



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Maisto produktams skirtų biopakuočių kūrimas ir savybių tyrimai

Baigiamasis magistro projektas

Monika Strykaitė

Projekto autorė

Doc. dr. Jonas Damašius

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Maisto produktams skirtų biopakuočių kūrimas ir savybių tyrimai

Baigiamasis magistro projektas

Pramoninė biotechnologija (6211FX010)

Monika Strykaitė

Projekto autorė

Doc. dr. Jonas Damašius

Vadovas

Prof. habil. dr. Gražina Juodeikienė

Recenzentė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Monika Strykaitė

Maisto produktams skirtų biopakuočių kūrimas ir savybių tyrimai

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Monikos Strykaitės, baigiamasis projektas tema „Maisto produktams skirtų biopakuočių kūrimas ir savybių tyrimai“ 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.

Monika Strykaitė

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Strykaitė, Monika. Maisto produktams skirtų biopakuočių kūrimas ir savybių tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Jonas Damašius; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Biotechnologijos, Technologijų mokslai

Reikšminiai žodžiai: biopakuotės, biopolimerai, biokompozitai, celiuliozė, polisacharidai.

Kaunas, 2020. 90 p.

Santrauka

Didėjantys į sąvartynus patenkančių plastikinių pakuočių skaičiai ir jų sukeliama žala aplinkai skatina domėtis pakavimo medžiagų alternatyvomis. Daugiausiai dėmesio sulaukia natūralios kilmės pakavimo medžiagos – biopolimerai.

Bene plačiausiai pritaikomi biopolimerai yra polisacharidai. Šios medžiagos yra naudojamos įvairių maisto produktų padengimui, taip suformuojant apsauginį sluoksnį, ar plėvelių, skirtų pakavimui, gamybai. Polisacharidinės plėvelės pasižymi geromis dujų barjerinėmis ir mechaninėmis savybėmis, tačiau yra gana jautrios drėgmei. Siekiant pagerinti esamas savybes, polisacharidai yra maišomi tarpusavyje ar su kitomis medžiagomis, taip suformuojant biokompozitą.

Tiriamąjį darbo metu buvo suformuoti sluoksniniai celiuliozės ir skirtingų koncentracijų polisacharidų (pektino, krakmolo, agaro, natrio alginato ir kalcio alginato) biokompozitai be ir su plastifikatoriumi (1, 2,5 ir 5 %). Šiame tyrime glicerolis buvo naudotas kaip plastifikatorius. Gautų biokompozitų savybės buvo įvertintos atlikus drėgmės kiekio nustatymo, tirpumo vandenyje, vandens garų pralaidumo ir paviršiaus vilgymo kampo tyrimus. Įvertinus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad biokompozitai be plastifikatoriaus buvo mažiau lankstūs. Taip pat nustatyta, kad celiuliozės / agaro ir celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai be plastifikatoriaus pasižymėjo didžiausiu susitraukimu, kurį nulėmė dangos išdžiūvimas ir didėjanti polisacharido koncentracija dangoje. Įvertinus biokompozitų paviršių optiniu mikroskopu buvo nustatyta, kad susiformavo vientisos polisacharidų dangos. Atlikus tyrimus, nustatyta, kad plastifikatoriaus buvimas turi įtakos biokompozito drėgmei, tirpumui vandenyje, vandens garų pralaidumui ir paviršiaus vilgymo kampo dydžiui. Tyrimų metu pastebėta, kad didėjant plastifikatoriaus koncentracijai, didėja biokompozito drėgmė, tirpumas vandenyje ir vandens garų pralaidumas, tačiau mažėja paviršiaus vilgymo kampas.

Strykaitė, Monika. Development and Characterization of Bio-packaging for Food Products. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Jonas Damašius; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Biotechnology, Technological sciences

Keywords: bio-packaging, biopolymers, biocomposites, cellulose, polysaccharides.

Kaunas, 2020. 90 p.

Summary

The growing number of plastic packaging entering landfills and the resulting environmental damage is stimulating interest in alternatives to packaging materials. The focus is on natural packaging materials – biopolymers.

Perhaps the most widely used biopolymers are polysaccharides. These materials are used to coat a variety of foods, thus forming a protective layer, or to produce films for packaging. Polysaccharide films have a good gas barrier and mechanical properties but are quite sensitive to moisture. To improve the existing properties, the polysaccharides are mixed with other polysaccharides or with other substances, thus forming a biocomposite.

Layered biocomposites of cellulose and different concentrations of polysaccharides (pectin, starch, agar, sodium alginate and calcium alginate) without and with plasticizer (1, 2.5 and 5%) were formed during the research work. Glycerol was used as a plasticizer in this study. The properties of the obtained biocomposites were evaluated by determinations of moisture content, water solubility, water vapor permeability, and contact angle. After evaluating the obtained results, it was found that biocomposites without plasticizer were less flexible. It was also found that the cellulose / agar and cellulose / calcium alginate biocomposites without plasticizer had the highest shrinkage due to coating drying and increasing polysaccharide concentration in the coating. The surface of the biocomposites was assessed by optical microscopy to form solid polysaccharide coatings. Studies have shown that the presence of a plasticizer affects the moisture, water solubility, water vapor permeability, and contact angle of the biocomposite. Studies also have shown that increasing the concentration of plasticizer increases the moisture, water solubility, and water vapor permeability of the biocomposite, but decreases the contact angle of the surface.

Turinys

Santrumpų ir terminų sąrašas	7
Įvadas.....	8
1. Literatūros apžvalga	10
1.1. Tradicinės maisto produktų pakuotės ir jų savybės.....	10
1.2. Biopolimerai ir jų pritaikymas maisto produktų pakuočių kūrime	11
1.3. Biokompozitai	14
1.3.1. Plastifikatoriai, naudojami biokompozituose	14
1.3.2. Biokompozitų tipai ir jų pritaikymas maisto pakuočių kūrime	15
1.4. Natūralūs biopolimerai, naudojami biokompozitams gaminti	16
1.4.1. Celiuliozė.....	16
1.4.2. Pektinas.....	18
1.4.3. Krakmolas.....	19
1.4.4. Agarai.....	20
1.4.5. Alginatai	22
1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	24
2. Medžiagos ir tyrimų metodai	25
2.1. Tyrimų objektai	25
2.2. Naudotos medžiagos.....	25
2.3. Biokompozitų iš celiuliozės ir polisacharidų gamyba.....	26
2.3.1. Biokompozitų iš celiuliozės ir polisacharidų gamyba.....	28
2.4. Suformuotų biokompozitų savybių įvertinimo metodai.....	30
2.4.1. Biokompozito paviršiaus morfologija	30
2.4.2. Drėgmės kiekis biokompozite	30
2.4.3. Biokompozito tirpumas vandenyje.....	30
2.4.4. Biokompozitų vandens garų pralaidumo tyrimas.....	31
2.4.5. Biokompozito paviršiaus vilgymo kampas	32
2.4.6. Statistinė analizė	32
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	33
3.1. Biokompozitų iš celiuliozės ir polisacharidų gamyba.....	33
3.2. Suformuotų biokompozitų savybių įvertinimas	33
3.2.1. Biokompozitų paviršiaus morfologija	33
3.2.2. Drėgmės kiekis biokompozituose.....	35
3.2.3. Biokompozitų tirpumas vandenyje.....	43
3.2.4. Biokompozitų vandens garų pralaidumo tyrimas.....	50
3.2.5. Biokompozitų paviršiaus vilgymo kampas	58
4. Rekomendacijų dalis	66
Išvados	68
Literatūros sąrašas	69
Priedai.....	79
1 priedas. Tiriamųjų objektų sudėtis ir pavadinimų trumpiniai	79
2 priedas. Tiriamųjų biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai	81

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

Dr. – mokslų daktaras;

GalA - galakturono rūgštys;

Habil. Dr. – habilituotas mokslų daktaras;

HG – homogalakturonas;

PCL - polikaprolaktonas

PE – polietilenas;

PET – polietiltereftalatas;

PGA – poliglikolidas;

PHA – polihidroksialkanoatai;

PHB – polihidroksibutiratas;

PHBV – polihidroksibutirat-ko-hidroksivaleratas;

PLA – polipieno rūgštis;

PP – polipropilenas;

Prof. – profesorius;

PS – polistirenas;

PVA – polivinilo alkoholis;

PVK – paviršiaus vilgymo kampas;

RG I – ramnogalakturonanas I;

RG II – ramnogalakturonanas II;

SBI – sojų baltymų izoliatas;

VGP – vandens garų pralaidumas;

VGTG – vandens garų transmisijos greitis.

Įvadas

Pastaruoju metu pasaulis susiduria su ypač dideliu gyventojų skaičiaus augimu. Prognozuojama, kad iki 2050 metų pasaulio gyventojų skaičius išaugs nuo 7 iki 9 milijardų. Tokiu atveju maisto atsargų kiekis turėtų padidėti maždaug 77 %, lyginant su 2007 metais. Siekiant maisto produktus išlaikyti kaip galima ilgiau šviežius ir tinkamus naudoti, bus panaudotas didelis įvairių maisto pakuočių kiekis.

Besiplečianti maisto pramonė jau dabar susiduria su vartotojų keliamu susirūpinimu dėl aplinkos taršos, kadangi ši pramonės sritis sugeneruoja didelius šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekius [2]. Taip pat pastarąjį dešimtmetį jaučiamas vis didėjantis susirūpinimas augančia plastiko tarša, kurią nulemia perteklinis plastiko naudojimas. Dėl gerų plastikų eksploatavimo savybių daugelis prekių yra pakuojama būtent į įvairias plastikines pakuotes [1].

Iš 78 milijonų tonų plastikinių pakuočių, pagaminamų visame pasaulyje kasmet, tik 14 % iš jų yra perdirbama. Likusi neperdirbtų plastiko pakuočių dalis patenka į sąvartynus, užteršia dirvožemį bei vandens telkinius [2]. Dauguma plastikų yra biologiškai neskaidūs, todėl pilnai nesuyra, o sudaro mikro- dydžio daleles. Šios dalelės yra vadinamos mikroplastiku, ir kelia pavojų gyviems organizmams. Todėl vis dažniau ieškoma būdų, kaip palengvinti aplinkai tenkančią našą ir sumažinti gamtos išteklių eikvojimą, kurį sukelia biologiškai neskaidžių plastikinių pakuočių gamyba ir perteklinis jų naudojimas [2].

Siekiant sumažinti tradicinių plastikų naudojimą, didelis dėmesys yra skiriamas alternatyvioms medžiagoms. Viena iš jų yra gamtiniai biopolimerai. Tai medžiagos (pavyzdžiui, baltymai, polisacharidai ir kitos), kurios yra išgaunamos iš įvairių atsinaujinančių gamtinių šaltinių, pavyzdžiui, augalų ir / ar gyvūnų. Jos yra plačiai paplitusios, nebrangios, draugiškos aplinkai bei biologiškai skaidžios. Biopolimerai taip pat pasižymi geromis fizikinėmis ir barjerinėmis savybėmis, kurios leidžia jas taikyti ir pakuočių kūrime. Biopolimerinės plėvelės gali tarnauti kaip garų ar drėgmės barjerai, papildyti kitų rūšių pakuotes, taip pagerindamos maisto kokybę ir pratęsdamos jo galiojimo laiką. Be to, į biopolimerų pagrindu pagamintas pakavimo medžiagas gali būti įterpti įvairūs priedai (tokie kaip antioksidantai, priešgrybeliniai agentai, antimikrobinės medžiagos), kurie padeda išlaikyti supakuoto maisto produkto savybes.

Tačiau platesnis biopolimerinių pakuočių pritaikymas yra ribojamas dėl prastų biopolimerų mechaninių savybių ir didelio jautrumo drėgmei. Baltymų ar polisacharidų plėvelės paprastai pasižymi geromis deguonies barjerinėmis bei mechaninėmis savybėmis, tačiau dėl hidrofiliinės prigimties nėra atsparios vandeniui ir jo garams. Daugelis biopolimerų yra gana jautrūs vandeniui, vieni iš jų gerai tirpsta vandenyje, kiti – sugeria vandenį ir tampa mechaniškai silpnesni. Norint pagerinti biopolimerų savybes, imta juos derinti tarpusavyje ar su kitomis medžiagomis, taip suformuojant biokompozitus [3].

Biokompozitai – tai struktūra, sudaryta iš dviejų ar daugiau skirtingų komponentų, siekiant gauti naują medžiagą, pasižymintį geresnėmis savybėmis. Jie gali būti pagaminti naudojant tiek gamtinės kilmės, tiek sintetines medžiagas. Biokompozitai, pagaminti iš biopolimerinių medžiagų, yra biologiškai skaidūs, jų gamybai galima panaudoti įvairias žemės ūkio atliekas (šiaudus, išspaudas ir t. t.), taip sumažinant išmetamų atliekų kiekius. Mokslinių tyrimų metu nustatyta, kad biokompozitai pasižymi geresnėmis barjerinėmis ir mechaninėmis savybėmis, lyginant juos su grynais biopolimerais. Taip pat teigiama, kad biokompozitinių medžiagų savybės yra panašios ar net geresnės nei tradicinių pakavimo medžiagų [4].

Vienos iš perspektyvių medžiagų biokompozitų sudarymui yra polisacharidai. Tai gamtinės kilmės cheminiai junginiai, sudaryti iš glikozidiniais ryšiais sujungtų monosacharidų liekanų. Šiai biopolimerų grupei priklauso įvairios molekulinės masės bei skirtingo polidispersiškumo medžiagos. Polisacharidai paprastai yra stabilesni ir kaitinant nedenaatūruoja, lyginant su baltymais ir nukleorūgštimis, todėl dažnai yra tinkamesni biopakuočių gamyboje [5].

Pagrindiniai polisacharidai, naudojami biokompozitams formuoti, yra celiuliozė, krakmolas, chitinas, pektinas, alginatai ir kiti. Šios medžiagos yra plačiai naudojamos dėl savo biologinio suderinamumo, bioskaidumo, didelio cheminio reaktyvumo ir polifunkcionalumo. Natūralios polisacharidų savybės bei įvairios struktūrinės ypatybės suteikia pranašumus biokompozitų sudarymui [5].

Taigi, biokompozitai turi didelį potencialą būti pritaikyti įvairių pakuočių (tame tarpe ir maisto produktų) gamyboje dėl savo ekologiškumo, biologinio skaidumo ir puikių savybių. Todėl **baigiamojo magistro projekto tikslas** – sukurti celiuliozės ir polisacharidų biokompozitus bei įvertinti gautų biokompozitų savybes, siekiant juos pritaikyti maisto pakuotėms kurti.

Šiam tikslui pasiekti yra išsikelti šie **projekto uždaviniai**:

- Apžvelgti ir įvertinti naujų maisto pakuočių iš biokompozitų kūrimo galimybes;
- Sukurti skirtingus biokompozitus iš celiuliozės pluošto ir polisacharidų;
- Įvertinti naujai gautų biokompozitų paviršiaus morfologiją;
- Įvertinti biokompozitų savybes: drėgmės kiekį tirpumą vandenyje, vandens garų pralaidumą, paviršiaus vilgymo kampą;
- Pateikti celiuliozės / polisacharido biokompozitų gamybos aparatūrinę schemą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Tradicinės maisto produktų pakuotės ir jų savybės

Pakuojant maisto produktus daugiausiai naudojamos tradicinės medžiagos – stiklas, metalas, popierius, kartonas, plastikas ir tam tikros šių medžiagų kombinacijos. Medžiaga pakuotei parenkama pagal pakuojamo produkto tipą (kietas, skystas, tepus ir t. t.), kad sukurtą pakuotę tenkintų joms keliamus reikalavimus ir atliktų reikiamas funkcijas [6].

Pagrindinė maisto pakuočių funkcija yra užtikrinti juose supakuotų maisto produktų kokybę ir saugumą transportavimo bei laikymo metu. Taip pat pakuotės turi užtikrinti ilgesnį supakuotų maisto produktų galiojimo laiką, apsaugant juos nuo nepageidaujamų veiksnių, tokių kaip patogeniniai mikroorganizmai, cheminis užterštumas, deguonis, drėgmė, šviesa ir kita [6].

Norint užtikrinti šių funkcijų įgyvendinimą, medžiagos, iš kurių gaminamos maisto produktų pakuotės, turi užtikrinti fizinę apsaugą ir sukurti tinkamas fizikochemines sąlygas produktams išsaugoti, kurios yra svarbios siekiant išlaikyti norimą galiojimo laiką, supakuoto produkto kokybę ir saugumą. Ideali maisto produktų pakuotė turėtų pasižymėti šiomis savybėmis: apsauga nuo drėgmės netekimo ir / ar patekimo į vidų; antimikrobinė apsauga; barjeras prieš vandens garus, deguonį, anglies dioksidą ar kitus lakiuosius junginius. Taip pat ji turi pasižymėti reikiamomis mechaninėmis, optinėmis ir terminėmis savybėmis (žr. 1.1 paveikslas) [6].



1.1 pav. Maisto pakuotėms būdingos funkcijos [7]

Iš išvardintų pakavimo medžiagų dažniausiai naudojami naftos pagrindu gauti plastikai, kurie yra itin populiarūs pakavimo medžiaga nuo pat XX a. vidurio. Jų populiarumas paremtas pigumu, patogumu naudoti, gera estetinė kokybe ir puikiomis fizikocheminėmis savybėmis. Daugiau kaip 40 % visų plastikų yra panaudojama pakuotėms. Pusė iš jų yra skirta maisto produktų pakuoti įvairiomis formomis – plėvelės, lakštai, buteliai, puodeliai ir t. t. [6, 8].

Reikia paminėti, kad pastaruoju metu iš sintetinių plastikų pagamintos pakuotės yra plačiai naudojamos įvairių maisto produktų pakavimui. Toks gausus jų taikymas kelia rimtų aplinkosaugos problemų, kadangi pakuotės nėra lengvai perdirbamos ir / ar suardomos [8].

Plastikų suirimo procesas gamtoje yra suskirstytas į kelis skirtingus etapus – fizikinį, cheminį ir biologinį. Fizikinis degradacijos procesas natūraliai gamtoje vyksta veikiant slėgiui, drėgmei ir saulės

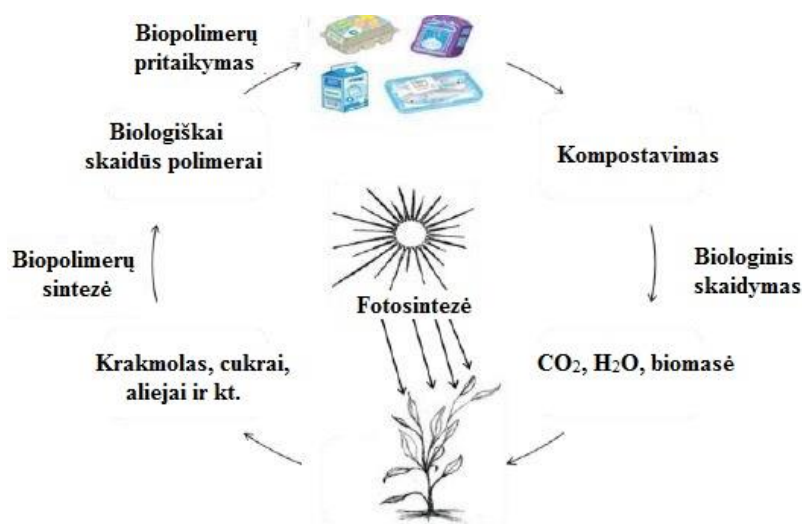
šviesos šilumai. Žinant plastikų cheminę sudėtį (t. y. plastikai sudaryti iš angliavandenilių grandinės polimerų, gautų naftos perdirbimo metu), galima teigti, kad ryšiai tarp angliavandenilių monomerų yra labai stiprūs, todėl plastikų suirimo procesas aplinkos temperatūroje yra sudėtingas. Dažnai yra sunku taikyti biologinį skaidymą fermentais ir / ar bakterijomis, be to, procesas užtrunka ilgą laiką. Cheminis plastikų suardymo procesas reikalauja ekstremalių sąlygų, pavyzdžiui, naudojant pirolizės metodą reikia aukštos temperatūros (450–800 °C) bei slėgio [9, 10].

Taip pat didelė dalis panaudoto plastiko yra išmetami į sąvartynus ar vandenynus. Tai sukelia rimtų ekologinių problemų, tokių kaip mikroplastiko atsiradimas ir jo patekimas į vandenį bei gyvus organizmus [11, 12]. Būtina paminėti ir tai, jog nafta, iš kurios išgaunami plastikai, yra neatsinaujanti žaliava, kuriai išgauti ir perdirbti sunaudojami didžiuliai energijos kiekiai. Be to, perdirbimo metu susidaro įvairių šalutinių produktų, kurie gali būti kenksmingi aplinkai ir gyviems organizmams [13].

Ilgalaikis plastiko atliekų poveikis aplinkai bei tradicinės jų gamybos technologijos kelia visuotinį susirūpinimą. Dėl per didelio gamtinių išteklių išsekimo, atsirandančio dėl biologiškai neskaidžių plastikinių pakavimo medžiagų naudojimo, išaugo biologiškai skaidžių pakuočių paklausa [8].

1.2. Biopolimerai ir jų pritaikymas maisto produktų pakuočių kūrime

Ideali biologiškai skaidi pakavimo medžiaga turėtų būti išgauta iš atsinaujančių biologinių šaltinių, pasižymėti puikiomis mechaninėmis ir barjerinėmis savybėmis bei biologiniu skaidumu po panaudojimo. Siekiant atrasti tinkamas medžiagas, šiuo metu didelis dėmesys skiriamas biopolimerų tyrimams. Jie yra laikomi potencialiais biologiškai neskaidžių ir / ar iš neatsinaujančių šaltinių išgautų plastikų pakaitalais maisto produktų pakavimo srityje [8, 14].

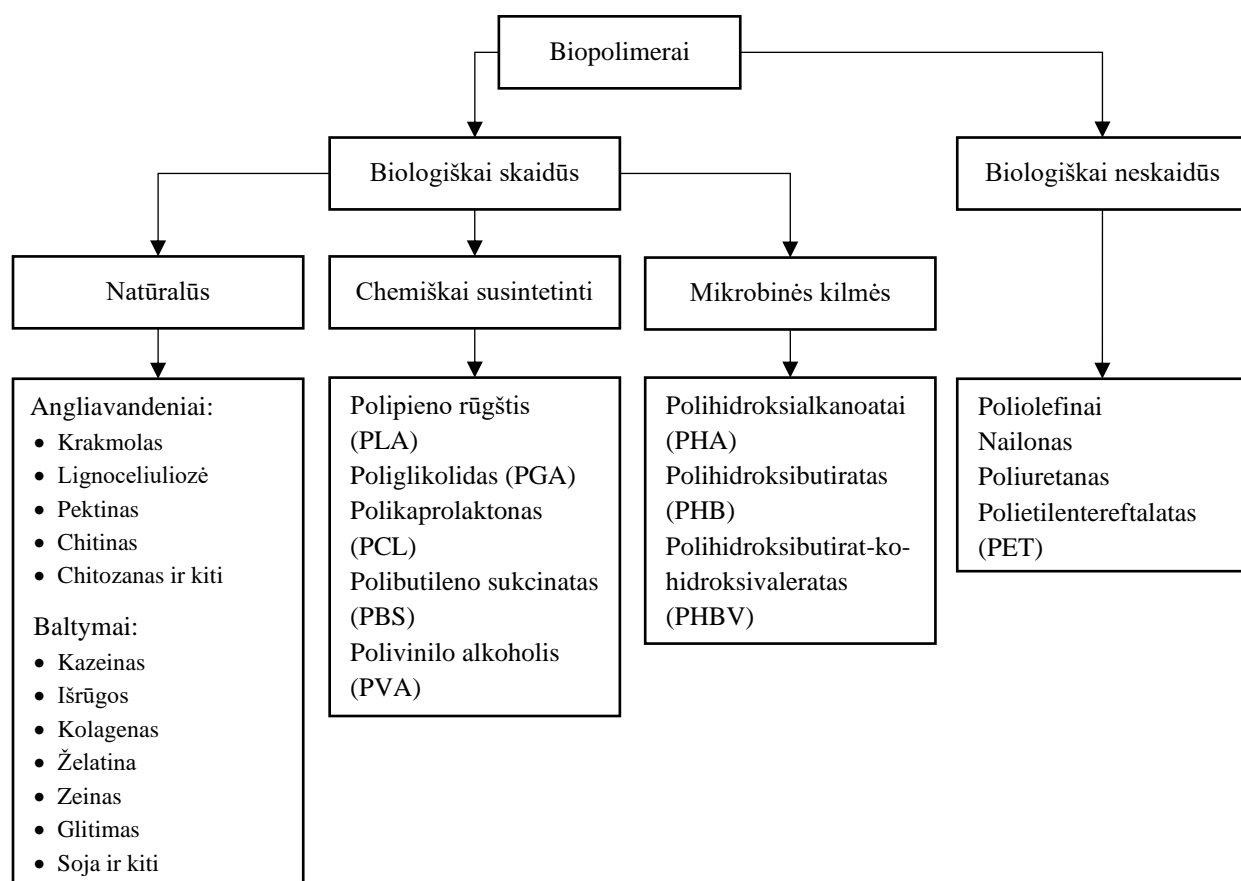


1.2 pav. Biopolimerų gyvavimo ciklas [14]

Biopolimerai – tai polimerai, kurie yra sudaryti iš monomerų liekanų, sujungtų kovalentiniais ryšiais. Jų pagrindinis šaltinis yra gyvieji organizmai (augalai, gyvūnai, bakterijos ir kt.), kurie sintetina šiuos polimerus ląstelėse vykstančių metabolizmo procesų metu. Šių medžiagų sintezė yra skirstoma į fermentų katalizuojamas ir aktyvintų monomerų grandinės augimo reakcijas [1, 15].

Tobulėjant technologijoms buvo sukurtos metodikos, leidžiančios gauti sintetinius biopolimerus iš įvairių žaliavų (atsinaujinančių ir neatsinaujinančių). Šie sintezės būdu gaunami cheminiai dariniai yra priskiriami prie biopolimerų, nes jie, kaip ir natūralūs biopolimerai, pasižymi biologiniu skaidumu [6].

Taigi, biopolimerai pagal kilmę gali būti skirstomi į keturias grupes: natūralūs biopolimerai, išgauti iš biomasės (pvz., žemės ūkio išteklių); sintetiniai biopolimerai, gaunami mikrobines sintezės ar fermentacijos metu (pvz., polihidroksialkanoatai (PHA)); sintetiniai biopolimerai, chemiškai sintetinami iš biomasės (pvz. polipieno rūgštis (PLA)); sintetiniai biopolimerai, gaunami iš naftos produktų (pvz., polikaprolaktonas (PCL)) [1]. Biopolimerų skirstymas pagal kilmę ir pavyzdžiai yra pateikti 1.3 paveiksle.



1.3 pav. Biopolimerų klasifikacija pagal jų kilmę [1]

Mokslinėje literatūroje minima, kad, norint pagaminti 1 kg tradicinio plastiko, sunaudojama maždaug 65 % daugiau energijos nei gaminant tą patį biopolimerų kiekį. Taip pat teigiama, jog biopolimerai sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas 30–80 % bei užtikrina ilgesnį produktų galiojimo laiką nei įprastiniai plastikai [16–18].

Biopolimerai pasižymi biologiniu skaidumu, t. y. šias medžiagas gali suskaidyti natūraliai egzistuojantys organizmai (pvz., bakterijos), paliekant nekenksmingus organinės kilmės šalutinius produktus, tokius kaip vanduo ir anglies dioksidas. Todėl šios medžiagos yra laikomos puikia alternatyva naftos pagrindu gautiems plastikams, nes jos yra biologiškai skaidžios, gaunamos iš atsinaujinančių ir plačiai paplitusių šaltinių [6, 19].

Vieni plačiausiai ištirtų biopolimerų, naudojamų maisto pakuočių kūrimo, yra polisacharidai ir jų dariniai [20–22]. Šie natūralios kilmės biopolimerai formuoja dangas, kurios pasižymi veiksmingu deguonies barjeru dėl tinkamo vandenilinių ryšių tinklo. Tačiau polisacharidinės dangos nepasižymi efektyviu drėgmės barjeru, nes šie biopolimerai yra hidrofilinės prigimties. Polisacharidų dangos yra bespalvės, neriebios, mažai kaloringos ir gali būti panaudotos vaisių, daržovių, vėžiagyvių ir / ar mėsos gaminių tinkamumo vartoti termino pailginimui, sumažinant produktų dehidrataciją, paviršiaus tamsėjimą ir oksidacinį poveikį [23].

Vienas pagrindinių polisacharidų maisto pakavime yra krakmolas ir jo dariniai, nes šios medžiagos yra saugios naudoti bei valgomos. Moksliniai tyrimai parodė, jog krakmolas yra pilnai biologiškai suskaidoma medžiaga, kuri gali paskatinti biologinę neskaidžių medžiagų degradaciją, kai jos yra mišinyje su krakmolu. Taip pat bioskaidžioms pakuotėms gaminti naudojama celiuliozė ir jos dariniai (celiuliozės acetatas, karboksimetilceliuliozė, hidroksipropilmetilceliuliozė), chitozanas, agaras, alginatas, pektinas ir kiti polisacharidai [24–31].

Lipidai yra polinės prigimties medžiagos, todėl jos pasižymi puikiu barjeru drėgmės migracijai [32]. Paprastai, lipidinės dangos dėl savo hidrofobiškumo yra ypač trapios ir storesnės. Tačiau pastebima, kad lipidai, esantys pakavimo plėvelėse ar dangose, gali pažeisti supakuotų maisto produktų išvaizdą [32, 33].

Taip pat baltymai yra panaudojami įvairioms pakavimo dangoms ir / ar plėvelėms formuoti. Tam naudojami globuliniai baltymai, esantys sudėtingos sferinės formos, kurią išlaiko vandenilinių, joninių, hidrofobinių ir kovalentinių ryšių derinys. Dažniausiai plėvelėms gauti naudojami tokie baltymai kaip kviečių gliutimas, kukurūzų zeinas, sojų ar išrūgų baltymai. Norint išgauti vientisesnę struktūrą, baltymai turi būti denatūruojami. Tai padidina plėvelių stiprumą, sustiprina barjerines savybes, tačiau sumažina lankstumą. Baltyminės dangos yra laikomos veiksmingais deguonies barjeriais, net esant žemai santykinei drėgmei [1, 23]. Maisto pakuočių vystymui plačiausiai naudojami baltymai yra želatina ir gliutimas [34, 35].

Natūralios kilmės biopolimerinės pakavimo medžiagos yra puiki matrica įvairių priedų, pavyzdžiui, antioksidantų, priešgrybinių agentų, antimikrobinių junginių, spalvų ir kitų medžiagų, įterpimui. Be to, daugelis biopolimerų gali būti naudojami valgomųjų dangų / plėvelių formavimui, kurios pagerina juose supakuotų maisto produktų organoleptines savybes. Taip pat biopolimerinės plėvelės gali tarnauti kaip papildomas sluoksnis daugiasluoksniėje maisto pakuotėje [23].

Sintetiniai biopolimerai pakuotėms suteikia patvarumo, lankstumo, blizgesio, skaidrumo ir atsparumo tempimui. Kaip ir iš natūralių biopolimerų suformuotos plėvelės ir / ar pakuotės, sintetinių biopolimerų pagrindu pagamintos pakuotės taip pat pasižymi biologiniu skaidumu. Plačiausiai ištyrinėtas sintetinis biopolimeras yra PLA, kuri yra gaunama iš pieno rūgšties. Pastaroji gali būti gaunama fermentuojant augalinės kilmės angliavandenius iš cukrinių runkelių, kukurūzų ar kitų šaltinių. PLA pranašumai yra bioskaidumas, todėl šio biopolimero gyvavimo trukmę galima pritaikyti esamai situacijai. Gryna PLA gali degraduoti iki anglies dioksido, metano ir vandens, šio proceso trukmė – nuo kelių mėnesių iki 2 metų, priklausomai nuo aplinkos sąlygų. Be to, PLA pasižymi savybėmis (standumu, atsparumu tempimui ir mažu dujų pralaidumu), kurios yra panašios į tradicinių plastikų, tokių kaip polietileno (PE), polipropileno (PP), polistireno (PS) ir PET, savybes [36, 37].

Tačiau biopolimerų naudojimas maisto pakuotėms turi tam tikrų trūkumų, lyginant šias pakuotes su įprastomis, biologiškai neskaidžiomis medžiagomis. Tarkim, biopolimerai pasižymi prastesnėmis

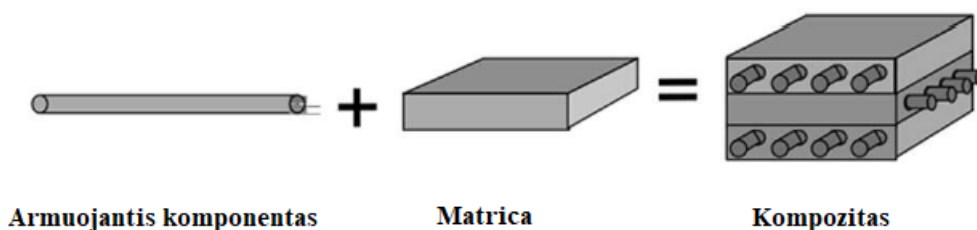
mechaninėmis (pvz., mažas tempiamasis stipris) ir barjerinėmis savybėmis (pvz., aukštas vandens garų pralaidumas). Biopolimerai yra trapūs, turi žemą šiluminės deformacijos temperatūrą, pavyzdžiui, sintetinis biopolimeras PLA pasižymi prastesnėmis eksploatacinėmis savybėmis dėl mažo lankstumo, mažo atsparumo ekstremalioms sąlygoms (aukšta temperatūra, didelis drėgmės kiekis) bei žemos deformacijos temperatūros [1].

Kadangi atskiri biopolimerai pasižymi tam tikrais trūkumais, kurie trukdo platesniam jų pritaikymui kuriant maisto pakuotes, todėl yra ieškoma būdų, kaip tuos trūkumus sumažinti ir / ar panaikinti. Pastaruoju metu didelis dėmesys kreipiamas į kompozicinių biologiškai skaidžių pakuočių (kompozitų) kūrimą ir pritaikymą maisto pakuotėms. Pagrindinis kompozitų formavimo tikslas yra pagerinti kuriamos pakuotės barjerines ir / ar mechanines savybes [38, 39].

1.3. Biokompozitai

Biokompozitai yra kompozitinė medžiaga, sudaryta iš dviejų ar daugiau skirtingomis savybėmis pasižyminčių medžiagų, iš kurių bent viena yra natūralios kilmės. Kiekvienos sudedamosios dalies fizikinės ir cheminės savybės biokompozite išlieka nepakitusios. Komponentų savybės yra pagerinamos / sustiprinamos dėl jų tarpusavio sąveikos kompozitinėje struktūroje, lyginant su atskirų sudedamųjų kompozitų dalių savybėmis [40].

Dažniausiai biokompozitus sudaro dvi medžiagos, kurių viena elgiasi kaip matrica, o kita – kaip armuojantis komponentas. Matrica apsupa ir jungiasi su kitos sudedamosios medžiagos (armuojančio komponento) pluoštais ar fragmentais (žr. 1.4 paveikslas) [41].



1.4 pav. Kompozito susidarymas [40]

Pagrindinė armuojančio komponento funkcija yra užtikrinti kuriamo kompozito stiprumą, standumą bei suteikti pagerintų fizikinių savybių, tuo metu užpildas išlaiko karkaso struktūrą kartu bei saugo jį nuo mechaninio ir aplinkos poveikių [40].

Kompozitai dažniausiai gaunami keliais skirtingais būdais – liejimo, ekstruzijos, kompresinio liejimo ir kitais metodais iš biopolimerų suspensijų, emulsijų, dispersijų arba formuojant kelis atskirus sluoksnius ir juos sujungiant į bendrą kompozitinę medžiagą [23, 42].

1.3.1. Plastifikatoriai, naudojami biokompozituose

Norint padidinti mechaninį biokompozitų stiprumą ir lankstumą, plastifikatoriai, tokie kaip vanduo, riebalų rūgštys, glicerolis ir kiti, gali būti naudojami jų formavimo procese. Šios medžiagos pakeičia trimatę kompozitų struktūrą ir pagerina tempimo savybes. Paprastai didėjant plastifikatoriaus kiekiui biokompozite, mažėja tempimo stipris bei didėja deformacija iki nutrūkimo [43]. Siekiant pritaikyti

plastifikuotus biokompozitus maisto produktų pakuočių kūrimui, naudojami plastifikatoriai turi būti netoksiški ir leidžiami naudoti maisto pramonėje [44].

Glicerolis yra bene labiausiai naudojamas plastifikatorius įvairių plėvelių ir / ar kompozitų gamyboje dėl didelio plastifikavimo efektyvumo. Tačiau glicerolis yra linkęs migruoti į medžiagos paviršių. Jei biokompozitas kontaktuoja su maisto produktu, kuris gali absorbuoti glicerolį, pastarasis migruoja iš pakuotės ir gali patekti į produktą [43].

Plastifikatoriai efektyviai veikia biopolimerinių plėvelių fizikines savybes. Plastifikatoriai padeda sumažinti būdingą plėvelių trapumą sumažinant tarpmolekulinius ryšius, didinant polimerų grandinių mobilumą, mažinant šių medžiagų stiklėjimo temperatūrą ir gerinant jų lankstumą. Tačiau plastifikatorius paprastai padidina vandens pralaidumą, todėl būtina nustatyti optimalų jo kiekį, kad gauti biokompozitai būtų pakankamai lankstūs. Taip pat naudojamas plastifikatoriaus kiekis neturi sumažinti mechaninio stiprumo ar silpninti barjerinių savybių [45, 46].

Dėl didelės naudos (t. y. atsinaujinančios ir pigios žaliavos, biologinio skaidymo galimybė, ekonomiškai tinkamesnis gamybos procesas) šiuo metu didelis dėmesys yra skiriamas biokompozitų kūrimui ir pritaikymui įvairiose pramonės šakose (automobilių, traukinių, kosmoso, karo, statybos ir bio-pakuočių pramonės) [47].

1.3.2. Biokompozitų tipai ir jų pritaikymas maisto pakuočių kūrime

Biokompozitų panaudojimas maisto produktų pakuočių gamyboje yra inovatyvus sprendinys, siekiant atsisakyti iš iškastinio kuro gaunamų plastikų. Jie gali būti formuojami panaudojant įvairias komponentų variacijas. Pavyzdžiui, plačiausiai ištyrinėti yra biokompozitai, sudaryti iš plaušinio užpildo (armuojančios dalies) ir matricos. Plaušiniam užpildui galima naudoti įvairias žaliavas, pavyzdžiui, lignoceliuliozines žemės ūkio veiklos atliekas (šiaudai, lukštai, išspaudos ir t. t.). Tuo tarpu matrica gali būti tiek natūralūs (pvz., alginatas, pektinas, krakmolos), tiek ir sintetiniai biopolimerai (pvz., PHB, PLA, PHBV, PCL ir kiti). Moksliniai tyrimai rodo, jog plaušai padeda sustiprinti mechanines matricos savybes, tačiau gali nulemti barjerinių savybių suprastėjimą [4, 48–54].

Lignoceliulioziniai plaušai, išskirti iš trijų skirtingų žemės ūkio veiklos atliekų (t. y. kviečių šiaudai, alaus gamybos atliekos ir alyvuogių išspaudos), buvo panaudoti kaip PHBV užpildas. Gauti tyrimų rezultatai parodė, jog PHBV / kviečių šiaudų biokompozitai yra perspektyvi kvėpuojančių maisto produktų pakavimo medžiaga, tuo tarpu PHBV / alyvuogių išspaudų biokompozitai yra labiau tinkami produktų, kurie yra jautrūs drėgmei, pakavimui [55].

Nemodifikuota beržo pulpa, celiuliozės mikrofibrilės, celiuliozės nanofibrilės ir anijoninės dikarboksirūgšties celiuliozės nanofibrilės buvo panaudotos formuojant celiuliozės plaušų ir alginato biokompozitus. Atlikus gautų biokompozitų savybių tyrimus buvo nustatyta, kad visi biokompozitai, išskyrus tuos, kurių formavime buvo panaudota nemodifikuota beržo pulpa, parodė ypatingą atsparumą riebalams. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad celiuliozės fibrilių ir alginato biokompozitai turi didelį potencialą ir gali būti naudojami kaip didelio stiprumo pakavimo medžiagos [53].

Didelis dėmesys yra kreipiamas į vadinamuosius bionanokompozitus, kurie taip pat yra vertinami kaip puiki alternatyva tradicinėms maisto pakavimo medžiagoms. Čia, vietoj plaušų, kaip užpildas yra naudojamos neorganinės ir organinės kilmės nanodalelės. Tai gali būti montmorilonitas,

hidroksiapatitas, sidabro (Ag) nanodalelės, įvairūs neorganiniai oksidai (ZnO, TiO₂, MgO, Al₂O₃ ir kt.), nanovamzdėliai, celiuliozės nanodydžio plaušai ir nanokristalai bei kitos nanodydžio medžiagos. Bionanokompozitai pasižymi geresnėmis mechaninėmis ir dujų barjerinėmis savybėmis bei sumažėjusiu jautrumu vandeniui. Būtina pastebėti ir tai, jog kai kurios nanodalelės (pavyzdžiui, ZnO ar Ag nanodalelės) pasižymi antimikrobiniu poveikiu, todėl tokie biokompozitai gali būti pritaikyti aktyviųjų maisto pakuočių gamyboje [56, 57].

Cinko oksido nanodalelės (2–4 masės %) buvo panaudotos agaros matricos užpildymui. Įvertinus gauto bionanokompozito savybes buvo nustatyta, kad ZnO nanodalelių pridėjimas pagerino biokompozito terminį stabilumą, pailgėjimą ir storį. Atlikto praktinio pritaikymo tyrimo rezultatai parodė, jog agaros-ZnO bionanokompozitas yra perspektyvi alternatyva įprastinėms šviežių vaisių, pavyzdžiui, žaliųjų vynuogių, pakuotėms [58].

Sluoksniniai biokompozitai yra sudaryti iš dviejų ir daugiau medžiagų sluoksnių, prisitvirtinusių vienas prie kito (jų struktūra primena sumuštinį). Pagrindinis šių biokompozitų trūkumas yra tas, kad paruošimas apima keturis etapus – du liejimo / formavimo ir du džiovinimo. Dėl šios priežasties tokio tipo kompozitinės pakuotės yra ne tokios populiaros maisto pramonėje, nepaisant gerų barjerinių vandens garų savybių [9, 16]. Tačiau vis dažniau sluoksniniai biokompozitai atranda pritaikymą praktikoje, siekiant pagerinti esamų pakavimo medžiagų savybes. Pavyzdžiui, kartonas ar popierius yra labai populiaros pakavimo medžiagos, bet jos yra linkusios absorbuoti vandens garus iš aplinkos. Dėl šios priežasties suprastėja fizikinės ir mechaninės savybės, ir tai nulemia pirmalaikį pakuotės suirimą. Padengus kartoną ir / ar popierių tam tikromis medžiagomis (t. y. suformavus sluoksninį biokompozitą) galima pagerinti pakuotės stiprumą ir barjerines savybes [59–61].

Alginatas ir sojų baltymų izoliatas (SBI) buvo panaudoti kartono lakštų padengimui, siekiant pagerinti barjerines kartono savybes. Dalis suformuotų kartono-biopolimero kompozitų buvo apdoroti CaCl₂ tirpalu (alginato atveju) arba formaldehidu (SBI atveju). Atlikti tyrimai parodė, kad padengtas kartonas pasižymėjo geresnėmis vandens barjerinėmis savybėmis nei nedengtas kartonas. Tokie rezultatai leidžia daryti prielaidą, jog pagerintų savybių sluoksniniai biokompozitai gali būti naudojami drėgnų ir labai drėgnų maisto produktų (pavyzdžiui, šviežios žemės ūkio produkcijos) pakavimui [59].

Dvisluoksnis biokompozitas iš celiuliozės ir PHB buvo suformuotas liejimo arba kompresinio liejimo būdais. Analizės metu buvo nustatyta, kad tokie biokompozitai pasižymi geresnėmis mechaninėmis ir vandens barjerinėmis savybėmis, lyginant su celiuliozės savybėmis. Manoma, kad celiuliozės-PHB biokompozitai galėtų pakeisti „Tetra Pak“ pakuotes [62, 63].

1.4. Natūralūs biopolimerai, naudojami biokompozitams gaminti

1.4.1. Celiuliozė

Celiuliozė – linijinis stereoreguliarus sindiotaktinis homopolimeras, kurio molekulinė formulė (C₆H₁₀O₅)_n. Šis polimeras sudarytas iš β-D-gliukopiranozės anhidridų, tarpusavyje sujungtų β-1,4-glikozidiniais ryšiais. Celiuliozė yra vienas iš labiausiai gamtoje paplitusių polisacharidų, įeinančių į augalinių ląstelių sienelių struktūrą kaip pagrindinė sudedamoji dalis. Šio polimero bendras produkcijos kiekis viršija 10¹¹–10¹² tonų per metus [15, 64, 65].

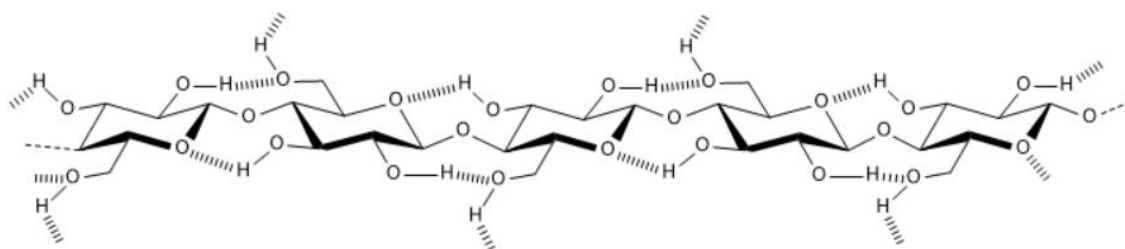
Pagrindinis celiuliozės šaltinis gamtoje yra augalai [15]. Didelės skalės industriniams procesams vykdyti yra naudojama medienos pulpos ir / ar medvilnės pluošto celiuliozė. Taip pat celiuliozė galima išgauti iš plataus spektro kitokios augalinės žaliavos, pavyzdžiui, džiuo, pluoštinės bėmerijos, sizalio, linų, kanapių ir t. t. Celiuliozei išgauti gali būti panaudotos įvairios augalų dalys, tokios kaip lapai, stiebai ar vaisiai. Be to, celiuliozei išskirti iš augalinės žaliavos galima panaudoti žemės ūkio veiklos atliekas – kviečių ir ryžių šiaudus, cukranendrių išspaudas, pjuvenas ir t. t. [66, 67].

Įvairios dumblių rūšys gali būti naudojamos kaip celiuliozės šaltinis, nes šis polisacharidas yra pagrindinis daugelio dumblių ląstelių sienelių komponentas, pasižymintis aukštu kristališkumu. Celiuliozės mikropilaušų savybės gali kisti priklausomai nuo biosintezės proceso, vykstančio skirtingų rūšių dumbliuose. Būtina paminėti tai, kad dažniausiai celiuliozės ekstrakcijai yra naudojami žalieji dumbliai. Celiuliozė gaminantys dumbliai priklauso maurarykštiečių (lot. *Cladophorales*) ir sifonokladiečių (lot. *Siphonocladales*) eilėms. Joms yra priskiriamos šios dumblių gentys: maurarykštiečių eilei – *Cladophora*, *Chaetomorpha*, *Rhizoclonium* ir *Microdyction*; sifonokladiečių eilei – *Valonia*, *Dictyosphaeria*, *Siphonocladus* ir *Boergesenia* [67, 68].

Celiuliozė gali sintetinti bakterijos, priklausančios *Gluconacetobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* ir *Sarcina* gentims. Šiai sintezei kaip pradinė žaliava yra panaudojama gliukozė ir kiti anglies šaltiniai [65]. Be to, tam tikros rūšies bakterijos, tokios kaip *Komagataeibacter xylinus*, atsirandančios acto fermentacijos metu kaip teršalai, gamina celiuliozė iš daugybės įvairių azoto ir anglies šaltinių [67].

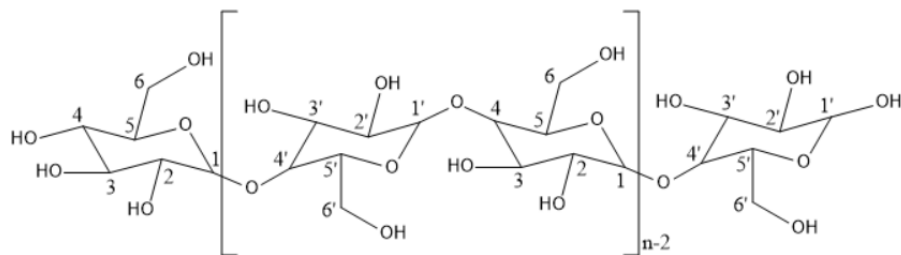
Gaubtagyviai (lot. *Urochordata*, *Tunicata*) – dar vienas galimas celiuliozės šaltinis gamtoje. Tai bestuburiai jūros gyvūnai, turintys storą, odą primenantį gaubtą – tuniką, sudarytą iš celiuliozės. Šis polisacharidas gaubtagyvių audiniuose veikia kaip skeleto struktūra, apimanti visą gaubiamojo audinio epidermį. Šie gyvūnai celiuliozės sintezę vykdo naudodami fermentų kompleksus, esančių epidermio membranoje. Susintetinos celiuliozės mikropilaušų savybės gali skirtis priklausomai nuo jų gaminančio organizmo [68].

Celiuliozės makromolekulėje vyrauja sudėtinga vandenilinių jungčių sistema, kuri turi reikšmingos įtakos jos savybėms. Pavyzdžiui, ribotas tirpumas daugelyje tirpiklių, hidroksilo grupės reaktyvumas ir celiuliozės kristališkumas priklauso nuo vandenilinių ryšių. Kiekviena gliukopiranozės molekulė, įeinanti į celiuliozės struktūrą, turi po tris chemiškai aktyvias hidroksilo grupes, kurios, sąveikaudamos su tos pačios ar gretimos celiuliozės grandinės hidroksilo grupėmis, gliukopiranozės žiedo deguonies atomu ir glikozidiniu ryšiu, sudaro intramolekulinius ir intermolekulinius vandenilinius ryšius [15, 19, 64]. Vandenilinių ryšių susidarymas celiuliozės molekulėje yra pateiktas 1.5 paveiksle.



1.5 pav. Vandenilinių ryšių susidarymas celiuliozės molekulėje [65]

Gliukopiranozės liekanoje prie trečio anglies atomo (C3) esanti hidroksilo grupė ir gretimo gliukopiranozės žiedo deguonis tarpusavyje formuoja intramolekulinius ryšius, kaip ir hidroksilo grupės, esančios prie vienos gliukopiranozės liekanos šešto anglies atomo (C6) ir kaimyninės gliukopiranozės liekanos antro anglies atomo (C2). Kartu su β -glikozidiniu kovalentiniu ryšiu, vandenilinės jungtys yra atsakingos už celiuliozės polimero tvirtumą ir standumą. Dėl intermolekulinių vandenilinių ryšių buvimo, susiformuoja stipri celiuliozės grandžių sąveika. Šie ryšiai susidaro tarp gretimų celiuliozės makromolekulių, esančių išilgai plokštumos kristalinėje celiuliozės struktūroje; dažniausiai tarp deguonies atomo, esančio C3 padėtyje, ir hidroksilo grupės C6 padėtyje. Celiuliozės grandinės išsidėsto tvarkingai (t. y. sluoksniais) dėl vandenilinių ryšių, silpnų C-H-O jungčių ir hidrofobinės sąveikos buvimo (žr. 1.6 paveikslas) [65].



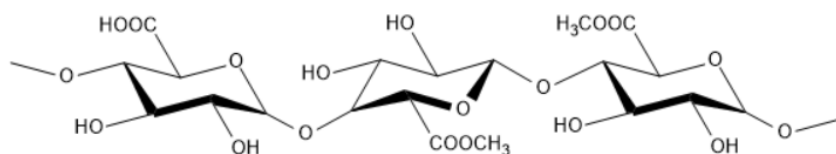
1.6 pav. Celiuliozės struktūra [15]

Celiuliozė pasižymi hidrofiliškumu, netoksiškumu, dideliu vandens sulaikymo pajėgumu, aukštu kristališkumu laipsniu, dideliu atsparumu tempimui, lengvo cheminio modifikavimo galimybe ir geromis mechaninėmis savybėmis [15, 64]. Celiuliozė ir daugelis jos darinių yra nekenksmingi aplinkai, nes jie saugiai grįžta į natūralų anglies ciklą po skilimo proceso, kurį vykdo skaidytojai arba fermentai [15, 70, 71]. Celiuliozė yra naudojama įvairiose pramonės šakose kaip gelio bazė, rišiklis, biologiniai klijai, tirštiklis ir stabilizatorius. Taip pat ji yra naudojama įvairios paskirties plėvelių ir biokompozitų gamyboje [64].

1.4.2. Pektinas

Pektinas – linijinės struktūros biopolimeras, sudarytas iš α -1,4 ryšiais sujungtų D-galakturono rūgšties molekulių (žr. 1.7 paveikslas). Tai pati sudėtingiausia heterogeninė polisacharidų grupė, dažniausiai išgaunamas iš citrusinių vaisių ir obuolių žievelių [72].

Pektinas randamas sausumos augalų ląstelių pirminėje sienelėje. Dideli pektino kiekiai randami kriaušėse, obuoliuose, gvajavose, slyvose, agrastuose ir citrusiniuose vaisiuose. Minimalius pektino kiekius galima aptikti minkštuose vaisiuose (vyšnios, vynuogės, braškės). Pavyzdžiui, obuoliuose yra 0,5–1,6 %, vynuogėse – 0,2–1,0 %, apelsino žievelėje – 3,5–5,5 %, citrinoje – 3,0–4,0 % pektino [73]. Pektino ekstrakcija iš augalinių žaliavų galima keliais skirtingais metodais – vandens ekstrakcija, mikrobangų ekstrakcija ar superkritinių skysčių ekstrakcija [74].



1.7 pav. Pektino molekulės struktūra [19]

Dažniausiai pektiną sudaro šie struktūriniai blokai: homogalakturonanas (HG), ramnogalakturonanas I (RG I) ir ramnogalakturonanas II (RG II) [75]. Homogalakturonanas yra neigiamai įkrauta makromolekulė, kurią sudaro α -1,4-ryšiais sujungtos galakturono rūgštys (GalA), kurios dažnai būna metilo esterio pavidale. Gamtoje apie 80 % galakturono rūgšties karboksilo grupių yra esterifikuotos. Neesterifikuoti galakturono rūgšties vienetai gali egzistuoti kaip laisva rūgštis arba kaip natrio, kalio ir kalcio druskos. Ramnogalakturonanas I yra sudarytas iš (1,2)-L-ramnozės ir (1,4)- α -D-galakturono rūgšties likučių, kurie gali būti pakeisti neutraliomis šoninėmis grandinėmis, įskaitant arabinaną ir galaktaną. Trečiasis struktūrinis pektino blokas yra ramnogalakturonanas II, kuris yra rečiau randamas, sudėtingesnės ir labiau šakotos struktūros polisacharidas [73].

Pektino tirpumas vandenyje priklauso nuo polimerizacijos ir esterifikacijos laipsnio. Pavyzdžiui, pektino rūgštis yra netirpi vandenyje, kai jos esterifikacijos laipsnis yra lygus 0. Kai esterifikacijos laipsnis yra didesnis už 0, pektinas tampa tirpus [72].

Pektinas pasižymi puikiu biologiniu suderinamumu, bioskaidumu, jautrumu pH pokyčiams, netoksiškumu ir kitomis teigiamomis savybėmis. Todėl jis yra plačiai naudojamas maisto ir kosmetikos pramonėje, medicinoje ir farmacijoje [72, 75, 76]. Pektinas pasižymi gebėjimu formuoti vandeninius gelius, ir ši savybė leido jį pritaikyti džemų, drebučių, vaisių ruošinių, vaisių gėrimų koncentratų, vaisių sulčių, desertų ir fermentuotų pieno produktų gamyboje. Iš pektino gautos plėvelės puikiai tinka sausų arba mažai drėgnų produktų pakavimui [77].

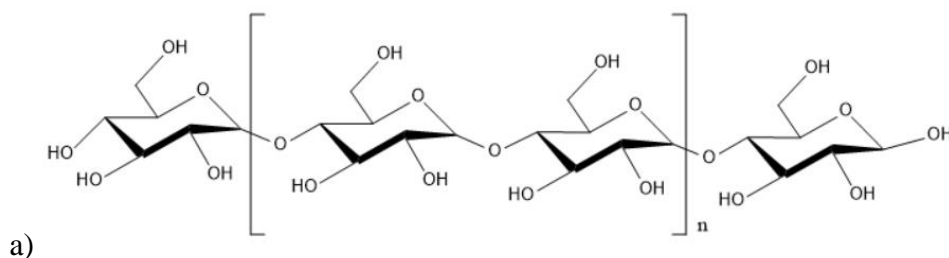
1.4.3. Krakmolos

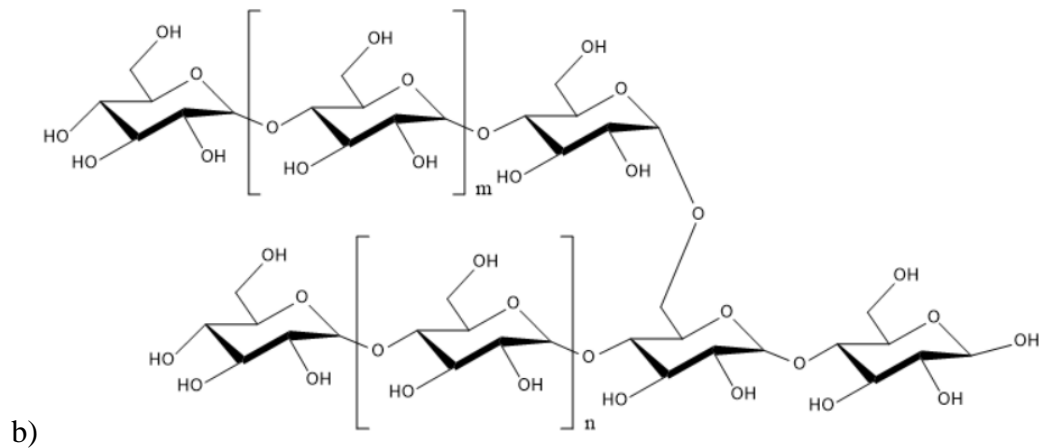
Krakmolos – natūralios kilmės polisacharidas, sudarytas iš gliukozės molekulių, sujungtų dviem skirtingais būdais. Jis yra gaunamas iš augalų, vykstant fermentinėms reakcijoms fotosintezės metu [78].

Krakmolo pagrindinė kultūrinių augalų: bulvių, rugių, kviečių, kukurūzų, ryžių sėklų sudaromoji dalis. Šių augalų sėklose krakmolos sudaro 60–90% sausų medžiagų kiekio. Krakmolos augaluose atlieka energijos kaupimo funkciją. Jis yra kaupiamas augalų ląstelėse 2–100 μ m diametro sferinių granuliu pavidalu. Sėkloms dygstant, krakmolos skaldomas į maltozę, kuri naudojama kaip energijos šaltinis [79].

Gamtinis krakmolos egzistuoja netirpių pusiau kristalinių granuliu pavidalu [78]. Jį sudaro 2 skirtingos struktūros gliukozės polimerai – amilozė ir amilopektinas (žr. 1.8 paveikslas).

Amilozė yra linijinės struktūros, jos pagrindinėje grandinėje gliukozė yra sujungta α -1,4 glikozidiniu ryšiu. Ji krakmolo granulėje egzistuoja amorfinėje fazėje. Amilopektinas yra šakotos struktūros, jo pagrindinė grandinė yra amilozė, prie kurios gliukozės molekulės (atšakos) jungiasi α -1,6 glikozidiniu ryšiu. Šis krakmolo komponentas yra kristalinio būvio [80].





1.8 pav. Krakmolą sudarančių elementų struktūros: a – amilozė; b – amilopektinas [78]

Amilozės ir amilopektino santykis skiriasi, priklausomai nuo krakmolo šaltinio. Amilozės kiekis gali varijuoti nuo 17 iki 70 %, tuo tarpu amilopektino – nuo 83 iki 30 %.

Krakmolą netirpsta kambario temperatūros vandenyje dėl stabilumo ir orientuotos pusiau kristalinės struktūros [79]. Norint, kad krakmolą ištirptų, būtina suardyti jo granules. Tai galima atlikti kaitinant krakmolo ir vandens suspensiją, naudojant verdantį vandenį ar autoklavuojant vandeninę krakmolo suspensiją esant 121 °C temperatūrai ir veikiant slėgiui [81].

Kai krakmolo molekulės yra kaitinamos vandenyje, pusiau kristalinė jų struktūra suardoma. Tuomet vandens molekulės formuoja vandenilinius ryšius su amilopektino ir amilozės hidroksilo grupėmis. Šie ryšiai sukelia krakmolo granulių brinkimą bei padidina jų tirpumą. Krakmolo brinkimas ir tirpumas parodo, kaip sąveikuoja polimerinės grandinės, sudarytos iš amorfinių ir kristalinių granulių fazių. Šios sąveikos mastas priklauso nuo amilozės-amilopektino santykio, polimerizacijos laipsnio, grandinės ilgio ir šakotumo bei kitų parametrų [80].

Krakmolą yra pigi ir atsinaujinanti žaliava, pasižyminti bioskaidumu ir biologiniu suderinamumu bei netoksiškumu. Dėl savo teigiamų savybių jis yra naudojamas įvairiose pramonės srityse. Maisto pramonėje krakmolą naudojamas kaip maisto priedas (tirštiklis, emulsiklis ir kt.). Iš krakmolo yra gaunami sirupai ir saldikliai, kurie naudojami gėrimų ir konditerijos gamybose. Krakmolą naudojamas popieriaus, tekstilės, chemijos, farmacijos ir naftos srityse. Popieriaus ir kartono gamyboje krakmolą naudojamas kaip vidinis suklijavimo agentas, kuris padidina popieriaus stiprumą. Taip pat jis naudojamas popieriaus lapų padengimui, kad būtų užpildytos poros ir padidėtų popieriaus lygumas. Neseniai pradėta kurti krakmolo plėveles ir plastikus, norint juos pritaikyti maisto pakuočių ar valgomų dangų gamybai [82].

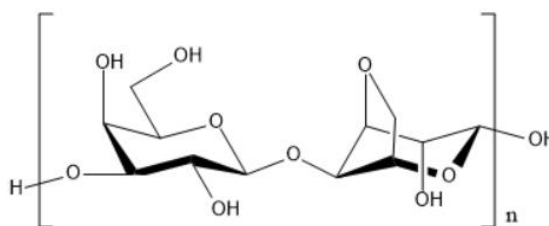
1.4.4. Agaras

Tai nešakotas polisacharidas, išgaunamas ekstrakcijos metodu dažniausiai iš raudondumblių (lot. *Rhodophyta*) skyriaus jūržolių [83]. Agaras yra pirmasis fitokoloidas panaudotas žmonių maisto pramonėje (žr. 1.9 paveikslas) [84].

Šis polisacharidas yra išgaunamas iš skirtingų raudonųjų dumblių rūšių, pavyzdžiui, *Gracilaria* ir *Gelidium*. Bendrinė agaro ekstrakcijos metodika susideda iš sausų jūržolių išplovimo verdančiame vandenyje, ekstrakto nufiltravimo ir agaro atskyrimo užšaldant ir atšildant, kad būtų atskirtas vanduo

[85]. Skirtingas šaltinis nulemia agaros savybių ir cheminės sudėties skirtumus. Šie parametrai priklauso nuo naudojamų jūržolių rūšies, jų amžiaus, fiziologinių parametru, gyvenimo ciklo stadijos ir t. t. [86]. Remiantis atliktais moksliniais tyrimais buvo nustatyta, kad geriausias gamtinis agaros šaltinis yra *Gracilaria gracilis* rūšies dumbliai [87].

Agaras yra sudarytas iš polisacharidų – agarozės ir agaropektino – mišinio [88]. Agarozė yra neutralus linijinės struktūros polisacharidas, sudarytas iš pasikartojančių disacharido agarobiozės vienetų. Mokslinėje literatūroje teigiama, kad agarozė sudaro didžiąją dalį agaros polisacharido (iki 70 %) [89, 90]. Šis disacharidas yra sudarytas iš *D*-galaktozės ir 3,6-*L*-galaktozės vienetų. Agaropektinas yra rūgštinis polisacharidas, kurio struktūroje, be agarobiozės, yra sulfato esterio, piruvato rūgšties ir *D*-gliukurono rūgšties [91].



1.9 pav. Agaros cheminė struktūra [84]

Viena iš svarbiausių agaros savybių yra gebėjimas suformuoti grįžtamąjį gelį net esant mažoms koncentracijoms, kai karštas vandeninis agaros tirpalas yra vėsinamas. Vykstant agaros gelio formavimuisi, tarp agaros makromolekulinių grandinių susidaro vandeniliniai ryšiai. Šis gebėjimas nulėmė agaros pritaikymą įvairiose pramonės šakose, pavyzdžiui, maisto pramonėje (sūrio gaminių, ledų, duonos ir minkštų saldainių gamyboje) [83].

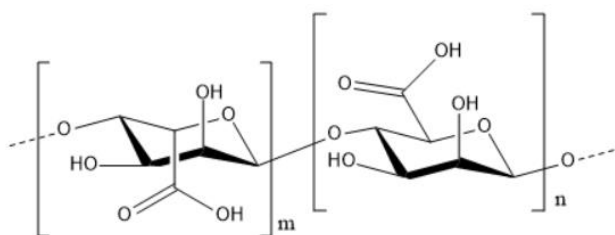
Agaros geliacija vandenyje vyksta be papildomų reagentų, tokių kaip kalis arba baltymai (būtinai karageninų gelių susidarymui); kalcis arba kiti divalenčiai katijonai (būtinai alginatinių gelių susidarymui), didelės cukraus koncentracijos arba rūgštinės aplinkos (būtinai pektinų geliacijai) ir t. t. 1,5% vandeninis tirpalas susidaro gelį tarp 32–43°C ir netirpsta žemesnėje kaip 85°C temperatūroje. Tai yra unikali agaros savybė, palyginti su kitais geliniais agentais. Agaros gelis pasižymi puikiu grįžtamumu, leidžiant jį pakartotinai geliuoti ir išlydyti neprarandant jokių pirminių savybių [92].

Agaras gali būti naudojamas esant plačiam pH diapazonui, nuo 5 iki 8, o kai kuriais atvejais ir viršijant šias ribas. Šis polisacharidas taip pat pasižymi labai geru terminiu atsparumu, net aukštesnėje nei 100°C temperatūroje, o tai leidžia gerai jį sterilizuoti [92].

Agaros suvartojimas maisto gamybai siekia apie 80%, tuo tarpu likę 20 % yra panaudojami biotechnologiniams sprendiniams kurti. Dėl savo stabilumo, kontroliuojamo dydžio ir nuo koncentracijos priklausančių savybių, agaras dažnai naudojamas audinių inžinerijoje biologinių audinių formavime [84]. Platesnį agaros panaudojimą nulemia cheminė sudėtis (sulfatų, metoksilo, cukrų kiekis), kuri gali kisti priklausomai nuo ekstrakcijos proceso [85]. Dėl gebėjimo formuoti kietus gelius, esant labai mažoms koncentracijoms (0,04%), agaras plačiai naudojamas kaip gelinis agentas neperdirbtuose maisto produktuose, farmacijos produktuose ir kosmetikoje, taip pat biotechnologijose ir medicinoje [93, 94].

1.4.5. Alginatai

Alginatai yra linijiniai kopolimerai, sudaryti iš (1,4)-ryšiais sujungtų β -D-manurono rūgšties (M) ir α -L-gulurono (G) rūgšties monomerų (žr. 1.10 paveikslas) [95]. Šie polimerai yra laikomi anijoniniais polielektrolitais dėl netaisyklingo monomerų išsidėstymo alginato makromolekulėje.

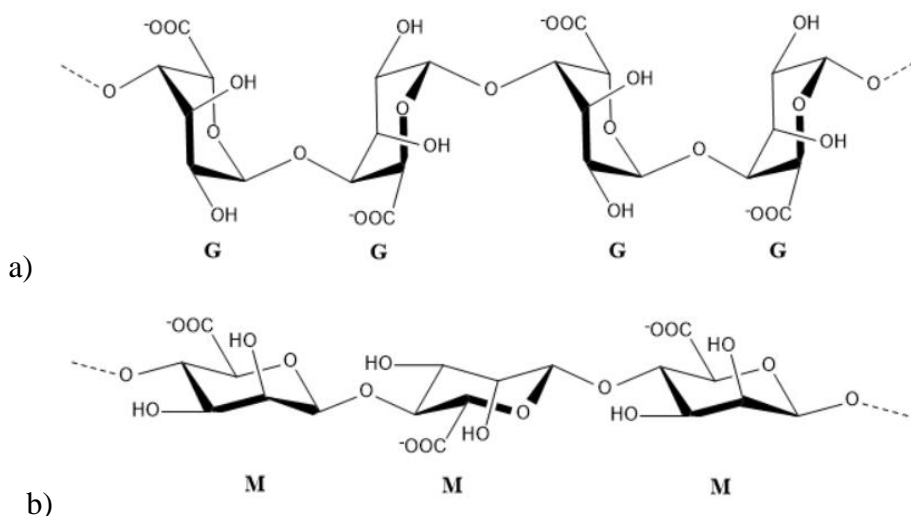


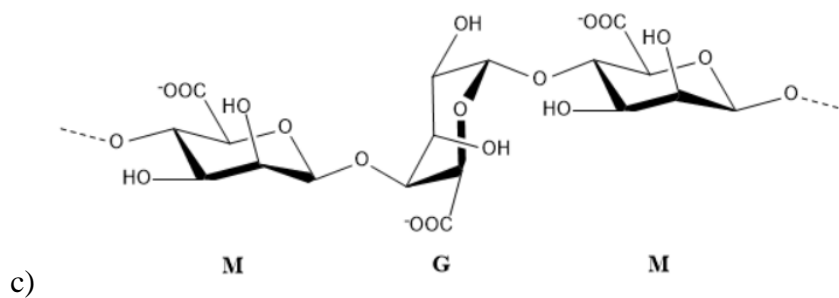
1.10 pav. Alginato struktūra [23]

Gamtiniuose šaltiniuose alginatai egzistuoja tirpių arba netirpių vandenyje druskų pavidalu [96]. Alginatus galima išgauti iš rudųjų jūros dumblių, priklausančių *Laminaria*, *Macrocystis*, *Lessonia* ir kitoms gentims. Alginato savybės ir cheminė sudėtis gali kisti priklausomai nuo dumblio rūšies, iš kurios jis yra išgaunamas. Pavyzdžiui, iš *Laminaria* genties dumblių išskirtas alginatas pasižymi didesne gulurono rūgšties koncentracija. Tuo tarpu iš *Lessonia* genties dumblių išskirtas alginatas savo struktūroje turi didesnę manurono rūgšties kiekį [97, 98].

Taip pat alginatus gali sintetinti dvi bakterijų – *Pseudomonas* ir *Azotobacter* – gentys [97, 98]. Bakterijų *Pseudomonas aeruginosa* susintetintas alginatas geba suformuoti storas ir ypač struktūrizuotas biologines plėveles. *Azotobacter* genties bakterijų susintetintas alginatas pasižymi standumu, nes jo struktūroje aptinkamas didesnis gulurono rūgšties kiekis [99].

Alginatą sudarantys monomerai yra išsidėstę netaisyklingais blokais (žr. 1.11 paveikslas). Šio polisacharido struktūroje aptinkami manurono rūgšties blokai (M-blokas), gulurono rūgšties blokai (G-blokas) ir mišrieji blokai, kurie yra sudarytas iš abiejų monomerų (MG-blokas). G-blokai yra griežtesnės struktūros nei mišrieji blokai, todėl jie yra labiau tirpūs esant žemai pH vertei. Gulurono rūgšties kiekis alginate, priklausomai nuo šaltinio, svyruoja nuo 40 iki 70 %. Manurono ir gulurono rūgščių kiekio santykis alginato struktūroje nulemia jo savybes ir pritaikymo sritis [97].



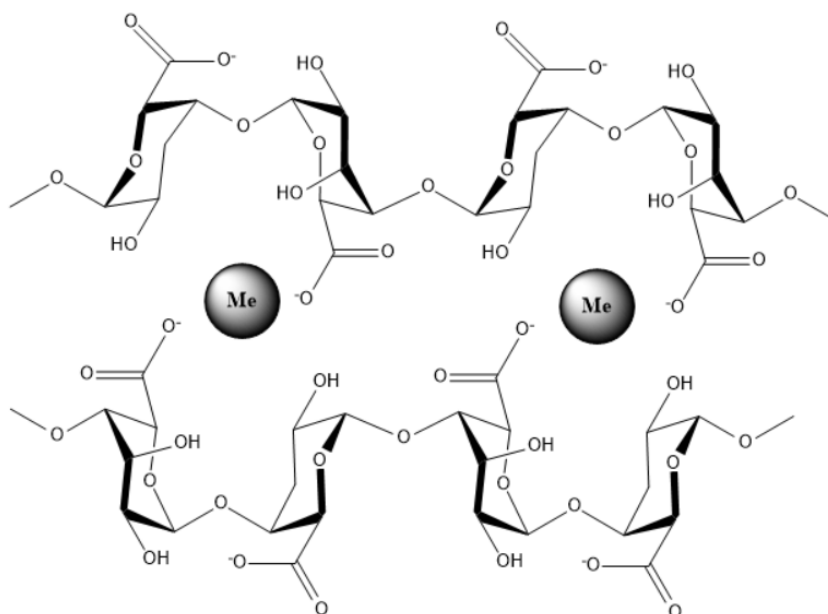


1.11 pav. Alginato struktūriniai blokai: a) G-blokas, b) M-blokas, c) mišrusis MG blokas [97]

Alginatų tirpumas vandenyje priklauso nuo trijų parametru: tirpiklio pH, terpės joninio stiprio ir joje esančių jonų buvimo. Kad alginatai būtų tirpūs, yra labai svarbu, kad pH vertė būtų didesnė už tam tikrą kritinę vertę, o karboksirūgšties grupės – deprotonizuotos [100]. Kadangi alginatas sudaro skersinius ryšius su tam tikrais divalenciais katijonais (pavyzdžiui, Ca^{2+} , Sr^{2+} ir Ba^{2+}) ir formuoja gelį, todėl norint ištirpinti alginatus, šių jonų tirpale neturėtų būti [101].

Kai kurios alginatinės plėvelės (pavyzdžiui, natrio alginato) nepasižymi stipriomis mechaninėmis savybėmis ir yra tirpios vandenyje. Tačiau jos gali įgauti netirpumą net ir verdančiame vandenyje, jei yra apdorojamos kalcio jonų tirpalu [102]. Toks apdorojimas vadinamas joniniu susiuvimu. Tai vienas iš lengviausių ir dažniausiai naudojamų alginato struktūros stiprinimo metodų [106]. Jo metu alginatas ir daugiavalenčiai jonai (tokie kaip Ca^{2+} , Ba^{2+} , Zn^{2+} ir Cu^{2+}) lengvai kryžminasi ir formuoja „kiaušinio dėžutės“ struktūrą (žr. 1.12 paveikslas) per joninius ryšius tarp daugiavalenčių katijonų ir joninių GG sekų polisacharido grandinėje [103–105].

Apdorojimo metu ištirpęs natrio alginatas disocijuoja į jonus. Tuomet natrio jonai yra pakeičiami kitais jonais. Gretimose alginato grandinėse esančių cukrų karboksirūgšties grupės kryžmiškai susijungia su daugiavalenciais katijonais. Jie suformuoja joninius ryšius su alginato grandinėmis, ir taip sutvirtina jo struktūrą [102].



1.12 pav. Alginato ir metalų jonų tinklo struktūra [97]

Nors kalcio alginato plėvelė pasižymi netirpumu vandenyje, kas yra puiki savybė, leidžianti jas pritaikyti pakuočių gamyboje, tačiau šios plėvelės turi tam tikrą defektą. Pavyzdžiui, jas galima lengvai deformuoti ypač esant aukštai temperatūrai [106, 107].

Dėl puikaus biologinio suderinamumo, elastingumo ir bioskaidumo, alginatas plačiai naudojamas ląstelių kapsuliavimui ir audinių regeneracijoje [108]. Alginatai ir jų pagrindu gauti biokompozitai buvo naudojami kaip adsorbentai joniniams dažikliams, antibakterinės plėvelės, stimuliuojančių vaistų paleidimo medžiaga ir kita [109–111]. Dabar alginatai yra naudojami maisto pramonėje kaip tirštikliai ir emulsikliai ledų, alaus ir pyragų mišinių gamyboje. Taip pat alginatai dažnai naudojami popieriaus padengimui, kad būtų užtikrintas paviršiaus vienodumas [60].

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Pastaruoju metu pastebimas vartotojų susirūpinimas aplinkosaugos problemomis, kurias sukelia perteklinis plastikinių pakuočių vartojimas. Senkantys iškastinio kuro šaltiniai, vis didėjantis vandens telkinių ir sausumos užterštumas bei ribotos plastikų perdirbimo / degradacijos galimybės ragina ieškoti alternatyvių medžiagų, kurios galėtų pakeisti tradicinius plastikus.

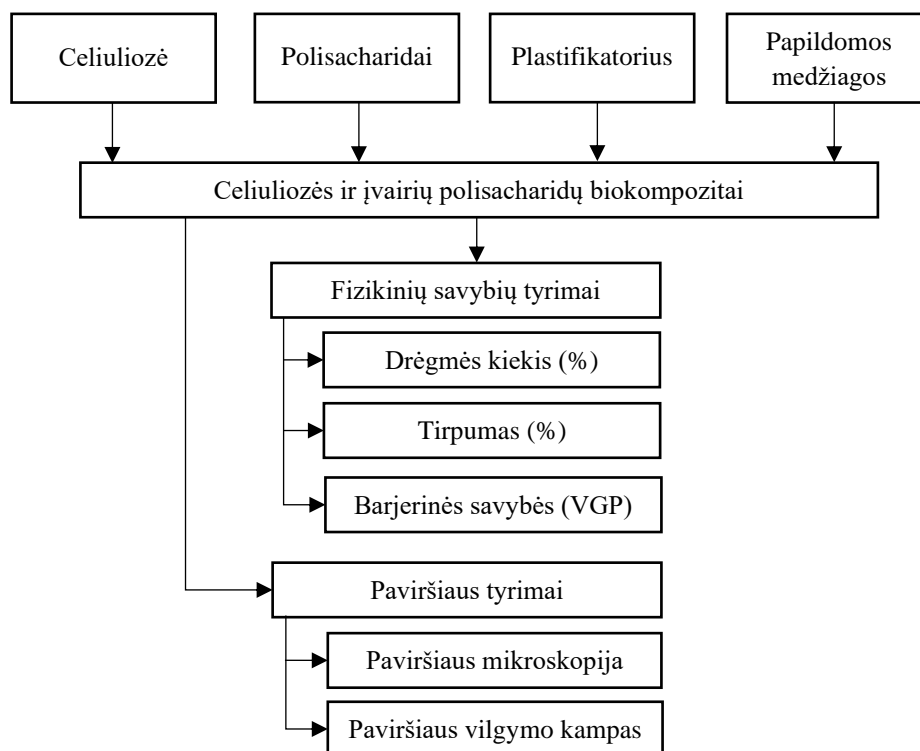
Biopolimerai yra laikomi puikia alternatyva iš iškastinio kuro gaunamiems plastikams, nes jie pasižymi biologiniu skaidumu ir gali būti išgauti iš pigių bei atsinaujinančių šaltinių. Biopolimerinės pakuotės turi daug privalumų, kurie leidžia jas taikyti maisto pakavimui, tačiau tam tikri trūkumai apriboja jų panaudojimo galimybes. Siekiant pilnai išnaudoti biopolimerinių medžiagų potencialą, jas pritaikant maisto pakuotėms, ieškoma būdų, kaip pagerinti jų eksploatavimo savybes.

Vienas iš tokių būdų yra kompozitų formavimas iš biopolimerų. Atlikti moksliniai tyrimai rodo, jog biokompozitų komponentų savybės yra sustiprinamos / pagerinamos dėl jų tarpusavio sąveikos. Tokiu būdu maisto produktų pakuočių gamyboje galimų naudoti biopolimerų trūkumai yra pašalinami, ir gautos biokompozitinės pakuotės pasižymi panašiomis ar net geresnėmis mechaninėmis ir barjerinėmis savybėmis nei naftos pagrindu pagaminti plastikai.

2. Medžiagos ir tyrimų metodai

2.1. Tyrimų objektai

Pagrindiniai magistro baigiamojo darbo tyrimų objektai yra celiuliozės ir įvairių polisacharidų biokompozitai. Šie objektai bei jų tyrimo metodai yra pateikti 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Baigiamojo darbo tyrimų objektai ir jų tyrimo metodų schema

2.2. Naudotos medžiagos

Celiuliozės ir polisacharidų biokompozitų gamyboje buvo panaudotos 2.1 lentelėje nurodytos medžiagos.

2.1 lentelė. Biokompozitų gamyboje naudotos medžiagos

Naudota medžiaga	Gamintojas / platintojas	Papildoma informacija
Celiuliozės pluoštas	„InternationalPaper“	Lapuočių medžių, grynumas – 100 %
Pektinas	UAB „Delona“	-
Bulvių krakmolos	SIA „Aloja-Starkelsen“	-
Natrio alginatas	„Special Ingredients Ltd“	Nurodytas grynumas – 100 %
Agaras	UAB „Delona“	-
Glicerolis	UAB „EUROCHEMICALS“	Nurodytas grynumas – 99,5 %, sudėtyje maksimaliai yra 0,01 % sulfatinių pelenų, 0,001 % Cl, 0,0005 % Pb.
Kalcio chloridas (bevandenis)	UAB „EUROCHEMICALS“	Grynumas – 97 %, sudėtyje maksimaliai yra 1,05 % drėgmės, 0,002 % Fe, 0,03 % sulfatų, 0,002 % Pb.

2.1 lentelės tęsinys

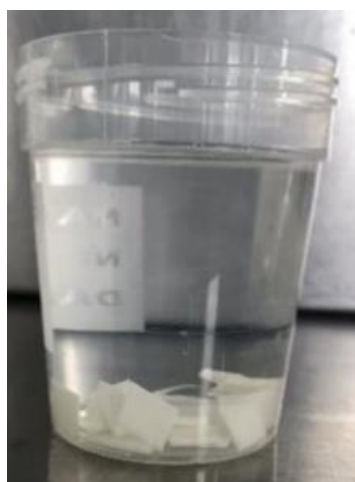
Druskos rūgštis	UAB „EUROCHEMICALS“	Nurodytas grynumas – 37 %, sudėtyje maksimaliai yra 0,0001 % Fe, 0,0001 % Cl, 0,002 % sulfatų, 0,0001 % Pb, 0,000005 % As.
Natrio hidroksidas	UAB „EUROCHEMICALS“	Nurodytas grynumas – 99 %, sudėtyje maksimaliai yra 0,0001 % sulfatų, 0,0005 % Cl, 0,0001 % Fe, 0,0001 % Pb.

2.3. Biokompozitų iš celiuliozės ir polisacharidų gamyba

Biokompozitų iš celiuliozės ir įvairių polisacharidų gamyba buvo atlikta pagal moksliniuose straipsniuose pateiktą metodiką, su tam tikrais pakeitimais [59].

Pirmiausia, buvo suformuotas celiuliozinis sluoksnis paruošiant 0,5 % celiuliozės suspensiją. 2 g celiuliozės pluošto buvo susmulkinta į mažesnius gabalėlius, pamerkta į stiklinėlę su 100 ml distiliuoto vandens ir palikta 20 min, kad celiuliozė dalinai išbrinktų (žr. 2.2 paveikslas). Tuomet buvo atliktas celiuliozės pluošto smulkinimas (~5 min). Gauta celiuliozės suspensija buvo palikta išsiplaušuoti kambario aplinkoje 24 h.

Išsiplaušavusios celiuliozės suspensija buvo praskiesta distiliuotu vandeniu (iki 400 ml) ir dar kartą suhomogenizuota panaudojant rankinį blenderį. Paruošta celiuliozės suspensija buvo filtruota naudojant filtravimo sistemą su vakuuminiu siurbliu (žr. 2.3 paveikslas). Filtravimo metu celiuliozinis sluoksnis buvo suformuotas Biuchnerio piltuve, į kurio vidų buvo įdėtas popierinis filtras. Gautas celiuliozės sluoksnis buvo karštai presuojamas 10–15 min ~150 °C temperatūroje, siekiant iš celiuliozės struktūros pašalinti po filtravimo likusį vandenį bei stipriai supresuoti celiuliozės plaušus. Supresuotas celiuliozės sluoksnis galutinai išdžiovintas termostate (30 °C, vėjelio greitis – 40 %).



2.2 pav. Susmulkinto celiuliozės pluošto brinkinimas



2.3 pav. Vakuuminio filtravimo sistema: Biuchnerio piltuvai ir kolba, prijungta prie vakuuminio siurblio

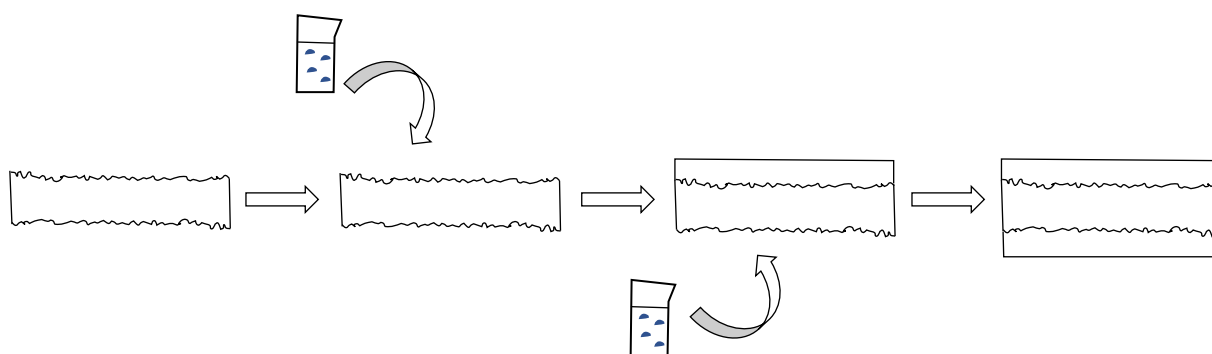
Atitinkamas polisacharido kiekis buvo sumaišytas su distiliuotu vandeniu. Gautas mišinys, agarų ir pektino atvejais, buvo kaitinamas 90–95 °C temperatūroje nuolat maišant apie 15 min, kol pilnai ištirpo polisacharido milteliai ir pasikeitė tirpalo klampa (t. y. vizualiai matoma padidėjusi tirpalo

klampa). Ruošiant natrio alginato tirpalą, mišinys buvo kaitinamas 70 °C temperatūroje nuolat maišant.

Kraskmolo tirpalas buvo paruoštas pagal moksliniuose straipsniuose pateiktą metodiką su tam tikromis modifikacijomis [112, 113]. Ruošiant kraskmolo tirpalą, atitinkamas kraskmolo kiekis buvo sumaišytas su distiliuotu vandeniu. Į kraskmolo suspensiją buvo pridėta 12 % (pagal tūrį) 0,1 M HCl tirpalo. Išmaišyta suspensija buvo kaitinta maišant 15 min, kol suspensija tapo skaidri ir klampi. Baigus kaitinti į karštą tirpalą buvo pridėta 12 % (pagal tūrį) 0,1 M natrio hidroksido tirpalo, siekiant neutralizuoti rūgštį.

Į paruoštus polisacharidų tirpalus buvo pridedamas atitinkamas plastifikatoriaus (glicerolio) kiekis (0, 1, 2,5 ir 5 % nuo tirpalo tūrio), siekiant sumažinti formuojamo biokompozito trapumą [43].

Celiuliozės ir įvairių polisacharidų biokompozitų formavimas buvo atliktas liejimo būdu (žr. 2.4 paveikslas) pagal mokslinėje literatūroje pateiktą metodiką [59]: ant paruošto celiuliozinio sluoksnio buvo liejamas atitinkamos sudėties polisacharido tirpalas (kraskmolo, pektino ir agaro atveju – karšti, alginato atveju – šaltas), jis tolygiai paskirstytas, siekiant suformuoti tolygų dengiamąjį sluoksnį. Paruoštas biokompozitas džiovintas kambario temperatūroje tol, kol iš dangos išgaravo tirpiklis (t. y. vanduo). Išdžiovintas biokompozitas buvo padengtas iš kitos pusės pagal tą pačią metodiką.



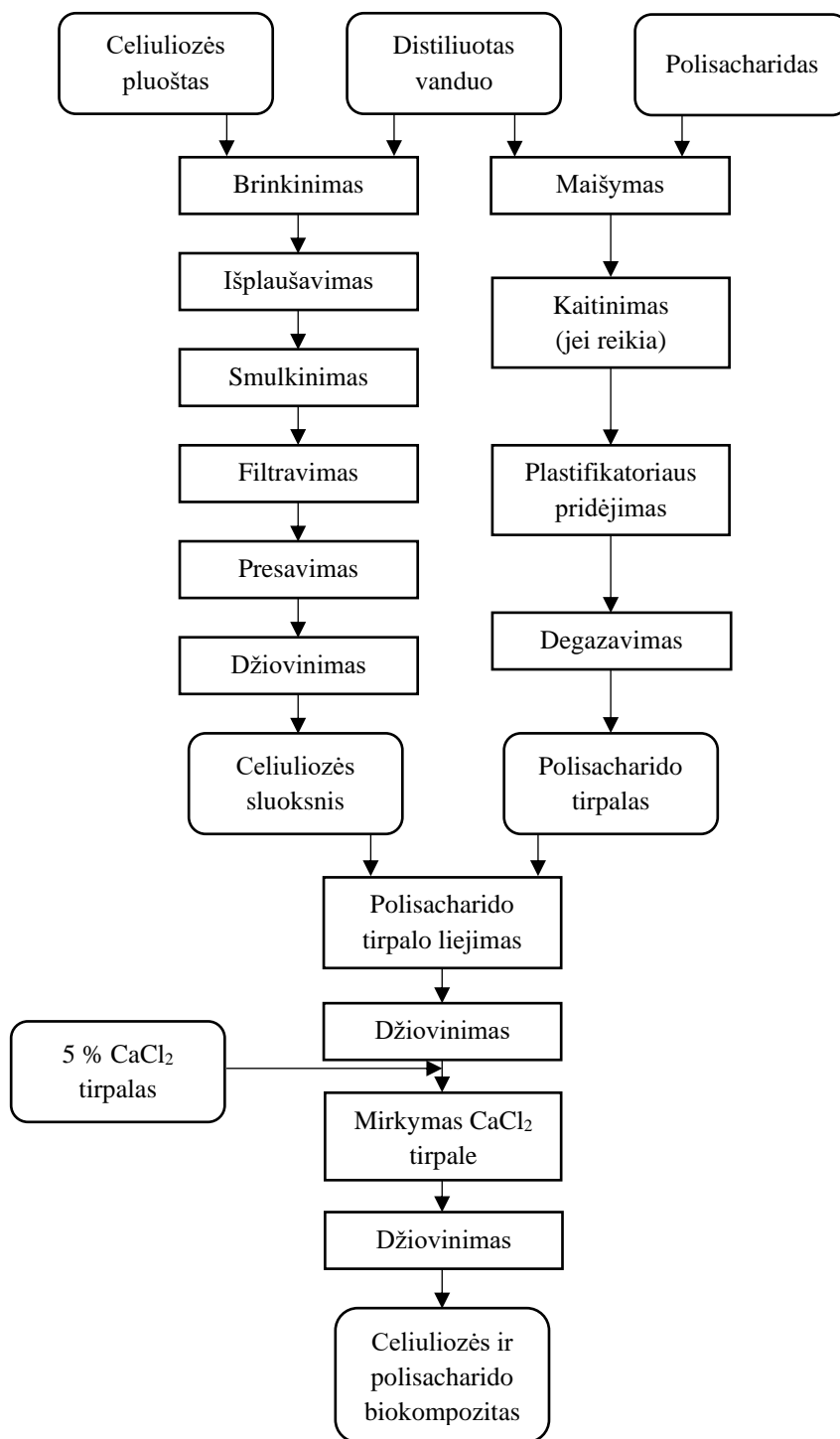
2.4 pav. Celiuliozės ir polisacharidų biokompozitų formavimo proceso scheminis vaizdas

Siekiant suformuoti vandeniui atsparesnius celiuliozės / alginato biokompozitus, pastarieji gali būti paveikti įvairiais divalenčių ar trivalenčių druskų tirpalais. Šios reakcijos metu alginato struktūroje natūraliai esantis natrio yra pakeičiamas atitinkamos druskos katijonais (pavyzdžiui, Ba^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} ir t. t.), t. y. vyksta metalų katijonų mainų reakcija [104–106].

Šiuo atveju celiuliozės ir kalcio alginato biokompozitai buvo suformuoti pagal metodiką [114]: paruošti celiuliozės / natrio alginato biokompozitai buvo pamerkti į 5 % kalcio chlorido tirpalą, išlaikymo tirpale trukmė – 5 min. Po to biokompozitai buvo išimti iš tirpalo ir išdžiovinti kambario temperatūroje.

2.3.1. Biokompozitų iš celiuliozės ir polisacharidų gamyba

Supaprastinta celiuliozės ir įvairių polisacharidų biokompozitų gamybos procesų schema pateikta 2.5 paveiksle.



2.5 pav. Celiuliozės / polisacharidų biokompozitų gamybos schema

Biokompozitų formavimui naudotų polisacharidų tirpalų sudėtis, koncentracijos bei plastifikatoriaus koncentracijos pateiktos 2.2 lentelėje. Polisacharidų tirpalų koncentracijos buvo pasirinktos atsižvelgiant į mokslinėje literatūroje pateiktus duomenis bei atliktus eksperimentus.

2.2 lentelė. Biokompozitų sudarymui naudotų polisacharidų tirpalų koncentracijos

Glicerolio kiekis, % (pagal tirpalo tūrį)	Pektinas	Agaras	Krakkolas	Natrio alginatas	Kalcio alginatas
	Polisacharido koncentracija, g / 100 ml H ₂ O				
	-	-	-	0,25;	0,25;
	-	-	-	0,50;	0,50;
	-	-	-	0,75;	0,75;
	-	0,83;	-	-	-
	-	-	-	1,00;	1,00;
	-	-	1,25;	1,25;	1,25;
	-	-	-	1,50;	1,50;
	1,67;	1,67;	-	-	-
	-	-	-	-	-
	-	-	-	1,75;	1,75;
	-	-	-	2,00;	2,00;
	-	-	-	2,25;	2,25;
	-	2,50;	2,50;	2,50;	2,50;
	-	-	-	2,75;	2,75;
	-	-	-	3,00;	3,00;
	-	3,33;	-	-	-
	3,34;	-	-	-	-
	-	-	3,75;	-	-
	-	-	-	4,00;	4,00;
	-	4,17;	-	-	-
	5,00;	5,00;	5,00;	5,00;	5,00;
	-	5,83;	-	-	-
	-	-	6,25;	-	-
	6,67;	6,67;	-	-	-
	-	7,50;	7,50;	-	-
	-	8,30;	-	-	-
	8,34;	-	-	-	-
	-	-	8,75;	-	-
	-	9,17;	-	-	-
	10,00;	10,00;	10,00;	-	-
	-	-	11,25;	-	-
	11,69;	-	-	-	-
	-	-	12,50;	-	-
	13,36;	-	-	-	-
	-	-	13,75;	-	-
	15,00;	-	15,00;	-	-
	16,70;	-	-	-	-
	18,36;	-	-	-	-
	20,00.	-	-	-	-

2.4. Suformuotų biokompozitų savybių įvertinimo metodai

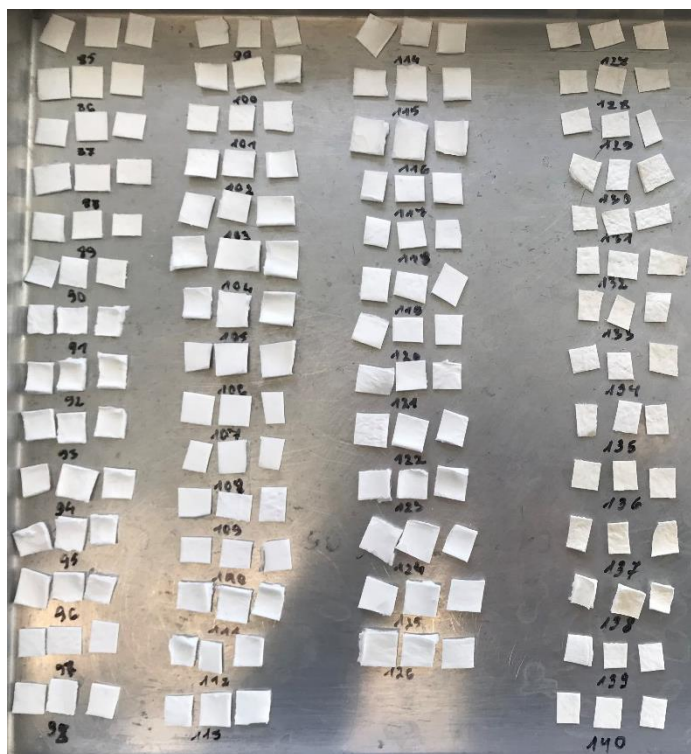
2.4.1. Biokompozito paviršiaus morfologija

Biokompozito morfologija buvo įvertinta optinės mikroskopijos pagalba. Celiuliozės / polisacharido biokompozito paviršiaus analizė buvo atlikta optiniu mikroskopu Axiomager Z2 (priartinimas – 15 kartų). Šiuo būdu buvo įvertintas paviršiaus pasidengimas, dangos vientisumas ir galimi trūkumai (skilimai, oro burbulai ir kita) [115].

2.4.2. Drėgmės kiekis biokompozite

Drėgmės kiekis biokompozite nustatomas gravimetrinės analizės metodu [115]. 1 g bandinys laikomas 105 °C temperatūroje 24 h (iki kol nusistovi bandinio svoris). Pasibaigus eksperimentui, tiriamieji bandiniai pasveriami analitinėmis svarstyklėmis. Siekiant gauti kuo patikimesnius rezultatus, buvo atlikti trys pakartojimai.

Tyrimo metu naudoti biokompozitų bandiniai yra pateikti 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Biokompozitų bandiniai, naudoti drėgmės nustatymo tyrime

Drėgmės kiekis (%) apskaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$\text{Drėgmės kiekis (\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100 \%}{m_1} \quad (1)$$

čia: m_1 – bandinio masė prieš eksperimentą, g; m_2 – bandinio masė po eksperimento, g.

2.4.3. Biokompozito tirpumas vandenyje

Biokompozito tirpumas vandenyje nustatomas pagal svorio skirtumą tarp sauso bandinio ir bandinio, laikyto distiliuotame vandenyje 24 h [115]. Tiriamasis biokompozitas yra sukarpomamas į 1 × 1 cm dydžio bandinius. Paruošti bandiniai džiovinami 70 °C temperatūroje 24 h. Po džiovinimo bandiniai

pasveriami analitinėmis svarstyklėmis ir sudedami į indelius, kuriuose yra 50 ml distiliuoto vandens. Indeliai su vandeniu ir tiriamaisiais bandiniais uždengiami ir laikomi kambario temperatūroje 24 h. Po paros, neištirpęs biokompozito bandinys yra išimamas iš vandens ir išdžiovinamas 70 ° C temperatūroje 24 h. Išdžiovinti bandiniai pasveriami analitinėmis svarstyklėmis. Siekiant gauti patikimus tyrimo rezultatus, buvo atlikti trys pakartojimai.

Biokompozitų tirpumas vandenyje apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$\text{Tirpumas vandenyje (\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100 \%}{m_1} \quad (2)$$

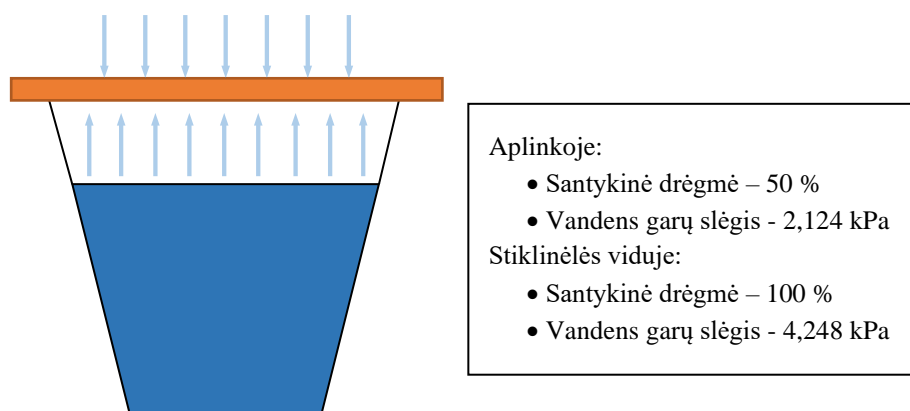
čia: m_1 – bandinio masė prieš eksperimentą, g; m_2 – bandinio masė po eksperimento, g.

2.4.4. Biokompozitų vandens garų pralaidumo tyrimas

Biokompozitinių medžiagų vandens garų pralaidumo nustatymas yra vienas iš svarbiausių biokompozitų parametrų, norint juos panaudoti maisto produktų pakuočių gamyboje. Dažniausiai šis parametras nustatomas gravimetriškai, remiantis ASTM E96-95 standarto testu. Šiuo atveju, tyrimas atliekamas pagal metodiką su tam tikrais pakeitimais, pateiktą šaltinyje [115].

Prieš atliekant šį tyrimą, išmatuojamas biokompozitų storis. Biokompozito storio matavimo metu bandinių storis buvo išmatuotas 5 kartus skirtingose jų vietose naudojant elektroninę slankmatį „Vagner SDH“ (matavimo paklaida 0,02 mm). Iš išmatuotų verčių buvo išvestas aritmetinis vidurkis.

Tuomet biokompozitai sandariai pritvirtinami prie stiklinėlių viršaus, kuriuose yra įpilta po 40 ml distiliuoto vandens. Tyrimui paruoštos stiklinėlės su pritvirtintais biokompozitais pasveriamos analitinėmis svarstyklėmis, sudedamos į termostatą ir laikomos 24 h 30 ° C temperatūroje (santykinė drėgmė termostate 50 %) (žr. 2.7 paveikslas). Po 24 h visos stiklinėlės pasveriamos dar kartą. Rezultatų patikimumui pasiekti, buvo atlikti trys pakartojimai.



2.7 pav. Vandens garų pralaidumo tyrimo atlikimo schema ir duomenys

Pagal gautus duomenis apskaičiuojamas vandens garų transmisijos greitis (VGTG) pagal (3) formulę:

$$VGTG = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot t} \quad (3)$$

čia: m_1 – bandinio masė prieš bandymą, g; m_2 – bandinio masė po bandymo, g; S – biokompozito paviršiaus plotas, m^2 ; t – trukmė, h.

Vandens garų pralaidumas (VGP) apskaičiuojamas pagal (4) formulę, kuri įvertina vandens garų slėgių skirtumą abipus tiriamojo biokompozito. Vandens garų slėgio vertės buvo paimtos iš lentelės „Sočių vandens garų savybės, esant skirtingoms temperatūroms“, pateiktos šaltinyje [116].

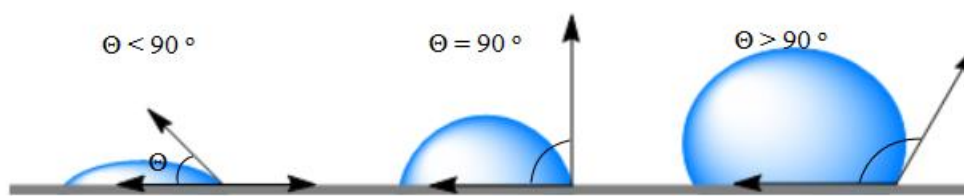
$$VGP = \frac{VGTG \cdot h}{P_1 - P_2} \quad (4)$$

čia: h – tiriamojo biokompozito storis, mm; P_1 – vandens garų slėgis stiklinėlėje, kPa; P_2 – vandens garų slėgis aplinkoje, kPa.

2.4.5. Biokompozito paviršiaus vilgymo kampas

Paviršiaus vilgymo kampas – tai parametras, kuris parodo tiriamojo paviršiaus drėkinimo laipsnį, kai kieta medžiaga sąveikauja su skysčiu. Dažniausiai šiam tyrimui atlikti yra naudojamas vanduo [117].

Vilgymo kampas (Θ) yra išreiškiamas laipsniais: kai Θ yra mažesnis nei 90° , tai rodo, jog tiriamasis paviršius yra vilgomas, ir skystis gali pasiskirstyti dideliame paviršiaus plote (t. y. paviršius yra hidrofilinės prigimties); kai Θ yra daugiau nei 90° – paviršius nėra vilgomas, todėl skystis stengiasi sumažinti jo kontaktą su paviršiumi ir sudaro kompaktišką skysčio lašą (t. y. paviršius yra hidrofobinės prigimties (žr. 2.8 paveikslas) [117].



2.8 pav. Paviršiaus vilgymo kampas [116]

Visiškas vilgymas įvyksta tuomet, kai vilgymo kampas yra lygus 0° (tokia atveju, skysčio lašas virsta plokščia bala paviršiuje). Tuo tarpu superhidrofobinių paviršių vilgymo kampas paprastai būna didesnis nei 150° . Tokiu atveju beveik nepastebimas skysčio lašo ir paviršiaus kontaktas.

Celiuliozės / polisacharidų biokompozitų preliminarus paviršiaus vilgymo kampas buvo išmatuotas naudojantis mobiliąją aplikaciją „Angle Meter“. Vilgymo kampo matavimai buvo atlikti naudojant kambario temperatūros distiliuotą vandenį.

Ant bandinio paviršiaus buvo užlašintas distiliuoto vandens lašelis ($5 \pm 0,5 \mu\text{L}$), naudojantis švirkštu. Lašeliui patekus ant paviršiaus, jis buvo nufotografuotas. Naudojantis mobiliąja programėle, buvo išmatuotas preliminarus tiriamojo paviršiaus vilgymo kampas. Rezultatų patikimumui buvo atlikti 3 matavimai.

2.4.6. Statistinė analizė

Tyrimų metu gauti duomenys buvo apdoroti naudojantis MS Excel programa. Rezultatų aritmetiniai vidurkiai, standartiniai nuokrypiai ir statistinis reikšmingumas buvo apskaičiuoti naudojant vienfaktorės dispersinės analizės (angl. ANOVA Single Factor) ir t-Test įrankius (kai $\alpha = 0,05$).

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Biokompozitų iš celiuliozės ir polisacharidų gamyba

Šiame darbe buvo suformuoti penkių tipų celiuliozės / polisacharido biokompozitai. Jų gamybai buvo panaudoti tokie polisacharidai: pektinas, agaras, krakmolas, natrio alginatas. Taip pat šių bandinių gamyboje buvo naudotos pagalbinės medžiagos: plastifikatorius glicerolis ir kalcio chloridas (celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų gavimui). Šio darbo metu buvo paruošta 210 skirtingų biokompozitų (žr. 1 priedą).

Būtina paminėti tai, kad celiuliozės lakšto dengimas labai mažos koncentracijos vandeniniais polisacharidų tirpalais buvo sudėtingas procesas. Jo metu supresuotas celiuliozės sluoksnis suirdavo dėl vandens poveikio, ir biokompozitų suformavimas buvo apsunkintas. Todėl, atsižvelgiant į šią problemą, buvo atsisakyta toliau formuoti biokompozitus su labai mažos koncentracijos polisacharidų tirpalais, kurių sudėtyje būtų plastifikatorių.

Suformavus biokompozitus buvo atliktas vizualus jų įvertinimas. Jo metu įvertinta biokompozitų su skirtingais polisacharidais išvaizda (spalva, lankstumas, susitraukimas). Palyginus gautus biokompozitus pastebėta, kad didinant pektino ir agaro koncentracijas, šių biokompozitų paviršiaus spalva intensyvėjo. Tokia tendencija nepastebėta celiuliozės / krakmolo, celiuliozės / natrio alginato ir celiuliozės / kalcio alginato biokompozituose, t. y. didinant krakmolo koncentraciją jų spalva nepakito. Taip pat pastebėta, kad didėjant plastifikatoriaus kiekiui, didėja visų suformuotų celiuliozės biokompozito paviršiaus blizgumas. Įvertinus biokompozitų lankstumą nustatyta, kad plastifikatoriaus glicerolio buvimas padidina biokompozitų lankstumą. Mokslinėje literatūroje yra pateikta tyrimų, kurių rezultatai parodė, kad plastifikatoriai pagerina įvairių bioplėvelių ir biokompozitų lankstumą [45, 46].

Įvertinus biokompozitų susitraukimą nustatyta, kad didžiausiu susitraukimu pasižymėjo celiuliozės / agaro ir celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai be plastifikatoriaus. Tai nulėmė šių biokompozitų struktūros pažeidimus. Šių biokompozitų susitraukimą po išdžiovinimo skatino didėjanti agaro ir alginato koncentracija dengiamajame tirpale. Džiovinimo metu biokompozitas netenka vandens. Jam garuojant polisacharidų makromolekulių grandinės suartėja ir sudaro tarpusavio ryšius, kurių susidarymui iki tol trukdė vandens molekulės, įsiterpusios tarp jų. Dėl šio proceso vykimo traukiasi polisacharido sluoksnis, tuo pačiu sulankstydamas (deformuodamas) celiuliozės karkasą [118–120].

3.2. Suformuotų biokompozitų savybių įvertinimas

Suformavus skirtingos sudėties biokompozitus, yra būtina atlikti jų savybių įvertinimą. Todėl šiame darbe buvo atlikti tokie celiuliozės / polisacharido biokompozitų tyrimai: biokompozito paviršiaus analizė optiniu mikroskopu, pasirinkto polisacharido ir plastifikatoriaus koncentracijos įtaka drėgmės kiekiui biokompozite, jų tirpumui, VGP ir PVK.

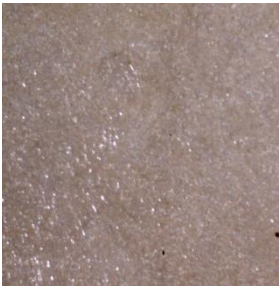
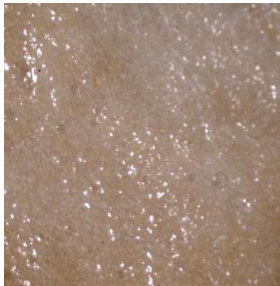

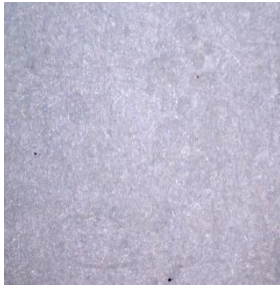

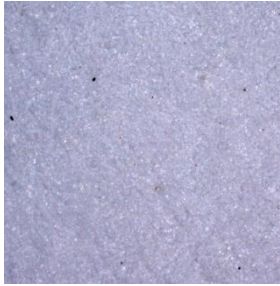
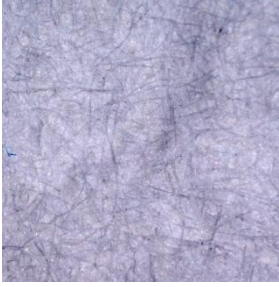
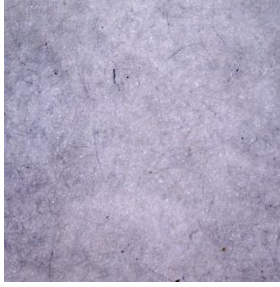


3.2.1. Biokompozitų paviršiaus morfologija

Siekiant įvertinti paviršiaus padengimą bei identifikuoti galimus paviršiaus trūkumus, buvo atliktas paruoštų celiuliozės / polisacharido biokompozitų mikroskopavimas optiniu mikroskopu. Gauti tiriamųjų biokompozitų mikroskopijos vaizdai yra pateikti 3.1 lentelėje ir 2 priede.

Analizuojant gautus biokompozitų paviršiaus vaizdus nustatyta, kad mažos koncentracijos polisacharidų tirpalai suformuoja labai ploną dangą, per kurią optiniu mikroskopu galima įžiūrėti celiuliozės sluoksnį sudarančius plaušus ir priemaišas (žr. 3.1 lentelė).

Būtina paminėti tai, kad optinės mikroskopijos būdu gautuose biokompozitų paviršiaus vaizduose yra matomi celiuliozės sluoksnio nelygumai, kurie atsirado presavimo metu.

3.1 lentelė. Celiuliozės / polisacharidų biokompozitų be plastifikatoriaus optinės mikroskopijos vaizdas

Bandinio Nr.	Bandinio vaizdas	Bandinio Nr.	Bandinio vaizdas
1		2	
43		44	
85		86	
127		128	
169		170	

Analizuojant gautus celiuliozės / pektino biokompozitų paviršiaus vaizdus, pateiktus 2 priede, nustatyta, kad liejimo metu buvo suformuota tolygi ir vientisa pektino danga. Taip pat nustatyta, kad didėjant dengiamojo tirpalo koncentracijai, dangoje susidaro oro burbulai. Toks reiškinys atsiranda, kai dengimui yra naudojamas nedegazuotas karštas pektino tirpalas. Vėstantis pektino tirpalas pradeda stingti, todėl šiems tirpalams nebuvo galima atlikti įprasto degazavimo proceso [121].

Be to, didinant pektino koncentraciją dengiamuosiuose tirpaluose didėja ir jų klampa. Esant didesnei tirpalo klampai yra apsunkinamas dengimo procesas, nes liejamas tirpalas yra tirštas ir maišymo metu susidarę oro burbulai sunkiau išeina iš tirpalo, lyginant su mažos klampos tirpalu. Tačiau didėjant plastifikatoriaus koncentracijai oro burbulų susidaro mažiau arba iš vis nesusidaro. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad į dengiamąjį tirpalą pridėjus plastifikatoriaus tirpalo klampa sumažėja. Tokiu atveju dengiamasis tirpalas yra lengviau išmaišomas, o maišymo metu susidarę oro burbulai lengviau išeina iš tirpalo dėl sumažėjusios jo klampos [122].

Celiuliozės / agaro biokompozitų dangose taip pat pastebėti susidarę oro burbulai (žr. 2 priedą). Tačiau būtina pabrėžti tai, jog šiuo atveju susidarę oro burbulai yra žymiai mažesni, lyginant su celiuliozės / pektino biokompozitais. Celiuliozės / agaro biokompozitų paviršiuje susiformavę oro burbulai taip pat pastebimi tuose bandiniuose, kurių padengimui buvo naudoti didesnės koncentracijos agaro tirpalai. Dengimui naudojami karšti agaro tirpalai (agaras stingti pradeda atvėsęs iki 32–35 °C temperatūros), kurie pasižymi didelę klampa, todėl dengimo proceso metu maišant ir liejant tirpalą susidaro oro burbulai. Dėl didelės klampos dangos jie sunkiai pasišalina, todėl išdžiūvusioje dangoje matomi oro tarpeliai [121].

Analizės metu pastebėta, kad formuojant celiuliozės / krakmolo biokompozitus, nepriklausomai nuo krakmolo ir glicerolio koncentracijos dengiamuosiuose tirpaluose, oro burbulų dangoje nesusidarė (žr. 2 priedą). Tai galėjo nulėmti tai, kad krakmolo tirpalų klampos buvo mažesnės, lyginant su agaro ir pektino tirpalais. Todėl maišant ar liejant susiformavę oro burbulai lengviau išėjo iš dangos [119].

Dengiant celiuliozės sluoksnį natrio alginato, oro burbulai dangose nesusidarė (žr. 2 priedą). Taip įvyko dėl to, kad dengimui buvo naudojami kambario temperatūros natrio alginato tirpalai, kurie prieš dengimą buvo degazuoti, siekiant pašalinti tirpalų ruošimo metu susidariusius oro burbulus [121].

Analizuojant gautus celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų paviršiaus vaizdus, nustatyta, kad oro burbulai šiuo atveju nesusidarė (žr. 2 priedą). Taip galėjo įvykti dėl to, kad dengimui buvo naudojami kambario temperatūros alginato tirpalai, kurie prieš dengimo procesą buvo nudegazuoti. Oro burbulų dangoje susidarymas pastebėtas tik viename bandinyje. Tai galėjo įvykti dėl to, kad dengiamasis tirpalas prieš dengiant ar dengimo proceso metu buvo sumaišytas / suplaktas. Tai nulėmė, kad išdžiūvusioje dangoje pastebimi oro burbulai [121].

3.2.2. Drėgmės kiekis biokompozituose

Viena iš pageidaujamų savybių medžiagoms, kurios gali būti pritaikomos maisto pakuotėms gaminti, yra kuo mažesnis drėgmės kiekis. Kai drėgmės kiekis medžiagoje yra didelis, tai rodo, jog tiriamoji medžiaga nėra atspari drėgmei ir yra linkusi ją sugerti.

Šis tyrimas buvo atliktas su visais paruoštais celiuliozės / polisacharido biokompozitais. Drėgmės kiekio įvertinimo celiuliozės biokompozituose tyrimo rezultatai yra pateikti 3.2–3.6 lentelėse.

Didžiausias drėgmės kiekis buvo nustatytas celiuliozės / pektino biokompozitų bandiniuose, kuriuose buvo pridėta 5 % plastifikatoriaus. Iš šių bandinių didžiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo P3-5 ($29,536 \pm 0,790$ %) (žr. 3.2 lentelė). Tuo metu mažiausias drėgmės kiekis buvo nustatytas biokompozitų bandiniuose be plastifikatoriaus. Mažiausias drėgmės kiekis užfiksuotas bandinyje P1-0 ($6,046 \pm 0,984$ %).

Būtina paminėti tai, kad visi celiuliozės / pektino biokompozitai (nepriklausomai nuo plastifikatoriaus kiekio juose) pasižymėjo didesniu drėgmės kiekiu, lyginant su kontrole (t. y., nedengta celiulioze) (žr. 3.2 lentelė).

Įvertinus celiuliozės / agaro biokompozituose esantį drėgmės kiekį buvo nustatyta, kad didžiausias drėgmės kiekis buvo užfiksuotas bandiniuose, kuriuose buvo 5 % plastifikatoriaus (žr. 3.3 lentelė). Pats didžiausias drėgmės kiekis buvo nustatytas bandinyje A3-5 ($38,740 \pm 3,979$ %). Tuo metu mažiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo neplastifikuoti bandiniai ir bandiniai su mažiausiu plastifikatoriaus kiekiu (t. y. 1 % nuo tirpalo tūrio). Pats mažiausias drėgmės kiekis buvo užfiksuotas bandinyje A4-1 ($4,371 \pm 0,555$ %) (žr. 3.3 lentelė).

Vishtal ir kiti (2014) nustatytas 2 % agaro tirpalu padengto popieriaus (be plastifikatorių) drėgmės kiekis buvo šiek tiek didesnis (9–10 %), lyginant su panašios koncentracijos agaro tirpalu padengtu bandiniu (A3-0; agaro koncentracija – 2,5 %) [118].

Celiuliozės / agaro biokompozitai (išskyrus bandinį A4-1) pasižymėjo didesniu drėgmės kiekiu, lyginant su kontroliniu bandiniu (žr. 3.3 lentelė).

Tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo tie celiuliozės / krakmolo biokompozitai, kurie buvo pagaminti su 5 % plastifikatoriaus (K3-5; $30,594 \pm 0,340$ %). Mažiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo biokompozitai be plastifikatoriaus. Pats mažiausias drėgmės kiekis buvo nustatytas bandinyje K1-0 (drėgmės kiekis – $5,192 \pm 1,106$ %) (žr. 3.4 lentelė).

Užfiksuotas mažiausias drėgmės kiekis bandinyje K1-0 yra šiek tiek mažesnis, lyginant su kontrole (C0). Likę celiuliozės / krakmolo biokompozitai pasižymėjo didesniu drėgmės kiekiu, lyginant su kontroliniu bandiniu (t. y., nepadengta celiulioze) (žr. 3.4 lentelė).

Įvertinus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad didžiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo celiuliozės / natrio alginato biokompozitai, kurie buvo pagaminti su plastifikatoriumi (2,5 ir 5 % glicerolio) (žr. 3.5 lentelė). Šio tyrimo metu nustatytas didžiausias drėgmės kiekis buvo užfiksuotas bandinyje N9-2 (drėgmės kiekis – $27,450 \pm 1,655$ %). Mažiausias drėgmės kiekis nustatytas celiuliozės / natrio alginato biokompozitų bandiniuose be plastifikatoriaus ir su 1 % plastifikatoriaus. Pačiu mažiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo N7-1, kuriame nustatytas drėgmės kiekis buvo lygus $4,583 \pm 1,348$ %.

Rhim ir kiti (2006) nustatė, kad natrio alginatu (su 2 % plastifikatoriaus) padengtas popierius pasižymėjo mažesniu drėgmės kiekiu (t. y., $3,5 \pm 0,6$ %) [59]. Drėgmės kiekio skirtumą galėjo nulemti skirtingos paruoštų biokompozitų laikymo sąlygos bei skirtingas plastifikatoriaus kiekis.

Įvertinus gautus rezultatus buvo pastebėta, kad celiuliozės / natrio alginato biokompozitai (išskyrus N7-1) pasižymėjo didesniu drėgmės kiekiu, lyginant su nepadengtos celiuliozės bandiniu (kontrolė).

Didžiausias drėgmės kiekis buvo nustatytas celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų bandiniuose, kuriuose nebuvo pridėta plastifikatoriaus (žr. 3.6 lentelė). Didžiausias drėgmės kiekis užfiksuotas

bandiniuose C2-0 ir C3-0, kurių drėgmės kiekis buvo atitinkamai $20,697 \pm 2,046$ % ir $20,383 \pm 0,825$ %. Tuo metu mažiausias drėgmės kiekis užfiksuotas biokompozito bandinyje C7-5, į kurį buvo pridėta 5 % plastifikatoriaus. Nustatytas drėgmės kiekis – $7,787 \pm 2,648$ %.

Būtina paminėti tai, kad šiuo atveju nustatyta atvirkštinė priklausomybė – drėgmės kiekis didėja mažėjant plastifikatoriaus koncentracijai bandiniuose. Tai galėjo įvykti dėl skirtingų paruoštų biokompozitų laikymo sąlygų. Taip pat tai galėjo įvykti dėl kalcio alginato polinkio kaupti drėgmę [101].

Mokslinėje literatūroje pateiktas popieriaus / kalcio alginato kompozito, kuriame yra 2 % plastifikatoriaus, drėgmės kiekis yra žymiai mažesnis (t. y. $4,1 \pm 0,4$ %), lyginant su šiuo tyrimo metu nustatytais drėgmės kiekiais [59]. Tokius rezultatų skirtumus gali lemti plastifikatoriaus koncentracijų skirtumas bei nevienodos paruoštų biokompozitų laikymo sąlygos.

Įvertinus drėgmės kiekį paruoštuose celiuliozės kalcio alginato biokompozituose, buvo nustatyta, kad juose esantis drėgmės kiekis buvo didesnis, lyginant su kontroliniu bandiniu (C0) (žr. 3.6 lentelė).

3.2 lentelė. Celiuliozės / pektino biokompozitų drėgmės kiekio (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / pektinas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)								5,427 ± 0,419 ^a			
Bandinys											
P1-0	P2-0	P3-0	P4-0	P5-0	P6-0	P7-0	P8-0	P9-0	P10-0	P11-0	P12-0
6,046 ± 0,984 ^b	8,392 ± 4,691 ^c	10,927 ± 0,816 ^{ad}	11,722 ± 2,175 ^e	10,990 ± 0,660 ^{af}	12,276 ± 0,942 ^{ag}	11,343 ± 3,068 ^b	10,550 ± 0,676 ^{ai}	14,309 ± 4,555 ⁱ	10,873 ± 0,749 ^{ak}	11,150 ± 2,048 ⁱ	9,192 ± 1,721 ^m
Bandinys											
-	-	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1	P9-1	P10-1	P11-1	P12-1
-	-	15,924 ± 5,549 ⁿ	6,801 ± 1,505 ^o	11,289 ± 0,785 ^{ap}	9,309 ± 0,445 ^{aq}	12,690 ± 0,180 ^{ar}	10,550 ± 2,670 ^s	10,644 ± 0,756 ^{at}	11,795 ± 1,441 ^v	12,322 ± 1,016 ^{aw}	11,679 ± 0,129 ^{ax}
Bandinys											
-	-	P3-2	P4-2	P5-2	P6-2	P7-2	P8-2	P9-2	P10-2	P11-2	P12-2
-	-	16,297 ± 0,216 ^{av}	14,640 ± 1,220 ^{az}	14,154 ± 0,263 ^{aa}	16,742 ± 1,353 ^{ab}	16,582 ± 0,271 ^{ac}	15,256 ± 0,313 ^{ad}	14,278 ± 4,764 ^e	13,176 ± 0,175 ^{af}	13,729 ± 0,108 ^{ag}	14,438 ± 0,020 ^{ah}
Bandinys											
-	-	P3-5	P4-5	P5-5	P6-5	P7-5	P8-5	P9-5	P10-5	P11-5	P12-5
-	-	29,536 ± 0,790 ^{ai}	22,236 ± 0,797 ^{aj}	21,335 ± 2,460 ^{ak}	17,862 ± 0,620 ^{al}	19,187 ± 0,453 ^{am}	17,852 ± 0,908 ^{an}	16,699 ± 1,946 ^{ao}	13,849 ± 0,368 ^{ap}	16,475 ± 0,126 ^{aq}	16,750 ± 0,167 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.3 lentelė. Celiuliozės / agarų biokompozitų drėgmės kiekio (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / agaras											
Bandinys											
Kontrolė (C0)								5,427 ± 0,419 ^a			
Bandinys											
A1-0	A2-0	A3-0	A4-0	A5-0	A6-0	A7-0	A8-0	A9-0	A10-0	A11-0	A12-0
6,888 ± 1,021 ^b	7,404 ± 1,345 ^c	8,625 ± 0,429 ^{ad}	9,206 ± 0,062 ^{ae}	6,852 ± 0,851 ^f	6,812 ± 2,999 ^g	10,243 ± 2,666 ^h	8,902 ± 0,221 ^{ai}	10,251 ± 2,946 ⁱ	8,342 ± 2,189 ^k	8,299 ± 1,779 ^l	8,298 ± 0,735 ^m
Bandinys											
-	-	A3-1	A4-1	A5-1	A6-1	A7-1	A8-1	A9-1	A10-1	A11-1	A12-1
-	-	7,999 ± 1,420 ⁿ	4,371 ± 0,555 ^o	6,000 ± 3,224 ^p	7,499 ± 0,877 ^q	8,248 ± 1,122 ^r	7,295 ± 1,568 ^s	6,145 ± 0,825 ^t	6,706 ± 1,836 ^v	8,076 ± 1,277 ^w	8,114 ± 0,974 ^x
Bandinys											
-	-	A3-2	A4-2	A5-2	A6-2	A7-2	A8-2	A9-2	A10-2	A11-2	A12-2
-	-	11,664 ± 2,780 ^y	8,896 ± 2,132 ^z	9,128 ± 1,022 ^{aa}	8,249 ± 0,985 ^{ab}	10,002 ± 0,796 ^{ac}	14,861 ± 1,883 ^{ad}	13,249 ± 3,896 ^{ae}	12,140 ± 2,926 ^f	6,725 ± 0,739 ^g	7,857 ± 2,934 ^h
Bandinys											
-	-	A3-5	A4-5	A5-5	A6-5	A7-5	A8-5	A9-5	A10-5	A11-5	A12-5
-	-	38,740 ± 3,979 ^{ai}	21,181 ± 3,793 ⁱ	37,492 ± 4,877 ^k	30,319 ± 3,022 ^l	26,247 ± 4,927 ^m	28,501 ± 4,194 ^{an}	23,729 ± 2,535 ^{ao}	20,945 ± 0,880 ^{ap}	17,557 ± 1,032 ^{aq}	20,118 ± 2,718 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.4 lentelė. Celiuliozės / krakmolo biokompozitų drėgmės kiekio (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / krakmolas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									5,427 ± 0,419 ^a		
Bandinys											
K1-0	K2-0	K3-0	K4-0	K5-0	K6-0	K7-0	K8-0	K9-0	K10-0	K11-0	K12-0
5,192 ± 1,106 ^b	8,318 ± 1,342 ^c	7,257 ± 0,865 ^d	9,089 ± 1,211 ^e	9,199 ± 1,935 ^f	8,144 ± 0,620 ^g	10,499 ± 2,616 ^h	12,504 ± 1,107 ^{ai}	10,193 ± 1,325 ⁱ	9,982 ± 1,323 ^k	10,781 ± 0,851 ^{al}	9,872 ± 1,368 ^m
Bandinys											
-	-	K3-1	K4-1	K5-1	K6-1	K7-1	K8-1	K9-1	K10-1	K11-1	K12-1
-	-	13,583 ± 2,672 ⁿ	13,621 ± 2,037 ^o	15,631 ± 2,394 ^p	11,232 ± 0,864 ^{aq}	10,824 ± 1,260 ^r	10,382 ± 2,080 ^s	9,537 ± 1,706 ^t	8,992 ± 0,929 ^v	9,409 ± 0,588 ^{aw}	12,085 ± 1,748 ^x
Bandinys											
-	-	K3-2	K4-2	K5-2	K6-2	K7-2	K8-2	K9-2	K10-2	K11-2	K12-2
-	-	15,104 ± 1,000 ^{av}	14,118 ± 1,842 ^z	13,214 ± 1,156 ^{aa}	12,218 ± 1,908 ^{ab}	7,846 ± 0,400 ^{ac}	9,390 ± 1,898 ^d	11,370 ± 0,658 ^{ac}	9,316 ± 1,005 ^f	10,126 ± 0,759 ^{ag}	7,433 ± 0,702 ^h
Bandinys											
-	-	K3-5	K4-5	K5-5	K6-5	K7-5	K8-5	K9-5	K10-5	K11-5	K12-5
-	-	30,594 ± 0,340 ^{ai}	20,324 ± 3,876 ⁱ	14,341 ± 1,418 ^{ak}	14,881 ± 2,753 ^t	14,884 ± 1,975 ^m	12,535 ± 1,756 ⁿ	12,214 ± 0,588 ^{ao}	11,305 ± 1,353 ^p	11,978 ± 1,015 ^{aq}	13,214 ± 0,722 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.5 lentelė. Celiuliozės / natrio alginato biokompozitų drėgmės kiekio (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / natrio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									5,427 ± 0,419 ^a		
Bandinys											
N1-0	N2-0	N3-0	N4-0	N5-0	N6-0	N7-0	N8-0	N9-0	N10-0	N11-0	N12-0
11,117 ± 0,309 ^{ab}	14,566 ± 0,087 ^{ac}	17,387 ± 2,956 ^d	15,224 ± 1,777 ^{ae}	14,931 ± 1,535 ^{af}	10,859 ± 1,982 ^g	12,780 ± 0,600 ^{ah}	10,806 ± 0,714 ^{ai}	11,089 ± 4,233 ^j	9,523 ± 3,173 ^k	10,380 ± 1,428 ^l	10,032 ± 1,219 ^m
Bandinys											
-	-	N3-1	N4-1	N5-1	N6-1	N7-1	N8-1	N9-1	N10-1	N11-1	N12-1
-	-	10,576 ± 2,025 ⁿ	10,970 ± 3,049 ^o	10,506 ± 2,863 ^p	10,043 ± 0,648 ^{aq}	4,583 ± 1,348 ^r	8,119 ± 4,466 ^s	9,135 ± 1,897 ^t	9,590 ± 1,557 ^y	8,887 ± 1,107 ^w	10,060 ± 3,342 ^x
Bandinys											
-	-	N3-2	N4-2	N5-2	N6-2	N7-2	N8-2	N9-2	N10-2	N11-2	N12-2
-	-	22,155 ± 4,657 ^v	17,977 ± 2,929 ^z	20,616 ± 2,291 ^{aa'}	14,010 ± 2,349 ^{b'}	18,420 ± 1,845 ^{ac'}	21,281 ± 2,752 ^{ad'}	27,450 ± 1,655 ^{ac'}	21,818 ± 2,410 ^{af'}	21,685 ± 4,715 ^{g'}	14,956 ± 1,250 ^{ah'}
Bandinys											
-	-	N3-5	N4-5	N5-5	N6-5	N7-5	N8-5	N9-5	N10-5	N11-5	N12-5
-	-	20,023 ± 2,506 ^{ai'}	21,675 ± 1,527 ^{aj'}	21,448 ± 3,486 ^{k'}	23,733 ± 2,410 ^{al'}	25,900 ± 3,160 ^{am'}	18,415 ± 0,514 ^{an'}	17,840 ± 2,070 ^{ao'}	19,743 ± 1,301 ^{ap'}	15,431 ± 4,078 ^{q'}	23,743 ± 2,368 ^{ar'}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.6 lentelė. Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų drėgmės kiekio (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / kalcio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									5,427 ± 0,419 ^a		
Bandinys											
C1-0	C2-0	C3-0	C4-0	C5-0	C6-0	C7-0	C8-0	C9-0	C10-0	C11-0	C12-0
20,023 ± 4,172 ^b	20,697 ± 2,046 ^{bc}	20,383 ± 0,825 ^{cd}	12,803 ± 1,658 ^e	14,985 ± 0,975 ^{ef}	13,435 ± 2,026 ^e	11,090 ± 0,953 ^{gh}	13,179 ± 0,600 ^{hi}	11,150 ± 1,384 ⁱ	11,300 ± 1,863 ⁱ	14,632 ± 1,404 ^{kl}	14,089 ± 0,946 ^{lm}
Bandinys											
-	-	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1	C9-1	C10-1	C11-1	C12-1
-	-	10,937 ± 1,358 ⁿ	14,163 ± 1,120 ^{op}	12,333 ± 1,150 ^{op}	9,659 ± 1,440 ^q	10,502 ± 2,201 ^r	13,006 ± 1,375 ^{rs}	13,248 ± 0,651 st	12,327 ± 0,192 ^{sy}	11,120 ± 0,884 ^{sw}	12,325 ± 1,562 ^x
Bandinys											
-	-	C3-2	C4-2	C5-2	C6-2	C7-2	C8-2	C9-2	C10-2	C11-2	C12-2
-	-	8,545 ± 4,841 ^v	13,822 ± 3,227 ^z	11,568 ± 2,176 ^a	11,672 ± 1,082 ^{ab}	9,821 ± 2,274 ^c	14,481 ± 1,837 ^{ad}	11,805 ± 1,344 ^e	10,126 ± 2,410 ^{af}	8,583 ± 3,583 ^g	11,463 ± 0,212 ^{ah}
Bandinys											
-	-	C3-5	C4-5	C5-5	C6-5	C7-5	C8-5	C9-5	C10-5	C11-5	C12-5
-	-	8,824 ± 1,626 ⁱ	12,334 ± 2,131 ^j	8,094 ± 0,868 ^k	9,901 ± 3,291 ^l	7,787 ± 2,648 ^m	12,860 ± 0,624 ⁿⁿ	10,471 ± 0,469 ^{oo}	8,408 ± 3,171 ^p	12,214 ± 0,617 ^{qq}	14,784 ± 3,011 ^r

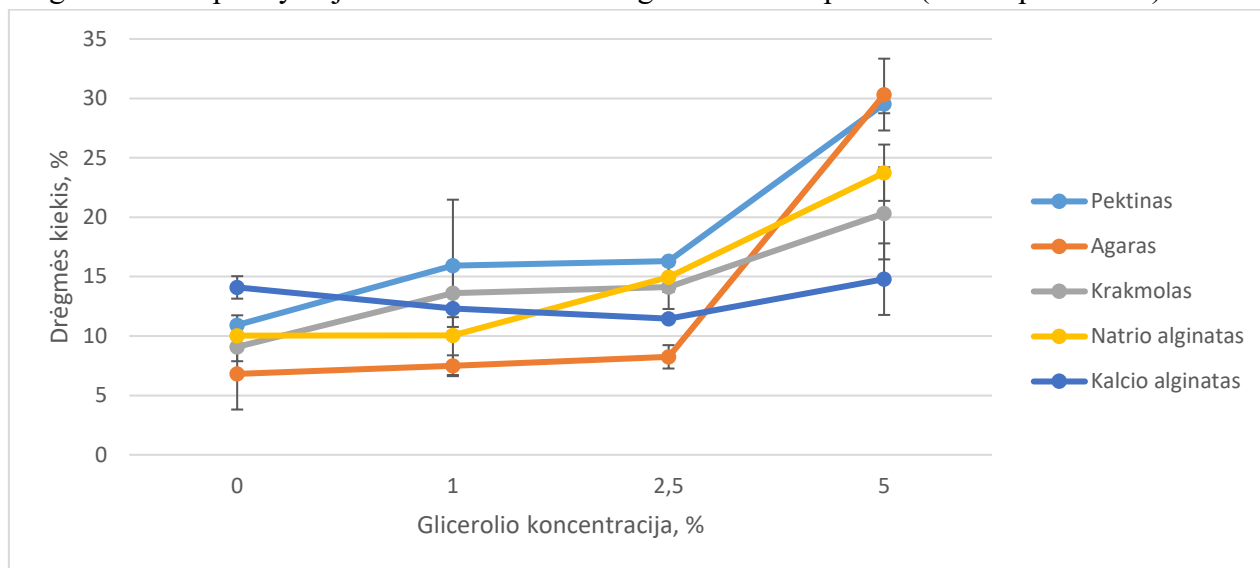
*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

Biokompozitų sudarančių polisacharidų įtakos drėgmės kiekiui rezultatai yra pateikti 3.1 paveiksle. Įtakos įvertinimui buvo pasirinkta viena polisacharido koncentracija, t. y., 5 %. Išanalizavus rezultatus, buvo nustatyta, kad didžiausiu drėgmės kiekiu, kai biokompozitas nėra plastifikuotas, pasižymėjo celiuliozės / kalcio alginato biokompozitas (žr. 3.1 paveikslas). Tokius rezultatus galėjo nulėmti kalcio alginato polinkis kaupti drėgmę [101]. Tuo metu mažiausias drėgmės kiekis buvo nustatytas celiuliozės / agarų biokompozite be plastifikatoriaus.

Įvertinus biokompozitus su didžiausiu plastifikatoriaus kiekiu (5 % nuo tirpalo tūrio), didžiausias drėgmės kiekis užfiksuotas celiuliozės / agarų ir celiuliozės / pektino biokompozituose. Mažiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai (žr. 3.1 paveikslas).



3.1 pav. Biokompozitų drėgmės kiekio priklausomybė nuo plastifikatoriaus ir pasirinkto polisacharido

Iš gautų tyrimo rezultatų galima daryti išvadą, kad plastifikatoriaus kiekis celiuliozės / polisacharido biokompozituose yra svarbus veiksnys, nulėmiantis šiose medžiagose esantį drėgmės kiekį. Tyrimo metu nustatyta, kad didėjant plastifikatoriaus kiekiui biokompozite, didėja ir drėgmės kiekis juose (žr. 3.2–3.6 lentelės ir 3.1 paveikslas). Šią priklausomybę nulėmia hidrofilinė naudoto plastifikatoriaus glicerolio prigimtis ir puiki sąveika su vandeniu / drėgme [45]. Panaši tendencija buvo nustatyta ir kitų mokslininkų darbuose, kurie tyrinėjo plastifikatorių įtaką bioplėvelių ir / ar biokompozitų savybėms [123].

3.2.3. Biokompozitų tirpumas vandenyje

Ieškant natūralių biokompozitų pritaikymo galimybių maisto produktams ir gėrimams pakuoti, svarbu įvertinti galimų pakavimo medžiagų tirpumą vandenyje. Didelis biokompozito tirpumas leistų jį panaudoti kaip pakavimo medžiagą sausiams arba mažai drėgmės turintiems produktams.

Šis tyrimas buvo atliktas su visais paruoštais celiuliozės / polisacharido biokompozitais. Gauti tyrimo rezultatai pateikti 3.7–3.11 lentelėse.

Tyrimų rezultatai rodo, jog celiuliozės / pektino biokompozitų tirpumas didėjo didėjant pektino koncentracijai (žr. 3.7 lentelė). Tai nulėmia tai, kad pektinas yra gamtinės kilmės polisacharidas, kuris yra tirpus vandenyje [72].

Lopes ir kiti (2017) nustatė, kad pektino bioplėvelės, kurios sudėtyje yra 1,5 % plastifikatoriaus, tirpumas yra $73,98 \pm 0,04$ % [124]. Remiantis šiais rezultatais galima teigti, kad šio tyrimo metu, biokompozitui būnant vandenyje, ištirpo polisacharido pektino danga ir / ar iš biokompozito atsiskyrė celiuliozės plaušų dalis.

Taip pat pastebėta, kad plastifikatoriaus kiekis tiriamajame biokompozite daro įtaką jo tirpumui – kuo didesnė plastifikatoriaus koncentracija, tuo biokompozito tirpumas vandenyje yra didesnis (žr. 3.7 lentelė). Mažiausiu tirpumu pasižymėjo P1-0 (tirpumas – $31,236 \pm 1,097$ %). Tuo metu didžiausias tirpumas buvo užfiksuotas bandiniuose P11-1, P11-2 ir P12-5. Jų tirpumas vandenyje yra atitinkamai $73,757 \pm 1,914$ %, $74,851 \pm 5,085$ % ir $72,722 \pm 4,216$ %.

Analizuojant gautus rezultatus nustatyta, kad agarų koncentracija celiuliozės / agarų biokompozite neturėjo reikšmingos įtakos šio tipo biokompozitų tirpumui vandenyje (žr. 3.8 lentelė). Tokius rezultatus galėjo nulemti tai, kad agaras yra netirpus kambario temperatūros vandenyje, kuriame buvo atliktas šis tyrimas [92]. Taip pat pastebėta, kad didesnis plastifikatoriaus kiekis biokompozite nulėmė didesnę jo tirpumą vandenyje (žr. 3.8 lentelė). Didžiausias tirpumas vandenyje buvo nustatytas biokompozitų bandiniuose su 5 % plastifikatoriaus. Didžiausiu tirpumu pasižymėjo A3-5 (tirpumas – $37,423 \pm 5,287$ %). Mažiausias tirpumas vandenyje buvo nustatytas bandiniuose be plastifikatoriaus (A1-0–A12-0). Pats mažiausias tirpumas užfiksuotas bandinyje A2-0 (tirpumas vandenyje – $2,024 \pm 0,876$ %).

Tyrimų rezultatai parodė, kad didžiausiu tirpumu pasižymėjo tie celiuliozės / krakmolo biokompozitai, kurių sudėtyje buvo didžiausias plastifikatoriaus kiekis (t. y. 5 % nuo tirpalo tūrio). (žr. 3.9 lentelė). Pats didžiausias tirpumas buvo nustatytas bandinyje K3-5, kurio tirpumas vandenyje buvo lygus $36,792 \pm 1,633$ %. Mažiausiu tirpumu pasižymėjo neplastifikuoti celiuliozės / krakmolo biokompozitai (K1-0–K12-0). Iš šių tiriamųjų bandinių mažiausiu tirpumu pasižymėjo K2-0 (tirpumas vandenyje – $2,461 \pm 1,454$ %).

Atlikto tirpumo tyrimo rezultatai parodė, kad celiuliozės / natrio alginato biokompozitų tirpumas nepriklauso nuo natrio alginato koncentracijos juose (žr. 3.10 lentelė).

Vertinant plastifikatoriaus įtaką celiuliozės / natrio alginato tirpumui vandenyje, galima teigti, kad didinant plastifikatoriaus kiekį biokompozite, didėja ir jo tirpumas (žr. 3.10 lentelė). Šio tyrimo rezultatai parodė, jog didžiausiu tirpumu pasižymėjo biokompozitai su 5 % plastifikatoriaus, t. y. bandiniai N3-5–N12-5. Iš jų didžiausiu tirpumu vandenyje pasižymėjo N11-5 (tirpumas – $62,065 \pm 6,616$ %). Mažiausiu tirpumu pasižymėjo biokompozitai be plastifikatoriaus (N1-0–N12-0). Pačiu mažiausiu tirpumu vandenyje pasižymėjo bandinys N2-0, kurio tirpumas buvo lygus $17,368 \pm 3,057$ %).

Gauti rezultatai parodė, kad didžiausiu tirpumu vandenyje pasižymėjo celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai su 2,5 ir 5 % plastifikatoriaus (žr. 3.11 lentelė). Iš jų didžiausiu tirpumu pasižymėjo bandiniai C11-2 ir C3-5 (atitinkamai $33,669 \pm 5,540$ % ir $33,232 \pm 1,787$ %). Tuo metu mažiausias tirpumas, kaip ir anksčiau aprašytais atvejais, buvo užfiksuotas biokompozituose, pagamintuose be plastifikatoriaus (C1-0–C12-0). Pačiu mažiausiu tirpumu pasižymėjo C12-0 (tirpumas – $6,303 \pm 1,023$ %).

3.7 lentelė. Celiuliozės / pektino biokompozitų tirpumo vandenyje (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / pektinas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									0,000 ± 0 ^a		
Bandinys											
P1-0	P2-0	P3-0	P4-0	P5-0	P6-0	P7-0	P8-0	P9-0	P10-0	P11-0	P12-0
31,236 ± 1,097 ^{ab}	35,338 ± 1,923 ^{ac}	43,472 ± 3,079 ^{ad}	44,577 ± 2,018 ^{ae}	51,259 ± 3,918 ^{af}	48,785 ± 0,745 ^{ag}	46,154 ± 5,051 ^{ah}	52,234 ± 2,756 ^{ai}	55,987 ± 7,389 ^{aj}	62,649 ± 2,303 ^{ak}	60,778 ± 3,618 ^{al}	58,557 ± 2,396 ^{am}
Bandinys											
-	-	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1	P9-1	P10-1	P11-1	P12-1
-	-	45,872 ± 1,445 ^{an}	37,104 ± 3,343 ^{ao}	44,939 ± 3,231 ^{ap}	47,170 ± 3,375 ^{aq}	65,192 ± 7,704 ^{ar}	55,090 ± 2,709 ^{as}	57,181 ± 5,500 ^{at}	63,518 ± 0,480 ^{ay}	73,757 ± 1,914 ^{aw}	68,328 ± 1,666 ^{ax}
Bandinys											
-	-	P3-2	P4-2	P5-2	P6-2	P7-2	P8-2	P9-2	P10-2	P11-2	P12-2
-	-	52,537 ± 2,126 ^{av}	47,822 ± 3,592 ^{az}	57,148 ± 3,368 ^{aa}	63,117 ± 6,318 ^{ab}	71,665 ± 6,471 ^{ac}	65,713 ± 1,596 ^{ad}	66,455 ± 3,953 ^{ae}	63,997 ± 5,190 ^{af}	74,851 ± 5,085 ^{ag}	71,482 ± 2,990 ^{ah}
Bandinys											
-	-	P3-5	P4-5	P5-5	P6-5	P7-5	P8-5	P9-5	P10-5	P11-5	P12-5
-	-	53,783 ± 5,059 ^{ai}	54,902 ± 0,801 ^{aj}	57,495 ± 9,452 ^{ak}	64,969 ± 9,624 ^l	56,907 ± 3,585 ^{am}	52,778 ± 0,997 ^{an}	57,585 ± 3,824 ^{ao}	56,167 ± 1,977 ^{ap}	64,832 ± 1,293 ^{aq}	72,722 ± 4,216 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.8 lentelė. Celiuliozės / agarų biokompozitų tirpumo vandenyje (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / agaras											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									0,000 ± 0 ^a		
Bandinys											
A1-0	A2-0	A3-0	A4-0	A5-0	A6-0	A7-0	A8-0	A9-0	A10-0	A11-0	A12-0
3,272 ± 1,499 ^b	2,024 ± 0,876 ^c	3,348 ± 1,838 ^d	2,377 ± 1,973 ^e	2,747 ± 0,925 ^f	2,632 ± 0,516 ^{ag}	8,684 ± 4,128 ^b	3,579 ± 1,438 ⁱ	2,460 ± 0,277 ^{aj}	9,795 ± 1,284 ^{ak}	4,714 ± 2,880 ^l	2,953 ± 0,936 ^m
Bandinys											
-	-	A3-1	A4-1	A5-1	A6-1	A7-1	A8-1	A9-1	A10-1	A11-1	A12-1
-	-	13,344 ± 1,664 ^{an}	8,651 ± 1,375 ^{ao}	10,875 ± 5,719 ^p	8,132 ± 1,669 ^{aq}	7,489 ± 0,646 ^{ar}	7,918 ± 0,404 ^{as}	9,238 ± 2,752 ^t	8,398 ± 0,475 ^{ay}	6,656 ± 1,536 ^w	7,234 ± 0,234 ^{ax}
Bandinys											
-	-	A3-2	A4-2	A5-2	A6-2	A7-2	A8-2	A9-2	A10-2	A11-2	A12-2
-	-	21,012 ± 1,623 ^{av}	15,992 ± 3,179 ^{az}	17,894 ± 2,496 ^{aa}	11,459 ± 0,141 ^{ab}	19,796 ± 2,024 ^{ac}	16,263 ± 2,108 ^{ad}	17,038 ± 1,265 ^{ae}	11,954 ± 3,262 ^f	18,052 ± 0,969 ^{ag}	5,888 ± 1,650 ^h
Bandinys											
-	-	A3-5	A4-5	A5-5	A6-5	A7-5	A8-5	A9-5	A10-5	A11-5	A12-5
-	-	25,204 ± 6,782 ⁱ	26,518 ± 6,565 ^j	27,041 ± 5,939 ^k	26,556 ± 9,101 ^l	31,500 ± 4,355 ^{am}	27,543 ± 2,767 ^{an}	27,750 ± 6,253 ^o	23,689 ± 3,052 ^{ap}	21,100 ± 0,671 ^{aq}	17,103 ± 0,750 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.9 lentelė. Celiuliozės / krakmolo biokompozitų tirpumo vandenyje (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / krakmolas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									0,000 ± 0 ^a		
Bandinys											
K1-0	K2-0	K3-0	K4-0	K5-0	K6-0	K7-0	K8-0	K9-0	K10-0	K11-0	K12-0
3,526 ± 2,020 ^b	2,461 ± 1,454 ^c	4,141 ± 2,175 ^d	3,511 ± 0,858 ^e	6,098 ± 4,427 ^f	3,225 ± 0,673 ^{ag}	4,511 ± 0,751 ^{ah}	5,506 ± 3,898 ⁱ	5,478 ± 2,867 ^j	5,399 ± 1,581 ^k	7,262 ± 3,595 ^l	4,423 ± 1,328 ^m
Bandinys											
-	-	K3-1	K4-1	K5-1	K6-1	K7-1	K8-1	K9-1	K10-1	K11-1	K12-1
-	-	9,575 ± 2,532 ⁿ	12,926 ± 4,119 ^o	13,102 ± 1,245 ^{op}	9,818 ± 1,089 ^{oq}	10,397 ± 4,384 ^r	10,167 ± 2,593 ^s	10,043 ± 1,581 st	14,395 ± 5,362 ^y	11,621 ± 2,980 ^w	15,763 ± 0,774 ^{ax}
Bandinys											
-	-	K3-2	K4-2	K5-2	K6-2	K7-2	K8-2	K9-2	K10-2	K11-2	K12-2
-	-	16,640 ± 2,157 ^{av}	15,799 ± 3,404 ^z	10,336 ± 2,594 ^{at}	17,191 ± 0,915 ^{ab}	17,279 ± 6,196 ^{ci}	12,298 ± 3,839 ^{di}	13,841 ± 0,764 ^{ac}	12,647 ± 2,153 ^{af}	14,135 ± 2,061 ^{ag}	13,610 ± 1,825 ^{ah}
Bandinys											
-	-	K3-5	K4-5	K5-5	K6-5	K7-5	K8-5	K9-5	K10-5	K11-5	K12-5
-	-	36,792 ± 1,633 ^{ai}	22,356 ± 1,139 ^{aj}	20,599 ± 2,470 ^{ak}	19,475 ± 2,318 ^{al}	16,973 ± 1,290 ^{am}	17,052 ± 4,093 ^{an}	16,485 ± 0,835 ^{ao}	13,355 ± 0,629 ^{ap}	15,953 ± 1,544 ^{aq}	17,673 ± 0,901 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.10 lentelė. Celiuliozės / natrio alginato biokompozitų tirpumo vandenyje (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / natrio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									0,000 ± 0 ^a		
Bandinys											
N1-0	N2-0	N3-0	N4-0	N5-0	N6-0	N7-0	N8-0	N9-0	N10-0	N11-0	N12-0
35,346 ± 4,383 ^{ab}	17,368 ± 3,057 ^{ac}	19,139 ± 2,211 ^{ad}	21,610 ± 4,790 ^e	21,707 ± 2,812 ^{af}	51,603 ± 4,166 ^{ag}	23,252 ± 2,004 ^{ah}	43,004 ± 7,777 ^{ai}	23,161 ± 2,954 ^{aj}	47,460 ± 7,887 ^{ak}	22,058 ± 1,695 ^{al}	18,347 ± 2,997 ^{am}
Bandinys											
-	-	N3-1	N4-1	N5-1	N6-1	N7-1	N8-1	N9-1	N10-1	N11-1	N12-1
-	-	42,566 ± 2,933 ^{an}	43,982 ± 4,615 ^{ao}	45,139 ± 1,837 ^{ap}	40,776 ± 5,764 ^{aq}	43,038 ± 9,186 ^r	49,487 ± 4,053 ^{as}	51,116 ± 4,513 ^{at}	47,864 ± 0,267 ^{ay}	47,335 ± 6,782 ^{aw}	47,583 ± 3,272 ^{ax}
Bandinys											
-	-	N3-2	N4-2	N5-2	N6-2	N7-2	N8-2	N9-2	N10-2	N11-2	N12-2
-	-	47,277 ± 7,654 ^{av}	46,318 ± 2,551 ^{az}	52,721 ± 0,987 ^{aa'}	51,437 ± 1,281 ^{ab'}	50,592 ± 5,611 ^{ac'}	51,557 ± 3,117 ^{ad'}	54,433 ± 3,139 ^{ae'}	54,625 ± 1,684 ^{af'}	54,771 ± 3,393 ^{ag'}	55,157 ± 0,916 ^{ah'}
Bandinys											
-	-	N3-5	N4-5	N5-5	N6-5	N7-5	N8-5	N9-5	N10-5	N11-5	N12-5
-	-	51,498 ± 4,935 ^{ai'}	52,318 ± 0,993 ^{aj'}	53,728 ± 4,458 ^{ak'}	54,347 ± 2,430 ^{al'}	52,889 ± 0,448 ^{am'}	54,724 ± 0,499 ^{an'}	55,217 ± 1,720 ^{ao'}	55,870 ± 3,268 ^{ap'}	62,065 ± 6,616 ^{aq'}	56,342 ± 4,082 ^{ar'}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.11 lentelė. Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų tirpumo vandenyje (%) įvertinimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / kalcio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									0,000 ± 0 ^a		
Bandinys											
C1-0	C2-0	C3-0	C4-0	C5-0	C6-0	C7-0	C8-0	C9-0	C10-0	C11-0	C12-0
6,89 8 ± 1,759 ^b	11,251 ± 1,960 ^{ac}	12,705 ± 2,787 ^d	11,861 ± 5,223 ^e	9,105 ± 0,778 ^{af}	8,351 ± 1,437 ^{ag}	12,775 ± 1,650 ^{ah}	7,978 ± 0,310 ^{ai}	9,064 ± 0,747 ^{aj}	9,028 ± 0,617 ^{ak}	13,307 ± 2,705 ^{al}	6,303 ± 1,023 ^{am}
Bandinys											
-	-	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1	C9-1	C10-1	C11-1	C12-1
-	-	10,497 ± 2,042 ^{an}	11,029 ± 4,173 ^o	10,907 ± 1,977 ^{ap}	15,520 ± 1,786 ^{aq}	15,297 ± 8,086 ^r	11,925 ± 5,222 ^s	24,549 ± 5,458 ^t	19,611 ± 2,849 ^{ay}	16,051 ± 0,729 ^{aw}	12,898 ± 7,015 ^x
Bandinys											
-	-	C3-2	C4-2	C5-2	C6-2	C7-2	C8-2	C9-2	C10-2	C11-2	C12-2
-	-	25,396 ± 2,093 ^{av}	31,878 ± 2,231 ^{az}	25,858 ± 1,458 ^{aa'}	13,208 ± 8,005 ^{b'}	22,364 ± 3,728 ^{ac'}	30,784 ± 3,019 ^{ad'}	28,838 ± 3,903 ^{ae'}	31,893 ± 2,624 ^{af'}	33,669 ± 5,540 ^{ag'}	28,185 ± 3,008 ^{ah'}
Bandinys											
-	-	C3-5	C4-5	C5-5	C6-5	C7-5	C8-5	C9-5	C10-5	C11-5	C12-5
-	-	33,232 ± 1,787 ^{ai'}	32,169 ± 3,527 ^{aj'}	31,263 ± 2,441 ^{ak'}	29,963 ± 1,226 ^{al'}	32,916 ± 1,581 ^{am'}	27,296 ± 1,263 ^{an'}	28,834 ± 1,263 ^{ao'}	27,872 ± 4,390 ^{ap'}	18,823 ± 3,711 ^{aq'}	29,490 ± 4,096 ^{ar'}

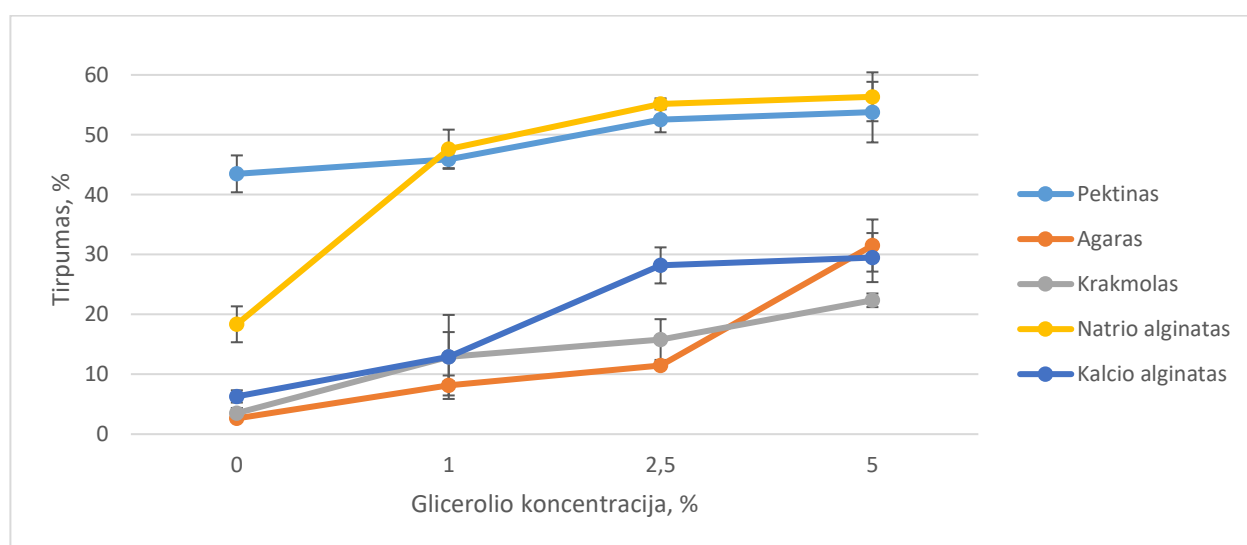
*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

Biokompozitų sudarančių polisacharidų įtakos tirpumui vandenyje rezultatai yra pateikti 3.2 paveiksle. Įtakos įvertinimui buvo pasirinkta viena polisacharido koncentracija, t. y., 5 %.

Įvertinus gautus rezultatus, buvo nustatyta, kad didžiausiu tirpumu pasižymėjo celiuliozės / pektino ir celiuliozės / natrio alginato biokompozitai, nepriklausomai nuo plastifikatoriaus koncentracijos juose (žr. 3.2 paveikslas). Šiuos rezultatus galima pagrįsti tuo, kad tiek pektine, tiek ir natrio alginato yra daug hidroksilo grupių, kurios sąveikauja su vandeniu [72]. Tuo metu mažiausias tirpumas vandenyje užfiksuotas celiuliozės / agarų, celiuliozės / krakmolo ir celiuliozės / kalčio alginato biokompozituose (nepriklausomai nuo plastifikatoriaus kiekio biokompozite). Celiuliozės / agarų biokompozitų tirpumui įtakos turėjo tai, kad agaras yra netirpus kambario temperatūros vandenyje [92]. Celiuliozės / kalčio alginato biokompozitai pasižymėjo mažu tirpumu vandenyje, nes kalčio joniai suriša polines karboksilo grupės alginato molekulėje ir taip apriboja jų sąveiką su vandens molekulėmis [128].



3.2 pav. Biokompozitų tirpumo priklausomybė nuo plastifikatoriaus ir pasirinkto polisacharido

Iš gautų rezultatų galima daryt išvadą, kad plastifikatoriaus kiekis biokompozituose turi įtakos jų tirpumui vandenyje. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad didinant plastifikatoriaus kiekį biokompozite, didėja jo tirpumas vandenyje (žr. 3.7–3.11 lentelės ir 3.2 paveikslas). Tirpumo vandenyje priklausomybė nuo plastifikatoriaus pagrindžiama tuo, kad šiuo atveju naudotas plastifikatorius buvo glicerolis, kuris yra hidrofilinės kilmės junginys, pasižymintis puikia sąveika su vandeniu [125].

3.2.4. Biokompozitų vandens garų pralaidumo tyrimas

Viena iš svarbiausių pakuočių savybių yra vandens garų pralaidumas. Skirtingiems produktams yra reikalingos skirtingu vandens garų pralaidumu pasižyminčios pakuotės. Todėl norint pritaikyti inovatyvias medžiagas, būtina nustatyti jų vandens garų pralaidumą.

Šis tyrimas buvo atliktas su visais paruoštais celiuliozės / polisacharido biokompozitais bei nedengtu celiuliozės pluoštu, kuris buvo naudojamas biokompozitų formavimui. Šio tyrimo rezultatai yra pateikti 3.12–3.16 lentelėse.

Gauti rezultatai rodo, kad celiuliozės / pektino biokompozitų VGP didėja didėjant pektino koncentracijai biokompozite (žr. 3.16 lentelė). Tai įvyksta todėl, kad esant didesnei koncentracijai didėja laisvų hidroksilo grupių skaičius, kurios sąveikauja su vandens garais ir padidina VGP per

biokompozitą [126]. Taip pat pastebėta, kad didesnis glicerolio kiekis biokompozite nulemia didesnę VGP reikšmę. Mažiausias VGP buvo užfiksuotas bandinyje P3-1 ($9,624 \pm 0,149 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), didžiausias VGP nustatytas bandinyje P12-5 ($19,399 \pm 0,632 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Be to, būtina paminėti tai, kad visi tiriamieji celiuliozės / pektino biokompozitai pasižymėjo mažesniu VGP, lyginant su nedengta celiulioze (C0) (žr. 3.12 lentelė).

Nustatyta, kad celiuliozės / agarų biokompozitų VGP mažėja didėjant agarų koncentracijai biokompozituose (žr. 3.13 lentelė). Tai nulemia tanki agarų trijų dimensijų tinkinė struktūra, susidaranti formuojant celiuliozės pluoštą dengiantį polisacharido sluoksnį [93]. Be to, pastebėta, kad didėjant plastifikatoriaus koncentracijai biokompozituose, didėja ir VGP.

Didžiausias VGP nustatytas bandinyje A5-2 ($16,252 \pm 0,444 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Tuo metu mažiausiu VGP pasižymėjo A11-1 ($5,551 \pm 0,511 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Taip pat nustatyta, kad visi celiuliozės / agarų biokompozitai pasižymėjo mažesniu VGP, lyginant su nepadengta celiulioze (C0).

Gauti rezultatai rodo, kad celiuliozės / krakmolo biokompozitų VGP didėja didėjant krakmolo koncentracijai biokompozituose (žr. 3.14 lentelė). Didesnė krakmolo koncentracija gali paskatinti retrogradaciją, kuri nulemia didesnę biokompozito VGP [127]. Kaip ir anksčiau aptartais atvejais, buvo pastebėta ta pati tendencija – didesnis glicerolio kiekis biokompozite nulemia didesnę VGP.

Būtina pastebėti tai, kad visi celiuliozės / krakmolo biokompozitai pasižymėjo mažesniu VGP, lyginant su nepadengta celiulioze (kontrolinis bandinys C0). Mažiausiu VGP pasižymėjo bandinys K2-0 ($5,767 \pm 0,350 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), didžiausiu VGP pasižymėjo bandinys K10-5 ($22,053 \pm 1,411 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).

Nustatyta, kad celiuliozės / natrio alginato biokompozitų VGP mažėja didėjant natrio alginato koncentracijai biokompozite (žr. 3.15 lentelė). Kaip ir pektino atveju, čia didėjant natrio alginato koncentracijai, atsiranda daugiau hidroksilo grupių, kurios sąveikauja su vandens garais [126]. Taip pat pastebėta, kad didinant glicerolio koncentraciją biokompozituose, didėja jų VGP. Tai nulemia hidrofiliškus glicerolio, panaudoto kaip plastifikatorių, prigimtis. Didžiausias VGP užfiksuotas bandinyje N3-5 (VGP – $18,568 \pm 0,211 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Tuo metu mažiausiu VGP pasižymėjo bandinys N11-0 (VGP – $10,463 \pm 0,223 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Taip pat nustatyta, kad visi celiuliozės / natrio alginato biokompozitai pasižymėjo mažesniu VGP, lyginant su kontroliniu bandiniu C0 (t. y., nepadengta celiulioze).

Gauti rezultatai parodė, kad celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų VGP mažėja didėjant kalcio alginato koncentracijai biokompozite (žr. 3.16 lentelė). Šiuo atveju matoma, kad poveikimas kalcio chloridu sumažino alginato VGP. Taip įvyko dėl to, kad kalcio jonai sąveikauja su polinėmis alginato karboksilo grupėmis ir neleidžia joms sąveikauti su vandens garais [128]. Nustatyta ta pati tendencija, kaip ir anksčiau aptartuose biokompozituose – dėl glicerolio hidrofiliškumo didinant jo kiekį biokompozite, padidėja ir VGP.

Nustatyta, kad mažiausiu VGP pasižymėjo bandinys C12-1 ($11,353 \pm 0,340 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), o didžiausias VGP nustatytas bandinyje C1-0 ($15,567 \pm 0,468 \text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Taip pat pastebėta, kad visi celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai pasižymėjo mažesniu VGP, lyginant su kontroliniu bandiniu C0.

3.12 lentelė. Celiuliozės / pektino biokompozitų VGP ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) tyrimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / pektinas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)								23,848 ± 3,659 ^a			
Bandinys											
P1-0	P2-0	P3-0	P4-0	P5-0	P6-0	P7-0	P8-0	P9-0	P10-0	P11-0	P12-0
11,002 ± 0,387 ^b	11,836 ± 0,416 ^c	13,403 ± 0,520 ^d	14,907 ± 0,188 ^e	12,843 ± 0,179 ^f	13,661 ± 0,491 ^g	13,085 ± 0,690 ^h	13,983 ± 0,254 ⁱ	14,635 ± 0,133 ^j	13,170 ± 0,296 ^k	13,619 ± 0,758 ^l	14,466 ± 1,214 ^m
Bandinys											
-	-	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1	P9-1	P10-1	P11-1	P12-1
-	-	9,624 ± 0,149 ⁿ	11,391 ± 0,514 ^o	10,853 ± 0,661 ^p	11,372 ± 0,031 ^q	11,948 ± 0,383 ^r	13,587 ± 0,431 ^s	13,294 ± 0,695 ^t	12,407 ± 0,365 ^v	14,807 ± 0,043 ^w	14,436 ± 0,401 ^x
Bandinys											
-	-	P3-2	P4-2	P5-2	P6-2	P7-2	P8-2	P9-2	P10-2	P11-2	P12-2
-	-	14,648 ± 0,406 ^y	13,297 ± 0,232 ^z	13,711 ± 0,341 ^{aa}	15,691 ± 0,312 ^{ab}	17,968 ± 0,011 ^{ac}	16,215 ± 0,212 ^{ad}	15,551 ± 0,209 ^{ae}	17,068 ± 1,510 ^f	15,210 ± 0,287 ^g	17,882 ± 0,357 ^h
Bandinys											
-	-	P3-5	P4-5	P5-5	P6-5	P7-5	P8-5	P9-5	P10-5	P11-5	P12-5
-	-	15,752 ± 0,336 ⁱ	18,161 ± 0,201 ^j	17,110 ± 0,125 ^k	19,058 ± 0,569 ^l	18,842 ± 0,120 ^m	18,763 ± 0,419 ⁿ	17,071 ± 0,086 ^o	17,395 ± 0,945 ^p	17,767 ± 0,995 ^q	19,399 ± 0,632 ^r

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.13 lentelė. Celiuliozės / agarų biokompozitų VGP ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) tyrimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / agaras											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									23,848 ± 3,659 ^a		
Bandinys											
A1-0	A2-0	A3-0	A4-0	A5-0	A6-0	A7-0	A8-0	A9-0	A10-0	A11-0	A12-0
14,637 ± 0,351 ^b	13,703 ± 0,356 ^c	13,651 ± 0,315 ^d	13,232 ± 0,737 ^e	12,700 ± 0,140 ^f	12,816 ± 0,315 ^g	11,799 ± 0,277 ^h	13,456 ± 0,404 ⁱ	9,580 ± 0,528 ^j	7,377 ± 1,085 ^k	9,368 ± 0,388 ^l	8,913 ± 1,758 ^m
Bandinys											
-	-	A3-1	A4-1	A5-1	A6-1	A7-1	A8-1	A9-1	A10-1	A11-1	A12-1
-	-	13,616 ± 0,113 ⁿ	12,108 ± 0,106 ^o	12,402 ± 0,370 ^p	11,993 ± 0,391 ^q	11,083 ± 0,552 ^r	8,651 ± 1,249 ^s	9,608 ± 0,286 ^t	10,820 ± 0,085 ^v	5,551 ± 0,511 ^{aw}	8,294 ± 0,078 ^x
Bandinys											
-	-	A3-2	A4-2	A5-2	A6-2	A7-2	A8-2	A9-2	A10-2	A11-2	A12-2
-	-	14,985 ± 0,004 ^y	14,701 ± 0,541 ^z	16,252 ± 0,444 ^{aa}	13,459 ± 0,472 ^{ab}	13,655 ± 0,242 ^{ac}	12,513 ± 0,319 ^{ad}	11,695 ± 0,288 ^{ae}	10,822 ± 0,204 ^f	8,357 ± 0,803 ^g	7,786 ± 0,319 ^h
Bandinys											
-	-	A3-5	A4-5	A5-5	A6-5	A7-5	A8-5	A9-5	A10-5	A11-5	A12-5
-	-	15,434 ± 0,343 ⁱ	15,116 ± 0,713 ^j	13,022 ± 0,016 ^k	14,350 ± 0,346 ^l	14,980 ± 0,174 ^m	15,347 ± 0,122 ⁿ	14,927 ± 0,359 ^o	12,162 ± 0,351 ^p	10,078 ± 0,071 ^q	12,039 ± 0,116 ^r

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.14 lentelė. Celiuliozės / krakmolo biokompozitų VGP ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) tyrimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / krakmolas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									23,848 ± 3,659 ^a		
Bandinys											
K1-0	K2-0	K3-0	K4-0	K5-0	K6-0	K7-0	K8-0	K9-0	K10-0	K11-0	K12-0
7,531 ± 0,135 ^b	5,767 ± 0,350 ^{bc}	8,159 ± 0,144 ^d	6,218 ± 0,921 ^e	7,915 ± 0,092 ^f	8,443 ± 0,410 ^e	13,494 ± 0,150 ^b	11,427 ± 0,272 ⁱ	12,300 ± 0,105 ^j	14,919 ± 0,348 ^k	14,282 ± 0,307 ^l	16,686 ± 0,261 ^m
Bandinys											
-	-	K3-1	K4-1	K5-1	K6-1	K7-1	K8-1	K9-1	K10-1	K11-1	K12-1
-	-	9,518 ± 0,413 ⁿ	10,584 ± 0,171 ^o	8,922 ± 0,388 ^p	14,380 ± 0,126 ^a	16,956 ± 0,958 ^r	14,373 ± 0,389 ^s	13,675 ± 0,351 ^t	15,412 ± 0,266 ^v	18,471 ± 0,249 ^w	19,263 ± 0,356 ^x
Bandinys											
-	-	K3-2	K4-2	K5-2	K6-2	K7-2	K8-2	K9-2	K10-2	K11-2	K12-2
-	-	10,538 ± 0,036 ^y	14,976 ± 0,418 ^z	12,274 ± 0,021 ^a	13,170 ± 0,266 ^b	15,249 ± 0,171 ^c	14,571 ± 0,404 ^d	18,292 ± 0,246 ^e	19,396 ± 0,245 ^f	20,393 ± 0,395 ^g	19,782 ± 0,535 ^h
Bandinys											
-	-	K3-5	K4-5	K5-5	K6-5	K7-5	K8-5	K9-5	K10-5	K11-5	K12-5
-	-	18,939 ± 0,716 ⁱ	19,801 ± 0,549 ^j	15,287 ± 0,709 ^k	16,556 ± 0,269 ^l	15,618 ± 0,349 ^m	17,662 ± 0,648 ⁿ	18,904 ± 0,516 ^o	22,053 ± 1,411 ^p	21,109 ± 0,621 ^q	21,156 ± 0,184 ^r

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.15 lentelė. Celiuliozės / natrio alginato biokompozitų VGP ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) tyrimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / natrio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									23,848 ± 3,659 ^a		
Bandinys											
N1-0	N2-0	N3-0	N4-0	N5-0	N6-0	N7-0	N8-0	N9-0	N10-0	N11-0	N12-0
13,728 ± 1,676 ^b	11,189 ± 0,947 ^c	11,307 ± 0,301 ^d	10,882 ± 0,104 ^c	12,017 ± 0,654 ^f	13,376 ± 0,391 ^g	13,294 ± 0,335 ^h	11,734 ± 0,389 ⁱ	12,887 ± 0,474 ^j	11,100 ± 0,510 ^k	10,463 ± 0,223 ^l	11,155 ± 0,290 ^m
Bandinys											
-	-	N3-1	N4-1	N5-1	N6-1	N7-1	N8-1	N9-1	N10-1	N11-1	N12-1
-	-	14,978 ± 0,876 ⁿ	13,892 ± 0,290 ^o	14,840 ± 0,188 ^p	15,581 ± 0,260 ^q	14,822 ± 0,350 ^r	12,872 ± 0,842 ^s	14,038 ± 0,868 ^t	13,475 ± 0,245 ^y	13,624 ± 0,361 ^w	11,686 ± 0,581 ^x
Bandinys											
-	-	N3-2	N4-2	N5-2	N6-2	N7-2	N8-2	N9-2	N10-2	N11-2	N12-2
-	-	16,447 ± 1,370 ^v	17,396 ± 0,507 ^z	15,795 ± 0,335 ^a	14,938 ± 0,336 ^b	14,836 ± 0,343 ^c	13,873 ± 0,291 ^d	13,912 ± 0,121 ^e	13,148 ± 0,147 ^f	13,918 ± 0,405 ^g	14,369 ± 0,109 ^h
Bandinys											
-	-	N3-5	N4-5	N5-5	N6-5	N7-5	N8-5	N9-5	N10-5	N11-5	N12-5
-	-	18,568 ± 0,211 ⁱ	16,754 ± 0,472 ^j	16,411 ± 0,123 ^k	17,751 ± 0,294 ^l	17,852 ± 0,545 ^m	17,009 ± 0,720 ⁿ	16,119 ± 0,083 ^o	16,876 ± 0,480 ^p	14,716 ± 0,699 ^q	15,910 ± 1,012 ^r

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.16 lentelė. Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų VGP ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) tyrimo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / kalcio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									23,848 ± 3,659 ^a		
Bandinys											
C1-0	C2-0	C3-0	C4-0	C5-0	C6-0	C7-0	C8-0	C9-0	C10-0	C11-0	C12-0
15,567 ± 0,468 ^b	14,482 ± 0,300 ^c	14,088 ± 0,122 ^d	13,019 ± 0,298 ^e	13,638 ± 0,625 ^f	13,542 ± 0,311 ^g	12,746 ± 0,400 ^h	13,133 ± 0,527 ⁱ	12,366 ± 0,242 ^j	13,103 ± 0,606 ^k	13,362 ± 0,804 ^l	12,725 ± 1,530 ^m
Bandinys											
-	-	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1	C9-1	C10-1	C11-1	C12-1
-	-	14,725 ± 1,530 ⁿ	14,755 ± 0,483 ^o	13,693 ± 0,638 ^p	12,889 ± 0,211 ^q	12,500 ± 0,656 ^r	11,931 ± 0,363 ^s	11,971 ± 0,665 ^t	11,424 ± 0,304 ^v	11,612 ± 0,077 ^w	11,353 ± 0,340 ^x
Bandinys											
-	-	C3-2	C4-2	C5-2	C6-2	C7-2	C8-2	C9-2	C10-2	C11-2	C12-2
-	-	14,586 ± 0,458 ^y	13,936 ± 0,627 ^z	14,124 ± 0,122 ^{aa}	13,521 ± 0,666 ^{bb}	13,167 ± 0,542 ^{cc}	12,533 ± 0,435 ^{dd}	12,179 ± 0,131 ^{ee}	12,640 ± 0,351 ^{ff}	12,406 ± 0,227 ^{gg}	12,650 ± 0,304 ^{hh}
Bandinys											
-	-	C3-5	C4-5	C5-5	C6-5	C7-5	C8-5	C9-5	C10-5	C11-5	C12-5
-	-	15,090 ± 0,120 ⁱⁱ	14,622 ± 0,061 ^{jj}	14,443 ± 0,380 ^{kk}	14,909 ± 0,609 ^{ll}	14,258 ± 0,319 ^{mm}	14,742 ± 0,213 ⁿⁿ	14,439 ± 0,297 ^{oo}	14,198 ± 0,237 ^{pp}	14,416 ± 0,342 ^{qq}	14,142 ± 0,371 ^{rr}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

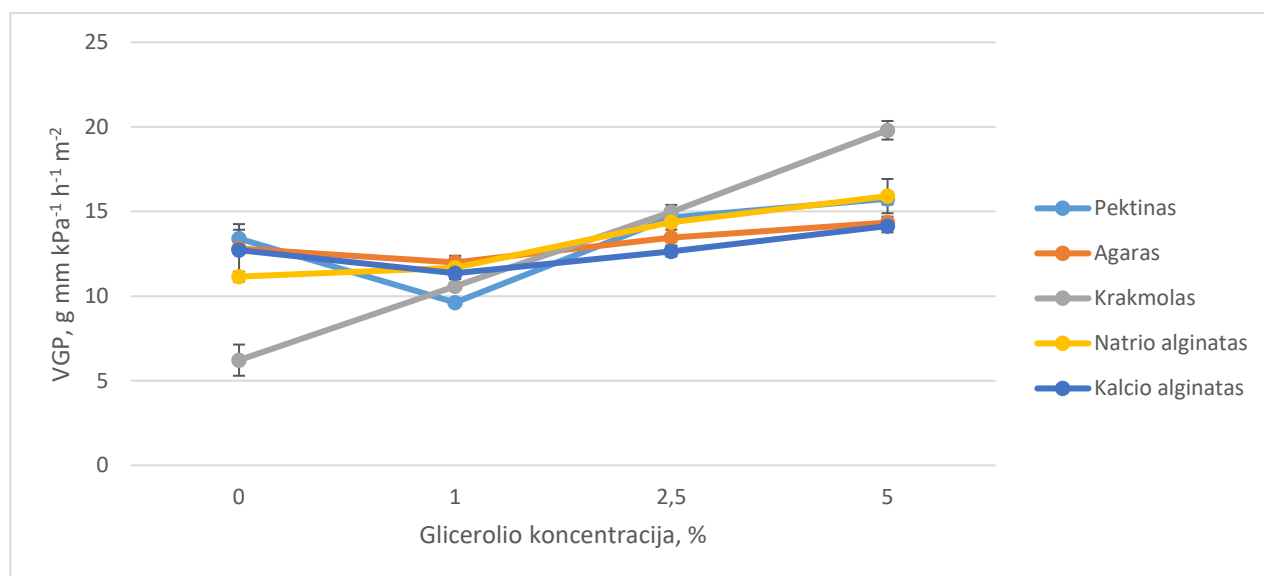
**pateikti rezultatai yra statistiškai reikšmingi, nes $p < 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

Biokompozitų sudarančių polisacharidų įtakos VGP rezultatai yra pateikti 3.3 paveiksle. Įtakos įvertinimui buvo pasirinkta viena polisacharido koncentracija, t. y., 5 %.

Įvertinus rezultatus nustatyta, kad mažiausiu VGP, kai biokompozite nėra plastifikatoriaus, pasižymėjo celiuliozės / krakmolo biokompozitas. Tuo metu didžiausias VGP užfiksuotas celiuliozės / pektino, celiuliozės / agarų, celiuliozės / kalcio alginato ir celiuliozės / natrio alginato biokompozituose (žr. 3.3 paveikslas).

Vertinant plastifikuotų biokompozitų VGP, buvo nustatyta, kad didžiausiu VGP pasižymėjo celiuliozės / krakmolo biokompozitas. Kiti bandiniai pasižymėjo šiek tiek mažesniu VGP. Tai galima pagrįsti tuo, kad plastifikatorius, esantis polisacharido dangoje, įsiterpia tarp polisacharido makromolekulių. Taip yra padidinami atstumai tarp makromolekulių, todėl padidėja sluoksnio VGP [125] (žr. 3.3 paveikslas).



3.3 pav. Biokompozitų VGP priklausomybė nuo plastifikatoriaus ir pasirinkto polisacharido

Remiantis šio tyrimo rezultatais galima teigti, kad plastifikatoriaus pridėjimas į biokompozitinę medžiagą padidina jos VGP vertę (žr. 3.12–3.16 lentelės ir 3.3 paveikslas). Šiuos rezultatus pagrindžia kitų mokslininkų atlikti tyrimai, kuriuose nustatyta, kad hidrofiline prigimtimi pasižymintis plastifikatorius padidina bioplėvelės ir / ar biokompozito VGP [119, 125].

Taip pat iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad didėjanti polisacharido (išskyrus pektiną ir krakmolą) koncentracija dangoje nulemia mažesnę biokompozito VGP vertę. Mokslinėje literatūroje teigiama, kad dangose, suformuotose iš didesnės koncentracijos polisacharidų tirpalų, susidaro tankesnis polisacharido makromolekulių grandinių tinklas, kuris riboja vandens garų pralaidumą [93]. Be to, manoma, kad skirtingų polisacharidų įtaka biokompozitų VGP priklauso nuo jų skirtingos sąveikos su celiuliozės plaušais [59].

Būtina paminėti tai, kad visi tirtieji celiuliozės / polisacharido biokompozitai pasižymėjo mažesniu VGP, lyginant su nepadengtu celiuliozės sluoksniu. Iš celiuliozės plaušų suformuoti lakštai dažniausiai pasižymi poringumu, kuris nulemia geresnę VGP. Formuojant dangą ant tokio lakšto, dalis polisacharido tirpalo patenka į poras ir jas užkemša ir / ar sumažina. Tokiu atveju gaunama mažesnė VGP vertė [119].

3.2.5. Biokompozitų paviršiaus vilgymo kampas

Paviršiaus vilgymo kampo (PVK) nustatymas yra naudingas tyrimas, siekiant įvertinti tiriamosios medžiagos paviršiaus savybes. Kampo dydis parodo, ar tiriamosios medžiagos paviršius yra hidrofobinės ar hidrofilinės prigimties.

Šis tyrimas buvo atliktas paruoštiems celiuliozės / polisacharido biokompozitams bei nedengtam celiuliozės lakštui. Gauti rezultatai yra pateikti 3.17–3.21 lentelėse.

Gauti rezultatai parodė, kad didžiausiu PVK pasižymėjo celiuliozės / pektino biokompozitai be plastifikatoriaus (P1-0–P12-0) (žr. 3.17 lentelė). Čia kampo dydis svyravo nuo $53,363 \pm 5,112^\circ$ iki $58,979 \pm 2,207^\circ$. Mažiausiu PVK pasižymėjo bandiniai su didžiausiu plastifikatoriaus kiekiu (P1-5–P12-5). Pačios mažiausios PVK vertės buvo užfiksuotos bandiniuose P4-5 ir P10-5 (atitinkamai $46,791 \pm 3,484^\circ$ ir $46,716 \pm 4,781^\circ$). Bandiniai be plastifikatoriaus pasižymėjo didesniu ar panašiu PVK, lyginant su kontroliniu bandiniu C0. Tuo metu celiuliozės / pektino biokompozitai su 2,5 ir 5 % plastifikatoriaus pasižymėjo mažesniu arba panašiu PVK, lyginant su nepadengta celiulioze (žr. 3.17 lentelė).

Išanalizavus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad didžiausias PVK užfiksuotas celiuliozės / agaro biokompozitų bandiniuose, kuriuose nebuvo pridėta plastifikatoriaus (žr. 3.18 lentelė). Didžiausiu PVK pasižymėjo bandinys A4-0 (kampas – $59,088 \pm 3,042^\circ$). Mažiausios PVK vertės nustatytos bandiniuose su 5 % plastifikatoriaus (A3-5–A12-5). Čia PVK svyravo nuo $43,553 \pm 7,893^\circ$ iki $50,356 \pm 5,056^\circ$. Nustatyta, kad bandiniai be plastifikatoriaus pasižymėjo didesniu PVK, lyginant su kontrole C0. Tačiau biokompozitai su didžiausiu plastifikatoriaus kiekiu pasižymėjo mažesniu PVK nei nepadengta celiuliozė (žr. 3.18 lentelė).

Gauti rezultatai parodė, kad didžiausiu PVK pasižymėjo celiuliozės / krakmolo biokompozitai, pagaminti be plastifikatoriaus ir su mažiausiu plastifikatoriaus kiekiu (t. y. 1 %) (žr. 3.19 lentelė). Didžiausios PVK vertės buvo nustatytos bandiniuose K8-0, K10-1 ir K12-1 (kampas atitinkamai $55,562 \pm 4,297^\circ$, $55,183 \pm 5,278^\circ$ ir $55,602 \pm 1,748^\circ$). Mažiausios PVK vertės buvo užfiksuotos bandiniuose, kuriuose buvo 2,5 ir 5 % plastifikatoriaus. Pačiu mažiausiu PVK pasižymėjo bandiniai K4-2 ir K3-5 (atitinkamai $46,060 \pm 1,773^\circ$ ir $45,600 \pm 2,401^\circ$).

Įvertinus celiuliozės / krakmolo biokompozitų PVK vertes, buvo nustatyta, kad šių biokompozitų PVK vertės yra panašios kaip ir kontrolinio bandinio C0 (žr. 3.19 lentelė).

Nustatyta, kad mažiausi PVK buvo užfiksuoti celiuliozės / natrio alginato biokompozituose su 5,0 % plastifikatoriaus (žr. 3.20 lentelė, N3-5–N12-5). Mažiausiu PVK pasižymėjo bandinys N8-5 ($46,138 \pm 1,927^\circ$). Didžiausi PVK buvo nustatyti bandiniuose be plastifikatoriaus bei su nedideliu plastifikatoriaus kiekiu (t. y. 1,0 %). Didžiausiais PVK pasižymėjo bandiniai N3-0 ir N9-1. Jų PVK atitinkamai yra lygus $61,738 \pm 0,767^\circ$ ir $61,380 \pm 8,590^\circ$. Kontrolinio bandinio C0 (nepadengta celiuliozė) nustatytas PVK buvo mažesnis, lyginant su celiuliozės / natrio alginato biokompozitais be plastifikatoriaus. Tuo metu kontrolės PVK buvo didesnis nei nustatyti celiuliozės / natrio alginato biokompozitų su 5 % plastifikatoriaus (žr. 3.20 lentelė).

Analizuojant gautus rezultatus nustatyta, kad mažiausias PVK buvo užfiksuotas bandiniuose su didžiausiu plastifikatoriaus kiekiu (žr. 3.21 lentelė, C3-5–C12-5). Mažiausiu PVK pasižymėjo bandiniai C3-5, C11-5 ir C12-5. Jų PVK atitinkamai yra $37,117 \pm 9,384^\circ$, $37,665 \pm 1,079^\circ$ ir $35,595$

$\pm 1,251$ °. Tuo metu didžiausias PVK buvo užfiksuotas bandiniuose be plastifikatoriaus (C1-0–C12-0). Pats didžiausias PVK buvo užfiksuotas bandinyje C7-0 (kampas – $63,741 \pm 4,470$ °).

Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai be plastifikatoriaus pasižymėjo didesniu PVK, lyginant su kontroliniu bandiniu C0. Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai su 5 % plastifikatoriaus pasižymėjo mažesniais PVK, lyginant su kontrole (žr. 3.21 lentelė).

3.17 lentelė. Celiuliozės / pektino biokompozitų vilgymo kampo (°) nustatymo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / pektinas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									53,209 ± 3,325 ^a		
Bandinys											
P1-0	P2-0	P3-0	P4-0	P5-0	P6-0	P7-0	P8-0	P9-0	P10-0	P11-0	P12-0
54,028 ± 6,132 ^b	55,689 ± 2,001 ^c	56,457 ± 3,948 ^d	53,622 ± 4,666 ^e	53,363 ± 5,112 ^f	57,131 ± 5,542 ^g	54,850 ± 0,757 ^h	53,673 ± 4,357 ⁱ	56,520 ± 3,536 ^j	58,979 ± 2,207 ^k	56,511 ± 2,833 ^l	58,777 ± 3,798 ^m
Bandinys											
-	-	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1	P9-1	P10-1	P11-1	P12-1
-	-	53,886 ± 1,274 ⁿ	52,060 ± 1,663 ^o	50,928 ± 4,641 ^p	54,464 ± 4,451 ^q	53,291 ± 4,303 ^r	51,767 ± 3,618 ^s	52,628 ± 3,584 ^t	53,404 ± 2,417 ^y	51,179 ± 5,896 ^w	51,482 ± 2,505 ^x
Bandinys											
-	-	P3-2	P4-2	P5-2	P6-2	P7-2	P8-2	P9-2	P10-2	P11-2	P12-2
-	-	49,088 ± 1,285 ^v	51,484 ± 4,542 ^z	50,356 ± 7,608 ^{a'}	49,773 ± 0,998 ^{b'}	49,773 ± 5,325 ^{c'}	49,498 ± 7,555 ^{d'}	50,833 ± 6,379 ^{e'}	50,468 ± 3,598 ^{f'}	54,596 ± 2,531 ^{g'}	53,347 ± 6,802 ^{h'}
Bandinys											
-	-	P3-5	P4-5	P5-5	P6-5	P7-5	P8-5	P9-5	P10-5	P11-5	P12-5
-	-	49,101 ± 3,689 ^{i'}	54,227 ± 5,650 ^{j'}	48,058 ± 1,521 ^{k'}	47,422 ± 8,041 ^{l'}	42,549 ± 6,544 ^{m'}	49,137 ± 6,696 ^{n'}	49,072 ± 6,238 ^{o'}	46,716 ± 4,781 ^{p'}	50,129 ± 4,995 ^{q'}	48,529 ± 4,659 ^{r'}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai nereikšmingi, nes $p > 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.18 lentelė. Celiuliozės / agarų biokompozitų vilgymo kampo (°) nustatymo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / agaras											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									53,209 ± 3,325 ^a		
Bandinys											
A1-0	A2-0	A3-0	A4-0	A5-0	A6-0	A7-0	A8-0	A9-0	A10-0	A11-0	A12-0
57,507 ± 4,005 ^b	51,008 ± 1,426 ^c	58,105 ± 3,672 ^d	59,088 ± 3,042 ^e	58,799 ± 5,248 ^f	54,987 ± 4,599 ^g	56,099 ± 3,883 ^h	56,594 ± 5,523 ⁱ	56,256 ± 8,035 ^j	57,221 ± 3,875 ^k	54,301 ± 2,825 ^l	55,921 ± 5,969 ^m
Bandinys											
-	-	A3-1	A4-1	A5-1	A6-1	A7-1	A8-1	A9-1	A10-1	A11-1	A12-1
-	-	57,242 ± 6,188 ⁿ	57,257 ± 1,389 ^o	56,408 ± 0,417 ^p	53,914 ± 8,686 ^q	51,273 ± 4,285 ^r	55,200 ± 2,646 ^s	55,198 ± 5,016 ^t	54,717 ± 3,509 ^y	55,366 ± 2,139 ^w	54,193 ± 2,056 ^x
Bandinys											
-	-	A3-2	A4-2	A5-2	A6-2	A7-2	A8-2	A9-2	A10-2	A11-2	A12-2
-	-	47,615 ± 4,980 ^v	51,697 ± 5,148 ^z	50,967 ± 4,814 ^a	52,920 ± 1,511 ^b	51,880 ± 2,557 ^c	51,090 ± 0,162 ^d	51,506 ± 8,528 ^e	53,386 ± 2,657 ^f	53,402 ± 1,921 ^g	52,776 ± 3,679 ^h
Bandinys											
-	-	A3-5	A4-5	A5-5	A6-5	A7-5	A8-5	A9-5	A10-5	A11-5	A12-5
-	-	43,553 ± 7,893 ⁱ	44,519 ± 3,922 ^j	43,802 ± 4,990 ^k	45,923 ± 2,918 ^l	48,752 ± 5,768 ^m	47,889 ± 6,427 ⁿ	50,356 ± 5,056 ^o	47,103 ± 3,621 ^p	49,459 ± 3,599 ^q	45,760 ± 5,651 ^r

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai nereikšmingi, nes $p > 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.19 lentelė. Celiuliozės / krakmolo biokompozitų vilgymo kampo (°) nustatymo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / krakmolas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									53,209 ± 3,325 ^a		
Bandinys											
K1-0	K2-0	K3-0	K4-0	K5-0	K6-0	K7-0	K8-0	K9-0	K10-0	K11-0	K12-0
49,174 ± 6,873 ^b	49,527 ± 4,460 ^c	54,206 ± 5,301 ^d	55,059 ± 5,218 ^e	53,024 ± 1,729 ^f	54,143 ± 2,943 ^g	52,462 ± 3,430 ^h	55,562 ± 4,297 ⁱ	52,796 ± 3,712 ^j	53,995 ± 3,712 ^k	54,152 ± 4,099 ^l	52,041 ± 2,830 ^m
Bandinys											
-	-	K3-1	K4-1	K5-1	K6-1	K7-1	K8-1	K9-1	K10-1	K11-1	K12-1
-	-	50,294 ± 2,974 ⁿ	53,956 ± 2,308 ^o	53,009 ± 7,382 ^p	47,770 ± 3,545 ^q	51,596 ± 2,322 ^r	52,720 ± 0,432 ^s	53,909 ± 2,882 ^t	55,183 ± 5,278 ^v	54,586 ± 1,955 ^w	55,602 ± 1,748 ^x
Bandinys											
-	-	K3-2	K4-2	K5-2	K6-2	K7-2	K8-2	K9-2	K10-2	K11-2	K12-2
-	-	52,507 ± 4,499 ^y	46,060 ± 1,773 ^z	48,188 ± 1,014 ^{aa}	47,325 ± 7,516 ^{ab}	50,396 ± 2,259 ^{ac}	49,173 ± 1,302 ^{ad}	45,918 ± 5,402 ^{ae}	50,314 ± 0,765 ^{af}	53,036 ± 2,606 ^{ag}	50,981 ± 3,509 ^{ah}
Bandinys											
-	-	K3-5	K4-5	K5-5	K6-5	K7-5	K8-5	K9-5	K10-5	K11-5	K12-5
-	-	45,600 ± 2,401 ^{ai}	47,163 ± 5,811 ^{aj}	48,139 ± 1,700 ^{ak}	48,336 ± 6,088 ^{al}	48,463 ± 3,120 ^{am}	47,199 ± 1,960 ^{an}	50,053 ± 2,790 ^{ao}	51,081 ± 1,958 ^{ap}	50,552 ± 1,863 ^{aq}	52,614 ± 1,485 ^{ar}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai nereikšmingi, nes $p > 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.20 lentelė. Celiuliozės / natrio alginato biokompozitų vilgymo kampo (°) nustatymo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / natrio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									53,209 ± 3,325 ^a		
Bandinys											
N1-0	N2-0	N3-0	N4-0	N5-0	N6-0	N7-0	N8-0	N9-0	N10-0	N11-0	N12-0
56,876 ± 4,263 ^b	60,454 ± 2,709 ^c	61,738 ± 0,767 ^d	60,778 ± 4,790 ^e	58,641 ± 5,202 ^f	55,889 ± 3,370 ^g	55,591 ± 2,093 ^h	57,793 ± 8,905 ⁱ	54,984 ± 6,150 ^j	52,653 ± 5,833 ^k	52,679 ± 4,803 ^l	53,925 ± 3,226 ^m
Bandinys											
-	-	N3-1	N4-1	N5-1	N6-1	N7-1	N8-1	N9-1	N10-1	N11-1	N12-1
-	-	53,546 ± 6,518 ⁿ	57,446 ± 3,983 ^o	55,787 ± 4,482 ^p	51,174 ± 6,078 ^q	54,624 ± 2,065 ^r	57,519 ± 1,854 ^s	61,380 ± 8,590 ^t	55,208 ± 6,872 ^y	56,977 ± 8,579 ^w	52,384 ± 2,217 ^x
Bandinys											
-	-	N3-2	N4-2	N5-2	N6-2	N7-2	N8-2	N9-2	N10-2	N11-2	N12-2
-	-	60,646 ± 1,721 ^v	57,649 ± 3,101 ^z	56,849 ± 6,754 ^a	56,819 ± 7,815 ^b	57,039 ± 6,320 ^c	52,839 ± 8,216 ^d	56,825 ± 6,065 ^e	45,584 ± 8,118 ^f	50,058 ± 8,972 ^g	55,340 ± 0,389 ^h
Bandinys											
-	-	N3-5	N4-5	N5-5	N6-5	N7-5	N8-5	N9-5	N10-5	N11-5	N12-5
-	-	48,600 ± 8,293 ⁱ	54,492 ± 3,526 ^j	49,015 ± 2,077 ^k	48,600 ± 7,485 ^l	51,281 ± 2,374 ^m	46,138 ± 1,927 ⁿ	51,109 ± 3,495 ^o	51,256 ± 1,657 ^p	48,185 ± 7,679 ^q	48,574 ± 0,690 ^r

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai nereikšmingi, nes $p > 0,05$.

***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

3.21 lentelė. Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų vilgymo kampo (°) nustatymo rezultatai

Biokompozitai: celiuliozė / kalcio alginatas											
Bandinys											
Kontrolė (C0)									53,209 ± 3,325 ^a		
Bandinys											
C1-0	C2-0	C3-0	C4-0	C5-0	C6-0	C7-0	C8-0	C9-0	C10-0	C11-0	C12-0
55,167 ± 2,729 ^b	59,371 ± 6,745 ^c	51,648 ± 6,498 ^d	53,368 ± 6,878 ^e	59,264 ± 4,436 ^f	55,796 ± 2,438 ^g	63,741 ± 4,470 ^h	57,567 ± 8,134 ⁱ	53,869 ± 1,814 ^j	57,118 ± 5,798 ^k	60,553 ± 5,990 ^l	59,814 ± 2,182 ^m
Bandinys											
-	-	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1	C9-1	C10-1	C11-1	C12-1
-	-	64,353 ± 2,726 ^a	66,557 ± 7,692 ^o	59,125 ± 3,588 ^p	57,437 ± 3,648 ^q	59,931 ± 5,450 ^r	55,960 ± 4,105 ^s	55,611 ± 7,410 ^t	53,952 ± 7,981 ^y	46,344 ± 2,023 ^w	41,649 ± 2,774 ^x
Bandinys											
-	-	C3-2	C4-2	C5-2	C6-2	C7-2	C8-2	C9-2	C10-2	C11-2	C12-2
-	-	49,707 ± 7,396 ^v	51,801 ± 4,962 ^z	55,852 ± 1,805 ^{a'}	52,944 ± 4,315 ^{b'}	52,031 ± 8,036 ^{c'}	49,856 ± 5,178 ^{d'}	53,192 ± 0,694 ^{e'}	41,076 ± 7,597 ^{f'}	43,548 ± 7,325 ^{g'}	44,278 ± 3,578 ^{h'}
Bandinys											
-	-	C3-5	C4-5	C5-5	C6-5	C7-5	C8-5	C9-5	C10-5	C11-5	C12-5
-	-	37,117 ± 9,384 ^{i'}	42,574 ± 4,100 ^{j'}	43,957 ± 3,426 ^{k'}	46,523 ± 4,555 ^{l'}	47,600 ± 4,055 ^{m'}	46,024 ± 2,432 ^{n'}	49,296 ± 4,851 ^{o'}	46,098 ± 8,889 ^{p'}	37,665 ± 1,079 ^{q'}	35,595 ± 1,251 ^{r'}

*pateikti trijų pakartojimų vidurkiai ± standartiniai nuokrypiai.

**pateikti rezultatai yra statistiškai nereikšmingi, nes $p > 0,05$.

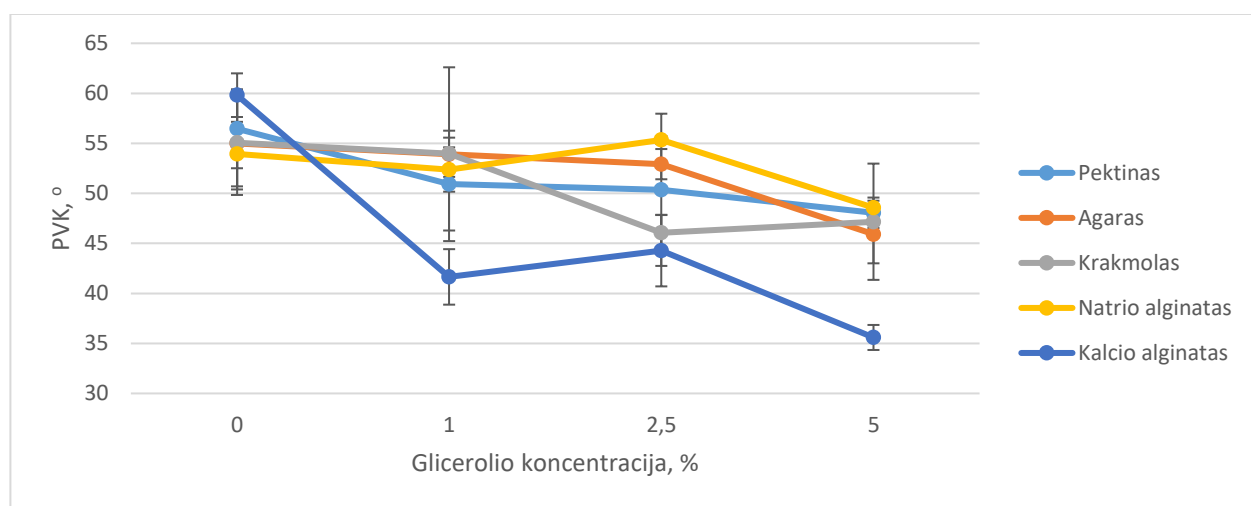
***pasikartojančios raidės rodo, kad rezultatai yra statistiškai skirtingi, kai patikimumo lygmuo yra 95 %.

Biokompozitų sudarančių polisacharidų įtakos VGP rezultatai yra pateikti 3.4 paveiksle. Įtakos įvertinimui buvo pasirinkta viena polisacharido koncentracija, t. y., 5 %.

Įvertinus gautus rezultatus buvo nustatyta, kad didžiausias PVK buvo užfiksuotas celiuliozės / kalcio alginato biokompozite. Tuo metu kiti biokompozitai pasižymėjo šiek tiek mažesniu PVK (žr. 3.4 paveikslas). Tai rodo, jog celiuliozės / kalcio alginato biokompozito paviršius yra mažiau vilgomas, t. y. mažiau hidrofiliškas, lyginant su kitais bandiniais.

Vertinant plastifikuotų biokompozitų rezultatus, buvo nustatyta, kad mažiausiu PVK pasižymėjo celiuliozės / kalcio alginato biokompozitas. Kiti biokompozitai pasižymėjo šiek tiek didesniu PVK (žr. 3.4 paveikslas).

Šie rezultatai rodo, kad glicerolio buvimas biokompozite didžiausią įtaką padarė būtent celiuliozės / kalcio alginato biokompozitams. Šių biokompozitų PVK labiausiai keitėsi, kintant plastifikatoriaus koncentracijai (žr. 3.4 paveikslas).



3.4 pav. Biokompozitų PVK priklausomybė nuo plastifikatoriaus ir pasirinkto polisacharido

Išanalizavus gautus rezultatus pastebėta tendencija, kad visais atvejais biokompozitai be plastifikatoriaus pasižymėjo didesniu PVK, lyginant su biokompozitais, pagamintais su plastifikatoriumi (žr. 3.17–3.21 lentelės ir 3.4 paveikslas). Mokslinėje literatūroje yra pateikta straipsnių, kurie pagrindžia gautuosius rezultatus. Teigiama, kad PVK mažėja didėjant paviršiaus hidrofiliškumui, kurį padidina pridėti hidrofiliškieji plastifikatoriai. Be to, būtina paminėti tai, kad didesnis bandinių hidrofiliškumas buvo nustatytas tais atvejais, kai naudotas plastifikatorius pasižymėjo higroskopiškumu [129].

4. Rekomendacijų dalis

Rekomendacijų dalyje yra pateikta aparatūrinė sluoksninio celiuliozės / polisacharido su plastifikatoriumi gamybos schema (žr. 4.1 paveikslas).

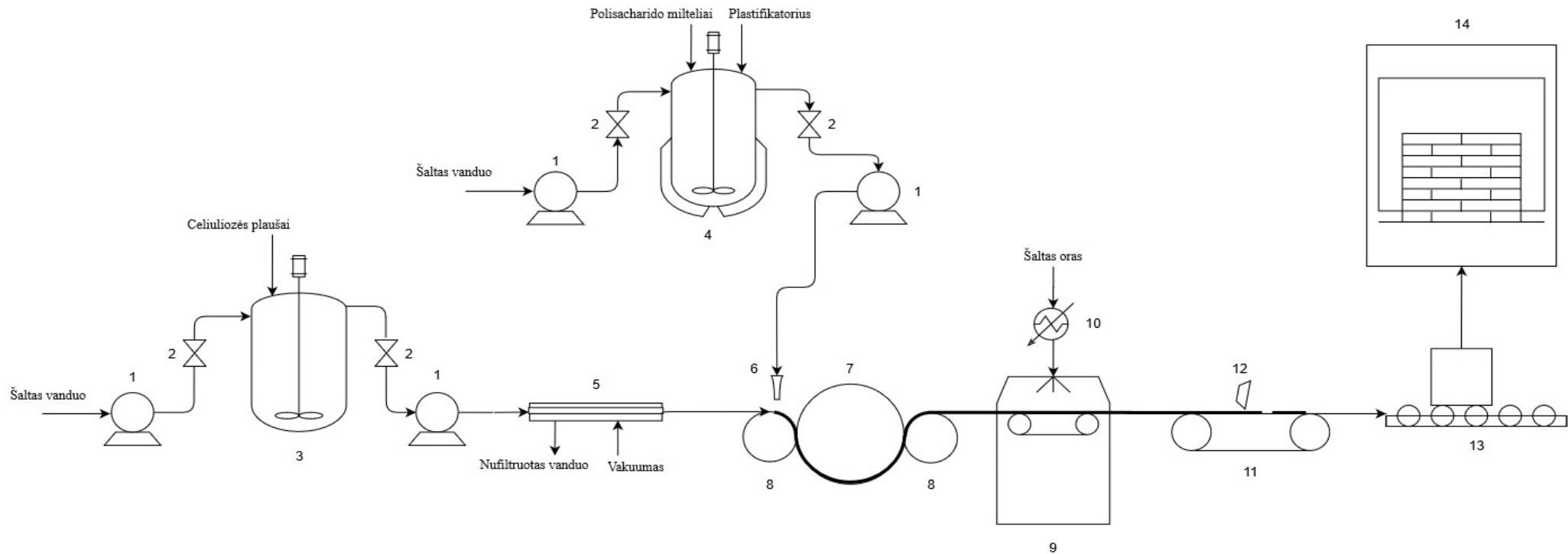
Šaltas vanduo siurbliu (1) pro vožtuvą (2) yra tiekiamas į reaktorių su maišykle (3). Į reaktorių su maišykle (3) yra pridedama celiuliozės plaušų. Reaktoriaus (3) turinys yra maišomas, kad celiuliozės plaušai tolygiai pasiskirstytų visame tūryje. Iš reaktoriaus (3) paruošta celiuliozės pulpa siurbliu (1) per vožtuvą (2) yra tiekama į filtravimo aparatą (5). Jame yra nufiltruojama celiuliozės pulpa ir suformuojamas celiuliozės lakštas.

Šaltas vanduo siurbliu (1) pro vožtuvą (2) yra tiekiamas į reaktorių su šildančiu apvaskalu (4). Į tą patį reaktorių yra pridedama polisacharido miltelių ir plastifikatoriaus. Reaktoriaus (4) turinys yra šildomas ir maišomas tol, kol susiformuoja homogeninis mišinys. Iš reaktoriaus (4) polisacharido tirpalas yra tiekiamas siurbliu (1) pro vožtuvą (2) į purkštuką (6).

Suformuotas celiuliozės lakštas patenka tarp volo (7) ir prilaikymo volų (8). Pro purkštuką (6) paruoštas polisacharido tirpalas patenka ant celiuliozės lakšto. Padengtas celiuliozės lakštas juda pro volus (7, 8) ir patenka į džiovinimo įrenginį (9).

Šaltas oras yra tiekiamas į šildytuvą (10), kuriame yra pašildomas. Tuomet karštas oras yra tiekiamas į džiovinimo įrenginį (9), kuriame yra

Išdžiovintas biokompozitas patenka ant konvejerio (11), kuriam judant peilis (12) supjausto biokompozitą į reikiamo dydžio dalis. Tuomet biokompozito dalys yra tiekiamos į pakavimo aparatą (13), kuriame yra supakuojama. Supakuoti produktai patenka į sandėlį (14).



Eil. Nr.	Pavadinimas
1	Siurblys
2	Vožtuvas
3	Reaktorius su maišykle
4	Reaktorius su šildančiu apvalkalu ir maišykle
5	Filtravimo aparatas
6	Purkštukas
7	Volas
8	Prilaikymo volai
9	Džiovinimo karšto oro srautu įrenginys
10	Šildytuvas
11	Konvejeris
12	Peilis
13	Pakavimo aparatas
14	Sandėlis

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
TMB-8	Studentė	Monika Strykaitė	Maisto produktams skirtų biopakuočių kūrimas ir savybių tyrimai	
	Vadovas	Doc. dr. Jonas Damašius		
	Recenzentas	Prof. habil. dr. Gražina Juodeikienė	Celiuliozės / polisacharido biokompozito gamybos aparatūrinė schema	
	Maisto mokslo ir technologijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas		2020	Lapas 1
				Lapų 1

4.1 pav. Celiuliozės / polisacharido biokompozito gamybos aparatūrinė schema

Išvados

1. Apžvelgus tradicines ir alternatyvias pakuotes, įvertintos naujų maisto pakuočių kūrimo galimybės. Pasiūlyta kurti maisto pakuotes iš biokompozitų, t. y. iš celiuliozės pluošto ir polisacharidų.
2. Sukurti skirtingi biokompozitai, skirti pakuotėms, iš celiuliozės pluošto ir polisacharido (pektino, agaro, krakmolo, natrio alginato) bei priedų (glicerolio, kalcio chlorido).
3. Įvertinus gautų celiuliozės biokompozitų paviršiaus morfologiją, nustatyta, kad dengimo metu suformuotos vientisos polisacharidų dangos. Pastebėta, kad plastifikatoriaus pridėjimas padidina biokompozitų paviršiaus blizgumą. Taip pat nustatyta, kad didinant polisacharidų koncentraciją pektino ir agaro biokompozitų atveju dangose susiformuoja oro burbulai.
4. Nustatyta, kad drėgmės kiekis biokompozituose didėja didėjant plastifikatoriaus koncentracijai juose. Didžiausias drėgmės kiekis nustatytas celiuliozės / agaro biokompozite su 5 % plastifikatoriaus ($38,740 \pm 3,979$ %). Mažiausias drėgmės kiekis užfiksuotas celiuliozės / agaro biokompozite be plastifikatoriaus ($4,371 \pm 0,555$ %).
5. Įvertintos celiuliozės / polisacharidų biokompozitų savybės:
 - Nustatyta, kad didėjant glicerolio kiekiui biokompozite, didėja jo tirpumas. Didžiausiu tirpumu pasižymėjo celiuliozės / pektino biokompozitai su 5 % plastifikatoriaus ($73,757 \pm 1,914$ %, $74,851 \pm 5,085$ % ir $72,722 \pm 4,216$ %). Mažiausias tirpumas nustatytas celiuliozės / agaro biokompozitas be plastifikatoriaus ($2,024 \pm 0,876$ %).
 - Nustatyta, kad VGP mažėja didinant agaro ir alginatų koncentracijas bei mažinant plastifikatoriaus kiekį biokompozite. Celiuliozės / pektino ir celiuliozės / krakmolo biokompozitų atveju nustatyta atvirkštinė priklausomybė. Tai nulėmė šių polisacharidų specifinės struktūros savybės. Mažiausiu VGP pasižymėjo celiuliozės / agaro ir celiuliozės / krakmolo biokompozitai be plastifikatoriaus (atitinkamai $5,551 \pm 0,511$ ir $5,767 \pm 0,350$ g·mm·kPa⁻¹·h⁻¹·m⁻²). Didžiausias VGP užfiksuotas celiuliozės / krakmolo biokompozitai su 5 % plastifikatoriaus ($22,053 \pm 1,411$ g·mm·kPa⁻¹·h⁻¹·m⁻²).
 - Nustatyta, kad didėjant plastifikatoriaus koncentracijai vilgymo kampas mažėja. Didžiausiu PVK pasižymėjo celiuliozės / kalcio alginato biokompozitai be plastifikatoriaus ($63,741 \pm 4,470$ °). Mažiausias PVK užfiksuotas celiuliozės / agaro su 5 % plastifikatoriaus ($43,553 \pm 7,893$ °).
6. Pateikta celiuliozės / polisacharido biokompozito gamybos aparatūrinė schema. Trumpai aprašyti technologiniai procesai ir jų eiliškumas.

Literatūros sąrašas

1. SHANKAR, S. ir RHIM, J.W. Bionanocomposite Films for Food Packaging Applications. In: Smithers, G., et al., eds. *Reference Module in Food Science* [interaktyvus]. Elsevier, 2018, pp. 1–10 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 9780081005965. Prieiga per doi: [10.1016/B978-0-08-100596-5.21875-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21875-1).
2. WHITE, A. ir LOCKYER, S. Removing plastic packaging from fresh produce – what’s the impact? *Nutrition Bulletin* [interaktyvus]. 2020, 45, 35–50 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/nbu.12420](https://doi.org/10.1111/nbu.12420).
3. ATTARAN, S.A., HASSAN A. ir WAHIT, M.U. Materials for food packaging applications based on bio-based polymer nanocomposites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* [interaktyvus]. 2017, 30 (2), 143–173 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1177/0892705715588801](https://doi.org/10.1177/0892705715588801).
4. SÁNCHEZ-SAFONT, E.L ir kiti. Biocomposites of different lignocellulosic wastes for sustainable food packaging applications. *Composites Part B Engineering* [interaktyvus]. 2018, 145, 215–225 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.compositesb.2018.03.037](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.03.037).
5. BEALER, E.J. ir kiti. Protein–Polysaccharide Composite Materials: Fabrication and Applications. *Polymers* [interaktyvus]. 2020, 12 (464), 1–28 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.3390/polym12020464](https://doi.org/10.3390/polym12020464).
6. RHIM, J. W., PARK, H. M ir HA, C. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science* [interaktyvus]. 2013, 38, 1629–1652 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008](https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008).
7. KESKIN, G. ir kiti. Potential of polyhydroxyalkanoate (PHA) polymers family as substitutes of petroleum based polymers for packaging applications and solutions brought by their composites to form barrier materials. *Pure and Applied Chemistry* [interaktyvus]. 2017, 89 (12), 1841–1848 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1515/pac-2017-0401](https://doi.org/10.1515/pac-2017-0401).
8. IMRAN, M. ir kiti. Active Food Packaging Evolution: Transformation from Micro- to Nanotechnology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [interaktyvus]. 2010, 50 (9), 799–821 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1080/10408398.2010.503694](https://doi.org/10.1080/10408398.2010.503694).
9. THAHIR, R. ir kiti. Production of liquid fuel from plastic waste using integrated pyrolysis method with refinery distillation bubble cap plate column. *Energy Reports* [interaktyvus]. 2019, 5, 70–77 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.egyr.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.11.004).
10. YULIANSYAH, A.T. ir kiti. Pyrolysis of Plastic Waste to Produce Pyrolytic Oil as an Alternative Fuel. *Chemical Engineering* [interaktyvus]. 2015, 6 (7), 1076–1083 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.14716/ijtech.v6i7.1241](https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i7.1241).
11. SA, L.C. ir kiti. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the Total Environment* [interaktyvus]. 2018, 645, 1029–1039 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.207](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207).
12. JAMBECK, J. ir kiti. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* [interaktyvus]. 2015, 347 (6223), 768–771 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1126/science.1260352](https://doi.org/10.1126/science.1260352).
13. LIPTOW, C. ir TILLMAN, A.M. A Comparative Life Cycle Assessment Study of Polyethylene Based on Sugarcane and Crude Oil. *Journal of Industrial Ecology* [interaktyvus]. 2012, 16 (3), 420–435 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/j.1530-9290.2011.00405.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00405.x).

14. YADAV, A. ir kiti. Biopolymers as packaging material in food and allied industry. *Interantional Journal of Chemical Studies*. 2018, 6 (2), 2411–2418. ISSN 2321–4902.
15. RIBEIRO, A. M., VEIGA, F. ir FIGUEIRAS, A. Biodegradable polymeric nanostructures: design and advances in oral drug delivery for neurodegenerative disorders. In: Ecaterina ANDRONESCU ir Alexandru M. GRUMEZESCU, eds. *Nanostructures for oral medicine* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2017, pp. 61–86 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-0-323-47720-8. Prieiga per doi: [10.1016/B978-0-323-47720-8.00003-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-47720-8.00003-1).
16. GRUJIC, R., VUJADINOVIĆ, D. ir SAVANOVIĆ, D. Biopolymers as Food Packaging Materials. In: E. Pellicer, et al., eds. *Advances in Applications of Industrial Biomaterials* [interaktyvus]. Springer International Publishing, 2017, pp 139–160 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-3-319-627766-3. Prieiga per doi: [10.1007/978-3-319-62767-0_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62767-0_8).
17. SHARMA, S. K. ir MUDHOO, A., eds. *A Handbook of Applied Biopolymer Technology: Synthesis, Degradation and Applications*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry (RSC), 2011. ISBN 978-1-8497-3151-5.
18. BABU, R. P., O'CONNOR, K. ir SEERAM, R. Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials* [interaktyvus]. 2013, 2, 8, 1–16 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1186/2194-0517-2-8](https://doi.org/10.1186/2194-0517-2-8).
19. KAUSHIK, K., SHARMA, R.B. ir AGARWAL, S. Natural Polymers and their Applications. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. 2016, 37 (2), 30–36. ISSN 0976 – 044X.
20. HEYDARI, A., ALEMZADEH, I. ir VOSSOUGH, M. Functional properties of biodegradable corn starch nanocomposites for food packaging applications. *Materials & Design* [interaktyvus]. 2013, 50, 954–961 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.matdes.2013.03.084](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.084).
21. NAFCHI, A.M. ir kiti. Preparation and characterization of bionanocomposite films filled with nanorod-rich zinc oxide. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2013, 96 (1), 233–239 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2013.03.055](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.055).
22. PAN, H. ir kiti. Preparation and characterization of corn starch-nanodiamond composite films. *Applied Mechanics and Materials* [interaktyvus]. 2014, 469, 156–161 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.4028/www.scientific.net/AMM.469.156](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.469.156).
23. HASSAN, B. ir kiti. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* [interaktyvus]. 2018, 109, 1095–1107 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097).
24. BRUNA, J.E. ir kiti. A novel polymer based on Mtcu2p/cellulose acetate with antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2014, 102, 317–323 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2013.11.038](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.038).
25. GEORGE, J. ir kiti. Hybrid HPMC nanocomposites containing bacterial cellulose nanocrystals and silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2014, 105 (25), 285–292 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2014.01.057](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.057).
26. MONDAL, D. ir kiti. Effect of clay concentration on morphology and properties of hydroxypropylmethylcellulose films. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2013, 96 (1), 57–63 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2013.03.064](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.064).
27. OUN, A.A. ir RHIM, J.W. Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/cotton linter cellulose nanofibril composite films. *Carbohydrate Polymers*

- [interaktyvus]. 2015, 127 (20), 101–109 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2015.03.073](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.073).
28. PEREDA, M. ir kiti. Polyelectrolyte films based on chitosan/olive oil and reinforced with cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2014, 101, 1018–1026 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2013.10.046](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.046).
29. SHANKAR, S. ir RHIM, J.W. Tocopherol-mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial PBAT/silver nanoparticles composite films. *LWT-Food Science Technology* [interaktyvus]. 2016, 72, 149–156 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.lwt.2016.04.054](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.054).
30. SHANKAR, S., WANG, L.F. ir RHIM, J.W. Preparations and characterization of alginate/silver composite films: effect of types of silver particles. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2016, 146 (1), 208–216 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2016.03.026](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.026).
31. WANG, L.F., SHANKAR, S. ir RHIM, J.W. Properties of alginate-based films reinforced with cellulose fibers and cellulose nanowhiskers isolated from mulberry pulp. *Food Hydrocolloids* [interaktyvus]. 2017, 63, 201–208 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodhyd.2016.08.041](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.041).
32. DEBEAUFORT, F. ir VOILLEY, A. Lipid-Based Edible Films and Coatings. Edible Films and Coatings for Food Applications. In: Huber K., Embuscado M., eds. *Edible Films and Coatings for Food Applications* [interaktyvus]. New York: Springer, 2009, pp. 135–168 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-0-387-92823-4. Prieiga per doi: [10.1007/978-0-387-92824-1_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_5).
33. VALENCIA-CHAMORRO, S. A. ir kiti. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on penicillium decay development and postharvest quality of cold-stored 'Ortanique' mandarins. *Journal of Food Science* [interaktyvus]. 2010, 75 (8), 418–426 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/j.1750-3841.2010.01801.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01801.x).
34. KANMANI, P. ir RHIM, J.W. Physical, mechanical and antimicrobial properties of gelatin-based active nanocomposite films containing AgNPs and nanoclay. *Food Hydrocolloids* [interaktyvus]. 2014, 35, 644–652 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodhyd.2013.08.011](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.011).
35. RAFIEIAN, F. ir kiti. Thermomechanical and morphological properties of nanocomposite films from wheat gluten matrix and cellulose nanofibrils. *Journal of Food Science* [interaktyvus]. 2014, 79 (1), 100–107 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/1750-3841.12231](https://doi.org/10.1111/1750-3841.12231).
36. LETIAN, W. ir kiti. Green composites of poly(lactic acid) and sugarcane bagasse residues from bio-refinery processes. *Journal of Polymers and the Environment* [interaktyvus]. 2013, 21 (3), 780–788 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1007/s10924-013-0601-3](https://doi.org/10.1007/s10924-013-0601-3).
37. CASTRO-AGUIRRE, E. ir kiti. Poly (lactic acid) – mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Advanced Drug Delivery Reviews* [interaktyvus]. 2016, 107 (15), 333–366 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.addr.2016.03.010](https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010).
38. KUREK, M., GALUS, S. ir DEBEAUFORT, F. Surface, mechanical and barrier properties of bio-based composite films based on chitosan and whey protein. *Food Packaging and Shelf Life* [interaktyvus]. 2014, 1 (1), 56–67 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.fpsl.2014.01.001](https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.01.001).
39. GALUS, S. ir kiti. Effect of oxidized potato starch on the physicochemical properties of soy protein isolate-based edible films. *Food Technology and Biotechnology*. 2013, 51 (3), 403–409. ISSN 13309862.

40. HUBER, T. ir kt. A critical review of all-cellulose composites. *Journal of Materials Science*, 2012, 47, 1171–1186. ISSN 15734803.
41. CLYNE, B. ir HULL, D. An introduction to composite materials, second edition. University of Cambridge, 1996. ISBN 0521 38855.
42. FALGUERA, V. ir kiti. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology* [interaktyvus]. 2011, 22 (6), 292–303 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.tifs.2011.02.004](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004).
43. JOSHI, S.V. ir kiti. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. 2004, 35 (3), 371–376 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.compositesa.2003.09.016](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016).
44. MU, C. ir kiti. Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids* [interaktyvus]. 2012, 27 (1), 22–29 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodhyd.2011.09.005](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.09.005).
45. TABARI, M. Investigation of Carboxymethyl Cellulose (CMC) on Mechanical Properties of Cold Water Fish Gelatin Biodegradable Edible Films. *Foods* [interaktyvus]. 2017, 6 (6), 41 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.3390/foods6060041](https://doi.org/10.3390/foods6060041).
46. IMRAN, M. ir kiti. Cellulose derivative based active coatings: Effects of nisin and plasticizer on physico-chemical and antimicrobial properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2010, 81 (2), 219–225 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2010.02.021](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.021).
47. DING, C., ZHANG, M. ir LI, G. Preparation and characterization of collagen/hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) blend film. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2015, 119 (30), 194–201 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2014.11.057](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.057).
48. LOPEZ-SANCHEZ, P. ir kiti. Diffusion of macromolecules in self-assembled cellulose/hemicellulose hydrogels. *Soft Matter* [interaktyvus]. 2015, 11 (20), 4002–4010 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1039/c5sm00103j](https://doi.org/10.1039/c5sm00103j).
49. BÁTORI, V. ir kiti. Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling. *International Journal of Polymer Science* [interaktyvus]. 2017, 2017 (3), 1–9 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1155/2017/9732329](https://doi.org/10.1155/2017/9732329).
50. MA, X., CHANG, P.R. ir YU, J. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2008, 72 (3), 369–375 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2007.09.002](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.002).
51. LU, Y., WENG, L. ir CAO, X. Biocomposites of plasticized starch reinforced with cellulose crystallites from cottonseed linter. *Macromolecular Bioscience* [interaktyvus]. 2005, 5 (11), 1101–1107 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1002/mabi.200500094](https://doi.org/10.1002/mabi.200500094).
52. DUFRESNE, A., DUPEYRE, D. ir VIGNON, M.R. Cellulose microfibrils from potato tuber cells: Processing and characterization of starch-cellulose microfibril composites. *Journal of Applied Polymer Science* [interaktyvus]. 2000, 76 (14), 2080–2092 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000628\)76:14<2080::AID-APP12>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000628)76:14<2080::AID-APP12>3.0.CO;2-U).
53. SIRVIO, J.A. ir kiti. Biocomposite cellulose-alginate films: Promising packaging materials. *Food Chemistry* [interaktyvus]. 2014, 151, 343–351 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodchem.2013.11.037](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.037).

54. VALDES, A. ir kiti. Natural additives and agricultural wastes in biopolymer formulations for food packaging. *Frontiers in Chemistry* [interaktyvus]. 2014, 2 (6), 1–10 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.3389/fchem.2014.00006](https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00006).
55. BERTHET, M.A. ir kiti. Exploring the potentialities of using lignocellulosic fibres derived from three food by-products as constituents of biocomposites for food packaging. *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. 2015, 69, 110–122 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.indcrop.2015.01.028](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.028).
56. JIMÉNEZ, A. ir RUSECKAITE, R.A. Nano-Biocomposites for Food Packaging. In: L. AVÉROUS ir E. POLLET, eds. *Environmental Silicate Nano-Biocomposites* [interaktyvus]. London: Springer-Verlag, 2012, pp. 393–408 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-1-4471-4101-3. Prieiga per doi: [10.1007/978-1-4471-4108-2_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2_15).
57. RHIM, J.W. ir KIM, Y.T. Biopolymer-Based Composite Packaging Materials with Nanoparticles. In: HAN, J.H., eds. *Innovations in Food Packaging* [interaktyvus]. London: Elsevier, 2014, pp. 413–442 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-0-12-394601-0. Prieiga per doi: [10.1016/B978-0-12-394601-0.00017-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00017-5).
58. KUMAR, S. ir kiti. Bionanocomposite films of agar incorporated with ZnO nanoparticles as an active packaging material for shelf life extension of green grape. *Heliyon* [interaktyvus]. 2019, 5 (6), e01867 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.heliyon.2019.e01867](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01867).
59. RHIM, J.W., LEE, J.H. ir HONG, S.I. Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. *LWT - Food Science and Technology* [interaktyvus]. 2006, 39 (7), 806–813 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.lwt.2005.05.008](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.05.008).
60. KHWALDIA, K, ARAB-TEHRANY, E. ir DESOBRY, S. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [interaktyvus]. 2010, 9 (1), 82–91 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/j.1541-4337.2009.00095.x](https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00095.x).
61. THARANATHAN, R.N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology* [interaktyvus]. 2003, 14, 71–78 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7).
62. CYRAS, V.P., SOLEDAD, C.M. ir ANALIA, V. Biocomposites based on renewable resource: Acetylated and non acetylated cellulose cardboard coated with polyhydroxybutyrate. *Polymer* [interaktyvus]. 2009, 50, 6274–6280 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.polymer.2009.10.065](https://doi.org/10.1016/j.polymer.2009.10.065).
63. SEOANE, I.T., MANFREDI, L.B. ir CYRAS, V.P. Properties and processing relationship of polyhydroxybutyrate and cellulose biocomposites. *Procedia Materials Science* [interaktyvus]. 2015, 8, 807–813 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.mspro.2015.04.139](https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.139).
64. KO, H., SFEIR, C. ir KUMTA, P. N. Novel synthesis strategies for natural polymer and composite biomaterials as potential scaffolds for tissue engineering. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* [interaktyvus]. 2010, 368 (1917), 1981–1997 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1098/rsta.2010.0009](https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0009).
65. HEINZE, T. Cellulose: Structure and Properties. In: ROJAS, O.J., eds. *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials* [interaktyvus]. Cham (ZG): Springer, 2016, pp. 1–52. ISBN 978-3-319-26013-6. Prieiga per doi: [10.1007/978-3-319-26015-0](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26015-0).

66. GEORGE J. ir SABAPATHI, S.N. ir HATNA, S. Water Soluble Polymer-Based Nanocomposites Containing Cellulose Nanocrystals. In: THAKUR, V.K. ir THAKUR, M.K., eds. *Eco-friendly Polymer Nanocomposites* [interaktyvus]. Cham (ZG): Springer, 2015, pp. 259–293. ISBN 978-81-322-2469-3. Prieiga per doi: [10.1007/978-81-322-2470-9](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2470-9).
67. GEORGE, J. ir SABAPATHI, S.N. Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications. *Nanotechnology, Science and Applications* [interaktyvus]. 2015, 8, 45–54 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.2147/NSA.S64386](https://doi.org/10.2147/NSA.S64386).
68. MIHRANYAN, A. Cellulose from cladophorales green algae: from environmental problem to high-tech composite materials. *Journal of Applied Polymer Science* [interaktyvus]. 2011, 119 (4), 2449–2460 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1002/app.32959](https://doi.org/10.1002/app.32959).
69. ZHAO, Y. ir LI, J. Excellent chemical and material cellulose from tunicates: diversity in cellulose production yield and chemical and morphological structures from different tunicate species. *Cellulose* [interaktyvus]. 2014, 21, 3427–3441 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1007/s10570-014-0348-6](https://doi.org/10.1007/s10570-014-0348-6).
70. TORRES, I. F. ir kiti. The role of lignin and cellulose in the carbon-cycling of degraded soils under semiarid climate and their relation to microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* [interaktyvus]. 2014, 75, 152–160 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.soilbio.2014.04.007](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.007).
71. GOUGOULIAS, C., CLARK, J. M. ir SHAW, L. J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of The Science of Food and Agriculture* [interaktyvus]. 2014, 94 (12), 2362–2371 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1002/jsfa.6577](https://doi.org/10.1002/jsfa.6577).
72. MUNARIN, F. ir kiti. Reactive hydroxyapatite fillers for pectin biocomposites. *Materials Science and Engineering: C* [interaktyvus]. 2014, 45 (1), 154–161 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.msec.2014.09.003](https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.09.003).
73. LIN, D. ir kiti. Viscoelastic properties of pectin/cellulose composites studied by QCM-D and oscillatory shear rheology. *Food Hydrocolloids* [interaktyvus]. 2018, 79, 13–19 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodhyd.2017.12.019](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.019).
74. CHEN, J. ir kiti. Pectin Modifications: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [interaktyvus]. 2015, 55 (12), 1684–1698 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1080/10408398.2012.718722](https://doi.org/10.1080/10408398.2012.718722).
75. LOPEZ-SANCHEZ, P. ir kiti. Cellulose-pectin composite hydrogels: Intermolecular interactions and material properties depend on order of assembly. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2017, 162 (15), 71–81 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2017.01.049](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.049).
76. MUNARIN, F. ir kiti. Micro- and nano-hydroxyapatite as active reinforcement for soft biocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules* [interaktyvus]. 2015, 72, 199–209 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.ijbiomac.2014.07.050](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.07.050).
77. DHANAPAL, A. Edible films from Polysaccharides. *Food Science and Quality Management*. 2012, 3, 9–17. ISSN 2224-6088.
78. WANG, S. ir COPELAND, L. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [interaktyvus]. 2015, 55 (8), 1081–1097 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1080/10408398.2012.684551](https://doi.org/10.1080/10408398.2012.684551).

79. MAGALLANES-CRUZ, P.A. ir kiti. Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. *Journal of Food Science* [interaktyvus]. 2017, 82 (9), 2016–2023 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/1750-3841.13809](https://doi.org/10.1111/1750-3841.13809).
80. ALCÁZAR-ALAY, S.C. ir kiti. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology* [interaktyvus]. 2015, 35 (2), 215–236 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1590/1678-457X.6749](https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749).
81. ROBYT, J. F. Starch: Structure, Properties, Chemistry, and Enzymology. In: FRASER-REID, B. O., TATSUTA, K. ir THIEM, J., eds. *Glycoscience* [interaktyvus]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, pp. 1437–1472. ISBN 978-3-540-36154-1. Prieiga per doi: [10.1007/978-3-540-30429-6_35](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6_35).
82. SHEVKANI, K. ir kiti. Wheat starch production, structure, functionality and applications-a review. *International Journal of Food Science & Technology* [interaktyvus]. 2017, 52 (1), 38–58 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/ijfs.13266](https://doi.org/10.1111/ijfs.13266).
83. EL-HEFIAN, E. A. ir kiti. Preparation and Characterization of Chitosan/Agar Blended Films: Part 1. Chemical Structure and Morphology. *E-Journal of Chemistry* [interaktyvus]. 2012, 9 (3), 1431–1439 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1155/2012/781206](https://doi.org/10.1155/2012/781206).
84. NAYAR, V. T. ir kiti. Elastic and viscoelastic characterization of agar. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* [interaktyvus]. 2012, 7, 60–68 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.jmbbm.2011.05.027](https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.05.027).
85. KUMAR, V. ir FOTEDAR, R. Agar extraction process for *Gracilaria cliftonii*. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2009, 78 (4), 813–819 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2009.07.001](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.001).
86. RODRÍGUEZ, M.C. ir kiti. Agar from *Gracilaria gracilis* (Gracilariales, Rhodophyta) of the Patagonic coast of Argentina – Content, structure and physical properties. *Bioresource Technology* [interaktyvus]. 2009, 100 (3), 1435–1441 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.biortech.2008.08.025](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.025).
87. GIOELE, C. ir kiti. *Gracilaria gracilis*, Source of Agar: A Short Review. *Current Organic Chemistry* [interaktyvus]. 2017, 21, 380–386 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.2174/1385272820666161017164605](https://doi.org/10.2174/1385272820666161017164605).
88. SHAHIDI, F. ir RAHMAN, M.J. Bioactives in seaweeds, algae, and fungi and their role in health promotion. *Journal of Food Bioactives* [interaktyvus]. 2018, 2, 58–81 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.31665/JFB.2018.2141](https://doi.org/10.31665/JFB.2018.2141).
89. USOV, A. I. Polysaccharides of the red algae. In: D. HORTON, ed. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry* [interaktyvus]. New York: Academic Press, 2011, pp. 115–217 [žiūrėta 2020-05-30]. ISSN 0065-2318. Prieiga per doi: [10.1016/B978-0-12-385520-6.00004-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385520-6.00004-2).
90. LEE, W.K. ir kiti. Biosynthesis of agar in red seaweeds: A review. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2017, 164, 23–30 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2017.01.078](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.078).
91. MARINHO-SORIANO, E. ir BOURRET, E. Polysaccharides from the red seaweed *Gracilaria dura* (Gracilariales, Rhodophyta). *Bioresource Technology* [interaktyvus]. 2005, 96, 379–382 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.biortech.2004.04.012](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.04.012).
92. ARMISEN, R., GALATAS, F. ir HISPANAGAR, S.A. Agar. In: PHILIPS, G.O., WILLIAMS, P.A., eds. *Handbook of hydrocolloids* [interaktyvus]. Woodhead Publishing, 2009, pp. 82–107 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 9781845694142. Prieiga per doi: [10.1533/9781845695873.82](https://doi.org/10.1533/9781845695873.82).

93. WU, Y. ir kiti. Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2009, 76 (2), 17, 299–304 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2008.10.031](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.031).
94. LI, H. ir kiti. Development of an eco-friendly agar extraction technique from the red seaweed *Gracilaria lemaneiformis*. *Bioresource Technology* [interaktyvus]. 2008, 99, 8, 3301–3305 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.biortech.2007.07.002](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.002).
95. ARAVAMUDHAN, A. ir kiti. Natural Polymers. In: KUMBAR, S.G., LAURENCIN, C.T. ir DENG, M., eds. *Natural and Synthetic Biomedical Polymers* [interaktyvus]. Elsevier Science, 2014, pp. 67–89 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-0-12-396983-5. Prieiga per doi: [10.1016/C2011-0-07330-1](https://doi.org/10.1016/C2011-0-07330-1).
96. FELTRE, G. ir kiti. Production of Thermal-Resistant Cornstarch-Alginate Beads by Dripping Agglomeration. *International Journal of Food Engineering* [interaktyvus]. 2018, 14 (1), 2161–2165 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1515/ijfe-2017-0296](https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0296).
97. ANDERSEN, T. ir kiti. Alginates as biomaterials in tissue engineering. *Carbohydrate Chemistry* [interaktyvus]. 2011, 37, 227–258 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1039/9781849732765-00227](https://doi.org/10.1039/9781849732765-00227).
98. HAY, I.D. ir kiti. Microbial alginate production, modification and its applications. *Microbial Biotechnology* [interaktyvus]. 2013, 6 (6), 637–650 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/1751-7915.12076](https://doi.org/10.1111/1751-7915.12076).
99. HAY, I.D. ir kiti. Bacterial biosynthesis of alginates. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* [interaktyvus]. 2010, 85, 752–759 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1002/jctb.2372](https://doi.org/10.1002/jctb.2372).
100. PAWAR, S.N. ir EDGAR, K.J. Alginate derivatization: a review of chemistry, properties and applications. *Biomaterials* [interaktyvus]. 2012, 33 (11), 3279–3305 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.biomaterials.2012.01.007](https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.01.007).
101. LILING, G. ir kiti. Effects of ionic crosslinking on physical and mechanical properties of alginate mulching films. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2016, 136 (20), 259–265 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2015.09.034](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.034).
102. OLIVAS, G. I. ir BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Alginate–calcium films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizer and relative humidity. *LWT - Food Science and Technology* [interaktyvus]. 2008, 41 (2), 359–366 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.lwt.2007.02.015](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.02.015).
103. LIU, S. ir LI, L. Effect of functionalized graphene oxide on gelation and scaling law of alginate in aqueous solution. *European Polymer Journal* [interaktyvus]. 2017, 95, 462–473 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.eurpolymj.2017.08.035](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.08.035).
104. WANG, J. ir kiti. Ion-linked double-network hydrogel with high toughness and stiffness. *Journal of Materials Science* [interaktyvus]. 2015, 50 (16), 5458–5465 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1007/s10853-015-9091-0](https://doi.org/10.1007/s10853-015-9091-0).
105. LEE, K.Y. ir MOONEY, D.J. Alginate: properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science* [interaktyvus]. 2012, 37 (1), 106–126 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003](https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003).
106. ZHANG, N. ir kiti. Factors affecting water resistance of alginate/gellan blend films on paper cups for hot drinks. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2017, 156, 435–442 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2016.08.101](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.101).

107. DAVIDOVICH-PINHAS, M. ir BIANCO-PELED, H. A quantitative analysis of alginate swelling. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2010, 79 (4), 1020–1027 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2009.10.036](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10.036).
108. SOON, K.S. ir kiti. Physicochemical properties of marine collagen-alginate biomaterial. *AIP Conference Proceedings* [interaktyvus]. 2017, 1901, 100011 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1063/1.5010533](https://doi.org/10.1063/1.5010533).
109. SUI, K. ir kiti. Biocomposite fiber of calcium alginate/multi-walled carbon nanotubes with enhanced adsorption properties for ionic dyes. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. 2012, 90 (1), 399–406 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.carbpol.2012.05.057](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.057).
110. BENAVIDES, S., VILLALOBOS-CARVAJAL, R. ir REYES, J.E. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. *Journal of Food Engineering* [interaktyvus]. 2012, 110 (2), 232–239 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.jfoodeng.2011.05.023](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.023).
111. MOURIÑO, V. ir kiti. Physicochemical, biological and drug-release properties of gallium crosslinked alginate/nanoparticulate bioactive glass composite films. *Soft Matter* [interaktyvus]. 2011, 7 (14), 6705–6712 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1039/C1SM05331K](https://doi.org/10.1039/C1SM05331K).
112. GARCIA, M.A., MARTINO, M.N. ir ZARITZKY, N.E. Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of Food Science* [interaktyvus]. 2000, 65 (6), 941–947 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/j.1365-2621.2000.tb09397.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb09397.x).
113. JIMÉNEZ, A. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology* [interaktyvus]. 2012, 5, 2058–2076 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1007/s11947-012-0835-4](https://doi.org/10.1007/s11947-012-0835-4).
114. RHIM, J.W. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT – Food Science and Technology* [interaktyvus]. 2004, 37 (3), 323–330 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.lwt.2003.09.008](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.09.008).
115. BALLESTEROS, L.F. ir kiti. Production and physicochemical properties of carboxymethyl cellulose films enriched with spent coffee grounds polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules* [interaktyvus]. 2018, 106, 647–655 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.ijbiomac.2017.08.060](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.060).
116. BALANDIS, A. ir kiti. Chemijos inžinerija III knyga: mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2010. ISBN 978-9955-25-805-6.
117. YUAN, Y. ir LEE, R.T. Contact Angle and Wetting Properties. In: BRACCO, G., HOLST, B., eds. *Surface Science Techniques* [interaktyvus]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, pp. 3–34 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-3-642-34242-4. Prieiga per doi: [10.1007/978-3-642-34243-1_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1).
118. VISHTAL, A. ir RETULAINEN, E. Improving the extensibility, wet web and dry strength of paper by addition of agar. *Nordic Pulp & Paper Research Journal* [interaktyvus]. 2014, 29 (3), 434–444 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.3183/npprj-2014-29-03-p434-443](https://doi.org/10.3183/npprj-2014-29-03-p434-443).
119. RASTOGI, V.K. ir PIETER, S. Bio-Based Coatings for Paper Applications. *Coatings* [interaktyvus]. 2015, 5, 887–930 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.3390/coatings5040887](https://doi.org/10.3390/coatings5040887).
120. VARGAS, P.O. ir kiti. Shrinkage and deformation during convective drying of calcium alginate. *LWT - Food Science and Technology* [interaktyvus]. 2018, 97, 213–222 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per DOI: [10.1016/j.lwt.2018.06.056](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.056).

121. ONOTI, C.G. ir kiti. Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [interaktyvus]. 2017, 16, 1151–1169 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/1541-4337.12281](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281).
122. SIEMANN, U. Solvent cast technology – a versatile tool for thin film production. In: STRIBECK N., SMARSLY B., eds. *Scattering Methods and the Properties of Polymer Materials* [interaktyvus]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 1–14 [žiūrėta 2020-05-30]. ISBN 978-3-540-25323-5. Prieiga per doi: [10.1007/b107336](https://doi.org/10.1007/b107336).
123. BERGO, P., MORAES, I.C.F. ir SOBRAL, P.J.A. Effects of plasticizer concentration and type on moisture content in gelatin films. *Food Hydrocolloids* [interaktyvus]. 2013, 32, 412–415 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodhyd.2013.01.015](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.015).
124. LOPES, I.A. ir kiti. Characterization of Pectin Biofilms with the Addition of Babassu Mesocarp and Whey Protein Concentrate. *American Journal of Materials Science* [interaktyvus]. 2017, 7 (3), 64–70 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.5923/j.materials.20170703.04](https://doi.org/10.5923/j.materials.20170703.04).
125. ISOTTON, F.S. ir kiti. The plasticizer effect on preparation and properties of etherified cornstarches films. *Industrial Crops and Products*. 2015, 76, 717–724 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.indcrop.2015.04.005](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.005).
126. MAFTOONAZAD, N., RAMASWAMY, H.S. ir MARCOTTE, M. Evaluation of Factors Affecting Barrier, Mechanical and Optical Properties of Pectin-Based Films Using Response Surface Methodology. *Journal of Food Process Engineering* [interaktyvus]. 2007, 30 (5), 539–563 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/j.1745-4530.2007.00123.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00123.x).
127. SANTACRUZ, S., RIVADENEIRA, C. ir CASTRO, M. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food Hydrocolloids* [interaktyvus]. 2015, 49, 89–94 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1016/j.foodhyd.2015.03.019](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.019).
128. AZEREDO, H.M.C. ir kiti. Tensile and water vapour properties of calcium-crosslinked alginate-cashew tree gum films. *International Journal of Food Science and Technology* [interaktyvus]. 2012, 47, 710–715 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1111/j.1365-2621.2011.02897.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02897.x).
129. SUYATMA, N.E., TIGHZERT, L. ir COPINET, A. Effects of Hydrophilic Plasticizers on Mechanical, Thermal, and Surface Properties of Chitosan Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [interaktyvus]. 2005, 53 (10), 3950–3957 [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per doi: [10.1021/jf048790+](https://doi.org/10.1021/jf048790+).

Priedai

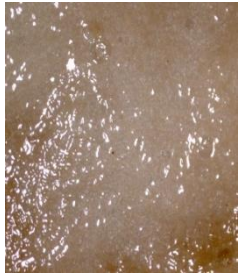








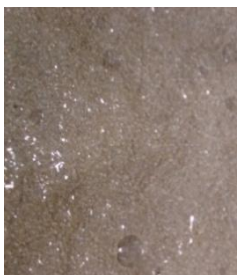


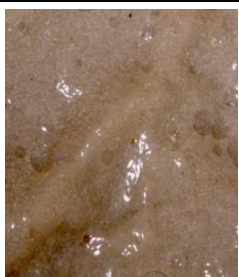



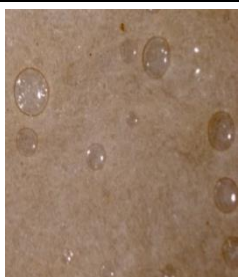



1 priedas. Tiriamųjų objektų sudėtis ir pavadinimų trumpiniai

Celiuliozės biokompozitai:	Kontrolė (nedengta celiuliozė)											
-	C0											
Celiuliozės biokompozitai:	Celiuliozė / pektinas											
Pektino konc., % Plastifikatoriaus konc., %	1,67	3,34	5,00	6,67	8,34	10,00	11,69	13,36	15,00	16,70	18,37	20,00
	Nr.											
0	P1-0	P2-0	P3-0	P4-0	P5-0	P6-0	P7-0	P8-0	P9-0	P10-0	P11-0	P12-0
1,0	-	-	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1	P9-1	P10-1	P11-1	P12-1
2,5	-	-	P3-2	P4-2	P5-2	P6-2	P7-2	P8-2	P9-2	P10-2	P11-2	P12-2
5,0	-	-	P3-5	P4-5	P5-5	P6-5	P7-5	P8-5	P9-5	P10-5	P11-5	P12-5
Celiuliozės biokompozitai:	Celiuliozė / agaras											
Agaro konc., % Plastifikatoriaus konc., %	0,83	1,67	2,50	3,33	4,17	5,00	5,83	6,67	7,50	8,30	9,17	10,00
	Nr.											
0	A1-0	A2-0	A3-0	A4-0	A5-0	A6-0	A7-0	A8-0	A9-0	A10-0	A11-0	A12-0
1,0	-	-	A3-1	A4-1	A5-1	A6-1	A7-1	A8-1	A9-1	A10-1	A11-1	A12-1
2,5	-	-	A3-2	A4-2	A5-2	A6-2	A7-2	A8-2	A9-2	A10-2	A11-2	A12-2
5,0	-	-	A3-5	A4-5	A5-5	A6-5	A7-5	A8-5	A9-5	A10-5	A11-5	A12-5
Celiuliozės biokompozitai:	Celiuliozė / krakmolas											
Krakmolo konc., % Plastifikatoriaus konc., %	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50	13,75	15,00
	Nr.											
0	K1-0	K2-0	K3-0	K4-0	K5-0	K6-0	K7-0	K8-0	K9-0	K10-0	K11-0	K12-0
1,0	-	-	K3-1	K4-1	K5-1	K6-1	K7-1	K8-1	K9-1	K10-1	K11-1	K12-1
2,5	-	-	K3-2	K4-2	K5-2	K6-2	K7-2	K8-2	K9-2	K10-2	K11-2	K12-2





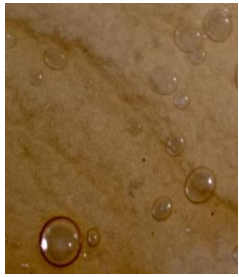
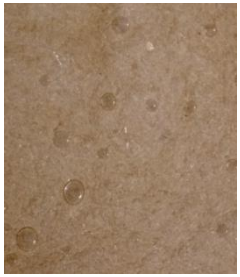






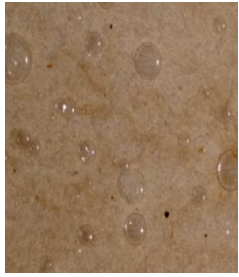
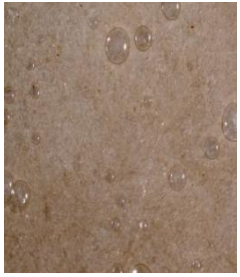
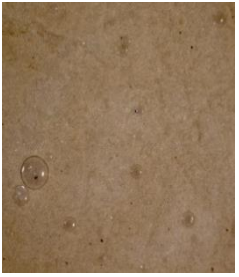

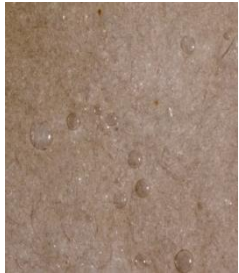
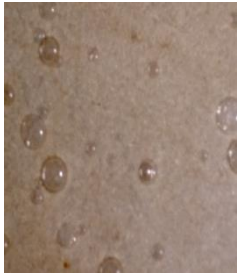
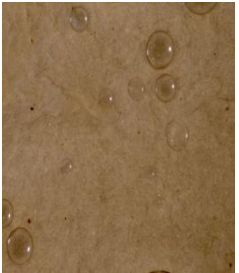

5,0	-	-	K3-5	K4-5	K5-5	K6-5	K7-5	K8-5	K9-5	K10-5	K11-5	K12-5
Celiulozės biokompozitai:	Celiulozė / natrio alginatas											
Natrio alginato konc., % Plastifikatoriaus konc., %	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	4,00	5,00
	Nr.											
0	N1-0	N2-0	N3-0	N4-0	N5-0	N6-0	N7-0	N8-0	N9-0	N10-0	N11-0	N12-0
1,0	-	-	N3-1	N4-1	N5-1	N6-1	N7-1	N8-1	N9-1	N10-1	N11-1	N12-1
2,5	-	-	N3-2	N4-2	N5-2	N6-2	N7-2	N8-2	N9-2	N10-2	N11-2	N12-2
5,0	-	-	N3-5	N4-5	N5-5	N6-5	N7-5	N8-5	N9-5	N10-5	N11-5	N12-5
Celiulozės biokompozitai:	Celiulozė / kalcio alginatas											
Kalcio alginato konc., % Plastifikatoriaus konc., %	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	4,00	5,00
	Nr.											
0	C1-0	C2-0	C3-0	C4-0	C5-0	C6-0	C7-0	C8-0	C9-0	C10-0	C11-0	C12-0
1,0	-	-	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1	C9-1	C10-1	C11-1	C12-1
2,5	-	-	C3-2	C4-2	C5-2	C6-2	C7-2	C8-2	C9-2	C10-2	C11-2	C12-2
5,0	-	-	C3-5	C4-5	C5-5	C6-5	C7-5	C8-5	C9-5	C10-5	C11-5	C12-5

2 priedas. Tiriamųjų biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai








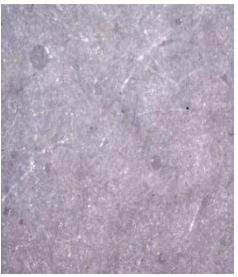







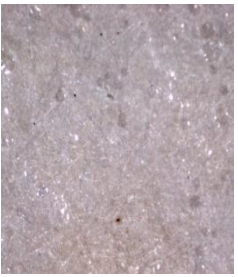




1 lentelė. Celiuliozės / pektino biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai

Plastifikatoriaus konc., % Pektino konc., %	0	1	2,5	5
5,00				
6,67				
8,34				
10,00				
11,69				








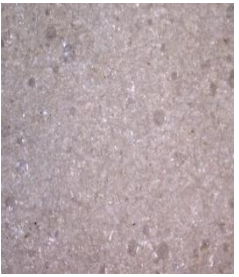
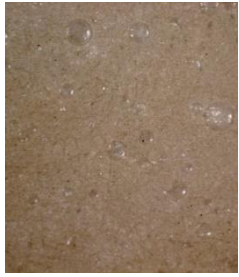











1 lentelės tęsinys

13,36				
15,00				
16,70				
18,36				
20,00				

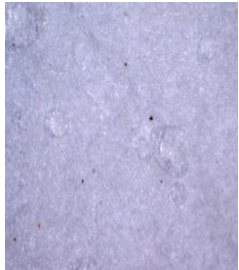

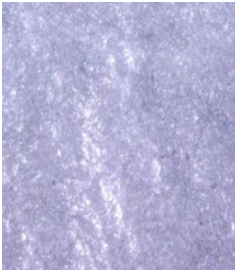
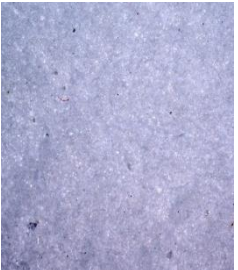


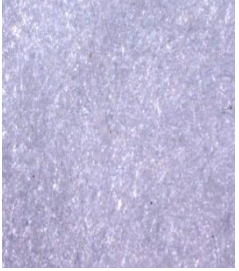
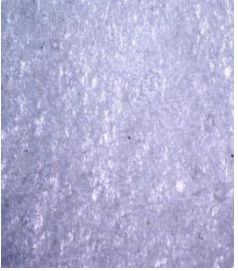

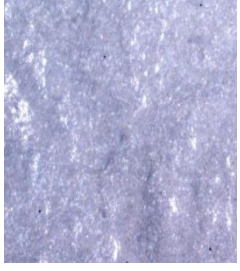
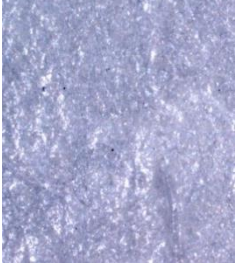


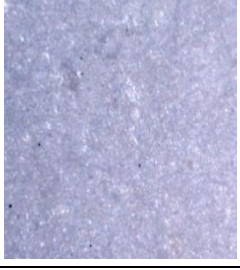
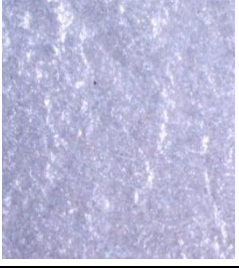
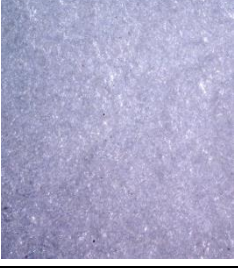
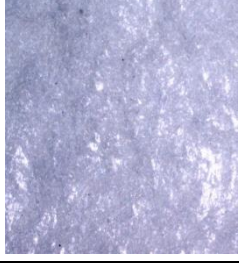
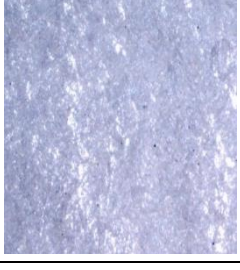


2 lentelė. Celiuliozės / agaro biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai

Plastifikatoriaus konc., % Agaro konc., %	0	1	2,5	5
2,50				
3,33				
4,17				
5,00				
5,83				



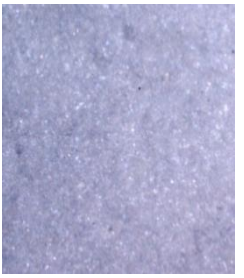
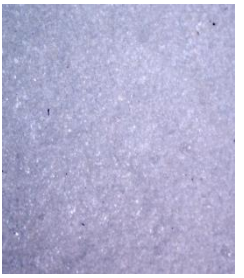





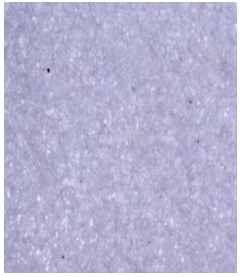
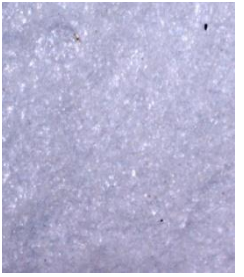



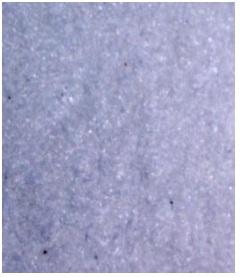

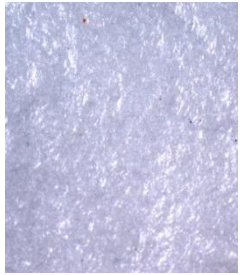

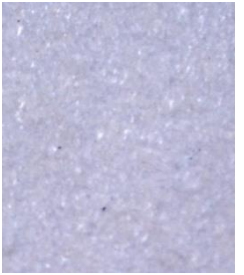
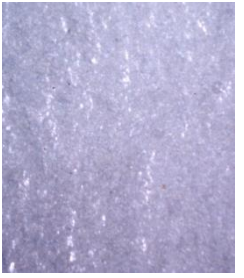
2 lentelės tęsinys

6,67				
7,50				
8,30				
9,17				
10,00				




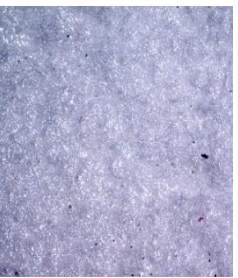




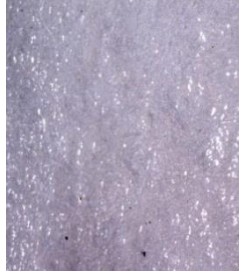


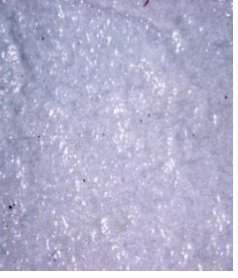








3 lentelė. Celiuliozės / krakmolo biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai

Plastifikatoriaus konc., % / Krakmolo konc., %	0	1	2,5	5
3,75				
5,00				
6,25				
7,50				
8,75				



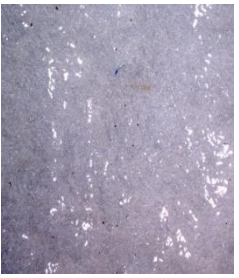





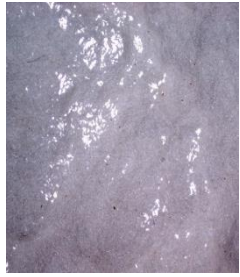

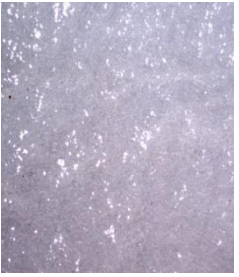









3 lentelės tęsinys

10,00				
11,25				
12,50				
13,75				
15,00				







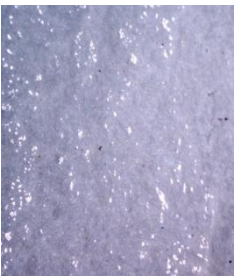


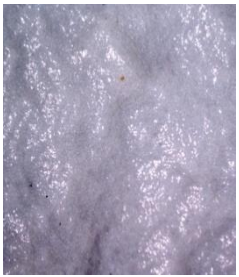
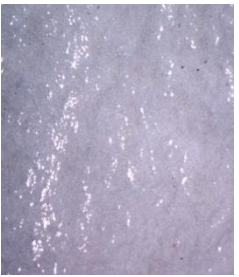
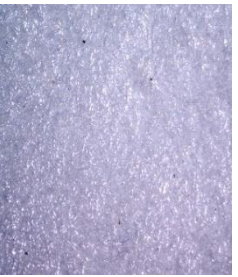


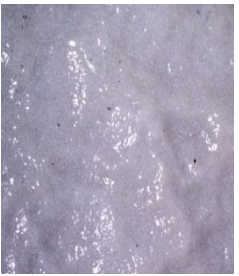
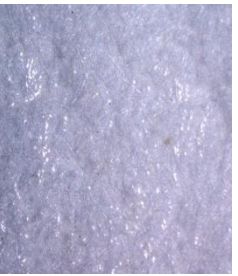



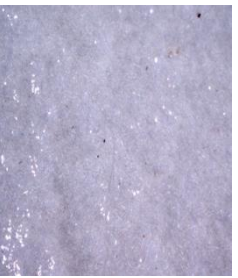
4 lentelė. Celiuliozės / natrio alginato biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai

Plastifikatoriaus konc., % Natrio alginato konc., %	0	1	2,5	5
1,25				
1,50				
1,75				
2,00				
2,25				




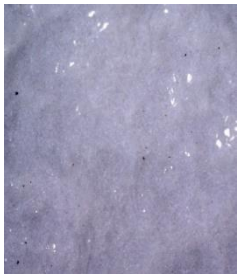











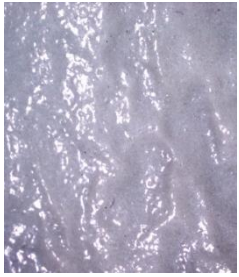
4 lentelės tęsinys

2,50				
2,75				
3,00				
4,00				
5,00				

5 lentelė. Celiuliozės / kalcio alginato biokompozitų optinės mikroskopijos vaizdai

Plastifikatoriaus konc., % Kalcio alginato konc., %	0	1	2,5	5
1,25				
1,50				
1,75				
2,00				
2,25				

5 lentelės tęsinys

2,50				
2,75				
3,00				
4,00				
5,00	