) – džiovinta kambario temperatūroje (apie 23 °C) nustatytos kiekvieno bandinio mechaninės savybės (stiprumas ir tąsumas);
- 1 – džiovinta kambario temperatūroje (apie 23 °C) ir saugoma kontroliuojamomis sąlygomis (23 °C, drėgmė 60 %). Bandinių storis ir mechaninės savybės (stiprumas ir tąsumas) vertinamos po 10 dienų, po 20 dienų ir po 30 dienų.

- 2 – džiovinta kambario temperatūroje (apie 23 °C) ir saugoma kontroliuojamomis sąlygomis vėsioje aplinkoje (+4 C, drėgmė 80 %). Bandinių storis ir mechaninės savybės (stiprumas ir tašumas) vertinamos po 10 dienų, po 20 dienų ir po 30 dienų.

Bandiniai koduojami skaičiais ir raidėmis, kaip matyti 13 paveiksle, kuriame pateiktas bandinio, saugoto kambario sąlygomis 10 dienų (240 val.) ženklavimo pavyzdys.

- N10; N20; N30 – buvo žymimi bandiniai, laikyti kambario sąlygomis skirtingą laiko tarpą;
- Š10; Š20; Š30 –buvo žymimi bandiniai, laikyti vėsioje sąlygomis skirtingą laiko tarpą.



13 pav. Bandinių ženklavimo pavyzdys, kai medžiaga saugojama 10 dienų

Tempimo eksperimento metu nustatyta trūkimo jėga perskaičiuojama, nustatant tempimo stiprį [MPa] pagal formulę (1) :

$$\sigma = F / b \times h \quad (1)$$

čia σ yra tempimo stipris [MPa];

F – stiprumas [N];

b – bandinio storis [mm];

h – bandinio plotis [mm].

Taip pat iš tempimo kreivės nustatoma maksimali trūkimo ištįsa.

Jungtinį bandinį sudaro elementariųjų bandinių seka. Savybių pokytis buvo vertinamas kiekvienam elementariam bandiniui.

Tiriamųjų savybių pokytis apskaičiuojamas:

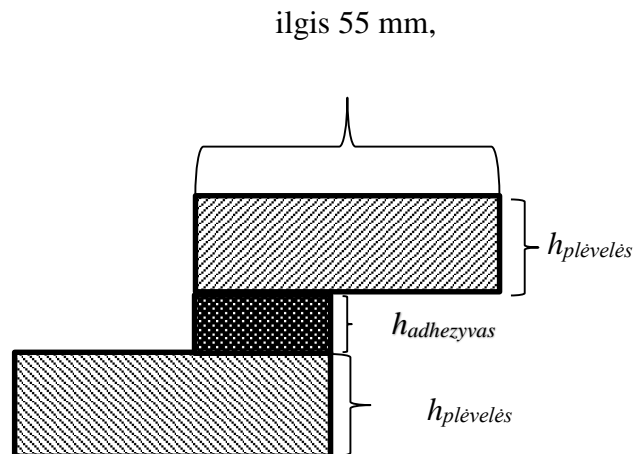
$$pokytis = \frac{(parametras_{pradinis} - parametras_{po\ tam\ tikro\ laiko})}{parametras_{pradinis}} \times 100. \quad (2)$$

2.2.2. BC plėvelės storio pokyčio nustatymas

Bandinių storis nustatytas „Preiser“ DPT 60 elektroniniu stomačiu, kurio tikslumas 0,01 mm. Fiksuojamas vidutinis 5 matavimų rezultatas kiekvienai bandinių grupei, kurios saugojimo sąlygos buvo keičiamos ir palyginama su pradiniu elementaraus bandinio storiu. Nustatomas storio pokytis pagal 2.2.1 skyriuje pateiktą formulę (2). Įvertinama rezultatų sklaida ir patikimumas.

2.2.3. Bioplėvelės jungimo būdų tyrimo metodika naudojant adhezyvą

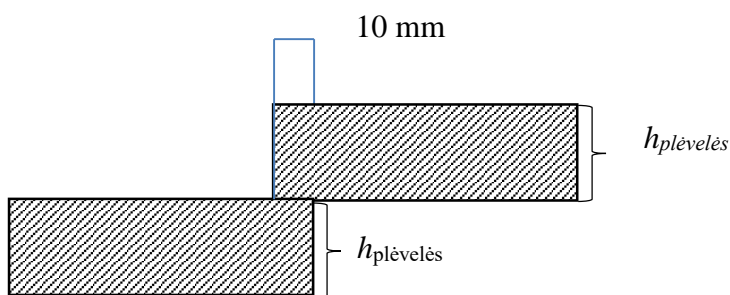
Klijuotinis sujungimas sudaromas suklijuojant bioplėvelės juosteles užkeistiniu sujungimu, kai perdengimo dydis – 10mm. Jungimui naudojamas adhezyvas krakmolos. Tiek vienos BC plėvelės 5mm kraštas patepamas krakmolu, tiek kitos 5mm. Bandinių stiprumas tempiant nustatytas tempimo mašinoje, atliekant atsparumo šlyčiai bandymą (Jankauskaitė, 2001). Junginio savybės (stipris ir ištįsa) nustatomos „TiniusOlsen H10 KT“ tempimo mašina. Tempimo greitis – 100 mm/min. Darbinė bandinio zona – 20 × 55 mm. Bandymas atliekamas remiantis standartu ISO-1421, kuris apibrėžia guma arba plastiku padengtų audinių tempimo stiprio ir pailgėjimo savybes (ISO-1421, 2016).



14 pav. Adhezyvu jungto bandinio schema

2.2.4. Bioplėvelės jungimo būdų tyrimo metodika nenaudojant adhezyvo

Iš šlapios bioplėvelės buvo iškerpami bandiniai, analogiškų matmenų, kaip ir bandyme su adhezyvu (20 × 55 mm). Po 5 bandinius kiekvienai jungimo grupei. Juostelės buvo sudedamos taip, kad kiekvienas jungimas sudarytų 1 cm. Junginio pavyzdys matomas žemiau pateiktoje schemoje (15 pav.).



15 pav. Be adhezyvo jungto bandinio schema

Junginių stiprio tyrimas buvo atliekamas, kai bandiniai buvo ruošiami keičiant slėgį (0,02 Pa, 0,06 Pa) ir temperatūrą.

Bandiniai buvo jungiami šiais būdais:

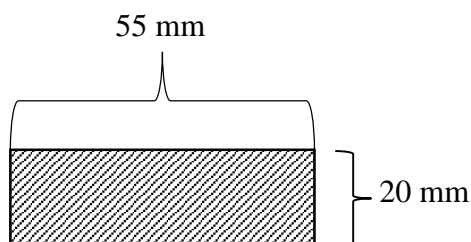
- 1 grupė: jungiama be slėgio keičiant temperatūrą ir džiovinimo laiką $T= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 24$ val.); $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 8$ val.); $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 6$ val.);
- 2 grupė: jungiama su slėgiu $p = 0,02$ Pa, keičiant temperatūrą ir džiovinimo laiką $T= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 24$ val.); $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 8$ val.); $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 6$ val.);
- 3 grupė: jungiama su slėgiu $p = 0,06$ Pa, keičiant temperatūrą ir džiovinimo laiką $T= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 24$ val.); $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 8$ val.); $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 6$ val.);

Junginio savybės (stipris ir ištįsa) nustatomos pagal standartą minima ankstesnėje metodikoje (2.2.3).

Tiriamosios savybės buvo nustatomos iš tempimo kreivės. Stipriui paskaičiuoti buvo naudojamas bandinių storis nustatomas „Preisser“ DPT 60 elektroniniu stomačiu (0,01mm tikslumu).

2.2.5. Džiovinimo įtakos stiprumui nustatymas

Džiovinimo tyrimui atlikti buvo paimta po 6 elementariusius bandinius kiekvienai grupei. Bandinių dydis parinktas toks pat, kaip ir anksčiau minėtoje bioplėvelės jungimo būdų savybių nustatymo metodikoje - 20 mm pločio ir 55 mm ilgio.



16 pav. Bandinio dydis

Bandiniai buvo džiovinami SNOL krosnelėje iki pastovios bandinio masės, kai džiovinimo temperatūra buvo keičiama:

- kai 25 °C, džiovinimo trukmė buvo apie 1620 min;
- kai 50 °C, džiovinimo trukmė buvo apie 480 min;
- kai 75 °C, džiovinimo trukmė buvo apie 360 min.

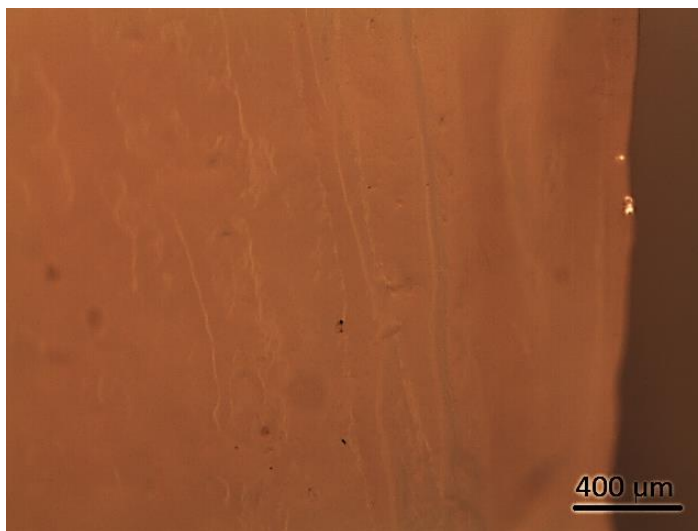
Džiovinimo įtaka stiprumui nustatoma tempimo eksperimento metu. Iš tempimo kreivės nustatoma maksimali tempimo deformacija ir įtempis, apskaičiuojama trūkimo ištįsa ir stipris.

Bioplėvelės bandinių storis buvo nustatomas „Preisser“ DPT 60 elektroniniu stomačiu (0,01mm tikslumu). Išmatuojami 5 kartus, įvertiname rezultatų sklaidą ir patikimumą.

3. REZULTATAI

3.1. Plėvelės savybių priklausomybė nuo džiovavimo sąlygų

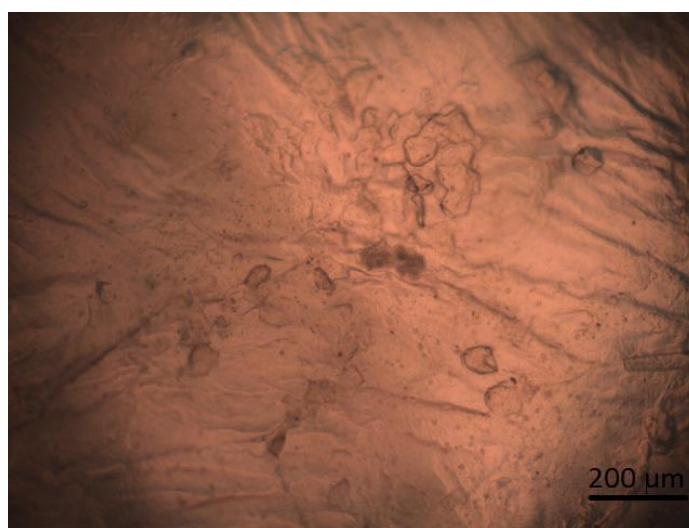
Žemiau pateiktame paveiksle (17 pav.) matome BC plėvelės mikrostruktūrą prieš džiovinimą. Vaizdas padidintas 4x. Pateiktame paveikslėlyje aiškiai matosi gijos, kadangi bandinys nėra sudžiovintas ir jo neveikia temperatūra.



17 pav. šlapios BC plėvelės paviršiaus vaizdas (didinamas 4x)

17 paveiksle matyti, kad šlapios plėvelės paviršius lygus. BC membrana gali turėti nuo 90 % iki 99,12 % vandens kiekio (Scionti, 2010).

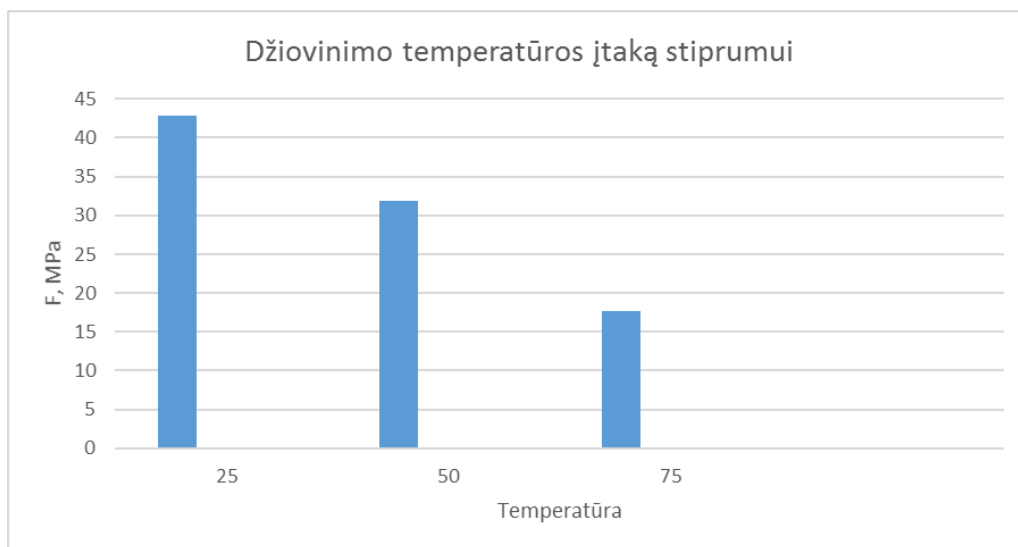
Palyginimui buvo padaryta mikroskopinė nuotrauka su plėvele, kuri buvo džiovinama 75 °C temperatūroje (18 pav.).



18 pav. 75 laipsnių temperatūroje išdžiovintos BC plėvelės paviršiaus vaizdas (didinimas 10x)

Kaip matyti iš medžiagos, džiovintos aukštoje temperatūroje, padidinto paviršiaus vaizdo, plėvelė susiraukšlėjo, paviršiuje susidarė oro pūslių. Kaip rodo vėlesni tyrimai, tokia plėvelė tampa trapi, keičiasi jos storio mechaninės savybės.

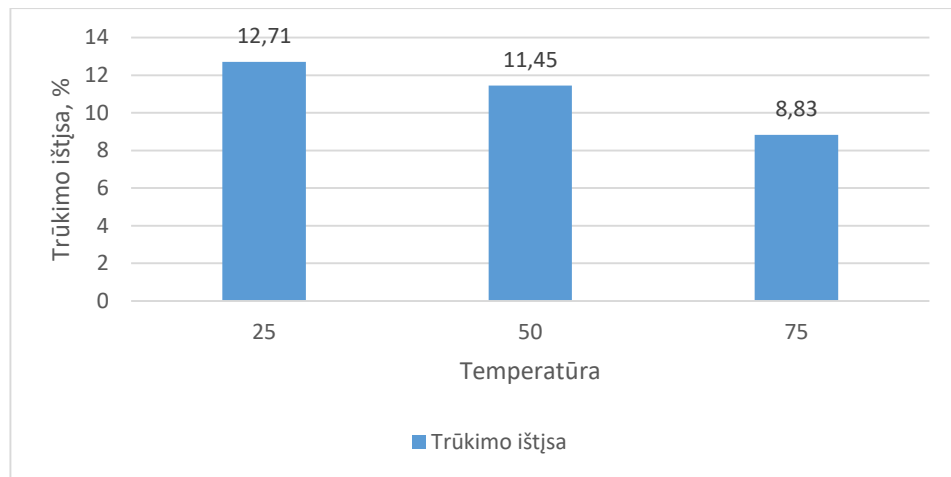
Siekiant nustatyti, kaip džiovavimo temperatūra keičia biomedžiagos savybes, buvo paruošti bandiniai, kurie džiovinami skirtingose temperatūrose: 25 °C, 50 °C ir 75 °C. Bakterinės celiuliozės stiprio priklausomybė nuo skirtingų džiovavimo sąlygų pavaizduota žemiau esančiame paveiksle.



19 pav. Džiovavimo temperatūros įtaka trūkimo stipriui

Iš paveikslo 19 matome, kad kuo didesnė temperatūra, tuo tempimo stipris mažesnis. Prie 25 °C temperatūros stipris siekė 43 MPa, o prie 75° C stipris sumažėjo iki 17 MPa. Kadangi BC plėvelė yra labai hifrofilinė, tai kuo aukštesnėje temperatūroje džiovinama medžiaga - tuo greičiau ir efektyviau pašalinama drėgmė, o plėvelė tampa trapi, todėl ir stiprumo jėga sumažėja.

Iš literatūros žinoma, kad šlapia bakterinė celiuliozė, drėgnoje formoje, arba mažai sudžiovinta pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, todėl ir stiprumo jėga yra didelė džiovinant žemoje temperatūroje (Klemm,2001; Jagannath, 2010).



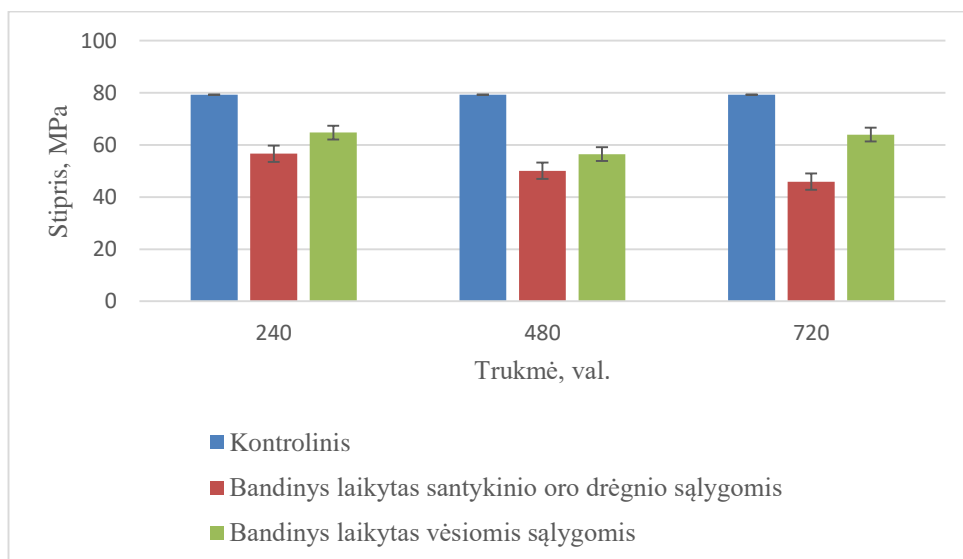
20 pav. BC plėvelės trūkimo ištįsos priklausomybė nuo džiovavimo temperatūros

20 paveiksle matome, kaip skirtinga džiovavimo temperatūra veikia bioplėvelės trūkimo ištįsą. Prie 25 °C ištįsa buvo didžiausia, siekė 12,71 %, o didėjant džiovavimo temperatūrai ištįsos rodiklis tolygiai mažėjo. Džiovinant 50 °C temperatūroje bandinio ištįsa tempiant siekė 11,45 %, o aukščiausioje 75 °C temperatūroje sumažėjo iki 8,83 %.

Tiek aukščiau aptartas tempimo stipris, tiek ištįsa parodo, kad aukšta džiovavimo temperatūra nėra tinkama išgauti gerų mechaninių savybių bioplėvele, nes didėjant džiovavimo temperatūrai, medžiaga nebetenka savo elastingumo ir praranda stiprumą.

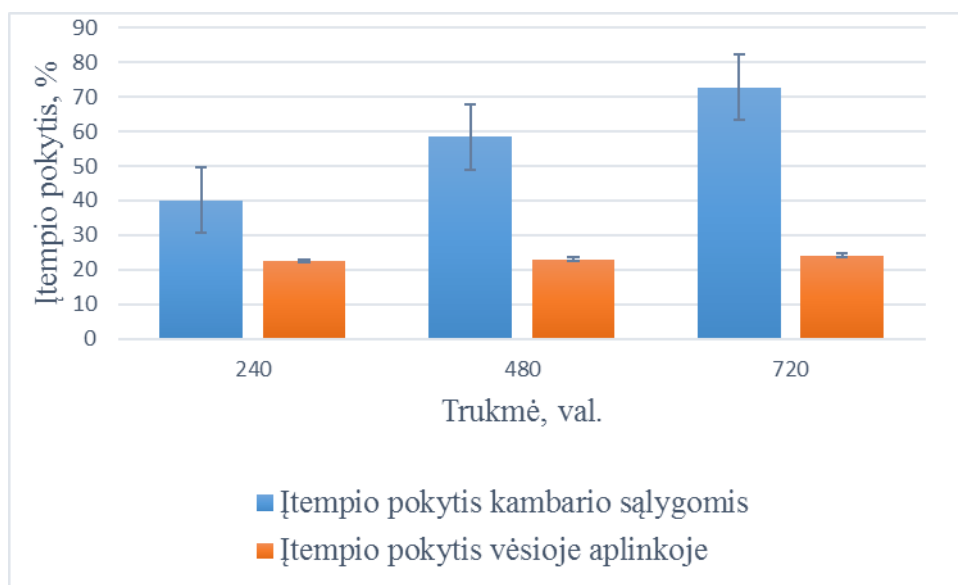
3.2. Plėvelės mechaninių savybių priklausomybė nuo saugojimo sąlygų

Literatūroje teigiama, kad pastovioje +4 °C temperatūroje laikoma BC plėvelė sensta lėčiau, nes tinkama temperatūra padeda užtikrinti cheminį medžiagos stabilumą (Bigourdan ir kt., 1996).



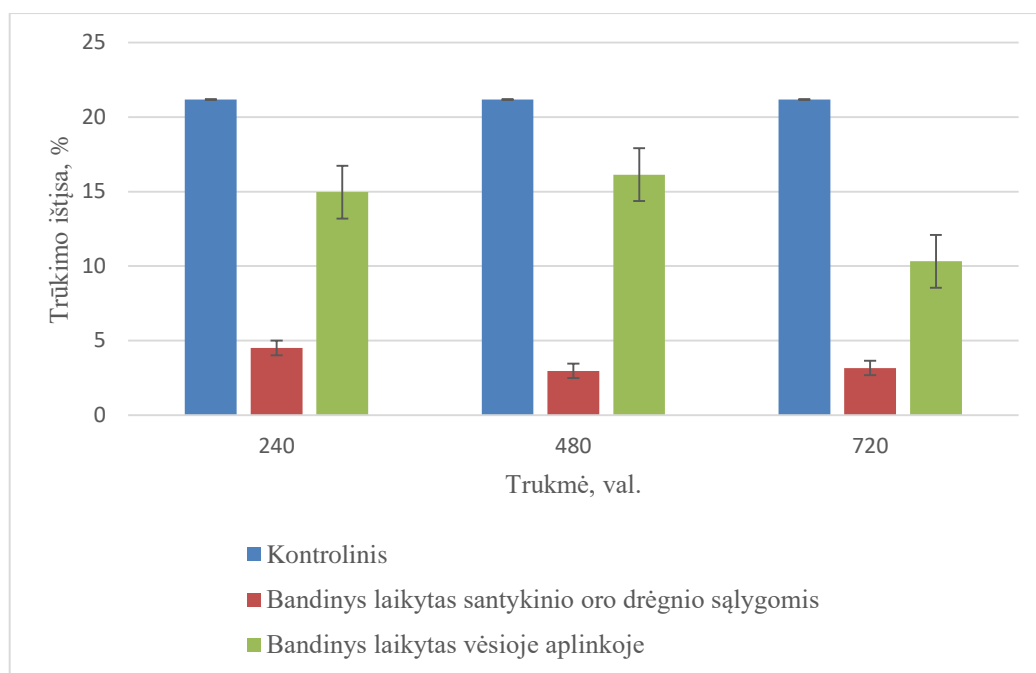
21 pav. BC plėvelės stiprio tempiant priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės

Atliktas tyrimas rodo stiprio tempiant rezultatus (21 pav.). Laikant bandinius kambario sąlygomis stipris mažėjo tolygiai. Po 10 dienų (240 val.) tempimo vidutinis bandinių stipris siekė apie 57 MPa, po 20 dienų (480 val.) 50 MPa, o po 30 dienų (720 val.) sumažėjo iki 47 MPa, tai yra iki 73 % kontrolinio bandinio stiprio vertės. Tai rodo, kad kambario sąlygomis laikomi bandiniai sensta ir jų stiprumo charakteristikos blogėja. Laikant bandinius vėsioje aplinkoje (+4 °C temperatūra), matyti, kad plėvelių stiprumas mažėjo, tačiau trūkimo stipris mažiau skyrėsi nuo kontrolinio bandinio. Nustatyta, kad po 30 dienų bandinių stipris sumažėjo 24 %. Gauti rezultatai patvirtino, kad mechanines savybes geriau išlaiko biomedžiaga saugoma vėsioje aplinkoje, tačiau abiem atvejais organinė plėvelė praranda mechaninį stiprumą, nes tampa trapi.



22 pav. Įtempio pokyčio ΔF priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų

Literatūroje teigiama, kad pastovioje +4°C temperatūroje laikoma BC plėvelė sensta lėčiau, nes temperatūra užtikrina cheminį medžiagos stabilumą (Bigourdan ir kt., 1996). Kaip rodo gauti rezultatai (22) tempimo stiprumas mažėjo tolygiai tiek laikant bandinius kambario sąlygomis, tiek vėsioje aplinkoje. Kambario sąlygomis laikomų bandinių įtempis po 10 dienų (240 val.) sumažėjo 40 %, po 20 dienų (480 val.) – 58,4 % ir 30 dienų (720 val.) sumažėjo 72,8 % nuo kontrolinio bandinio. Laikant vėsioje sąlygomis storio pokytis buvo mažesnis - po 10 dienų tempimo stiprumas sumažėjo 22,49 %, po 20 dienų (480 val.) lyginant su kontroliniu bandiniu, sumažėjo beveik tiek pat, kaip ir po 10 dienų – 23 %, o po 30 dienų (720 val.) sumažėjo 24 %. Abiem atvejais organinė plėvelė gana greitai praranda savo stiprumą ir tampa trapi, tačiau laikant bandinius vėsioje aplinkoje nematyti tokio staigaus pokyčio, nes bioplėvelė sensta lėčiau.



23 pav. BC plėvelės trūkimo ištįsa priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės

23 paveiksle matome trūkimo ištįsa priklausomybę nuo saugojimo sąlygų - temperatūros ir trukmės. Gauti rezultatai rodo, kad pastovioje +4 °C temperatūroje laikyti bandiniai geriau išlaiko deformacines savybes. Šiltoje aplinkoje laikytų bandinių deformacinės savybės blogėjo nuo 5 kartų po 10 dienų (240 val.) iki 7 kartų po 20 dienų (480 val.), tuo tarpu, kai vėsioje aplinkoje laikytų bandinių trūkimo ištįsa sumažėjo iki 2 kartų po 30 dienų (720 val.). Ištįsa rezultatai patvirtino, kad biomedžiagos mechaninės savybės blogėja ir plėvelė tampa trapi.

Analizuoti tempimo rezultatai patvirtino tyrimo, aprašančio celiuliozės acto sindromą, rezultatus. Acto sindromo terminas apibūdina cheminę reakciją, kuri prasideda tam tikrą laiką netinkamomis sąlygomis saugomoje celiuliozės triacetato medžiagoje (pvz. filmo juostoje) (Bigourdan ir kt., 1996).

Scionti (2010) taip pat buvo atlikęs bandymus su BC ir jo rezultatai rodė didelį skirtingų pavyzdžių kintamumą: tai pasireiškia dėl to, kad išbandyti BC mėginiai nebuvo vienodi, daugiausia dėl to, kad fermentacijos proceso metu užauga skirtingo storio bandiniai, kurių todėl savybės yra nevienodos.

3.3. Plėvelės storio priklausomybė nuo saugojimo sąlygų

Žemiau pateiktoje lentelėje matome storio palyginimą su kontroliniais bandiniais bei kaip jis keitėsi prieš bandymą ir praėjus 10 (240 val.), 20 (480 val.) bei 30 (720 val.) dienų skirtingose sąlygose.

2 lentelė. BC plėvelės storio matavimai

Kontrolinio bandinio storis, mm	Bandinių, laikytų kambario sąlygomis, storis, mm			Bandinių, laikytų vėsiomis sąlygomis, storis, mm		
	240 val.	480 val.	720 val.	240 val.	480 val.	720 val.
0,08	0,12	0,13	0,14	0,10	0,14	0,14
Pokytis, kartais	1,6	1,8	1,8	1,3	1,9	1,9

2 lentelėje pateikti tiriamųjų BC bandinių storio matavimai. Matyti, kad tam tikrą laiką saugomų bandinių storis padidėjo. Kambario sąlygomis laikomų bandinių storis po 10 dienų (240 val.) padidėjo 1,6 karto, po 20 ir 30 dienų 1,8 karto. Laikant vėsiomis sąlygomis storio pokytis buvo lėtesnis - po 10 dienų storis padidėjo 1,3 karto, tačiau jau po 20 dienų (480 val.) storis, lyginant su kontroliniu bandiniu, padidėjo tiek pat, kaip ir laikomų kambario sąlygomis - 1,9 karto.

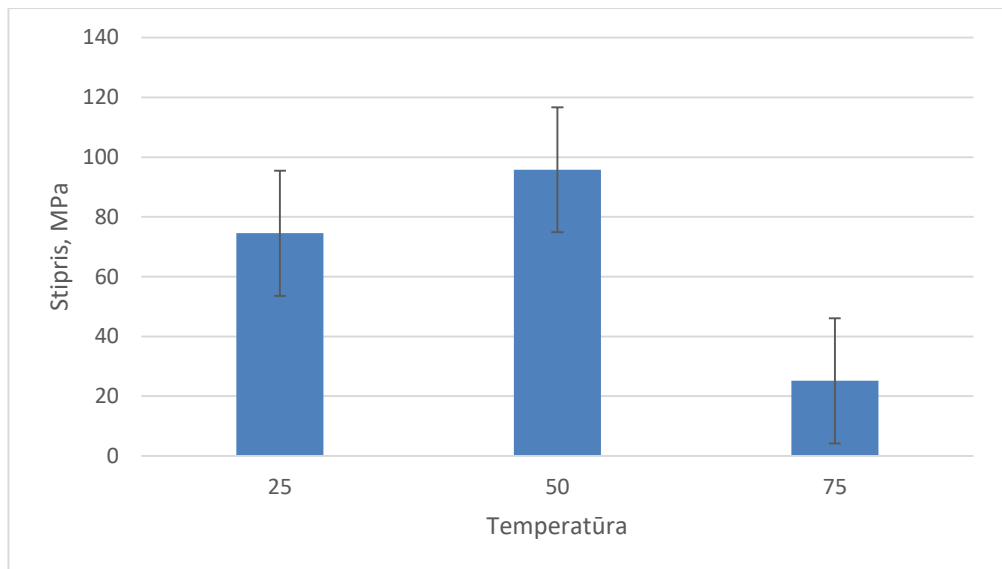
Vizualiai įvertinus tam tikrą laiką saugomus bandinius matyti, kad keičiasi bandinių spalva, jie praranda skaidrumą, paviršius pradeda banguotis ir raukšlėtis. Galima manyti, kad stebimas procesas atitinka aprašytą celiuliozės senėjimo procesą dėl acto sindromo.

3.4. Plėvelės jungimo tyrimai

3.4.1. Plėvelės jungimo be adhezyvo tyrimai

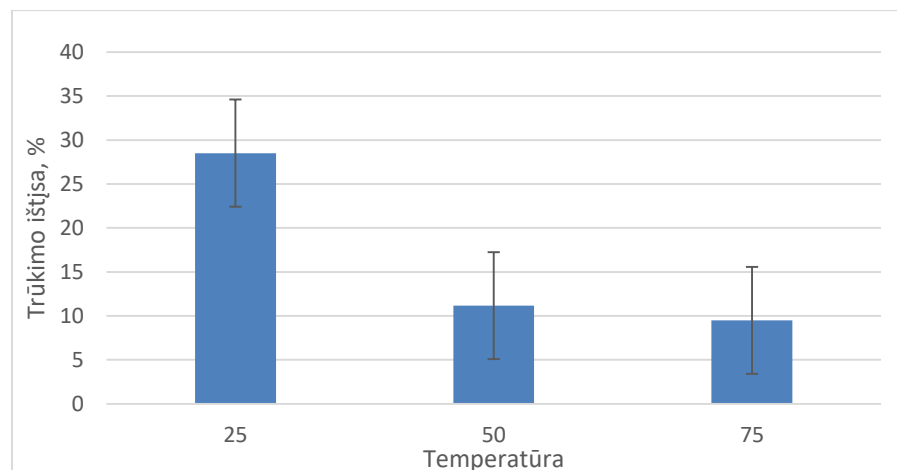
Buvo pastebėta, kad šlapia plėvelė sukimba džiovinimo metu, todėl šis reiškinys buvo ištirtas plačiau. Celiuliozės pluoštų suklijavimas arba sukibimas daugiausia priklauso nuo vandenilinių ryšių tarp pluoštų, kurie atsiranda tarp nano gijų kai jos liečiasi viena su kita. Sukibimo stipris gali labai skirtis, priklausomai nuo sukibimo ir paviršiaus charakteristikų metodo (Douglas ir kt., 2008).

Žemiau pateiktame paveiksle matome plėvelės junginių nenaudojant adhezyvo stiprio priklausomybę nuo bandinių džiovinimo temperatūros.



24 pav. Plėvelės junginių nenaudojant adhezyvo stiprio priklausomybė nuo bandinių džiovinimo temperatūros

Iš 24 paveiksle pateiktos diagramos matome, kad didžiausias sukibimo stipris gautas bandinius džiovinant 50 °C temperatūroje. Bandinius džiovinant 25 °C temperatūroje buvo nustatytas apie 75 MPa stipris, o aukščiausioje 75 °C temperatūroje, džiovintų bandinių sukibimas buvo mažiausias. Tačiau teigti, kad aukšta džiovinimo temperatūra netinka gauti patikimą junginių sukibimą negalima, nes aukštoje temperatūroje džiovinti bandiniai trūko dėl pablogėjusių pačios plėvelės stiprumo savybių, kaip buvo analizuojama ankstesniame skyriuje ir matyti iš 24 paveikslo. Daugeliu atveju 75 °C temperatūroje džiovinti bandiniai trūko ne per sujungimą.



25 pav. BC plėvelės nenaudojant adhezyvo trūkimo ištįsos priklausomybė nuo džiovinimo temperatūros

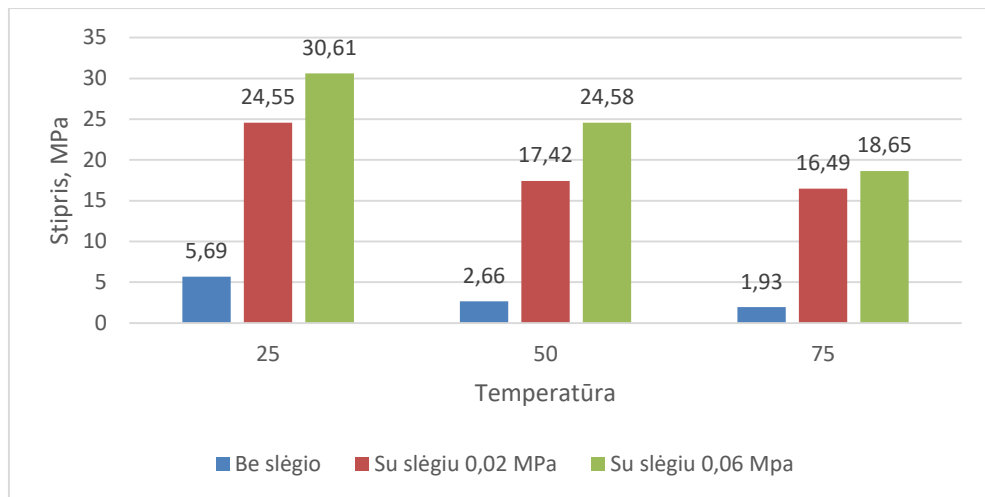
Įvertinus be adhezyvo jungtų bandinių tempimo ištįsą, matome, kad kuo aukštesnė džiovinimo temperatūra, tuo mažesnė trūkimo ištįsa. Džiovinant 25 °C trūkimo ištįsa siekė beveik 28 %, 50 °C temperatūroje trūkimo ištįsa sudarė 12 %, o 75 °C džiovinantiems bandiniams tesiekė 9 %. Tai patvirtina anksčiau gautus rezultatus, kurie parodė, kad aukštoje temperatūroje biomedžiaga praranda savo tamprumo savybes.



26 pav. 75 °C temperatūroje džiovintų bandinių junginių po šlyties tempimo eksperimento vaizdai

3.4.2. Slėgio įtaka BC plėvelės junginio savybėms

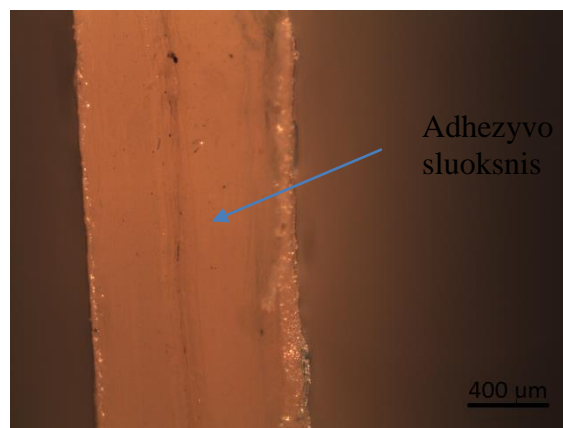
Buvo atliktas adhezijos stiprio tyrimas, kai bandiniai buvo ruošiami keičiant slėgį (0,02 Pa, 0,06 Pa). Iš paveikslo, esančio žemiau (27 pav.) , matome, kad nustatyta didžiausia junginio trūkimo jėga buvo bandiniams, jungtiems su 0,06 Pa slėgiu prie 25 °C – 30,61 MPa, tai beveik 6 kartais daugiau nei bandinius ruošiant be slėgio. Mažiausias trūkimo stipris buvo jungiant be slėgio, tik džiovinant tam tikroje temperatūroje. Akivaizdus skirtumas matomas, kad net ir mažiausio slėgio atveju junginių trūkimo jėga yra žymiai didesnė, todėl daroma išvada, kad slėgis daro teigiamą įtaką jungimui. BC plėvelė geriau sukimba panaudojant slėgį. Kaip ir anksčiau buvo aptarta – temperatūra turi įtakos trūkimo jėgai, o aukšta temperatūra neigiamai veikia pačią biomedžiagą, tačiau lyginant junginių savybes džiovinant 75 laipsnių temperatūroje, matyti, kad panaudojus slėgį, junginio trūkimo jėga yra beveik 6 kartais didesnė.



27 pav. Slėgio įtaka BC plėvelės junginio trūkimo stipriui

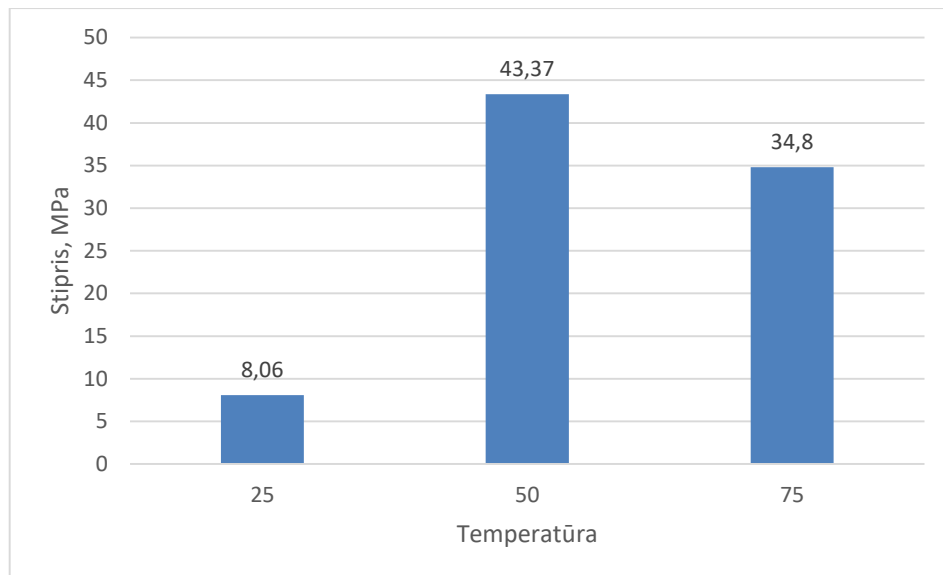
3.4.3. Adhezyvo ir jungimo parametrų įtaka BC plėvelės junginio savybėms

Paveiksle 28 matome 75 °C temperatūroje džiovinto bandinio jungimą su adhezyvo sluoksniu (buvo naudotas krakmolos) skersinį pjūvį. Matoma, kad naudojant pagal prigimtį artimas lengvai gamtoje suyrančias medžiagas gaunamas tolygus junginio skerspjūvis.



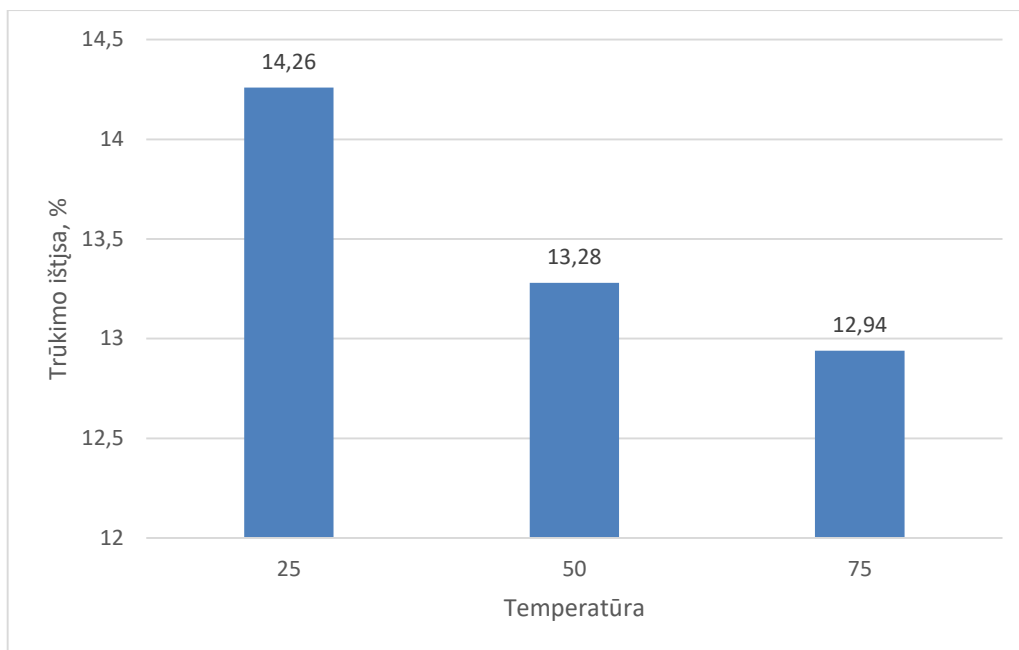
28 pav. BC plėvelės junginio su krakmolu skersinio pjūvio vaizdas (didinamas 4x)

Atlikus junginio šlyties bandymus, buvo nustatytas junginio stiprumas, kai bandiniai buvo džiovinami skirtingoje temperatūroje (29 pav.). Didžiausia trūkimo jėga buvo nustatyta bandiniams, džiovintiems 50 °C temperatūroje – 43,37 MPa. Kaip buvo ištirta anksčiau tokia temperatūra nekenkia biomedžiagos bandiniams ir per daug jų neišdžiovina. Iš rezultatų matome, kad maža temperatūra nėra tinkama bandiniams, nes junginio su krakmolo sluoksniu stiprumas mažiausias - tempimo stipris siekia 8,06 MPa, kadangi tempiami junginių bandiniai greitai nutrūksta per sujungimo vietą. 75 °C temperatūroje bandiniai buvo sujungiami patikimai – bandiniai trūko ne per sujungimo vietą, bet dėl pačios biomedžiagos destrukcijos (bandiniai pasidaro trapūs), nustatytas mažesnis negu 50 °C temperatūros bandinių atveju 34,8 MPa stipris.



29 pav. BC plėvelės junginio su krakmolu stiprio tempiant priklausomybė nuo temperatūros

Kuo aukštesnėje temperatūroje buvo džiovinti bandiniai, tuo bandinių deformacinės savybės blogėjo. Nors 25 °C temperatūroje adhezinis ryšys junginyje nebuvo tvirtas, tačiau deformacinės savybės išliko didžiausios – trūkimo ištįsa siekė 14,26 %, 50 °C temperatūroje sumažėjo iki 13,28 %, o aukščiausioje, 75 °C temperatūroje siekė 12,94 %. Ištįsos rezultatai patvirtino, kad biomedžiagos mechaninės savybės aukštoje temperatūroje blogėja ir plėvelė tampa trapi, nors adhezinis ryšys junginyje, suformuotame 50 °C temperatūroje, buvo patikimas ir didžiausias.

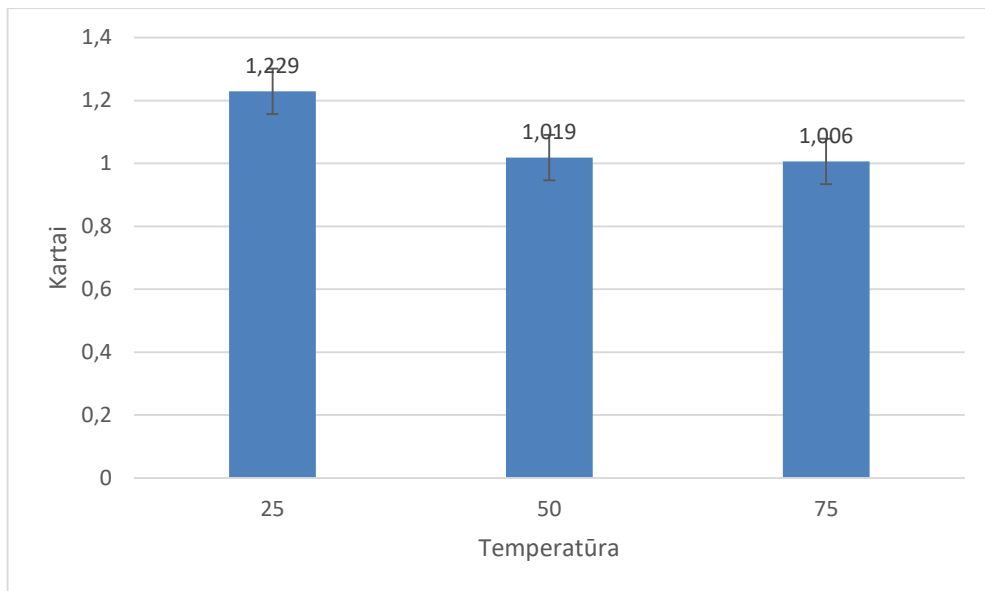


30 pav. BC plėvelės junginio su krakmolu trūkimo ištįsos priklausomybė nuo temperatūros

Svarbu paminėti, kad daugeliu atveju bandinių junginiai trūko ne per sujungimą, tai rodo, kad jungimas su krakmolu yra patikimas.

3.5. BC plėvelės storio priklausomybė nuo džiovavimo temperatūros

Paveiksle, pateiktame žemiau, matome kaip keitėsi BC plėvelės storis, džiovinant bandinius skirtingose temperatūrose. Matyti, kad žemesnėje temperatūroje džiovintų bandinių storis sumažėjo daugiau. 25 °C temperatūroje džiovinamų bandinių storis sumažėjo 1,229 karto, džiovinant 50 °C sumažėjo iki 1,019 karto, džiovinant aukščiausioje temperatūroje storio rezultatai nelabai skyrėsi nuo džiovinant 50 °C, t.y. sumažėjo iki 1,006 karto. Prieš eksperimentą buvo manyta, kad daugiausiai storis sumažės džiovinant 75 °C temperatūroje, nes aukšta temperatūra efektyviai išgarina biomedžiagos drėgmę, tačiau gauti rezultatai yra kitokie. Vizualiai įvertinus tam tikrą laiką skirtingomis temperatūromis džiovinamus bandinius matyti, kad kuo aukštesnė džiovavimo temperatūra, tuo labiau paviršius pradeda banguotis ir raukšlėtis. Panaudojus tą patį storio matavimo metodą ir prietaisą, tokių susibangavusių aukštoje temperatūroje medžiagų storis buvo išmatuotas netiksliai, neįvertinant paviršiaus nelygumo, todėl nustatytas storio rodiklis keitėsi mažiausiai.



31 pav. BC plėvelės storio pokytis kartais veikiant skirtingoms temperatūroms

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Atlikus literatūros analizę, buvo palyginta augalinė ir bakterinė celiuliozės. Bakterinė celiuliozė turi aukštesnę polimerizacijos laipsnį, daugiau sugeria vandens, pasižymi geromis stiprumo savybėmis. Bakterinė celiuliozė neturi lignino ir hemiceliuliozės, pasižymi ilgesniu pluoštu, kuris yra stipresnis.
2. Žinomų darbų analizė parodė, kad bakterinė celiuliozė tyrinėjama ir pritaikoma medicinoje, popieriaus pramonėje, akustinių membranų gamyboje. Dizaineriai siūlo *Kombucha* medžiagą, žinomą kaip filipiniečių desertas ar gyvulių pašaras, naudoti drabužių kūrimui, tačiau nėra išsamių mokslinių darbų, kurie nagrinėja bakterinės celiuliozės pritaikymą aprangos gamybai.
3. Džiovinimo sąlygos svarbios bakterinės celiuliozės bioplėvelės mechaninėms savybėms. Darbe tirtas tempimo stipris ir ištįsa parodo, kad didėjant džiovinimo temperatūrai, medžiaga netenka elastingumo ir praranda stiprumą. Džiovinant 25 °C temperatūroje ištįsa didžiausia ir siekia 12,71 %, o didėjant džiovinimo temperatūrai ištįsos rodiklis tolygiai mažėja. Džiovinant 50 °C temperatūroje nustatyta 11,45 % bandinio ištįsa tempiant, tuo tarpu kai 75 °C temperatūroje ištįsa sumažėjo iki 8,83 %.
4. Atlikus BC bioplėvelės senėjimo tyrimus nustatyta, kad didesnis stiprio tempiant ir ištįsos pokytis buvo užfiksuotas bandiniams, kurie buvo saugomi kambario sąlygomis (23 °C, santykinis oro drėgnis 60%). Po 720 valandų (30 dienų) kambario saugotų bandinių stipris sumažėjo iki 47 MPa, t. y. 73 procentus, ir ištįsa sumažėjo iki 7 kartų jau po 480 val. (20 d.), tuo tarpu kai bandinių, saugotų vėsioje aplinkoje (+4 °C, drėgmė 80%), stipris po 720 valandų sumažėjo iki 24 procentų, o ištįsa 2 kartus. Gauti stiprio tempiant ir trūkimo ištįsos rezultatai patvirtino, kad pastovioje +4 laipsnių temperatūroje saugoti bandiniai sensta lėčiau ir jų mechaninės savybės mažiau kinta.
5. Įvertinus laikymo sąlygų įtaką BC plėvelės storio pokyčiui nustatyta, kad vėsioje aplinkoje saugotų bandinių storis kito lėčiau - po 10 dienų storis padidėjo 1,3 karto, tačiau jau po 20 dienų (480 val.) storis, lyginant su kontroliniu bandiniu, padidėjo tiek pat, kaip ir laikomų kambario sąlygomis - 1,9 karto. Vizualiai įvertinus tam tikrą laiką saugomus bandinius matyti, kad keičiasi bandinių spalva, jie praranda skaidrumą, paviršius pradeda banguotis ir raukšlėtis.
6. Įvertinus be adhezyvo jungtų bandinių tempimo ištįsą, matome, kad kuo aukštesnė džiovinimo temperatūra, tuo mažesnė trūkimo ištįsa nustatyta. Bandinių, džiovintų 25 °C temperatūroje, trūkimo ištįsa siekė beveik 28 %, 50 °C temperatūroje nustatyta 12 % trūkimo ištįsa, o 75 °C džiovintų bandinių atveju - 9 %.

7. Atlikus junginio panaudojant krakmolą šlyties tempimo tyrimą, nustatyta, kad 25 °C džiovavimo temperatūroje junginyje susidaręs adhezinis ryšys nėra tvirtas, tačiau junginio deformacinės savybės yra geriausios – ištįsa siekė 14,26 %, 50 °C temperatūroje suformuoto junginio ištįsa sumažėjo iki 13,28 %, o aukščiausioje, 75 °C temperatūroje, gauto junginio ištįsa siekė 12,94 %. Daugeliu atveju - bandiniai trūko ne per jungimo vietą, kas rodo, kad suformuotas pakankamai stiprus junginys. Adhezinis ryšys junginyje, suformuotame 50 °C temperatūroje, buvo patikimas, nustatyta didžiausias 43,37 MPa trūkimo stipris.
8. Nustačius slėgio įtaką BC plėvelės junginio savybėms matome, kad didžiausia junginio trūkimo jėga buvo bandiniams, jungtiems su 0,06 Pa slėgiu prie 25 °C – 30,61 MPa, tai beveik 6 kartais daugiau nei bandinius ruošiant be slėgio.
9. Įvertinus BC plėvelės storio priklausomybę nuo džiovavimo temperatūros, nustatyta, kad žemesnėje temperatūroje džiovintų bandinių storis sumažėjo daugiau. 25 °C temperatūroje džiovinamų bandinių storis sumažėjo 1,229 karto, džiovinant 50 °C sumažėjo iki 1,019 karto, džiovinant aukščiausioje temperatūroje storio rezultatai nelabai skyrėsi nuo gautų džiovinant 50 °C, t.y. sumažėjo iki 1,006 karto. Vizualiai įvertinus tam tikrą laiką skirtingose temperatūrose džiovintus bandinius, matyti, kad kuo aukštesnė džiovavimo temperatūra, tuo labiau medžiagos paviršius banguojasi ir raukšlėjasi, o išmatuotas storio rodiklis neįvertino paviršiaus nelygumo.

NAUDOTA LITERATŪRA

1. ARAUJO S. ir kt., The role of technology towards a new bacterial – cellulose – based material for fashion design. *Unit textile and paper materials*. 2015, 3(2), 168-172 p.
2. BERLIN V., Plastics – Determination of tensile properties Part 3: Test conditions for films and sheets. *DIN Deutsches Institut fur Normunge e.* 2003, ISSN 527-3.
3. BIGOURDAN ir kt., Acetic acid and paper alkaline reserve: assessment of a practical situation in film. 1996, 573-579 p. ISBN 1-873956-50-8.
4. CARVALHO, A. S., ir kt., Effect of various growth media upon survival during storage of freeze-dried *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus durans*. *Journal of Applied Microbiology*, 2003, 94(6), 947-952p.
5. CHARLES L. IR KT. Results of the prospective, randomized, multicenter clinical trial evaluating a biosynthesized cellulose graft for repair of dural defects. *Clinical trials*. 2011. 69(5), 1093-1104p.
6. CHAWLA ir kt., Microbial cellulose: fermentative production and applications. *Food Technol. Biotechnol.* University of Mumbai. 2009, 47 (2), 107–124p. ISSN 1330-9862.
7. CZAJA Wk., ir kt., The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications, *Biomacromolecules*, 2007, 8(1), 1-12p. ISBN 17206781.
8. DOUGLAS J., ir kt. Adhesion and Surface Issues in Cellulose and Nanocellulose. *Journal of Adhesion Science and Technology* 22. 2008, 545–567p.
9. ERYILMAZ J. IR KT., Microbial cellulose production by acetobacter xylinum and its application for the fashion and textile industry. *The international Istanbul textile congress*. 2013, 16, 14832-14849p. ISSN 1422-0067
10. ESAM J. AL-KALIFAWI. Produce bacterial cellulose of kombucha from honey. *Journal of genetic and environmental resources conservation*. 2014,2(1). 39-45p.
11. FELLER R. L., Wilt M., Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation, *Research in Conservation, The Getty Conservation Institute*. 1990, 4-173p. ISBN 0-89236-099-2.
12. FERNANDO G. TORRES ir kt., Biocompatibility of Bacterial Cellulose Based Biomaterials. *Biocompatibility of Biomaterials*. 2012, 3(4), 864-878p. ISSN 24955750.
13. FU L. ir kt., Bacterial Cellulose for skin repair materials. *Biomedical Engineering - Frontiers and challenges*. 2011. 250-277p. ISBN 978-953-307-309-5.
14. GRIGONYTĖ R. ir kt., Laminuotų tekstilės medžiagų statumo lenkiant tyrimas. *Gaminių technologija ir dizainas: konferencijų pranešimų medžiaga*. 2006. 34-37p.

15. HA J. H., SHEZAD O., ir kt., Production of bacterial cellulose by a static cultivation using the waste from beer culturebroth. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2008, 25, 812–815p. ISSN 284-90.
16. HELENIUS G. In vivo biocompatibility of bacterial cellulose. *Journal of Biomedical Material Research*: 2005. 76A(2), 431-438p.
17. HSU H. P., ir kt., Coupling methods in prospective single-mode fiber integrated optics systems: A progress report. *Fiber and integrated optics*. 2006, 1(2), 153 – 180p.
18. JAGANNATH A. ir kt. Comparative evaluation of bacterial cellulose as a cryoprotectant and carrier support during the freeze drying process of probiotic lactic acid bacteria. *Food science and technology*. 2010. Volume 43, Issue 8. 1197-1203p.
19. JANKAUSKAITĖ V. ir kt. Odos, gumos ir plastiko gaminių technologija. Laboratoriniai darbai. Kauno technologijos universitetas, 2001. 132-134p. ISBN 9955-09-040-5.
20. JAYABALAN R., ir kt., A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea Fungus. *Comprehensive Reviews*. 2014. 13(4), 538–550 p. ISSN: 1541-4337.
21. JUODIS J., Medžiagų atsparumas. *Paskaitų konspektas*. 1989, 38-49p.
22. KLEMM D., ir kt., Bacterial synthesized cellulose: Artificial blood vessels for microsurgery. *Progress in Polymer Science*. 2001, 9(26), 1561-1603p. ISSN 00021-1.
23. KOTO R. A., Bio- Paper Base Display Device Technology. *Blogpost*. 2012
24. LANGAN P., ir kt., Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *American Chemical Society*. 2002, 124 (31), 9074–9082p.
25. LST EN ISO 3376. Oda. Fizikiniai ir mechaniniai bandymai. Tempimo stiprio ir procentinės ištišos nustatymas (ISO 3376:2011). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012.
26. LST EN ISO-1421. Rubber or plastics coated fabrics. Determination of tensile strength and elongation at break (ISO 1421:2016). Tarptautinis standartizacijos departamentas. 2016.
27. LUKOŠEVIČIENĖ K. ir kt., Popieriaus restauravimui naudojamų klijų adhezija. *Lietuvos Nacionalinė Martyno Mažvydo biblioteka*. 2005.1-18p.
28. MADIGAN M; MARTINKO J. Brock biology of microorganisms 11th edn. *International Microbiology*. University of Barcelona. 2005, 8(149-152), 992p. ISBN 0-13-144329-1.
29. MATEIKAITĖ V., ir kt. Investigation of Textile Bonded Seams. *Materials Science*. 2010, 16(1), 76-79p. ISSN 1392–1320.
30. NISHI Y. ir kt., The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose, *Journal of Material Science*, 1990, 25(6), 2997-3001p. ISSN: 0022-2461.

31. Paper Conservation Catalog, American Institute of Conservation. *Book and Paper Group*. 1994.
32. PETERSNE N., GATENHOLM P. Bacterial cellulose-based materials and medical devices: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2011, 91(5), ISSN:1277-86.
33. QUI K., NETRAVALI A. N., A review of fabrication and applications of bacterial cellulose based nanocomposites. *Polymer Reviews*. 2014, 37(4), 598-626p. ISBN 15583724.2014.896018.
34. QUIJANO L., Embracing Bacterial Cellulose as a Catalyst for Sustainable fashion. *Acceptance of Senior Honors Thesis*. Liberty University. 2017.
35. SCIONTI G., Mechanical Properties of Bacterial Cellulose Implants. *Department of Chemical and Biological Engineering*. 2010, 366, 1-38p.
36. SHERIF MAS KESH. Bacterial cellulose production and its industrial applications, bioprocessing & biotechniques., *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 2014, 4(2), 1-10 p. ISSN: 2155-9821.
37. SHERIF MAS KESHK. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 2010. ISSN 2155-9821.
38. SHODA M., SUGANO Y. Recent advances in bacterial cellulose production. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 2005, 10(3), 1–8 p. ISBN: 978-1-4398-7136.
39. THAWATCHAI M., SEIICHI T., RATANA R., Impregnation of silver nanoparticles into bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate polymers*. Kansai University. 2008, 72(13), 43–51p.
40. VANDAMME E.J. ir kt., Polymer degradation and stability. *Improved production of bacterial cellulose and its application potential*. 1998, 59(3) , 93-99p.
41. VISLAVIČIUS K., Medžiagų mechanika. *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 2005, 1-60p. ISBN 9986-05-805-8.
42. VUJASINOVIC E., ROGALE D., Properties and performance of welded or bonded seams. *Joining Textiles*, 2013, 45(4), 435-463p. ISBN: 978-1-84569-627-6.
43. YIM SU MIN ir kt., Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar. *Process Biochemistry*. 2016. 1359-1369p.
44. ZHANK J., ir kt., Present status and applications of bacterial cellulose-based materials for skin tissue repair. *Carbohydrate Polymers*. 2013, 92(2). ISSN: 1432-42.

Interneto puslapiai:

1. *Science news: Bacteria make artificial blood vessels of the future*. Prieiga per internetą <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/12/091222104907.htm%3E> [žiūrėta 2016-12-10]
2. *Review Special Issue: Biotechnological applications of bacterial cellulases*. Prieiga per internetą <http://www.aimspress.com/article/10.3934/bioeng.2015.3.163/fulltext.html> [žiūrėta 2017-01-10]
3. *KMAIK*. Prieiga per internetą <http://kmaik.lt> [žiūrėta 2017-01-27]
4. *Jaunojo dizainerio prizo “laimėtoja tikisi, kad gyvūnus nuo mados sekėjų apsaugos technologijos*. Prieiga per internetą <http://370.diena.lt/2013/07/19/jaunojo-dizainerio-prizo-laimetoja-tikisi-kad-gyvunus-nuo-mados-sekeju-apsaugos-technologijos/> [žiūrėta 2017-05-20]
5. *Trade and environment database* Prieiga per internetą <http://www1.american.edu/ted/coconut.htm> [žiūrėta 2018-01-11]
6. *JEMI*. Prieiga per internetą <http://www.jemi.lt/plastmasiniu-konstrukciju-elementu-jungimas/> [žiūrėta 2018-01-27]
7. *Britannica*. Prieiga per internetą <https://www.britannica.com/technology/adhesive> [žiūrėta 2018-04-30]

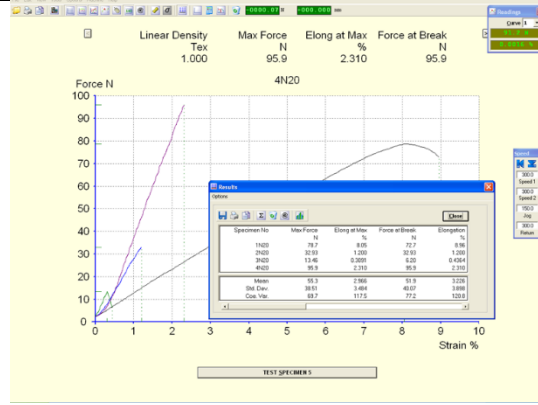
PRIEDAI

1 PRIEDAS

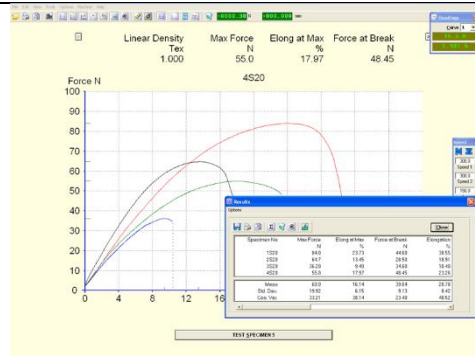
1 lentelė. „Tinius Olsen“ tempimo mašina gautos tempimo kreivės ir bandiniai prieš ir po eksperimento

Bandinių grupė	Tempimo mašinos išvesties langas	Bandymo nuotrauka prieš ir po tempimo.
N10		
Š10		

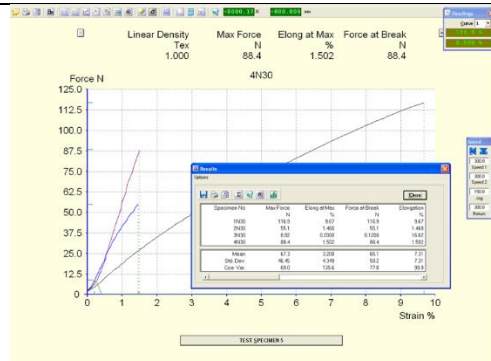
N20

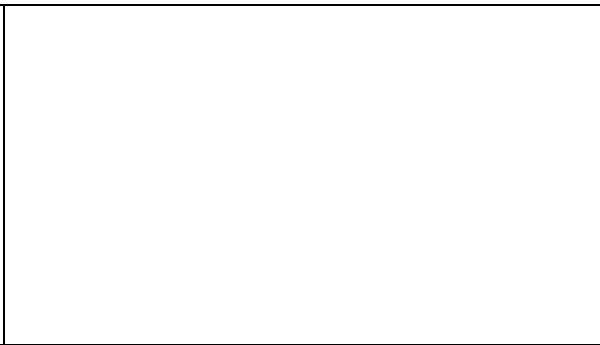


S20

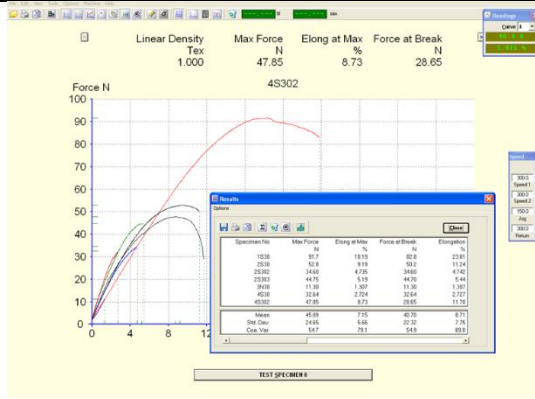


N30





Š30



2 PRIEDAS

Jaunųjų mokslininkų konferencija

pažymėjimas

PRA MO inžinerija NĖS 2018

Nr. V24-11-33

pažymime, kad 2018 m. gegužės 10 d.

**Judita Simonaitytė, Florentina Sederavičiūtė,
Jurgita Domskienė**

dalyvavo KTU Jaunųjų mokslininkų konferencijoje
„Pramonės inžinerija-2018“ ir pristatė pranešimą

**SAUGOJIMO SĄLYGŲ ĮTAKA BC BIOPLĖVELĖS
MECHANINĖMS SAVYBĖMS**

MIDF Dekanas dr. Ancrius Vilkauskas

„Santakos“ slėnis, Kaunas



1 pav. Pramonės inžinerijos konferencijos pažymėjimas

3 PRIEDAS

KTU Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas 2018 gegužės 10d., Kaunas

Jaunųjų mokslininkų konferencija

„PRAMONĖS INŽINERIJA 2018“

SAUGOJIMO SĄLYGŲ ĮTAKA BC BIOPLĖVELĖS MECHANINĖMS SAVYBĖMS

Judita Simonaitytė¹, Florentina Sederavičiūtė², Jurgita Domskienė³

¹ *Kauno technologijos universitetas, Medžiagų inžinerijos katedra, Studentų gatvė 56, Kaunas, el. paštas: judita.simonaityte@ktu.lt*

² *Kauno technologijos universitetas, Medžiagų inžinerijos katedra, Studentų gatvė 56, Kaunas, el. paštas: florentina.sederaviciute@ktu.lt*

³ *Kauno technologijos universitetas, Gamybos inžinerijos katedra, Studentų gatvė 56, Kaunas, el. paštas: jurgita.domskiene@ktu.lt*

Raktiniai žodžiai: bakterinė celiuliozė, mechaninės savybės.

1. Įvadas

Celiuliozė yra vienas svarbiausių biopolimerų. Celiuliozė yra pagrindinė medvilnės (daugiau kaip 94%) ir medienos (daugiau kaip 50%) sudedamoji dalis [1]. Daugiausiai ši biomedžiaga naudojama popieriaus, tekstilės, statybinių medžiagų ir kartono gamyboje. Be tradiciniu būdu apdirbamos augalinės celiuliozės, šis polimeras gali būti gaunamas bakterijų simbiozės pagrindu. Bakterinę celiuliozę (BC) galima išgauti panaudojant skirtingas bakterijų kultūras, pavyzdžiui *Gluconacetobacter*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina* ir *Salmonella* [2].

Pirmą kartą apie celiuliozės produktų gavimą dalyvaujant *Acetobacter xylinum* bakterijoms 1886 metais minima A. J. darbuose [2, 3]. Mokslininkas aprašė procesą, kurio metu bakterijos, dalyvaujant deguoniui ir gliukozei, pagamina celiuliozę. Apžvelgus literatūros šaltinius matyti, kad paskutinį dešimtmetį ypač suaktyvėjo domėjimasis BC, skelbiama vis daugiau mokslinių bakterinės celiuliozės taikymo ir modifikavimo tyrimų.

Bakterinės celiuliozės cheminė struktūra yra tokia pati, kaip ir augalinės celiuliozės, tačiau jos savybės skiriasi. Fermentacijos proceso metu išsiskiriant CO₂, ant skystos auginimo terpės paviršiaus susiformuoja netvarkingų celiuliozės nanogijų plėvelė [4]. Ši plėvelė gali būti naudojama kaip alternatyvi medžiaga:

- medicinoje, antibiotikų ar kitų vaistų pernešimui į žaizdą - plėvelė sudaro efektyvų fizinių barjerą išorinei infekcijai, gali būti naudojama odos audinio atstatymui [5];
- popieriaus ir tekstilės restauravimui paveldosaugoje [6];
- elektronikos pramonėje, pvz., „Sony“ bakterinę celiuliozę naudoja kaip akustinės membranos sudėtinę dalį, kuri užtikrina aukštos kokybės garsą [5];
- aprangos pramonėje kaip tekstilės medžiagos pakaitalas [6, 7].

Tyrimais įrodyta, kad bakterinė celiuliozė susidaro didelio kristališkumo mechanškai stipraus bei gerai absorbuojančio vandenė itin plonų gijų tinklo pavidalu [1-7]. Akivaizdu, kad bakterinė celiuliozė yra perspektyvus natūralios struktūros ir gerų mechaninių savybių biopolimeras.

Darbe tiriamas bakterinės celiuliozės (BC) bioplėvelės ilgaamžiškumas ir saugojimo sąlygų įtaka jos mechaninėms savybėms.

2. Objektas ir tyrimo metodika

Tyrimo objektas – bakterinės celiuliozės bioplėvelė, gauta mieliagrybių ir acto rūgšties bakterijų simbiozės pagrindu.

Auginimo terpės sudėtis: 2 litrai vandens, 200 g cukraus, 200 g 6 % acto rūgšties, 5x5 cm² Kombucha bakterinio grybo ir 4 g žaliosios arbatos. Statinės fermentacijos sąlygomis bandiniai buvo auginami 10 dienų, kambario temperatūroje (20 °C – 24 °C, aplinkos drėgnumas 25 – 30 %).

Ant skystos terpės paviršiaus užauginta bioplėvelė kelias minutes plaunama po šiltu vandeniu, nusausinama iš abiejų pusių su gerai absorbuojančiu popieriumi ir padedama džiuoti ant horizontalaus kieto paviršiaus. Visi bandiniai buvo džiovinami kambario temperatūroje (apie 23 °C) 7 dienas. Sausos celiuliozės bioplėvelės ilgaamžiškumas ir savybės buvo tiriamos keičiant saugojimo sąlygas bei trukmę. Buvo tiriamos sekančios bandinių grupės:

- 0 (kontrolinis bandinys) –nustatytos kiekvieno išdžiovinto bandinio mechaninės savybės (stiprumas ir tūsumas tempiant);
- 1 – išdžiovinti bandiniai buvo saugomi kontroliuojamomis sąlygomis (23 °C, drėgmė 60 %), o jų storis ir mechaninės savybės vertinamos po 10 dienų, po 20 dienų ir po 30 dienų.
- 2 – išdžiovinti bandiniai buvo saugomi kontroliuojamomis sąlygomis vėsioje aplinkoje (+4 °C, drėgmė 80 %), o jų storis ir mechaninės savybės (stiprumas ir tūsumas) vertinamos po 10 dienų, po 20 dienų ir po 30 dienų.

Saugojimo sąlygų įtaka biomedžiagos mechaninėms savybėms nustatyta atliekant tempimo bandymus pagal ISO 3376:2011 standartą, Tinius Olsen H10 KT mašina, deformavimo greičiui esant 100 mm/min. Tempimui buvo paruošti dvigubo kastuvėlio formos bandiniai, kurių darbinės zonos ilgis 50 mm ir plotis

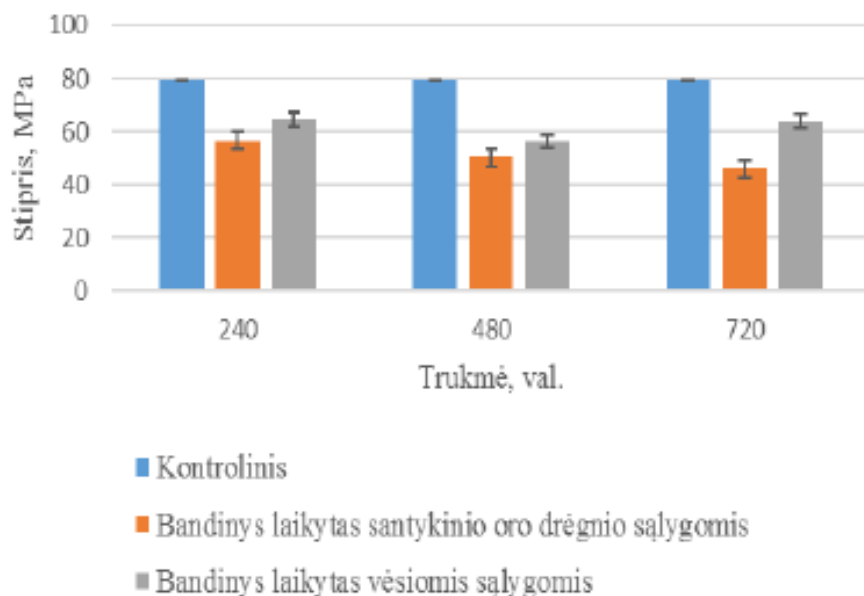
10 mm. Užrašomos kiekvieno bandinio tempimo kreivės, apskaičiuojamas tempimo stipris (MPa) ir procentinė išūša (%).

Bandinių storis nustatytas prietaisu DPT 60, kurio tikslumas 0,01 mm. Fiksuojamas vidutinis 5 matavimų rezultatas kiekvienai bandinių grupei atskirai.

Saugojimo sąlygų įtaka biomedžiagos savybėms įvertinama paskaičiuojant matuojamų (storio, tempimo stiprio ir išūšos) rezultatus.

3. Rezultatai

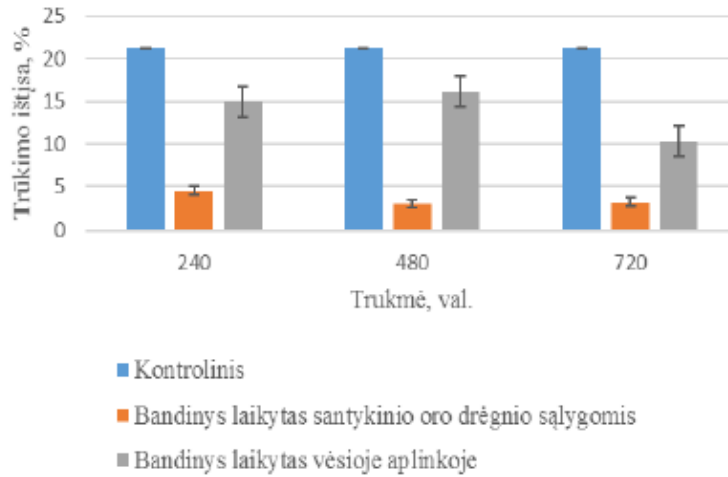
Literatūroje teigiama, kad pastovioje +4 °C temperatūroje laikoma BC plėvelė sensta lėčiau, nes tinkama temperatūra padeda užtikrinti cheminių medžiagos stabilumą [8].



1 pav. BC plėvelės stiprio tempiant priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės

Kaip rodo stiprio tempiant rezultatai (1 pav.), laikant bandinius kambario sąlygomis stipris mažėjo tolygiai. Po 10 dienų (240 val.) tempimo vidutinis bandinių stipris siekė apie 57 MPa, po 20 dienų (480 val.) 50 MPa, o po 30 dienų (720 val.) sumažėjo iki 47 MPa, tai yra iki 73 % kontrolinio bandinio stiprio vertės.

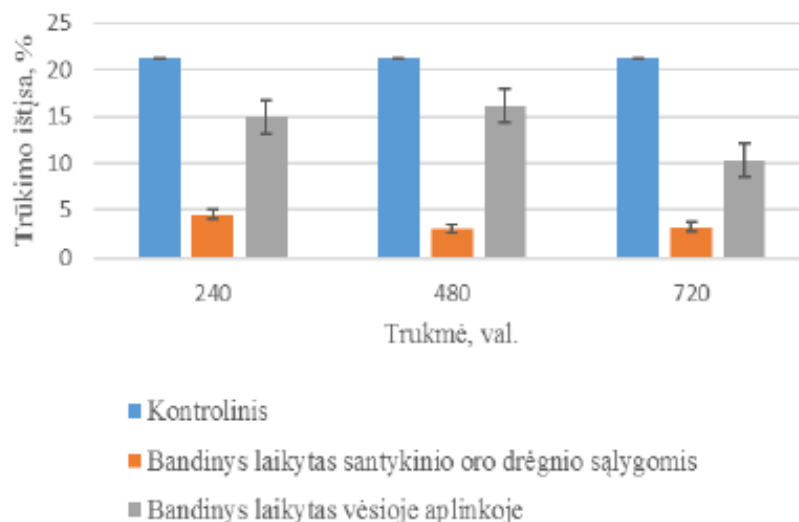
Tai rodo, kad kambario sąlygomis laikomi bandiniai sensta ir jų stiprumo charakteristikos blogėja. Laikant bandinius vėsioje aplinkoje (+4 °C temperatūra), matyti, kad plėvelių stiprumas mažėjo, tačiau trūkimo stipris mažiau skyrėsi nuo kontrolinio bandinio. Nustatyta, kad po 30 dienų bandinių stipris sumažėjo 24 %. Gauti rezultatai patvirtino, kad mechanines savybes geriau išlaiko biomedžiaga saugoma vėsioje aplinkoje, tačiau abiem atvejais organinė plėvelė praranda mechaninį stiprumą, nes tampa trapi.



2 pav. BC plėvelės trūkimo ištįsos priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės

2 paveiksle matome trūkimo ištįsos priklausomybę nuo saugojimo sąlygų - temperatūros ir trukmės. Gauti rezultatai rodo, kad pastovioje +4 °C temperatūroje laikyti bandiniai geriau išlaiko deformacines savybes. Šiltoje aplinkoje laikytų bandinių deformacinės savybės blogėjo nuo 5 kartų po 10 dienų (240 val.) iki 7 kartų po 20 dienų (480 val.), tuo tarpu, kai vėsioje aplinkoje laikytų bandinių trūkimo ištįsa sumažėjo iki 2 kartų po 30 dienų (720 val.). Ištįsos rezultatai patvirtino, kad biomedžiagos mechaninės savybės blogėja ir plėvelė tampa trapi.

Tai rodo, kad kambario sąlygomis laikomi bandiniai sensta ir jų stiprumo charakteristikos blogėja. Laikant bandinius vėsioje aplinkoje (+4 °C temperatūra), matyti, kad plėvelių stiprumas mažėjo, tačiau trūkimo stipris mažiau skyrėsi nuo kontrolinio bandinio. Nustatyta, kad po 30 dienų bandinių stipris sumažėjo 24 %. Gauti rezultatai patvirtino, kad mechanines savybes geriau išlaiko biomedžiaga saugoma vėsioje aplinkoje, tačiau abiem atvejais organinė plėvelė praranda mechaninį stiprumą, nes tampa trapi.



2 pav. BC plėvelės trūkimo ištįsos priklausomybė nuo bandinio saugojimo sąlygų ir trukmės

2 paveiksle matome trūkimo ištįsos priklausomybę nuo saugojimo sąlygų - temperatūros ir trukmės. Gauti rezultatai rodo, kad pastovioje +4 °C temperatūroje laikyti bandiniai geriau išlaiko deformacines savybes. Šiltoje aplinkoje laikytų bandinių deformacinės savybės blogėjo nuo 5 kartų po 10 dienų (240 val.) iki 7 kartų po 20 dienų (480 val.), tuo tarpu, kai vėsioje aplinkoje laikytų bandinių trūkimo ištįsa sumažėjo iki 2 kartų po 30 dienų (720 val.). Ištįsos rezultatai patvirtino, kad biomedžiagos mechaninės savybės blogėja ir plėvelė tampa trapi.

3. Vizualiai įvertinus BC plėvelę ir palyginus pagal storio pokytį po tam tikro saugojimo laiko, matyti, kad visais atvejais po 720 valandų bandiniai keitėsi, o jų storis padidėjo beveik 2 kartus. Ilgai saugoma BC biomedžiaga praranda skaidrumą, kietėja ir deformuojasi, tampa trapi.

Literatūra:

1. Sherif MAS Keshk. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications // *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 2010.
2. Shoda M., Sugano Y. Recent advances in bacterial cellulose production. // *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 2005, Vol. 10, 1–8 p.
3. Chawla ir kt., Microbial Cellulose: Fermentative Production and Applications. // *Food Engineering and Technology Department . Biotechnol.* 47 (2). 2009.107-124 p.
4. Jayabalan R., ir kt., A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus. // *Comprehensive Reviews*. 2014. Volume 13, Issue 4. 538–550 p.
5. Zhank J., ir kt. Present status and applications of bacterial cellulose-based materials for skin tissue repair. // *Carbohydrate Polymers*. 2013. Volume 92(2). 1432-1442p.
6. Yim Su Min ir kt., Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar.// *Process Biochemistry*. 2016. 1359-1369p.
7. Araujo S., ir kt., The Role of technology towards a new bacterial – cellulose – based material for fashion design. // *Unit textile and paper materials*, 2015 Vol. 3, No. 2, 168-172 p.
8. Bigourdan ir kt., Acetic acid and paper alkaline reserve: assessment of a practical situation in film. // 1996. ISBN 1-873956-50-8. 573-579 p.
9. Scionti G., Mechanical Properties of Bacterial Cellulose Implants. // *Department of Chemical and Biological Engineering*. 2010. Volume (366) 1-38p.
10. LST EN ISO 3376. Oda. Fizikiniai ir mechaniniai bandymai. Tempimo stiprio ir procentinės ištisos nustatymas (ISO 3376:2011). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012.

2 pav. Jaunųjų mokslininkų konferencijos publikacija