

24. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV OSNOVNIH IN SREDNJIH ŠOL
ZGORNJEGA PODRAVJA TER OSTALIH OBČIN



ALGITEKSTIL

Raziskovalna naloga na področju kemije in kemijске tehnologije



Avtorja naloge:

Nik Berlič, 8.r, OŠ Kungota

Maša Žižek, 8.r, OŠ Kungota

Mentorica: Zdenka Keuc, OŠ Kungota

Marec 2024, Zg. Kungota

Kazalo vsebine

1 UVOD	5
1.1 Namen naloge	8
1.2 Cilji naloge in predstavitev metod dela	9
1.3 Hipoteze	12
2 PREGLED LITERATURE	13
2.1 Narava in sintetična vlakna	13
2.2 Natrijev alginat	14
2.2.1 Ekstrakcija alginata in pridobivanje natrijevega alginata	15
2.2.2 Zgradba alginata	16
2.2.3 Lastnosti alginatov	16
2.2.4 Uporaba alginatov	17
3 PRAKTIČNI DEL	18
3.1 Kemikalije	19
3.2 Lab. pripomočki	19
3.3 Prva serija poskusov	20
3.3.1 Delo	20
3.4 Druga serija poskusov	22
3.5 Tretja serija poskusov	23
3.6 Četrta serija poskusov	24
3.7 Peta serija poskusov	24
4 REZULTATI in RAZPRAVA	25
4.1 Vizualni izgled produktov	25
4.1.1 Prva serija poskusov s sklepi	25
4.1.2 Druga serija poskusov s sklepi	27
4.1.3 Tretja serija poskusov s sklepi	28
4.1.4 Četrta serija poskusov s sklepi	29
4.1.5 Peta serija poskusov s sklepi	31
4.2 Preizkus mehanskih lastnosti	31
4.2.1 Natezna trdnost	31
4.2.2 Test zvijanja (torzijski preizkus)	35
4.2.3 Test upogibanja	37
4.2.4 Šiviljski test	39
4.2.5 Vodoodpornost	41
4.2.6 Test gorljivosti	41
4.3 Hitrost razgradnje biotkanine v slani in sladki vodi ter zemlji	42

5 ZAKLJUČKI.....	44
6 UPORABLJENI VIRI	50

Kazalo slik

Slika 1. Napovedana rast prodaje modne industrije v ZDA v obdobju med leti 2022-2030 (U.S. E-commerce Apparel Market, 2023)	6
Slika 2. Podatki o vplivu tekstila na okolje in svetovni proizvodnji tekstila (Infografika, EU, 2023)	7
Slika 3. Obala karibskega morja preplavljena z rjavimi algami (The Guardian, 2023; Fotografiji: Helene Valenzuela in Victor Ruiz Garcia (Reuters)	8
Slika 4. Razsežnosti prekomerne rasti rjavih alg rodu Sargassum v Atlantskem oceanu ⁴	9
Slika 5. Uporaba hidrogela v medicini (vir slike: https://www.biochempeg.com/article/244.html)	9
Slika 6. Polimerizacija alginata (Ching s sod., 2017)	10
Slika 7. Načrt praktičnega dela	11
Slika 8. Naravna in sintetične tkanine	14
Slika 9. Primeri biopolimerov kot alternativa trenutnim tekstilnim vlaknom	14
Slika 10. Pridobivanje natrijevega alginata (Fernando s sod., 2020)	15
Slika 11. Zgradba polimera (Mohamed s sod., 2020)	16
Slika 12. Geliranje alginata v obliki jajčne škatle	17
Slika 13. (od leve proti desni) Japonski dresnik, dvokrpi ginko, zmleta in posušena listna masa, zmlete in posušene jajčne lupine	19
Slika 14. Kalupi za biotkanino	21
Slika 15. Natančno odmerjanje višine alginatne mešanice (levo) in odstranjevanje odvečne kalcijeve raztopine (desno) v drugi seriji poskusov	23
Slika 16. Priprava obarvane alginatne mešanice pred vlivanjem v kalupe	25
Slika 17. Prva serija produktov z dodatkom živilskih barvil	26
Slika 18. Vizualni izgled biotkanine – 2. serija produktov (obarvani produkti)	27
Slika 19. Primer neobarvanega produkta 2. serije produktov	28
Slika 20. Produkti tretje serije poskusov	29
Slika 21 Četrta serija poskusov – dodatek rastlinskih materialov	30
Slika 22. Dodatek jajčnih lupin alginatni mešanici	30
Slika 23. Produkti pete serije poskusov	31
Slika 24. Meritve s kljunastim merilom (levo prva serija poskusov in desno druga serija poskusov)	31
Slika 25. Preizkus natezne trdnosti	32
Slika 26. Kos traku z dodanim 1 g jajčnih lupin, ki se tudi po obremenitvi ni pretrgal	34
Slika 27. Test zvijanja. Levo – začetni položaj; sredina – pol vrtljaja. desno – cela rotacija	35
Slika 28. Test upogibanja	37
Slika 29. Primer šiviljskega testa za 2. serijo poskusov	40
Slika 30. Krojenje, vdelava netov (sponk), šivanje in izdelava vrečke v peti seriji poskusov	41
Slika 31. Primer vrečke biotkanine, ki zadržuje vodo	41
Slika 32. Alginatna biotkanina ne gori s plamenom	42
Slika 33. Vzorci biotkanin v zemlji, pitni vodi in slani vodi (na začetku poskusa)	43
Slika 34. od leve proti desni) Mikrozelenjava (žito) po 7. dneh, biotkanini z dodatkom rastl. materiala in jajčnih lupin po 7 dneh v zemlji, vzorca biotkanine v pitni vodi in v slani vodi	43

Kazalo preglednic

Preglednica 1. Prva serija poskusov – vpliv koncentracije glicerola na sintezo biotkanine	20
Preglednica 2. Podatki za tretjo serijo poskusov	23
Preglednica 3. Četrta serija poskusov – dodan rastlinski material.....	24
Preglednica 4. Četrta serija poskusov – dodatek jajčnih lupin.....	24
Preglednica 5. Podatki za peto serijo poskusov	25
Preglednica 6. Kvalitativen opis produktov prve serije poskusov	26
Preglednica 7. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin – prva serija poskusov	32
Preglednica 8. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin – druga serija poskusov	33
Preglednica 9. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin – tretja serija poskusov	33
Preglednica 10. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin – četrta serija poskusov (rastl.materiali).....	33
Preglednica 11. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin – četrta serija poskusov (jajčne lupine).....	34
Preglednica 12. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin - peta serija poskusov	34
Preglednica 13. Test zvijanja za prvo serijo poskusov	36
Preglednica 14 .Test zvijanja za drugo serijo poskusov	36
Preglednica 15. Test zvijanja za tretjo serijo poskusov	36
Preglednica 16. Test zvijanja za četrto serijo poskusov (dodan rastlinski material)	36
Preglednica 17. Test zvijanja za četrto serijo poskusov (dodane jajčne lupine)	36
Preglednica 18. Test zvijanja za peto serijo poskusov	37
Preglednica 19. Test upogibanja za prvo serijo poskusov.....	38
Preglednica 20. Test upogibanja za drugo serijo poskusov	38
Preglednica 21. Test upogibanja za tretjo serijo poskusov.....	38
Preglednica 22. Test upogibanja za četrto serijo poskusov (rastlinski material).....	38
Preglednica 23. Test upogibanja za četrto serijo poskusov (jajčne lupine)	38
Preglednica 24. Test upogibanja za peto serijo poskusov.....	39
Preglednica 25. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - prva serija poskusov	39
Preglednica 26. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - druga serija poskusov	39
Preglednica 27. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - tretja serija poskusov	40
Preglednica 28. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - četrta serija poskusov (dodatek rastlinskih materialov).....	40
Preglednica 29. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - četrta serija poskusov (dodatek jajčnih lupin)	40
Preglednica 30. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - četrta serija poskusov	40
Preglednica 31. Rezultati razgradnje biotkanin v slanici.....	43
Preglednica 32. Rezultati razgradnje biotkanin v pitni vodi	43
Preglednica 33. Rezultati razgradnje biotkanin v vrtni zemlji.....	44

Kazalo grafov

Graf 1. Natezne vrednosti biotkanin 1. serije poskusov izražana v Pa	33
Graf 2. Natezna trdnost tkanin v Pa.....	35
Graf 3. Test rotacij za najuspešnejše vzorce vsake serije	37

Kazalo organigramov

Organigram 1. Predstavitev raziskovalne ideje	11
Organigram 2. Potek praktičnega dela	18

Povzetek

V nalogi sva preko serije poskusov razvila alginatno tkanino z dodatkom zmletih jajčnih lupin, ki ima visoko natezno vrednost (primerljivo z bombažem), dobre upogibne in torzijske lastnosti, lastnosti hidrogela, ne gori s plamenom in se v zemlji v enem tednu razgradi do 80%. Poleg te, sva razvila material na osnovi alginata, ki je brez dodatkov in v sedmih dneh skoraj povsem razgradljiva v zemlji. Ugotovila sva, da je optimalno masno razmerje med vodo : alginatom : glicerolom= 200 : 5 : 6., način sušenja s toplim zrakom in način sinteze na dobro vpeti laneni podlagi. Kot sredstvo za zamreženje sva uporabila Ca^{2+} ione. Materialu sva dala ime algitekstil in ima veliko možnosti uporabe v kmetijstvu.

Število besed: 115

Ključne besede: rjave alge, alginat, kanina, jajčne lupine

Abstract

An alginate fabric was developed through a series of experiments, with ground eggshells added, resulting in a material with high tensile strength (comparable to cotton), good bending and torsional properties, hydrogel properties, resistance to flame, and up to 80% degradation in the soil within one week. Additionally, a material based on alginate was developed, which is additive-free and almost entirely biodegradable in the soil within seven days. The optimal mass ratio of water: alginate: glycerol was found to be 200: 5: 6., along with the drying method with warm air and synthesis method on a well-embedded linen substrate. Ca^{2+} ions were used as a crosslinking agent. The material was named “algitekstil” and is considered to have great potential for use in agriculture.

Character count: 122

Keywords: brown algae, alginate, fabric, eggshells

1 UVOD

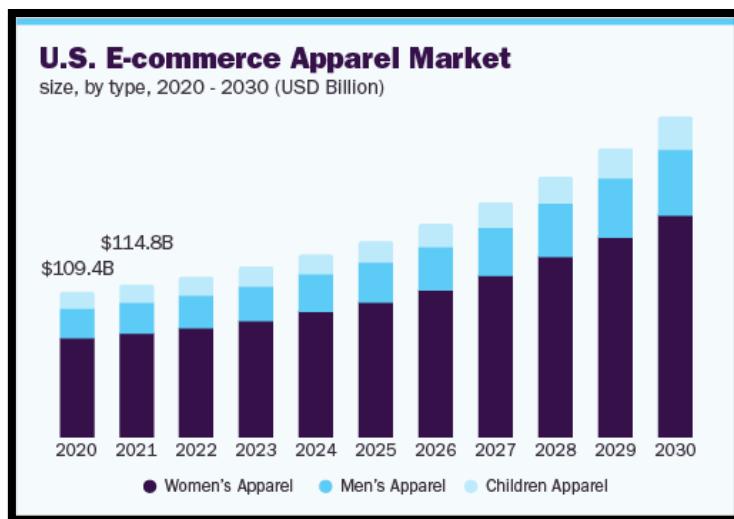
Tekstil je krovni izraz za različne vlaknate materiale. Sprva se je izraz tekstil nanašal samo na tkanino, snov, ki nastane s tkanjem. Tako je opredeljen tudi v slovarju slovenskega knjižnega jezika (2014). Vendar tkanje ni edini način proizvodnje tekstila, zato v sodobnem svetu ime »tekstil« predstavlja vse, od vsakodnevnih oblačil do neprebojnih jopičev, vesoljskih oblek, zaščitnih oblek in gradbenih (tekstilnih) materialov (Kadolph, 1998).

Zgodovina tekstilij sega tisoče let nazaj. Sprva so ljudje so uporabljali materiale, kot so živalske kože in rastlinska vlakna, za izdelavo oblačil, zavetišč in drugih nujnih predmetov za preživetje. Z razvojem so tekstilije bile glavni gonilnik trgovine že od antičnih časov. Tkanine, kot so svila, bombaž in volna, so bile cenjene dobrine, ki so se trgovale po starodavnih trgovskih poteh, kot je Svilna pot, ki je povezovala oddaljene civilizacije. Izum strojev za tkanje je preoblikoval tekstilno industrijo, saj je postala mogoča množična proizvodnja tekstilij, kar je privedlo do razvoja tovarn in urbanizacije. To je spremenilo način izdelave oblačil in močno povečalo njihovo dostopnost, kar je vodilo v pomembne družbene spremembe. Tekstilije so odražale kulturne trende in družbene norme in oblačila so bila sredstvo za izražanje, socialni status in kulturno identiteto. Napredki v tehnologiji tekstilij je danes to že presegel. Inovacije na tem področju so pripeljale do t.i. pametnih tekstilnih materialov (tehnične tekstilije), s točno določenimi lastnostmi.

Velikost svetovnega tekstilnega trga je bila leta 2022 ocenjena na 1.695,13 milijarde dolarjev in naj bi od leta 2023 do 2030 rasla z 7,6 % letno stopnjo. Vedno večje povpraševanje modne industrije po oblačilih, skupaj z eksponentno rastjo platform za e-trgovino, je glavni razlog za izjemno hitro rastoč tekstilni trg. Leta 2021 je bila letna prodaja na svetovnem spletu ocenjena na 4,9 bilijona dolarjev, konec leta 2022 že več kot 5,5 bilijona dolarjev. To je več kot bruto domači proizvod Nemčije (približno 4,2 bilijona dolarjev leta 2021) in Japonske (približno 5,1 bilijona dolarjev leta 2021). Slabih 9 % celotne elektronske prodaje odpade na oblačila (ZDA, E-commerce Apparel Market, 2023)¹. Na sliki 1 so prikazani podatki za Združene države Amerike² in napovedi do leta 2030.

¹ Vir: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/e-commerce-apparel-market-report> Povzeto 30. 12. 2023.

² Beseda "apparel" se pogosto uporablja v trgovski industriji, oglaševanju in drugih kontekstih, ki se nanašajo na oblačila in modo. Gre za širši izraz, ki zajema različna oblačila, vključno s klasičnimi oblačili, obutvijo, dodatki in drugimi modnimi izdelki (opomba avtorjev).



Slika 1. Napovedana rast prodaje modne industrije v ZDA v obdobju med leti 2022-2030 (U.S. E-commerce Apparel Market, 2023)

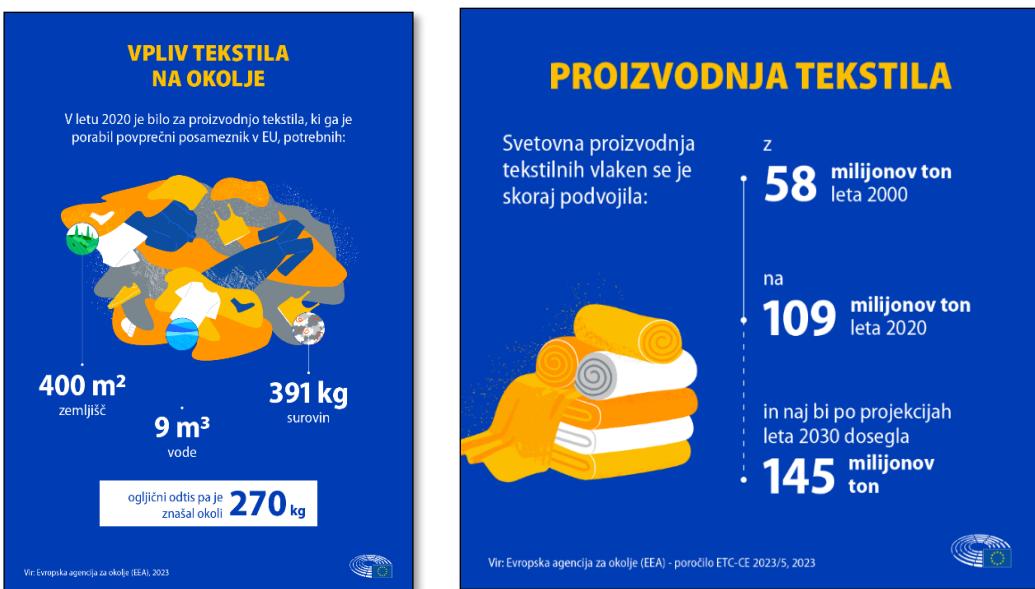
Legenda:

	Ženska moda
	Moška moda
	Otroška moda

Z razmahom hitre mode sta se močno povečala proizvodnja in s tem tudi hitro odmetavanje oblačil³. Nenehno zagotavljanje novih trendovskih oblačil, obutve in drugih izdelkov po zelo nizkih cenah, povzroča povečanje količine proizvedenih in zavrženih oblačil, ki močno obremenjujejo okolje. Pri proizvodnji tekstila se porabi veliko vode, zanjo pa so potrebna tudi obsežna zemljišča za pridelavo bombaža in drugih surovin. Ocena je, da sta svetovna tekstilna in oblačilna industrija v letu 2015 porabili 79 milijard kubičnih metrov vode, medtem ko je celotno gospodarstvo EU v letu 2017 porabilo 266 milijard kubičnih metrov. Za proizvodnjo ene same bombažne majice naj bi bilo potrebnih 2700 litrov sladke vode, to je količina, ki jo spije ena oseba v dveh letih in pol (Infografika, EU, 2023). Zato je bil tekstilni sektor leta 2020 prepoznan kot tretji največji povzročitelj slabšanja kakovosti voda.

Če povzamemo - v letu 2020 je bilo za oblačila in čevlje na prebivalca EU porabljenih povprečno 9 kubičnih metrov vode, 400 kvadratnih metrov zemljišč in 391 kilogramov surovin.³ Evropejci vsako leto porabimo 26 kilogramov tekstila/osebo in ga v poprečju zavrzemo 11 kilogramov na osebo.

³ Le 1 % rabljenih oblačil se reciklira v nova oblačila, saj se tehnologije, ki bi omogočile recikliranje oblačil v surova vlakna, šele razvijajo. Rabljena oblačila se v glavnem sežgejo (87 %) ali odložijo na odlagališčih³. Ob tem ne gre pozabiti, da tudi za transport tekstila porabimo ogromno embalaže, ki je praviloma samo za 1-kratno uporabo (Infografika, EU, 2023)



Slika 2. Podatki o vplivu tekstila na okolje in svetovni proizvodnji tekstila (Infografika, EU, 2023)⁴

S pranjem sintetičnih tkanin v morje vsako leto odplaknemo približno 0,5 milijona ton mikrovlaken ali 5 % vse mikroplastike, ki se izloči v okolje. Z enim samim pranjem oblačil iz poliestra lahko pralni stroj izloči 700.000 mikroplastičnih vlaken (Infografika EU, 2023).

Ocenjuje se, da modna industrija ustvari 10 % svetovnih emisij ogljika. To je več kot mednarodni letalski in pomorski promet skupaj. Po podatkih Evropske agencije za okolje je zaradi tekstila v EU v letu 2017 nastalo približno 270 kg emisij CO₂ na osebo. To pomeni, da je bilo zaradi tekstilnih izdelkov, porabljenih v EU, izpuščenih 121 milijonov ton toplogrednih plinov³.

Zato je trenutno prisotnega veliko napora, da bi se okoljski odtis proizvodnje tekstilij zmanjšal. Med temi strategije sodi:

- razvoj **novih poslovnih modelov** za izposojo oblačil (t.i. *second hand* trgovine)
- oblikovanje izdelkov na način, ki bi **olajšal ponovno uporabo in recikliranje** (krožna moda),
- prepričevanje potrošnikov, naj kupujejo **manj oblačil boljše kakovosti** (počasna moda),
- osveščanje potrošnikov k **bolj trajnostnim vedenjskim vzorcem**.

Ena od alternativ reševanja opisanih težav je tudi proizvodnja **tekstilnih materialov**, ki zahtevajo manj naravnih virov ali pa za njihovo proizvodnjo uporabimo vire, ki so obnovljivi. To je bil tudi namen te raziskovalne naloge.

⁴ Vir: <https://www.europarl.europa.eu/news/sl/headlines/society/20201208STO93327/ucinek-tekstilne-proizvodnje-in-odpadkov-na-okolje-infografika> Povzeto 7. 10. 2023

1.1 Namen naloge

Namen naloge je izdelava tekstilnega materiala, ki zahteva:

- manjšo porabo naravnih virov (vode, energije in osnovnih surovin),
- manjšo porabo zemljišč, ki so potrebni za proizvodnjo osnovnih surovin,
- lažjo reciklažo ali popolno biološko razgradljivost.

V nalogi je predstavljena uporaba morskih alg, ki so bogat vir naravnega polisaharida alginata. Morske alge z vidika uporabe rastlin predstavljajo bolj trajnostni material kot kopenske rastline, saj podvodni rastlini ni treba tekmovati za rodovitno zemljo z drugimi kulturnimi rastlinami, s katerimi se lahko prehrani človeštvo. Ob tem bi rada poudarila, da se zavedava, da so tudi rjave alge del prehranske verige v morjih in njihova pretirana uporaba lahko predstavlja nevarnost za morske organizme. Vendar je dejstvo, da rjave alge občasno, zaradi svoje prekomerne razširjenosti, povzročijo resne okoljske težave v morskih ekosistemih. Takšen primer je »podivjana« rast rjavih alg vrste *Sargassum* na Karibih⁵ v zadnjih petih letih, ki ni samo posledica človekove dejavnosti (odtekanje hranič iz kopnega), ampak tudi naravnih sprememb v karibskem morju⁶. Slednje zelo negativno vpliva na turizem, morske ekosisteme (zmanjša prepustnost svetlobe in delež kisika v vodi) ter ribištvo, ki je druga najpomembnejša dejavnost na Karibih (Barbeton, 2023).



Slika 3. Obala karibskega morja preplavljenja z rjavimi algami (The Guardian, 2023; Fotografiji: Helene Valenzuela in Victor Ruiz Garcia (Reuters))

V takšnih primerih, je uporaba rjavih alg za proizvodnjo tekstilnih materialov več kot upravičena.

⁵ Vir: <https://www.theguardian.com/environment/2018/nov/16/caribbean-swamped-by-seaweed-that-smells-like-rotten-eggs> povzeto 30. 12. 2023

⁶ Do leta 2011 je bila morska trava *Sargassum* večinoma omejena na Sargaško morje severovzhodno od Karibov. Alge so se običajno premikale v krožnem gibanju odprtega oceana, odvisno od tokov. Dejansko so te plavajoče preproge *Sargassuma* bile koristne morskim vrstam, saj so zagotavljale pomembno okolje za različne organizme, vključno z ribami, želvami in pticami. Vendar se je v zadnjih letih pojavila eksponentna rast *Sargassuma*, imenovana Veliki atlantski pas *Sargassuma*. Ta skoraj neprekinjena preproga se razteza od zahodne Afrike prek Atlantika, skozi Karibsko morje in vse do Mehikiškega zaliva (opomba avtorjev).



Slika 4. Razsežnosti prekomerne rasti rjavih alg rodu *Sargassum* v Atlantskem oceanu⁴

V raziskovalni nalogi sva že lela preučiti ali bi natrijev alginat lahko uporabili za izdelavo t. i. biotekstila, ki bi bil delno sestavljen iz alginata, delno odpadnih rastlinskih materialov ali/in jajčnih lupin. V ta namen sva uporabila posušen japonski dresnik, rastlino, ki jo v Sloveniji obravnavamo kot invazivno rastlino in je zelo pogosta tudi ob glavnem potoki v kraju kjer živiva – Kungoti, odpadle liste dvokrpega ginka ter jajčne lupine, ki predstavljajo biološki odpadek.

Alginat je sestavljen sladkor pridobljena iz morskih alg. Preko hidroksilnih (OH-) skupin lahko tvori stabilen gel, ki se že uporablja v živilski in farmacevtski industriji. Primer je hidrogel, ki ima za osnovo alginat in se uporablja za hitrejše celjenje in zaščito ran.



Slika 5. Uporaba hidrogela v medicini (vir slike: <https://www.biochempeg.com/article/244.html>)

1.2 Cilji naloge in predstavitev metod dela

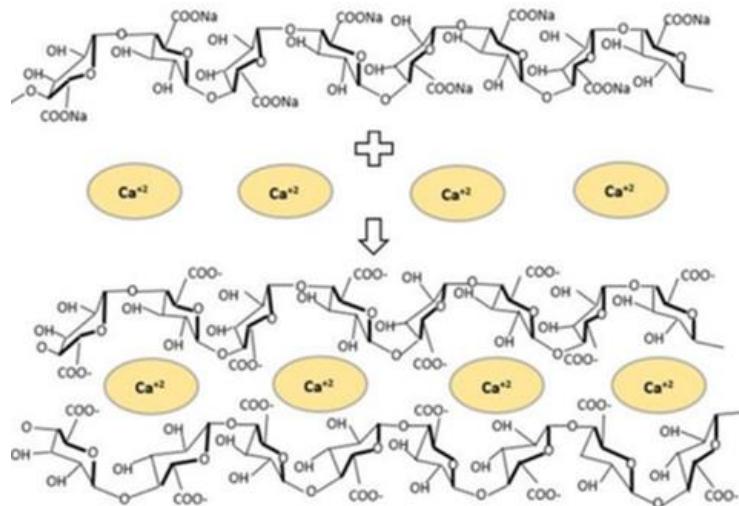
Cilj te raziskovalne naloge je sinteza materiala izdelanega na osnovi natrijevega alginata, ki ga pridobivamo iz rjavih morskih alg in bi se lahko uporabljal kot tkanina.⁷ Iz alginata bova naredila več tkanin in raziskala, kako se lastnosti tkanin spreminjajo. Ker bo material izdelan iz alginata in bo imel vlogo

⁷ V nadaljevanju bova zato ves čas uporabljala izraz »tkanina«, čeprav nisva načrtovala tkanje s tem materialom.

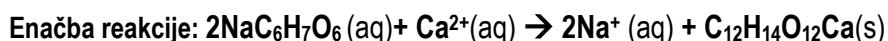
tkanine, sva nalogi dala naslov – ALGITEKSTIL. Lastnosti sintetiziranih vzorcev algitekstila bova preučevala glede na:

- razmerja med dodanimi sestavinami (alginat, voda, glicerol, kalcijev klorid).
- dodatka zdrobljenih posušenih odpadnih jesenskih listov ginka in japonskega dresnika.
- dodatka posušenih zdrobljenih lupin jajc kokoši.
- načina sušenja tkanine in vlivanja v kalupe.

Pri svojem delu bova izhajala iz dejstva, da pri reakciji med natrijevim alginatom ($\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$) in kalcijevim kloridom (CaCl_2) poteče reakcija polimerizacije, ki jo prikazuje slika 6. Polimerizacijo sprožijo kalcijevi, Ca^{2+} , ioni.



Slika 6. Polimerizacija alginata (Ching s sod., 2017)



Za učinkovito zamrežitev in obenem elastičnost bova uporabila glicerol, propan - 1,2,3 - triol. Glicerol je nestrupena, brezbarvna tekočina, ki bo delovala kot mehčalec, kar pomeni, da bo produkt zato bolj gladek in prožen, kar je za tekstil pomembno, saj smo si zastavili cilj, da bo tkanina imela dobre natezne, upogibne in torzijske lastnosti.

V ta namen sva načrtovala serije poskusov, ki so bile izvajane po delih.

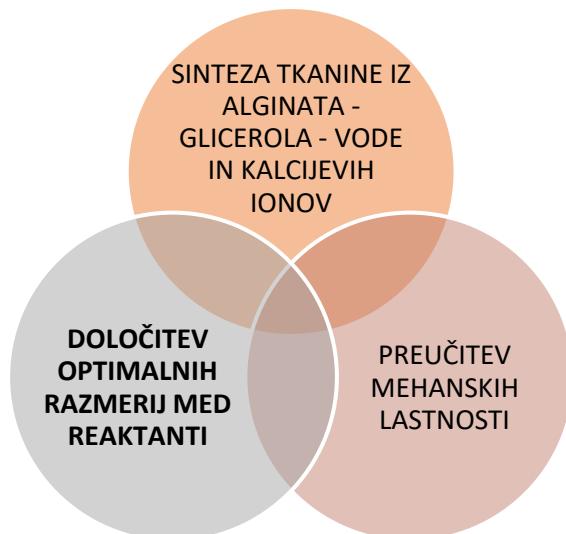
1. del

Izdelava biotkanine na osnovi natrijevega alginata, vode, glicerola ($\text{HOCH}_2\text{CH(OH)}\text{CH}_2\text{OH}$) in kalcijevega klorida.

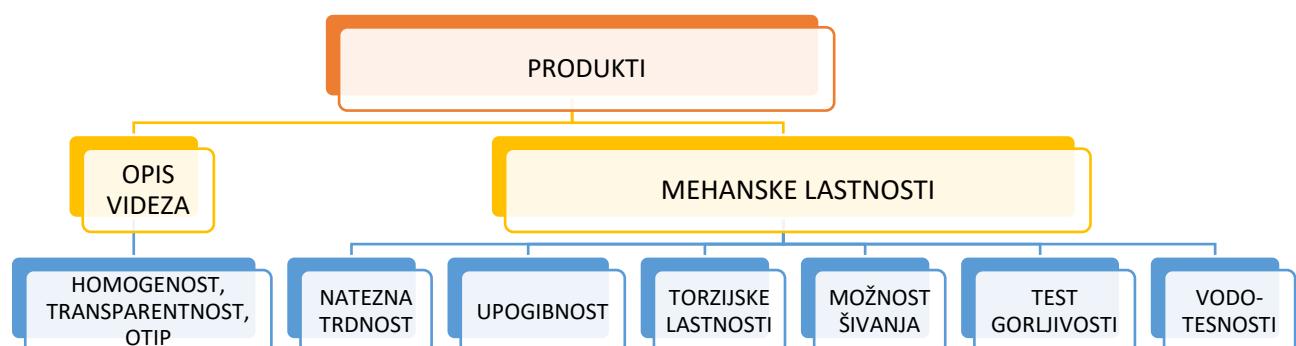
Cilj: določitev optimalnih razmerij posameznih komponent pri nastanku polimera (alginat – voda - glicerol) in določitev tehnoloških lastnosti pridobljene biotkanine. Preučevala sva:

- A. **Natezna trdnost**, ki določa kako močan je material, če ga napnemo ali potegnemo z obeh strani ali kako močno lahko material potegnemo preden se pretrga.
- B. **Upogibne lastnosti**, ki so zelo pomembne za tkanine, saj kažejo, kako se material obnaša, ko ga upogibamo - na primer, ko upognemo komolce ali kolena (»mečkanje«).
- C. **Torzijske lastnosti**, ki kažejo kako se material obnaša, ko ga zvijamo.
- D. **Šivalne lastnosti**, ki kažejo kako se material obnaša pri vbodu in v kombinaciji z bombažno nitko .
- E. **Preizkus vodotesnosti**.
- F. **Preizkus gorenja**.

Načrt dela je shematično predstavljen na organigamu 1 in sliki 7.



Organigram 1. Predstavitev raziskovalne ideje



Slika 7. Načrt praktičnega dela

2. del

Cilj: izdelava biotkanine na osnovi natrijevega alginata in kalcijevega klorida, ki se bo v prvem delu raziskovalnega dela izkazala kot najboljša kombinacija, z optimizacijo njenih **tehnoloških lastnosti**.

3. del

Cilj: izdelava biotkanine na osnovi natrijevega alginata in dodatka:

- suhe, zmlete rastlinske mase japonskega dresnika in ginka.
- suhih, zmletih jajčnih lupin, ki so bogate s kalcijem.

Brun s sod. (2013) pravi, da je v 1 g kokošjega jajca v poprečju 38,2 mg kalcija in dejansko predstavlja izjemno dober vir kalcija v vsakdanjem življenju. Suhe, zmlete rastlinske mase japonskega dresnika in jajčnih lupin bova dodajala v deležih. Mehanske lastnosti materiala bova preučila podobno kot pri tkaninah brez dodatkov.

4. del

Cilj: Preučiti hitrost razgradnje biotkanine v slani in sladki vodi ter zemlji. Polimerni izdelki na osnovi alg se pogosto oglašujejo kot izdelki s kratko življenjsko dobo, ki se zlahka razgradijo, vendar je tveganja za okolje do zdaj preučevalo zelo malo študij, zato bova preučila tudi hitrost razgradnje biotkanine v pitni in slani vodi ter zemlji.

5. del

Cilj: na osnovi lastnosti sintetiziranih materialov sestaviti predlog uporabe izdelanega produkta.

1.3 Hipoteze

Hipoteza 1. Natrijev alginat v kombinaciji s kalcijevi ioni tvori stabilen, gosto zamrežen polimer, ki lahko vpije vodo in je do določene mere vodo neprepusten (deluje kot hidrogel).

Hipoteza 2. Na tehnološke lastnosti polimera (tkanine) vpliva razmerje med glicerolom in alginatom ter vodo.

Hipoteza 3. Minerali iz jajčnih lupin (kalcij in karbonati) tkanino naredijo manj elastično (bolj togo) vendar lahko povečajo natezno trdnost.

Hipoteza 4. Odpadni rastlinski material (v glavnem celuloza) bo vplival na tehnološke lastnosti tkanin podobno kot kalcijevi ioni iz jajčnih lupin.

Hipoteza 5. Čas razpada tkanine v zemlji brez odpadnega rastlinskega materiala in jajčnih lupin bo krajši kot z dodatki.

Hipoteza 6. Tkanine v sladki vodi in slani vodi bodo delovale kot hidrogeli in ne bodo razpadle. Razpad bo mogoč samo s pomočjo mikroorganizmov v zemlji.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 Narava in sintetična vlakna

Tekstilije so raznolika skupina materialov, ki se ne uporabljajo le za izdelavo oblačil. Uporabljajo se tudi za izdelavo pohištva, medicinske opreme, torb, športne opreme, notranjosti avtomobilov, embalažo in še veliko več. Zato tekstilna industrija pomembno prispeva k svetovnemu gospodarstvu.

V uvodnem poglavju smo že opisali negativne vplive proizvodnje in uporabe teksta na okolje (npr. emisije toplogrednih plinov, onesnaževanje vode in proizvodnjo velikih količin odpadkov), zato je trajnostnost postala nov poudarek v tekstilni industriji.

V tekstilni industriji uporabljamo dve glavni kategoriji vlaken: naravna in sintetična. Naravna vlakna so izdelana iz rastlin in živali. Primeri so bombaž, svila in volna (slika 8). Naravna vlakna so pretežno izdelana iz obnovljivih virov in so običajno biološko razgradljiva. Vendar pa rast in proizvodnja naravnih vlaken zahteva veliko zemlje in vode. Pridelava bombaža zahteva tudi veliko škodljivih kemikalij, kot so pesticidi.

Sintetična vlakna so večinoma proizvedena iz kemikalij, ki jim je osnova nafta (neobnovljiv vir). Primeri so poliester, najlon in spandeks (slika 8). Okoljski pomisleni glede sintetičnih vlaken vključujejo emisije toplogrednih plinov in uporabo škodljivih kemikalij pri njihovi proizvodnji ter njihovo omejeno biološko razgradljivost. Slednje bi lahko premostili z uporabo biopolimerov, ki imajo za osnovo naravne polimere, dostopne v večjih količinah, kot so: alginat, kolagen in polihidroksialcanoat (PHA) (slika 9).

Kolagen je vlaknu podobna beljakovina, ki jo pogosto najdemo v živalskih tkivih in kosteh. PHA so naravni poliestri, ki jih proizvajajo številne različne bakterije. Alginat je polimer iz sladkorjev, pridobljenih iz morskih alg (Pereira in Cotas, 2020).

NARAVNA VLAKNA	Bombaž 	Volna 	Svila 
-----------------------	---	---	--

SINTETIČNA VLAKNA	Poliester 	Najlon 	Spandeks ⁸ 
--------------------------	--	--	--

Slika 8. Naravna in sintetične tkanine

Biopolimeri so naravni polimeri, ki jih proizvajajo živi organizmi, kot so rastline ali bakterije. Tako kot drugi polimeri so tudi biopolimeri velike molekule, sestavljeni iz dolgih ponavljajočih se verig posameznih monomerov (slika 9).

Alginat	Kolagen	PHA
Morske alge	Živalska tkiva, kosti	Bakterije
		

Slika 9. Primeri biopolimerov kot alternativa trenutnim tekstilnim vlaknom

2.2 Natrijev alginat

Natrijev alginat je bil prvič odkrit v Kelpu leta 1883 in od takrat so ga mnogi raziskovalci intenzivno preučevali (Hirst s sod., 1939). Alge so vir številnih hidrokoloidov⁹. Glede na vsebnost pigmentov jih delimo na rjave, zelene in rdeče alge (Khajouei s sod., 2018). Vsaka od njih ima specifičen in prevladujoč polisaharid. Pri rjavih morskih algah je to alginat. Rjavo barvo jim daje barvilo fikoksantin (Khajouei s sod., 2018). Čeprav obstaja več vrst rjavih morskih alg, ki vsebujejo alginat, jih večina vsebuje premalo alginata za komercialno proizvodnjo (Gomez s sod., 2009). Izjema je rod Sargassum (Fernando s sod., 2019). Ocenjuje se, da se iz približno 85.000 ton alg letno proizvede 23.000 ton alginata (Bertagnolli, 2014). Komercialne rjave morske alge vsebujejo tudi do 40 % suhe teže natrijevega alginata (Mohammed s sod., 2020). Alginati so zaradi svojih lastnosti zanimivi kot zgoščevalci, emulgatorji, stabilizatorji in farmacevtski dodatki (Khajouei s sod., 2018; Gomez s sod., 2009; Tutor Ale s sod., 2013; Dobrinčić s sod., 2020).

⁸ Spandex, Lycra ali elastan je sintetično vlakno, znano po izjemni elastičnosti (Teegarden, 2004).

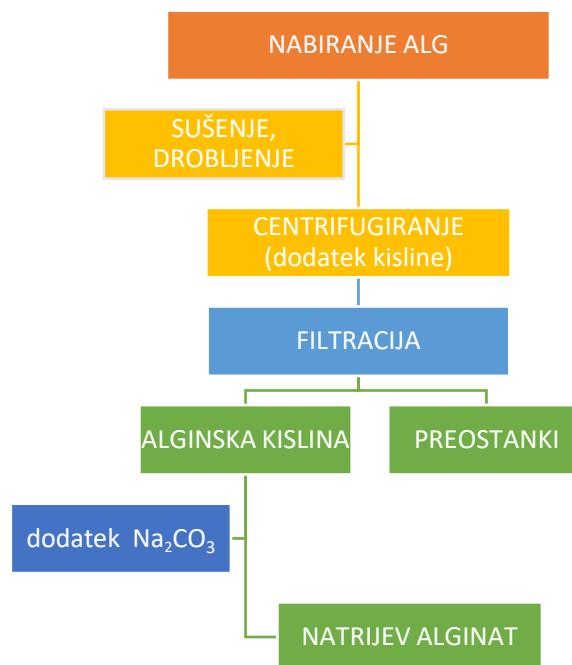
⁹ Hidrokoloidi so snovi, ki imajo sposobnost oblikovanja gelov, ko so raztopljene ali razpršene v vodi (opomba avtorjev).

Fizikalne in kemijske lastnosti alginatov so odvisne od tega, kako so posamezni monomeri razporejeni v verigi in od njihove molekulske mase (Fernando s sod., 2020). Količina, sestava in razmerje komponent se lahko razlikujejo ne samo glede na rastlinske vrste in starost alg, temveč tudi glede na lokacijo rastline, geografsko lego in letni čas. Ti dejavniki vplivajo na lastnosti alginata, njegovo topnost, reakcijo s kovinskimi ioni, viskoznost in zmožnost tvorbe gela (Fernando s sod., 2020).

2.2.1 Ekstrakcija alginata in pridobivanje natrijevega alginata

Ekstrakcijo (proizvodnjo) alginata lahko povzamemo v treh korakih (Fernando s sod., 2020) (slika 10).

1. **korak.** Posušene in zdrobljene rjave morske alge ekstrahirajo z mineralno kislino (npr.:0,1 M HCl), pri čemer nastanejo **netopne alginske kisline**, ki se s filtracijo ali centrifugiranjem zlahka ločijo od drugih spojin.
2. **korak.** Netopen ostanek se nato obdela z alkalno raztopino (z natrijevim karbonatom, natrijevim hidroksidom ali aluminijevim hidroksidom), da se netopna alginska kislina pretvori v sol, ki je v vodi topna (npr. natrijev alginat).



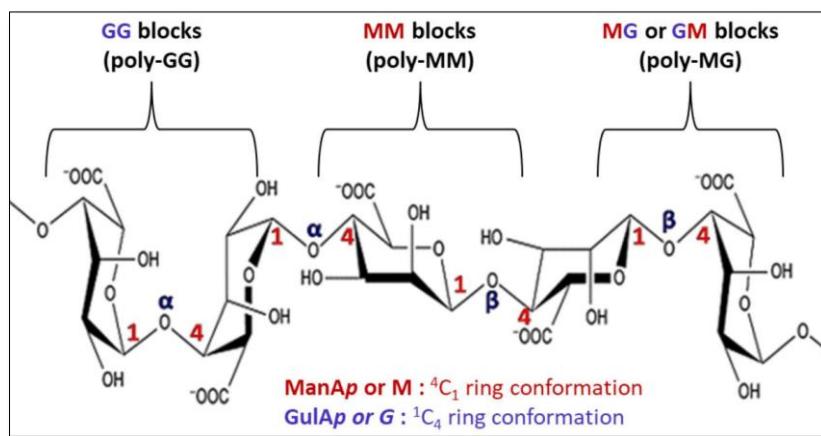
Slika 10. Pridobivanje natrijevega alginata (Fernando s sod., 2020)

3. **korak:** topni natrijev alginat se obori s kalcijevim kloridom ali s hladnim alkoholom. Alginati se nato očistijo s tehnikami, kot so zakisanje, dodajanje Ca^{2+} ionov (tvorba kalcijevega alginata) ali dodajanjem etanola.

2.2.2 Zgradba alginata

Alginati so naravni anionski **linearni polimeri** (nimajo stranskih vej). Sestavljeni so iz dveh monomernih enot (Mohammed s sod., 2020):

- a) β -(1,4)-D-manuronske kisline (**M**) in
- b) α -(1,4)-L-guluroinske kisline (**G**)



Slika 11. Zgradba polimera (Mohamed s sod., 2020)

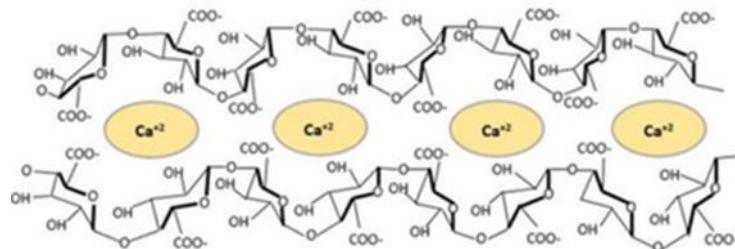
Alginati vsebujejo veliko prostih hidroksilnih (-OH) in karboksilnih (-COOH) skupin, ki jim omogočajo tvorbo intramolekularnih vodikovih vezi (Fernando s sod., 2020) in s tem tudi ustrezno zamrežitev.

2.2.3 Lastnosti alginatov

V primerjavi z drugimi polisaharidi, kot sta želatina ali agar, lahko alginat tvori gele neodvisno od temperaturnih sprememb. To je mogoče doseči na dva načina (Fenoradosoa s sod., 2010):

- a) z dodajanjem kationov (ionski gel).
- b) z dodajanjem kisline (kislinski gel).

V prisotnosti dvovalentnih kationov, kot je kalcijev kation, pride do močne interakcije med kationi in karboksilnimi skupinami, $-COOH$, pri čemer nastane tridimensionalna mreža. Ta struktura spominja na "jajčno škatlo" (Selimi s sod., 2016).



Slika 12. Geliranje alginata v obliki jajčne škatle

Literatura navaja, da je trdnost polimera odvisna od razmerja med manuronsko (M) in guluroinsko kislino (G) (Lucas s sod., 2013). Najbolj trdni so polimeri sestavljeni iz α -(1,4)-L-guluroinske kisline. Trdnost sledi naslednji sestavi:

$$MG < MM < GG.$$

Med nastanjem alginatnega gela se voda, ki je z vodikovimi vezmi povezana z notranjo strukturo gela, zadrži v matrici gela. Ko zunanjia sila skrči gel, voda zapusti matrico gela in pride do sinereze (skrčka). V sistemu, kjer je alginatni gel nasičen z ioni Ca^{2+} , je sinereza zanemarljiva (Pillay in Fassihi, 1999).

Velikost por alginatnih gelov se giblje od 5 do 200 nm in je odvisna tudi od sestave alginatnih monomerov. Poroznost gela se poveča z visoko vsebnostjo monomera G, ker ima gel zato bolj odprto strukturo por, ki je manj občutljiva na krčenje (Ching s sod., 2017). Majhne, topne molekule lahko difundirajo skozi polimer, difuzija večjih molekul, kot so proteini, pa ne. Gel se lahko razgradi pri visokem pH ali v prisotnosti kationskih kelatnih spojin, kot je EDTA (etilendiamin tetraacetna kislina)(Ching s sod., 2017).

2.2.4 Uporaba alginatov

Trenutno so na trgu različne vrste alginatov iz morskih alg, ki se razvrščajo glede na vzorec porazdelitve blokov **M** in **G**, molekulska maso, čistost in sestavo (Hecht in Srebnik, 2016).

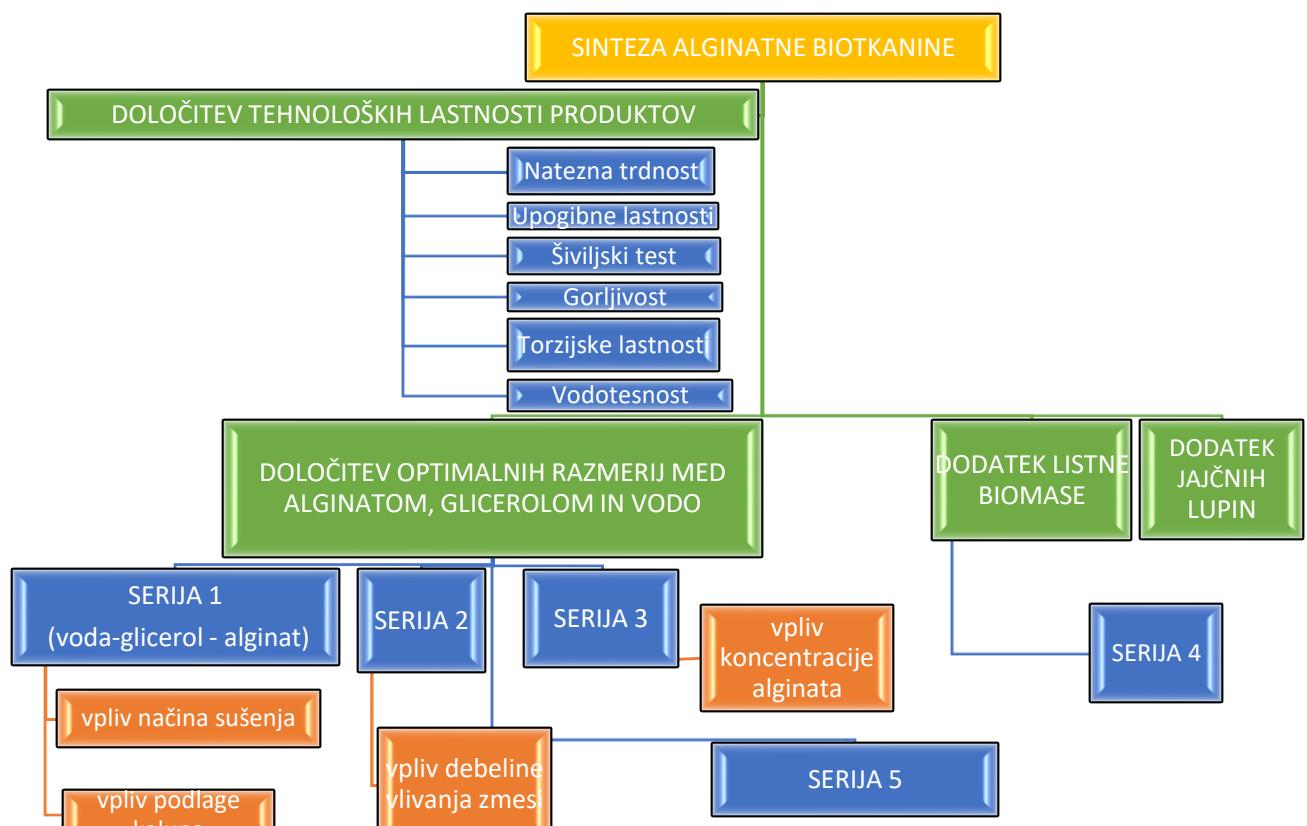
V biotehnoloških procesih se alginat uporablja kot zgoščevalec in želirno sredstvo, pa tudi kot stabilizator. Agencija za prehranske standarde je leta 2002 alginatom, kot aditivom za živila, dodelila številke E, od E400-E404 (Gilbert s sod., 2003).

Alginat ima sposobnost, da se uporablja kot matrica za zadrževanje ali dostavo različnih molekul ali delcev, npr. zdravilnih učinkovin (Donati in Paoletti, 2009). Industrijska uporaba alginatov je povezana z njihovo sposobnostjo zadrževanja vode ter z njihovimi lastnostmi oblikovanja gela, viskoznosti in stabilizacije. Alginatni gelski delci so netoksičnosti. Zelo pomembni so tudi zaradi uporabe v enkapsulaciji (Mohammed s sod., 2020) in t.i. biotiskanju (Rastogi s sod., 2019). Leta 2015 je znanstvenikom iz alginatnih materialov uspelo izdelati umetno kost (Wang s sod., 2019).

Iz Bertagnollijeve študije, opravljene leta 2014, je bilo ugotovljeno, da se alginat lahko uporablja v gorivnih celicah. Raziskave, ki so jih opravili so pokazale, da imajo rjave alge *Sargassum* tudi zmožnost vezave težkih kovin, kot so Cd, Au, Cu, Fe, Ni, Pb in Zn, iz onesnaženih voda (Bertagnolli s sod., 2014).

3 PRAKTIČNI DEL

Praktični del naloge v povzetku prikazuje organigramu 1.



3.1 Kemikalije

- natrijev alginat (Roth)
- kalcijev klorid (Honeywell, Riedl de Haen)
- glicerol (Honeywell, Riedl de Haen)
- deionizirana voda (šolski laboratorij), prevodnost < 2 µS/cm
- posušen in zdrobljen japonski dresnik (*Fallopia japonica*) in odpadli listi dvokrpega gínka (*Ginkgo biloba*)
- posušene in zdrobljene lupine kokošjih jajc.
- živilska barvila dr. Oetker

3.2 Lab. pripomočki

- pripomočki za vpenjanje podlage za sintezo biopolimera (leseni obroč za gobeline)
- platno – odpadne stare lanene rjuhe in kuhinjske krpe.
- več čaš (500 mL)
- merilni valj (50 mL)
- tehtrnica (Kern, ±0,001g)
- hladilnik
- plastenka za razprševanje kalcijevega klorida
- laboratorijske žlice (spatule)
- papirnate brisače
- kuhinjska pečica
- kuhinjski palični mešalec
- terilnica s pestilom
- kljunasto ravnilo
- 250 mL stiropori lonček z vrvico in obešalnikom



Slika 13. (od leve proti desni) Japonski dresnik, dvokrpi ginko, zmleta in posušena listna masa, zmlete in posušene jajčne lupine.

3.3 Prva serija poskusov

Cilji:

- izdelava tkanine na osnovi natrijevega alginata in kalcijevega klorida in določitev optimalnih razmerij posameznih komponent pri nastanku tkanine (alginat – voda - glicerol).
- določitev tehnoloških lastnosti pridobljene tkanine (produktov).

Najprej sva preučevala kako se spremenijo lastnosti tkanine ob dodatku različnih količin glicerola (preglednica 1). Količina vode in natrijevega alginata je ostala konstantna. Vsak poskus smo izvajali v treh ponovitvah (paralelkah).

Preglednica 1. Prva serija poskusov – vpliv koncentracije glicerola na sintezo biotkanine

Snov	1. poskus	2. poskus	3. poskus	4. poskus	5. poskus
V(destilirana voda, [$\pm 1 \text{ mL}$])	200	200	200	200	200
m (natrijev alginat), [$\pm 0,001 \text{ g}$]	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
m(glicerol), [$\pm 0,001 \text{ g}$]	8,00	6,00 g	4,00	2,00	0,00
Koncentracija glicerola [g/mL]	40,0	30,0	20,0	10,0	0,00

3.3.1 Delo

1. del: priprava mešanice: alginat - glicerol - voda

- V 500 mL čašo smo s pomočjo 50 mL merilnega valja odmerili 200 mL destilirane vode. Dodali smo nekaj kapljic živilskega barvila, da se je celotna masa lepoobarvala.
- S pomočjo analitske tehtnice smo zatehtali cca. 4,000 g natrijevega alginata in zmes temeljito premešali s kuhiškim paličnim mešalnikom (5 min).
- Nato smo dodali glicerol (preglednica 1) in nekaj kapljic živilskega barvila Dr. Oetker ter ponovno premešali.
- Mešanico alginata smo 48 ur pustili v hladilniku, da smo odstranili mehurčke zraka.

2. del: priprava 10% raztopine CaCl₂

V 250 ml čaši smo zmešali 10,0 g kalcijevega klorida in dodali 90,0 mL deionizirane vode. Tako smo dobili 10 % raztopino kalcijevega klorida. Raztopino smo nato nalili v plastično razpršilko.

$$\text{Izračun: } \rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ g/mL} \rightarrow w(\text{CaCl}_2) = \frac{(m(\text{CaCl}_2))}{m(\text{raztopine})} = \frac{10,00 \text{ g}}{100,00 \text{ g}} = 0,10 \text{ (10\%)}$$

3. del: priprava podlage za sintezo biotkanine

Irezali smo kos stare lanene rjuhe in ga napeli med v leseni obroč, ki je v osnovi namenjen šivanju gobelinov. To je bil kalup za našo tkanino. Kalup je imel premer 15 cm.

Preizkusili smo še druge kalupe oz. površine za vlivanje alginatne zmesi in sicer aluminijev folijo, steklo, les in les.



Slika 14. Kalupov za biotkanino

4. del: po 48 urah

Po 48 urah smo mešanice natrijevega alginata vzeli iz hladilnika. S kalcijevim kloridom smo popršili platna v pripravljenih kalupih. Platno je moralo bilo mokro, vendar ne namočeno. S papirnato brisačo smo odstranili odvečno raztopino klorida s površine platna. Nato smo zmes alginata vlili v kalup za biotkanino (3 – 4 mm) in pustili, da se je zmes enakomerno razporedila po modelu. Za enakomerno porazdelitev smo uporabili žlico. Žlico smo previdno pomikali po površini platna in okoli lesenega obroča, da smo zagotovili dober stik mešanice alginata s površino platna. Površino mešanice alginata smo nato še enkrat popršili z raztopino kalcijevega klorida. Pustili smo, da je raztopina prelila površino za dobrih 10 sekund in nato odvečno tekočino popivnali s papirnato brisačo.

Del alginatnih zmesi smo razlili tudi čez stekleno in leseno podlago.

5. del: sušenje tkanine

Produkte smo sušili na deloma na zraku in vsaj eno paralelko tudi na radiatorju. Po 3 dneh smo suho tkanino odstranili s površine podlage.

6. del: testiranje alginatne tkanine

Da bi ocenili, kateri od pridobljenih produktov tkanine bi bil najprimernejši za tekstilni nadomestek, smo izvedli:

- A. vizualni opis produkta
- B. teste za določitev različnih mehanskih lastnosti biotkanin.
 - a) **Natezna trdnost**, ki določa kako močan je material, če ga napnemo ali potegnemo z obeh strani (koliko lahko material potegnemo preden se pretrga).
 - b) **Upogibne lastnosti**, ki so zelo so pomembne za oblačila, saj kažejo, kako se material obnaša, ko ga upogibamo - na primer, ko upognemo komolce ali kolena (»mečkanje«).
 - c) **Torzijske lastnosti**, ki kažejo kako se material obnaša, ko ga zvijamo.
 - d) **Šivalne lastnosti**, ki so pokazale ali material lahko uporabimo za šivanje.
 - e) **Test gorljivosti**, da vidimo material gori ali je termoplastičen¹⁰.
 - f) **Vodotesnost**, da vidimo ali je vodotesen ali ne.

3.4 Druga serija poskusov

V drugi seriji poskusov smo na osnovi najboljših rezultatov prve serije poskusov, celoten potek sinteze ponovili, vendar tokrat v $\frac{1}{2}$ produktov nismo dodali nobenega živilskega barvila, vsem produktom pa smo dodali 6,0 g glicerola, saj se je v prvi seriji poskusov izkazalo, da so imeli najboljše mehanske in vizualne lastnosti. Obenem smo ugotovili, da je najboljša podlaga za vlivanje polimerne zmesi dobro vpeta tkanina v leseni obroč ali pa steklo. Vse ostale preizkušene podlage niso dale homogenega produkta.

Odločili smo se, da bomo poskus delali le v enakem kalupu, to je v obroču za gobeline z vpetim platnom; alginatne mešanice smo pri vливанju zelo natančno odmerili na višino 3 mm.

¹⁰ Termoplasti so razred plastike, ki je pri določeni temperaturi plastična. Po ohlajanju se strdi in lahko se večkrat mehča in oblikuje. Za njihovo molekularno strukturo je značilna linearna polimerna spojina, ki na splošno nima aktivnih skupin in pri segrevanju ni podvržena linearному medmolekularnemu zamreženju (opomba avtorjev).



Slika 15. Natančno odmerjanje višine alginatne mešanice (levo) in odstranjevanje odvečne kalcijev raztopine (desno) v drugi seriji poskusov

3.5 Tretja serija poskusov

V želji, da bi preverili kako koncentracija alginata vpliva na lastnosti biotkanine, smo povečali delež alginata. V seriji 1 in 2 je bil masni delež alginata $\sim 2\%$. V seriji tri smo ga povečali na 3% .

Preglednica 2. Podatki za tretjo serijo poskusov

kemikalija	Količina
V(deionizirana voda), [$\pm 1\text{ mL}$]	200
m(natrijiev alginat) , [$\pm 0,001\text{ g}$]	6,00
m(glicerol) , [$\pm 0,001\text{ g}$]	6,00

Na osnovi spoznanj iz prve in druge serije poskusov smo, da bi skrajšali čas sinteze, raztopino natrijevega alginata pripravili v deionizirani vodi, ki smo jo predhodno segreli na $60 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nato smo:

1. s paličnim mešalnikom celotno zmes mešali vsaj 5 min.
2. po popолнem razapljanju smo alginatni raztopini dodali 6,0 g glicerola (1 g glicerola/1 g alginata).

Raztopino smo nato vlili na platna, ki so bila predhodno omočena z raztopino kalcijevih ionov, poravnali ter na površini ponovno popršili s kalcijevi ioni.

Tako pripravljeno zmes smo nato sušili v toplem prostoru 24 ur. Posušene tkanine smo nato odstranili s platna in jih shranili v zip-lock vrečkah za določite njihovih tehnoloških lastnosti.

3.6 Četrta serija poskusov

V četrti seriji poskusov smo preverjali kako na lastnosti alginato-biotkanine vpliva:

- dodatek suhega zdrobljenega rastlinskega materiala (japonski dresnik in listi ginka),
- dodatek suhih zdrobljenih jajčnih lupin.

Poskus smo izpeljali v treh paralelkah, kot je zapisano v preglednici 3.

Preglednica 3. Četrta serija poskusov – dodan rastlinski material

Snov	1. poskus	2. poskus	3. poskus
V(destilirana voda) [±1 mL]	200	200	200
m(natrijev alginat) [± 0,001 g]	6,00	6,00	6,00
m(glicerol) [± 0,01 g]	6,00	6,00	6,00
m (japonski dresnik/ginko) [±0,001 g] w(listne mase) , %	1,00 (0,5 %)	2,00 (1 %)	3,00 (1,4%)

Preglednica 4. Četrta serija poskusov – dodatek jajčnih lupin

Snov	1. poskus	2. poskus	3. poskus
V(destilirana voda) [±1 mL]	200	200	200
m(natrijev alginat) [± 0,001 g]	6,00	6,00	6,00
m(glicerol) [± 0,01 g]	6,00	6,00	6,00
m(jajčne lupine), [±0,001 g] w(jajčne lupine), %	1,00 (0,5%)	5,00 (2,3 %)	10,00 (4,5 %)

3.7 Peta serija poskusov - optimizacija

V peti seriji poskusov smo na osnovi spoznanj serije poskusov od 1 do 4 upoštevali najboljše izkušnje.

To je vključevalo:

- razmerja med vodo-alginatom in glicerolom (200 : 5 : 6)

- način vливanja v kalupe (čim tanjše),
- način sušenja (možnost hitrega sušenja brez sineraze (skrčka)- možnost uporabe fena.

Poskus smo tudi tokrat izvedeli v treh paralelkah.

Preglednica 5. Podatki za peto serijo poskusov

Sestavina	1. poskus	2. poskus	3. poskus
V(deionizirana voda) [$\pm 1 \text{ mL}$]	200	200	200
m(natrijev alginat) [$\pm 0,001 \text{ g}$]	5,00	5,00	5,00
m(glicerol) [$\pm 0,01 \text{ g}$]	6,00	6,00	6,00

4 REZULTATI in RAZPRAVA

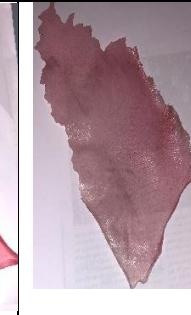
4.1 Vizualni izgled produktov

4.1.1 Prva serija poskusov s sklepi



Slika 16. Priprava obarvane alginatne mešanice pred vlivanjem v kalupe

Po vlivanju v kalupe smo dobili pet različnih produktov, ki so prikazani na sliki 17.

	1. verzija	2. verzija	3. verzija	4. verzija	5. verzija
	8,00 g	6,00 g	4,00 g	2,00 g	0,00 g
Vsebnost glicerola					
	 M1	 M2		 M4	 M5

Slika 17. Prva serija produktov z dodatkom živilskih barvil

V preglednici 6 so zbrani opisi produktov prve serije poskusov.

Preglednica 6. Kvalitativni opis produktov prve serije poskusov

Vzorec	Dodatek glicerola [g]	Zunanji izgled biotkanine (poprečje ponovitev)
1	8,00	homogena, prosojna, upogljiva, elastična, fleksibilna, vendar jo napada črna plesen
2	6,00	homogena, prosojna, elastična, gumijasta
3	4,00	homogena, prosojna, tanka, trda, lomljiva, neupogljiva.
4	2,00	homogena, prosojna, preveč osušeno, pretanko, neelastično, lomljivo.
5	0,00	steklasta struktura, lomljiva; neuporabna za nadalje delo

V tej seriji poskusov smo se naučili, da sta fleksibilnost (elastičnost) in upogljivost produktov odvisna od:

- vrste sušenja.** Sušenje na zraku je dalo boljše rezultate kot sušenje na radiatorju (direktni vir toplotne).
- debeline nanosa alginatne mešanice.** Če je nanos pretanek, je skrček prevelik. Predvidevali smo, da je bila koncentracija kalcijevih ionov prevelika ali pa neenakomerna razporejena. Če je nanos predebel, ostane v gelu preveč vode in zelo hitro se začne razvoj črne plesni. Ta se pri vseh produktih, ki so bili tanjši od 3 mm ni pojavila.
- podlaga, ki jo uporabimo za vpenjanje tkanine.** Če je platno bilo zelo napeto in podlaga ravna, vendar prepustna (zračna), je bil skrček manjši. Če platna sploh ni bilo, je nastala nehomogena, raztrgana struktura »gumijastega« tipa (na steklu ali na lesu).

4. količine glicerola. Če glicerol ni dodan, nastane trda steklasta struktura, ki nima lastnosti tkanine.

Produkti so bili negorljivi in vodotesni, kar je pomenilo, da je voda skozi polimer ni pronicala. Na osnovi teh spoznanj smo sprejeli naslednje sklepe za 2. serijo poskusov. Poskuse druge serije smo delali:

- s 4,00 g alginata,
- s 6,00 g glicerola,
- z 200 mL deionizirane vode,
- v kalupih, ki bodo zagotavljali čim večjo napetost podlage (platna),
- nanos alginatne mešanice je bil kontroliran in sicer na 3 mm.

Produkte smo sušili le na zraku. Vse poskuse smo delali v treh ponovitvah (paralelkah). Polovico poskusov smo izvedeli brez barvila, da bi preizkusili ali ima živilsko barvilo kašen učinek.

4.1.2 Druga serija poskusov s sklepi

Na sliki 18 in 19. vidimo produkte 2. serije poskusov. Skrčki so bili minimalni in produkti oblike kalupa, kar je pomenilo napredek pri pravilni uporabi kalcijevega klorida in sušenju produktov.



Slika 18. Vizualni izgled biotkanine – 2. serija produktov (obarvani produkti)



Slika 19. Primer neobarvanega produkta 2. serije produktov

Na sliki 18 in 19 vidimo, da smo dobili zelo tanke »folije«, ki so bile homogene, ob vogalih (neposreden stik z lesom) tudi zelo elastične, prav nič krhke in zelo raztegljive, kljub temu, da so bile tudi zelo tanke. To je pomenilo, da smo del vode uspeli zadržati v strukturi ali pa mešanica ob nanosu ni bila povsem homogena in so bili robovi drugačen sestave.

Vsi produkti so bili v vodi netopni, prozorni in z vzorcem tkanine na katero so bili pritrjeni (na eni strani gladki, na drugi hrapavi). Razlik med obarvanimi (svetlo zeleno) in neobarvanimi produkti ni bilo opaziti, zato smo zaključili, da dodatek vodotopnega barvila ne vpliva bistveno na strukturo produkta.

Na osnovi zaključkov druge serije poskusov smo načrtovali tretjo. Vse produkte 2. serije poskusov smo sušili na zraku, vendar so bili pretanki in preveč izsušeni (slabše tehnološke lastnosti), zato smo v tretji seriji poskusov preverili kako na končni izgled tkanine vpliva večja debelina nanosa alginatne mešanice večja. V kalupe smo vlivali alginat med 4 – 5 mm.

Zaključili smo, da bi homogenost in dobro raztpljanje alginata lahko pospešil s segrevanjem deionizirane vode, zato smo se odločili, da bomo deionizirano vodo v 3. seriji poskusov segreli na cca. 60 °C.

Podlaga na kateri se suši tkanina z alginatno mešanicico, mora biti zračna, zato smo se odločili, da bomo vse produkte sušili na kovinski mrežni podlagi. Sušenje v 3. seriji poskusov smo pospešili z uporabo toplega zraka iz fena. Delež alginata smo iz 4 g povečali na 6 gramov.

4.1.3 Tretja serija poskusov s sklepi

Iz slike 20 vidimo, da povečanje količine alginata ni bila dobra odločitev . Produkti tretje serije poskusov so bili zelo viskozni. Do delnega strjevanja je prišlo že ob nanosu zmesi v kalupe, kar je pomenilo, da je delež alginata proti glicerolu bil prevelik. Po omočitvi s CaCl₂ je zmes hitro polimerizirala, vendar so nastali produkti bolj spominjali na »silikonske vložke v lepotni industriji« kot tkanine (slika 20)



Slika 20. Proizvodi tretje serije poskusov

Produkte smo najprej sušili s fenom (toplom zrakom) in za tem še na običajnem zraku. V primerjavi s serijo 1 ali 2 so bili vsi izdelki 3. serije (pre)debeli. Zato smo zaključili, da je koncentracija dodanega alginata prevelika in je optimalno razmerje vmes med 4 g in 6 g. Za 5. serijo poskusov smo zato izbrali 5 g alginata. Količine glicerola nismo več spremenjali, ostali smo na 6 g.

Opazili pa smo, da se v čašah, kjer smo imeli alginatno zmes pred vlivanjem v kalupe, na stenah posode nabere zelo tanka folija snovi. Ko smo jo popršili s CaCl_2 , je v trenutku polimerizirala in s spatulo smo jo lahko v celoti odstranili od stene. V vseh primerih gre za tanke prozorne folije, ki so izjemno elastične, upogljive in spominjajo na polietilenske vrečke, kar je pomenilo, da je za visoko elastičnost in upogljivost tkane zelo pomembna debelina tkanine.

4.1.4 Četrta serija poskusov s sklepi

V tej seriji poskusov smo poskuse izvajali z:

- dodatkom fino zdrobljenega japonskega dresnika in ginka (glej preglednico 3),
- dodatkom fino drobljenih jajčnih lupin (glej preglednico 4).

Osnovna razmerja voda-glicerol-alginat so ostala enaka kot v poskusu 3.



Slika 21 Četrta serija poskusov – dodatek rastlinskih materialov

Kot vidimo na sliki 21 vidimo, da je dodatek rastlinskega materiala povzročil nastanek še bolj viskoznih produktov. Hitro smo ugotovili, da je dodatek 1 g rastlinskega materiala (0,5 %) bil še sprejemljiv, kar je bilo več pa je tako zelo povečalo viskoznost mešanice, da je ni bilo več mogoče tanko vlivati v kalupe.

Podobno je veljalo za jajčne lupine. Dodatek 1g je bil sprejemljiv, več (5 g in 10 g) pa preveč, saj se viskoznost zmesi zelo poveča. Na sliki 22 vidimo produkt z dodanim 1 g zdrobljenih jajčnih lupin na 200 mL vode, ki se je pri preizkusu tehnoloških lastnosti izkazal kot velik potencial.



Slika 22. Dodatek jajčnih lupin alginatni mešanici

Na osnovi prvih štirih serij poskusov smo v peti seriji poskušali sintezo načrtovati na način, da smo združili spoznanja prvih štirih serij poskusov.

4.1.5 Peta serija poskusov s sklepi

Na sliki 23 vidimo produkte 5. serije poskusov, ki so bili obarvani z rumenim in rdečim živilskim barvilom. Pri vlivanju smo se trudi, da smo vlili čim tanjšo plast, odstranili odvečno raztopino kalcijevega klorida in po 15 min začeli sušiti s fenom. Po cca. 5 min sušenja s fenom, produkti sicer niso bili povsem suhi, vendar smo jih z lahkoto odstranili od podlage. Kot vidimo na sliki 23 so obdržali svoje oblike, sineraza je bila minimalna. Pridobljeni produkti so bili različnih debelin, od zelo tankih folij do cca. 1-2 mm debelih kosov. Vsi so bili gladki in homogeni (na sliki 23 se je nagubana le papirnata brisača na kateri se produkti sušijo).



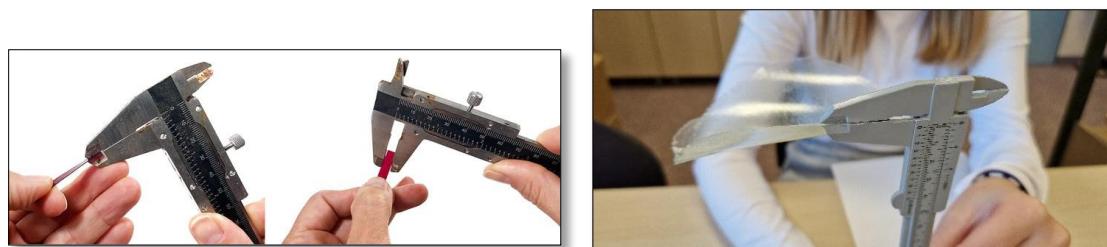
Slika 23. Produkti pete serije poskusov

4.2 Preizkus mehanskih lastnosti

4.2.1 Natezna trdnost

Opomba. V preglednicah so zaradi preglednosti vpisani le rezultati poprečnih meritev vzorcev znotraj posamezne serije poskusov.

Iz biotkanine smo s škarjami izrezali trak velikosti $1\text{ cm} \times 6\text{ cm}$. Izbirali smo tisti del tkanine, ki je bil najbolj homogen. S kljunastim merilom smo **izmerili debelino in premer** traku in podatke vpisali v preglednico 3.



Slika 24. Meritve debeline tkanine s kljunastim merilom

Trak smo namestili med dve sponki, ju pritrtili ne obešalnik in na konec ene sponke pritrtili polistirenski kozarček, ki je bil predhodno stehtan. Nato smo v kozarček metali kovance, vse do trenutka, da se trak ni utrgal. Pripravili smo si skoraj 2 kg različnih kovancev. Ko se je trak utrgal, smo ponovno stehtali poln kozarček kovancev in maso pretvorili v silo, izraženo v newtonih (N). Pri izračuni smo upoštevali, da je na Zemlji zaradi gravitacije 1 g enak 0,00981 Newtona (N).

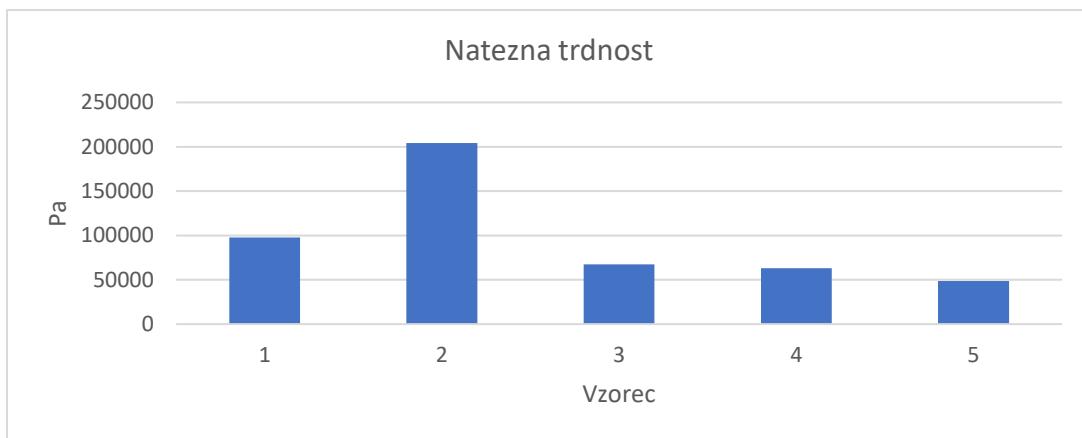


Slika 25. Preizkus natezne trdnosti

$$\text{natezna trdnost} = \frac{\text{sila}}{\text{prečni prerez}} = \text{N/m}^2 \text{ (Pa)}$$

Preglednica 7. Izračun natezne moči vzorcev tkanin – PRVA serija poskusov

Vzorec	Debelina, m [±0,00005]	Širina, m [±0,00005]	Prečni prerez [m ²], (debelina x širina)	Masa, ki je pretrgala trak tkanine [±0,001g]	Največja uporabljena sila [N]	Natezna trdnost [MPa]
1	0,00050	0,01	5,0 x 10 ⁻⁶	498,640	4,8917	0,98
2	0,00025	0,01	2,5 x 10 ⁻⁶	519,880	5,1009	2,04
3	0,00050	0,01	5,0 x 10 ⁻⁶	343,900	3,3737	0,68
4	0,00050	0,01	5,0 x 10 ⁻⁶	322,210	3,1609	0,63
5	0,00050	0,01	5,0 x 10 ⁻⁶	248,540	2,4382	0,49



Graf 1. Natezne vrednosti tkanin 1. serije poskusov izražana v Pa

Kot vidimo iz grafa 1, je bila serija 2 najbolj optimalna, zato smo poskuse nadaljevali z razmerji reaktantov iz druge serije poskusov.

Preglednica 8. Izračun natezne moči vzorcev biotkanin – DRUGA serija poskusov

Vzorec	Debelina, [m] [$\pm 0,00005$]	Širina [m] [$\pm 0,00005$]	Prečni prerez [m^2], (debelina x širina)	Masa, ki je pretrgala trak tkanine, [g] [$\pm 0,001g$]	Največja uporabljeni sila, [N]	Natezna trdnost, [MPa]
1	0,00025	0,01	$2,5 \times 10^{-6}$	532,050	5,219	0,21
2	0,00025	0,01	$2,5 \times 10^{-6}$	504,900	5,101	0,20
3	0,00025	0,01	$2,5 \times 10^{-6}$	512,430	5,030	0,20

Preglednica 9. Izračun natezne moči vzorcev tkanin – TRETJA serija poskusov

Vzorec	Debelina [m] [$\pm 0,00005$]	Širina [m] [$\pm 0,00005$]	Prečni prerez [m^2], (debelina x širina)	Masa, ki je pretrgala trak tkanine, [g] [$\pm 0,001g$]	Največja uporabljeni sila, [N]	Natezna trdnost, [MPa]
1	0,00040	0,01	$4,0 \times 10^{-6}$	1082,015	10,61	2,65
2	0,00040	0,01	$4,0 \times 10^{-6}$	1064,750	10,42	2,60
3	0,00040	0,01	$4,0 \times 10^{-6}$	1078,005	10,57	2,60

Preglednica 10. Izračun natezne moči vzorcev tkanin – četrta serija poskusov (dodatek rastlinskih materialov)

Paralelka (za 1 g)	Debelina [m], [$\pm 0,00005$]	Širina [m] [$\pm 0,00005$]	Prečni prerez [m^2], (debelina x širina)	Masa, ki je pretrgala trak tkanine, [g] [$\pm 0,001g$]	Največja uporabljeni sila, [N]	Natezna trdnost, [MPa]
1	0,00045	0,01	$4,5 \times 10^{-6}$	606,107	5,96	1,3
2	0,00020	0,01	$2,0 \times 10^{-6}$	1083,100	10,62	5,3
3	0,00035	0,01	$3,5 \times 10^{-6}$	1035,000	10,15	2,9

Iz preglednice 10 vidimo, da imajo tanjši kosi tkanine praviloma večjo natezno moč, saj so tanjše tkanine bile praviloma tudi bolj elastične. Težave z meritvam natezne moči so se pojavile pri seriji poskusov z dodatkom jajčnih lupin, saj je »zmanjkalo« kovancev in lonček je bil zvrhano poln.

Preglednica 11. Izračun natezne moči vzorcev tkanin – četrta serija poskusov (dodatek jajčnih lupin)

Dodatek jajčnih lupin	Debelina [m] [$\pm 0,00005$]	Širina [m] [$\pm 0,00005$]	Prečni prerez [m^2], (debelina x širina)	Masa, ki je pretrgala trak tkanine, [g] [$\pm 0,001g$]	Največja uporabljeni sila [N]	Natezna trdnost [MPa]
1 g	0,00010	0,01	$1,0 \times 10^{-6}$	1876,156 g*	18,40	18,4
5 g	0,00030	0,01	$3,0 \times 10^{-6}$	1876,156 g*	18,40	18,4
10 g	0,00010	0,01	$1,0 \times 10^{-6}$	1876,156 g*	18,40	18,4

* se ni pretrgalo, vendar je bil lonček do vrha poln in dodatnega bremena nismo mogli več »obesiti«. Kovance smo izbrali zaradi bolj natančnega in kontroliranega tehtanja. Mase, ki je pretrgala trak tako nismo določili, predvidevali smo, da je to okoli 2000 g.

Čeprav v tej seriji poskusov nismo mogli določiti zgornje vrednosti natezne moči vzorcev tkanin je očitno, da dodatek jajčnih lupin zelo poveča natezno moč biotkanine. Nas sliki 26 je kos traku, ki smo ga uporabili za preizkus natezne trdnosti. Trak se je v sredini sicer »zvil«, vendar se pri obremenitvi skoraj 2 kg ni pretrgal.

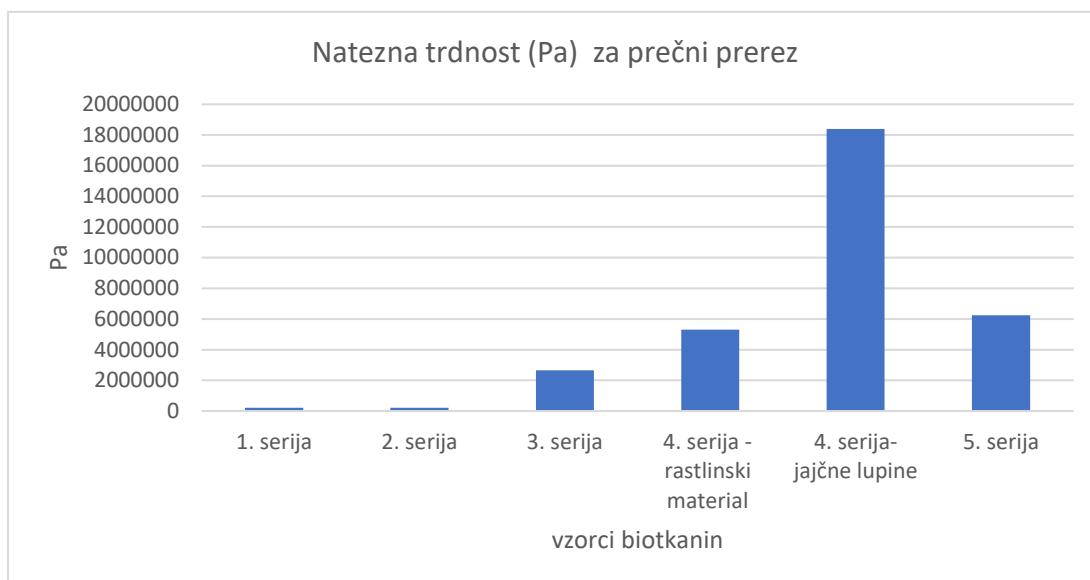


Slika 26. Kos traku z dodanim 1 g jajčnih lupin, ki se tudi po obremenitvi ni pretrgal.

Preglednica 12. Izračun natezne moči vzorcev tkanin - peta serija poskusov

parallelka	Debelina [m] [$\pm 0,00005$]	Širina [m] [$\pm 0,00005$]	Prečni prerez [m^2], (debelina x širina)	Masa, ki je pretrgala trak tkanine, [g] [$\pm 0,001g$]	Največja uporabljeni sila, [N]	Natezna trdnost [MPa]
1	0,0003	0,01	$2,0 \times 10^{-6}$	496,448	4,87	2,44
2	0,0002	0,01	$2,0 \times 10^{-6}$	1273,875	12,50	6,25
3	0,0003	0,01	$3,0 \times 10^{-6}$	496,458	4,87	2,43

Tudi v peti seriji poskusov opazimo, da ima tanjši vzorec biotkanin večjo natezno trdnost.



Graf 2. Natezna trdnost tkanin v Pa

Primerjava vseh sintetiziranih vzorcev biotkanin pokaže, da ima dodatek jajčnih lupin izjemen učinek na natezno trdnost tkanin.

4.2.2 Test zvijanja (torzijski preizkus)

S tem testom smo raziskali, kako se naše biotkanine obnašajo, ko so zvite. Iz osnovne tkanine smo ponovno izrezali en trak velikosti $1\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ in pri tem pazili, da smo izbrali čim bolj homogen del.

Vsak konec vzorčnega traku smo držal v svoji roki (slika 27) in potem trak z roko zavrteli do polovice in nato do konca. Tako smo naredili eno rotacijo. Z vrtenjem smo nadaljevali dokler se vzorec ni zlomil. V tabelo s podatki smo zabeležili število vrtljajev, dokler se vzorec ni zlomil.



Slika 27. Test zvijanja. Levo – začetni položaj; sredina – pol vrtljaja. desno – celo rotacija

Preglednica 13. Test zvijanja za PRVO serijo poskusov

Vzorec	Število rotacij
1	8
2	4
3	2
4	2
5	1

Preglednica 14 .Test zvijanja za DRUGO serijo poskusov

Vzorec	Število rotacij
1	4
2	5
3	4

Preglednica 15. Test zvijanja za TRETO serijo poskusov

Vzorec	Število rotacij
1	8
2	7
3	8

Preglednica 16. Test zvijanja za ČETRTO serijo poskusov (dodan rastlinski material)

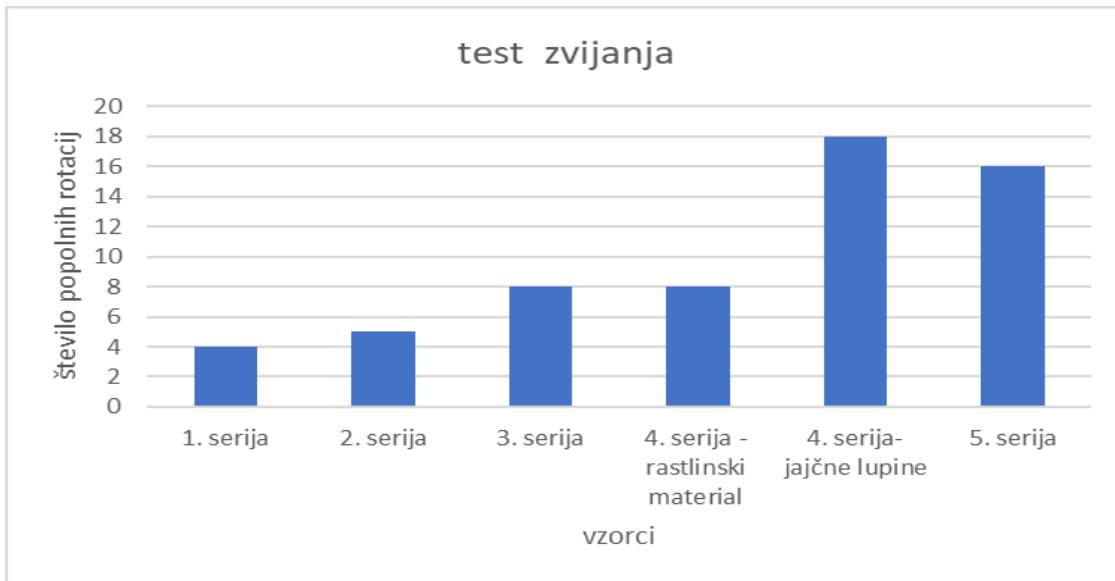
Vzorec	Število rotacij
1 (1 g)	8
2 (2 g)	4
3 (3 g)	4

Preglednica 17. Test zvijanja za ČETRTO serijo poskusov (dodane jajčne lupine)

Vzorec	Število rotacij
1 (1 g)	18
2 (5 g)	6
3 (10 g)	4

Preglednica 18. Test zvijanja za PETO serijo poskusov

Vzorec	Število rotacij
1	16
2	16
3	16



Graf 3. Test rotacij za najuspešnejše vzorce vsake serije

Opomba.

Pri vzorcih z dodanim rastlinskim in jajčnim materialom smo izvedeli samo meritve z 1 dodanim gramom snovi.

4.2.3 Test upogibanja

V tem testu smo raziskali, kako se naše različne tkanine obnašajo, ko so upognjene. Iz tkanine smo izrezali tri trakove velikosti 1 cm × 6 cm in pri tem pazili, da smo izbrali čim bolj homogen del. Nato smo vzorec upognili na sredini, kot je prikazano na sliki 28.



Slika 28. Test upogibanja

Opazovali smo ali se vzorec zlomi ali se je vrnil v prvotno ravno stanje ali je ostal prepognjen.

Preglednica 19. Test upogibanja za PRVO serijo poskusov

Vzorec	Se je vzorec zlomil (DA/NE)	Se je vzorec vrnil v prvotno stanje (DA/NE)	Je vzorec ostal prepognjen (DA/NE)
1	NE	DA	NE
2	NE	DA	NE
3	NE	NE	DA
4	NE	NE	DA
5	DA	-	-

Preglednica 20. Test upogibanja za DRUGO serijo poskusov

Vzorec	Se je vzorec zlomil (DA/NE)	Se je vzorec vrnil v prvotno stanje (DA/NE)	Je vzorec ostal prepognjen (DA/NE)
1	NE	DA	NE
2	NE	DA	NE
3	NE	DA	DA

Preglednica 21. Test upogibanja za TRETJO serijo poskusov

Vzorec	Se je vzorec zlomil (DA/NE)	Se je vzorec vrnil v prvotno stanje (DA/NE)	Je vzorec ostal prepognjen (DA/NE)
1	NE	DA	NE
2	NE	DA	NE
3	NE	DA	NE

Preglednica 22. Test upogibanja za ČETRTO serijo poskusov (rastlinski material)

Vzorec	Se je vzorec zlomil (DA/NE)	Se je vzorec vrnil v prvotno stanje (DA/NE)	Je vzorec ostal prepognjen (DA/NE)
1 (1 g)	NE	DA	NE
2 (2 g)	NE	DA	NE
3 (3 g)	NE	DA	NE

Preglednica 23. Test upogibanja za ČETRTO serijo poskusov (jajčne lupine)

Vzorec	Se je vzorec zlomil (DA/NE)	Se je vzorec vrnil v prvotno stanje (DA/NE)	Je vzorec ostal prepognjen (DA/NE)
1 (1 g)	NE	DA	NE
2 (5 g)	NE	NE	DA
3 (10 g)	NE	DA	DA

Preglednica 24. Test upogibanja za PETO serijo poskusov

Vzorec	Se je vzorec zlomil (DA/NE)	Se je vzorec vrnil v prvotno stanje (DA/NE)	Je vzorec ostal prepognjen (DA/NE)
1	NE	DA	NE
2	NE	DA	NE
3	NE	DA	NE

Testi upogibanja so pokazali, da je vrnil v prvotno stanje povezana z debelino vzorca. Zelo pomembno je, da produkt ni bil preveč izsušen. Najboljše rezultate smo dobili v peti seriji poskusov.

4.2.4 Šiviljski test

V tem testu smo želeli raziskati ali je mogoče naše tkanine šivati, kar je lahko ključnega pomena za njihovo uporabo. Odrezali smo dva kosa velikosti 10 cm x 10 cm in pri tem pazili, da smo izbrali čim bolj homogen del. En kvadrat iz tkanine smo položili na drugega in ju s šivanko ter običajno nitko poskušali zašiti. Pri tem smo opazovali kako enostavno ali težko je šivati material in ali se material zlomi. V prvi seriji smo materiale razvrstili od najlažjega za šivanje (1) do najtežjega za šivanje (5).

Preglednica 25. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - PRVA serija poskusov

Vzorec	Je vzorec bilo mogoče zašiti brez lomljenja? (DA/NE)	Razvrščanje vzorcev (najlažje – 1; najtežje 5)
1	DA	1
2	DA	2
3	NE	5
4	NE	5
5	NE	5

Materialov od 3 poskusa dalje ni bilo mogoče več šivati; prišlo je do loma.

Preglednica 26. Razvrščanje vzorcev glede na šiviljski test - DRUGA serija poskusov

Vzorec	Je vzorec bilo mogoče zašiti brez lomljenja? (DA/NE)
1	DA
2	DA
3	NE



Slika 29. Primer šivilskega testa za 2. serijo poskusov

Preglednica 27. Razvrščanje vzorcev glede na šivilski test - TRETJA serija poskusov

Vzorec	Je vzorec bilo mogoče zašiti brez lomljenja? (DA/NE)
1	DA
2	DA
3	DA

Preglednica 28. Razvrščanje vzorcev glede na šivilski test - ČETRTA serija poskusov (dodatek rastlinskih materialov)

Vzorec	Je vzorec bilo mogoče zašiti brez lomljenja? (DA/NE)
1 (1 g)	DA
2 (2 g)	DA
3 (3 g)	DA

Preglednica 29. Razvrščanje vzorcev glede na šivilski test - ČETRTA serija poskusov (dodatek jajčnih lupin)

Vzorec	Je vzorec bilo mogoče zašiti brez lomljenja? (DA/NE)
1 (1 g)	DA
2 (5 g)	DA
3 (10 g)	DA

Preglednica 30. Razvrščanje vzorcev glede na šivilski test - ČETRTA serija poskusov

Vzorec	Je vzorec bilo mogoče zašiti brez lomljenja? (DA/NE)
1 (1 g)	DA
2 (5 g)	DA
3 (10 g)	DA



Slika 30. Krojenje, vdelava netov (sponk), šivanje in izdelava vrečke za shrambo šiviljskih pripomočkov v peti seriji poskusov

4.2.5 Vodoodpornost

Vsi sintetizirani vzorci biotkanin so bili, neodvisno od načina sinteze, zmožni zadržati vodo, to pomeni, da so jo sčasoma vpili, vendar niso »spuščali«



Slika 31. Primer vrečke tkanine, ki zadržuje vodo

4.2.6 Test gorljivosti

Vsi sintetizirani vzorci tkanin, neodvisno od načina sinteze, ne gorijo s plamenom in niso vnetljivi. Ob stiku s plamenom se skrčijo, na mestu stika s plamenom počrnijo. Ta del lahko odpade, preostanek pa bistveno ne spremeni lastnosti.



Slika 32. Alginatna tkanina ne gori s plamenom

4.3 Hitrost razgradnje biotkanine v slani in sladki vodi ter zemlji

Razgradnja v slanici

Koščke biotkanine 3 x 3 cm iz četrte in pete serije poskusov sva najprej stehtala in jih nato dala v kadičko s 3 % raztopino NaCl. Temperatura vode je bila: 20 °C. Tanine so v vodi plavale, po 6. dnevu so se potopile. **Po 7 dneh** smo jih osušili s papirnato brisačo in ponovno stehtali ter vrnili v kadičko.

Razgradnja v pitni vodi

Koščke biotkanine 3 x 3 cm iz četrte in pete serije poskusov sva najprej stehtala in jih nato dala v kadičko s pitno vodo. Temperatura vode je bila: 20 °C. Biotkanine so se v vodi potopile. Po 7 dneh smo jih osušili s papirnato brisačo in ponovno stehtali.

Razgradnja v zemlji

Koščke biotkanine 3 x 3 cm iz četrte in pete serije poskusov sva najprej stehtala in jih nato zakopala v posodo z vrtno zemljo. Po površini sva potresla ječmenova semena in popršila z vodo. Po sedmih dneh sva jih izkopala in očistila z deionizirano vodo, osušila s papirnato brisačo in ponovno stehtala.

Preglednica 31. Rezultati razgradnje tkanin v slanici

Oznaka vzorca	Masa vzorca pred poskusom razgradnje [± 0,001 g]	Masa vzorca po 7. dneh [± 0,001 g]	Razlika v masi [± 0,001 g]
Peta serija poskusov	2,312	3,132	+0,820
Biotkanina z dodatkom rastlinskega materiala	2,832	3,541	+0,709
Biotkanina z dodatkom jajčnih lupin	0,146	3,541	+3,395

Preglednica 32. Rezultati razgradnje tkanin v pitni vodi

Oznaka vzorca	Masa vzorca pred poskusom razgradnje [± 0,001 g]	Masa vzorca po 7. dneh [± 0,001 g]	Razlika v masi [± 0,001 g],
Peta serija poskusov	1,537	2,689	+1,152
Biotkanina z dodatkom rastlinskega materiala	3,341	3,643	+0,302
Biotkanina z dodatkom jajčnih lupin	0,143	1,781	+1,638



Slika 33. Vzorci biotkanin v zemlji, pitni vodi in slani vodi (na začetku poskusa)



Slika 34. (od leve proti desni) Vzorci biotkanin v zemlji, pitni vodi in slani vodi po 7 dneh v zemlji.

Kos tkanine brez dodatkov se je v zemlji po 7. dneh skoraj povsem razgradil. Kot vodimo iz preglednic 31 in 32 in slik 33 in 34 alginatne tkanine v slani in sladki (pitni) vodi ne razpadajo. Nasprotno, vse so vsrkale vodo in nabreklike. Predvidevamo, da alginatni geli vodo zadržujejo v svoji mrežni strukturi, kar omogoča uporabo pri izdelavi hidrantnih podlag (npr. krem, gelov za nego kože ali oblogah za rane). Bolj kot je gel izsušen, več vode lahko vsrka. Geli z dodatkom jajčnih lupin, ki so bili tanjši, so vsrkali od 12 do 24-kratnik

svoje začetne mase vode. Geli, polni vode, so ohranili fleksibilnost, prilagodljivosti in ob stisku vodo zadržali. Če smo jih pustili na zraku so se izsušili in potem spet bili sposobni vsrkati tekočino. Geli z dodatkom rastlinskega materiala so imeli precej nižjo vrednost abosrbcije vode kot produkti brez ali z dodatkom jajčnih lupin.

Slana voda ima velik učinek na polimer. Dodatek soli, NaCl, je povečal viskoznost. Razlika med vzorci v pitni vodi in slani vodi je bila očitna. Vzorci v slanici so nabrekni in bili zelo čvrsti.

Precej drugače pa so biotkanine obnašale v zemlji (preglednica 33). Alginatni gel se po 7. dneh v veliki meri razgradil. Vzorec serije pet skoraj v celoti (98 %), biotkanina z dodatkom rastlinskega materiala do 82 % svoje začetne mase, najmanj tkanina z dodatkom jajčnih lupin. Predvidevamo, da so k temu pripomogli mikroorganizmi v zemlji in njihovi encimi. To nakazuje, da se alginatni gel v tleh ne kopiči in ne povzroča dolgoročnih okoljskih težav. Semena s v zemlji z alginatnimi vzorci lepo vzkalila.

Preglednica 33. Rezultati razgradnje biotkanin v vrtni zemlji

Oznaka vzorca	Masa vzorca pred poskusom razgradnje [± 0,001 g]	Masa vzorca po 7 dneh [± 0,001 g]	Razlika v masi [± 0,001 g]
Peta serija poskusov	2,379	0,050	-2,329
Biotkanina z dodatkom rastlinskega materiala	1,461	0,260	-1,201
Biotkanina z dodatkom jajčnih lupin	0,230	0,112	-0,118

Predvidevamo, da je alginatni gel v zemlji zagotovo zadrževal vlago okoli sebe, kar je koristilo pri kalitvi semen. To bi lahko bilo koristno tudi za rastline v obdobjih suše ali pri gojenju rastlin zelo suhih podnebjih. Ker alginatni zadržuje vlago, s tem preprečuje, da bi se tla prehitro izsušila. To lahko prispeva k boljši prepustnosti tal za zrak in vodo ter spodbuja rast korenin in je obenem lahko tudi podpira koreninskemu sistemu, saj zaradi zadrževanje vode lahko izboljša absorpcijo hrani.

5 ZAKLJUČKI

V nalogi sva preučevala možnost sinteze okoljsko bolj sprejemljivega tekstilnega materiala, ki zahteva manjšo porabo naravnih virov, kot sta voda in vhodne surovine, nizko porabo električne energije in je obenem hitro razgradljiv v zemlji ter ne obremenjujejo okolja. Kot surovinski vir sva uporabila natrijev

alginat, pridobljen iz rjavih morskih alg, ki so se v zadnjih letih prekomerno namnožile in že predstavljajo okoljski problem.

V nalogi sva ugotovila, da se alginat zelo dobro veže s fino zdrobljenimi ali uprašenimi jajčnimi lupinami. Vezava z rastlinskim materialom je bila slabša, kar je verjetno tudi posledica tega, da rastlinskega materiala nismo uspeli zmleti v fino »kašo«.

Nalogo sva sprva zastavila na način, da sva iskala najbolj optimalno razmerje med alginatom, vodo in glicerolom. Optimalnost sva definirala preko tehnoloških lastnosti, ki sva jih želela za končni produkt. To so visoka natezna trdnost, dobre upogibne lastnosti, dobre torzijske lastnosti in dobre šivalne lastnosti. Vse produkte sva izpostavila še testu gorljivosti in vodotesnosti. V nadaljevanju sva poskušala optimizirati postopek sinteze na način, da skrajšava čas priprave, in sušenja tkanine in ohraniva čim boljše lastnosti.

Najvišje vrednosti **natezne trdnosti (tudi trgalna trdnost)**, ki določa kako močan je material, če ga napnemo ali potegnemo z obeh strani, sva dobila v 4. seriji poskusov, kjer sva alginatni mešanici dodala 1 g fino zdrobljenih jajčnih lupin. Ta je predstavljal 0,5 % celotne mase produkta. Natezna vrednost je presegala 18,4 MPa kar predstavlja območje natezne vrednosti bombažnih tkanin (20 MPa – 40 MPa). Poudariti velja, da najvišje natezne trdnosti nismo mogli določiti. Vsi ostali produkti so imeli precej manjšo natezno trdnost od 0,2 MPa v drugi seriji poskusov do 6,25 MPa v zadnji, peti seriji poskusov. Zato, z izjemo tkanine z jajčnimi lupinami, do sedaj razviti produkti niso primerni za uporabo v primerih kjer je potrebna visoka vzdržljivost ali odpornost na napetosti (izdelava šotorov, tend, zastav, streh, jader, vrvi, športne opreme kot so športna oblačila, rokavice, čevlji, športne torbe ali kot gradbeni materiali).

Tkanine, ki običajno imajo visoko **upogibno trdnost**, vključujejo sintetične materiale, kot so poliester, najlon, akril in druge polimerne materiale. Te tkanine so znane po svoji trdnosti, elastičnosti in odpornosti proti obrabi, kar jih naredi primerne za mnoge primere uporabe. Med našimi produkti so najvišjo upogibno trdnost pokazali materiali razviti v zadnji, peti seriji poskusov. Najslabše so se tokrat izkazali materiali z dodatkom jajčnih lupin (4. serija poskusov). Serije 1, 2 in 3 so sicer dale materiale, ki so prenesli test upogibanja, vendar so bili materiali po 30 dneh na zraku preveč izsušeni in zato ponovnega upogibanja za 360 stopinj niso več presneli. Prišlo je do loma. Če smo jih predhodno pustili vsaj 5 min v vodi, se je njihova upogibna trdnost povečala.

Torzijske lastnosti kažejo kako se material obnaša, ko ga zvijamo. Materiali z najboljšimi torzijskimi lastnostmi, ki jih je najlažje zvijati, so običajno tisti, ki imajo visoko elastičnost, kar jim omogoča, da se upogibajo in vračajo v prvotno stanje brez deformacij. Med vsemi razviti produkti v tej nalogi je najboljše torzijske lastnosti pokazal zadnji, peti produkt ter produkt z dodatkom 0,5 % jajčnih lupin. 6 cm dolg trak

smo lahko zvili od 16 do 18-krat predno se je pretrgal. Najslabše torziske lastnosti so imeli produkti serije 2. in 3. ter produkti z dodatkom rastlinskih materialov.

Pri vsaki seriji produktov sva poskušala produkte tudi ročno šivati. Produkti serije 1 in 2 so bili manj primerni, od tri dalje veliko bolj, najboljše lastnosti so pokazali produkti zadnje, pete serije ter produkti z dodatkom 0,5% jajčnih lupin. Peta serija je prenesla dodatek netov, šivanje s strojem (vrečke) in ročno šivanje.

Test gorljivosti smo izvedli z vsemi produkti. Steklasti, tanki in izsušeni produkti so se pri segrevanju skrčili in izgubili elastičnost. Niso pa goreli. Produkti pete serije niso goreli, vendar del, ki ni bil v stiku z ognjem ni izgubili svoje elastičnosti.

Vsi razviti produkti so bili ob kratkotrajnem stiku **z vodo vodotesni**. Kratkotrajno pomeni, da smo čezne preliili vodo in je niso prepustili.

(Bio)razgradljivost smo preučevali pri produktih serije poskusov 4 in 5. Produkti brez dodatkov (peti serija) so v zemlji, po 7. dneh, razpadli v 98 %. Produkti z dodanim rastlinskim materialom so v sedmih dneh razpadli do 82 % in produkti z jajčnimi lupinami do 50%. Razpad je bil opažen samo v zemlji, medtem, ko je v slanici in sladki vodi prišlo do abosrbcije vode, koščki tkanin pa niso razpadli, ampak so se obnašali kot hidrogeli. Tudi po 60 dneh razpad ni bil opažen.

Na osnovi vseh testiranj in opisanih pet serij poskusov lahko naredimo zaključke in odgovorimo na zastavljene hipoteze.

Natrijev alginat v kombinaciji s kalcijevi ioni lahko tvori stabilen, gosto zamrežen polimer, ki je vodoodporen, negorljiv in ima potencial v razvoj tkanin. V nalogi smo ugotovili, da je optimalno masno razmerje voda : alginat : glicerol = 200 : 5 : 6. S tem je **prva hipoteza potrjena**.

Prav tako je **potrjena druga hipoteza**, ki pravi, da na tehnološke lastnosti polimera (biotkanine) zelo vpliva razmerje med glicerolom in alginatom ter vodo. S serijo petih poskusov, kjer smo ta razmerja spremenjali in merili lastnosti produktov, smo ugotovili, da so masna razmerja med reaktanti zelo pomembna in vplivajo na vse preučevane lastnosti. Večanje deleža alginata poveča viskoznost mešanice. Večanje deleža glicerola podaljša čas sušenja.

Potrdili smo tudi tretjo hipotezo, saj minerali iz jajčnih lupin (kalcij in karbonati) biotkanino res naredijo manj elastično vendar pa zelo povečajo natezno trdnost.

Hipoteza štiri je bila delno potrjena, saj je odpadni rastlinski material negativno vlival na tehnološke lastnosti biotkanin. Zmanjšal je natezno trdnost in torzijske lastnosti tkanine, onemogočil vlivanje tanjših folij in je v nadaljevanju povzročil hiter razvoj plesni in ni bil primerljiv z dodatkom jajčnih lupin.

Potrjena je tudi peta hipoteza. Alginatne tkanine brez in z odpadnim rastlinskim materialom in jajčnimi lupinami so biorazgradljive v zemlji. Test razgradljivosti je trajal sedem dni in v tem času se je v vrtni zemlji masa tkanine zmanjšala tudi do 98%, kar pomeni, da res hitro razpadajo. Ker je mikrozelenjava v zemlji, ki smo ji dodali vzorce biotkanin, normalno vzklila, predvidevamo, da vsaj na ta del razvoja rastlin ni imela negativnih učinkov, prej nasprotno. Pomagala je semenom pri oskrbi z vodo.

Biotkanine v sladki vodi in slani vodi bodo so delovale kot hidrogeli in se v dveh mesecih (do oddaje naloge) niso razgradile. S tem je bila **potrjena tudi šesta hipoteza**.

Kaj lahko rečemo o uporabnosti do sedaj razvitih produktov?

Če spremojamo razmerja med reaktanti, dobimo zelo različne produkte; od tankih folij, ki po svojih lastnostih spominjajo na mehke polietilenske folije do gelov, ki spominjajo na silikonske vsadke. Uspelo pa nam je pridobiti tudi dva produkta, ki bi imata potencial biti tkanina v vsakdanjem življenju. To je produkt z dodatkom 0,5% jajčnih lupin in produkt pete serije poskusov. Slednji ima otip »kože«, elastičnost gume, je vodoodporen in negorljiv.

V raziskavi sva prišla tudi do drugih zaključkov, ki niso bili del hipotez. To je:

1. alginatno mešanico ni potrebno ohlajati na nič do pet stopinj Celzija predno jo nanesemo v kalupe. Homogenost lažje dosežemo s segrevanjem vode, mehurčki zraka gredo hitreje ven. Za doseganje homogenosti mešanice je bil ključen palični mešalnik, ki se je izkazal kot zelo učinkovit pripomoček.
2. Sušenje produktov na zraku traja dolgo, to je 3 do 4 dni, odvisno od debeline nanosa. Uporaba toplega zraka fena se je izkazala za dobro rešitev, vendar samo, če je kalup ime zračno in prepustno podlago. V ta namen smo uporabili kovinske mreže, ki so omogočile kroženje zraka. Celotno sušenje smo skrajšali na eno do štiri ure (odvisno od debeline nanosa).
3. 10% CaCl_2 se je izkazal kot dobro zamreževalno sredstvo, vendar ostaja vprašanje kako bi na sintezo vplivala drugačna koncentracija. Vsekakor je potrebno odvečno tekočino manj kot eno minuto po pršenju odstraniti, drugače je produkt deformiran in polimerizacija ne poteka homogeno. Zanimivo bi bilo preizkusiti tudi učinek drugih kationov 2. skupine periodnega sistema elementov (npr. Ba^{2+}).

4. Platno, ki smo ga uporabili za podlago mora imeti visoko natezno trdnost in zračnost, saj je od tega odvisna homogenost končanega produkta. Biti mora primerno za omočitev z vodno raztopino, vendar je ne sme preveč vpiti. Lanena podlaga se je izkazala za dobro izbiro.
5. Kalup je lahko različnih oblik, vendar za sintezo biotkanine mora omogočati dobro vpetost podporne tkanine.
6. V kolikor alginatno mešanico zelo tanko vlijemo v kalupe, dobimo folije, ki lahko obdržijo obliko kalupa.

Preučevanje na tem področju z oddajo naloge ne bova zaključila, saj verjameva, da so raziskave, kot je ta, družbeno nujne. Hitra moda in zelo potrošniški način življenja vodita v izčrpavanje naravnih virov in imata velik okoljski (ogljični) odtis. Uporaba materialov, ki so trajnostni, obnovljivi in imajo manjši okoljski odtis, pomaga zmanjšati negativne vplive na okolje, kot so emisije toplogrednih plinov, poraba vode, izčrpanje naravnih virov in onesnaževanje okolja. Tovrstni materiali so pogosto manj toksični in manj alergeni kot konvencionalni materiali, kar prispeva tudi k bolj zdravemu in varnemu bivalnemu okolju za ljudi in živali. Najino nadaljnjo raziskovalno pozornost bova usmerila v biotkanino z dodatkom 0,5 % jajčnih lupin, saj je poleg produktov pete serije poskusov, najbolj obetajoča.

Alginatne biotkanine se danes že uporablajo za zdravljenje opeklin, saj zaradi svoje visoke absorpcijske sposobnosti omogočajo absorpcijo izločkov iz ran in ohranjajo vlažno okolje za pospeševanje celjenja. Zato se uporablajo tudi v dermatologiji za zdravljenje različnih kožnih težav, kot so razjede, odrgnine in rane ali v zobozdravstvu za ustvarjanje odtisov zob, ki se nato uporabijo za izdelavo zahnih zalivk, mostičkov in protez. Farmacevtska industrija jih uporablja kot dostavne materiale z nadzorovanim sproščanjem zdravil. Omenili smo že, da se uporablajo tudi v tkivnem inženirstvu. Literatura navaja, da se alginatne biotkanine lahko uporablajo tudi v bioremediaciji za vezavo in odstranjevanje onesnaževal iz okolja, na primer težkih kovin. Ker se je druga šolska raziskovalna ekipa ukvarjala ravno s problemom odstranjevanja kadmija, sva jim ponudila, da preučijo najine produkte tudi v ta namen.

Zaradi ne toksičnosti materiala (aligitekstila), ki sva ga izdelala, meniva, da bi bilo smiselno preučiti njegovo uporabo:

- v maskah in obraznih oblogah (zaradi vlažilnih lastnosti),
- kot material za pakiranje živil (meso, zelenjava,....),
- kot folija za zavijanje knjig, zvezkov,
- kot tkanina za oblačila, ki se nosijo v bližini ognja (ni gorljivo),
- za izdelavo preprog v kuhinji (elastičnost, ki prepreči razbitje; razlita tekočina se ne vsrka takoj).

- kot podlogo za inkontinentne bolnike (ima prijeten »kožni« otip, vendar ne prepušča urina, ga pa počasi absorbira),
- kot »rezervoar« vode za rastline ob sušnih razmerah ali ob poplavah.

Trenutno v šoli vzpostavljamo veliko učilnico v naravi, ki jo predstavlja vrt s parkovno zasnovo. Celotna učilnica ima južno lego, kar pomeni, da bodo tako drevesa, grmi, zelišča in vrtnine, zaradi osončenosti, potrebovali več vode. Ker je vrt zasnovana na zelo degradiranih tleh, z malo zemlje in z nagibom, lahko pričakujemo, da bo oskrba z vodo in s hranili še težja. Zato sva v fazi oddaje te naloge začela pripravljati »talne obloge za rastline«, ki bi lahko v času sajenja in tudi kasneje zelo pripomogle k boljši rasti ter oskrbi rastlin z minerali ter hranili. Alginatne rastlinske blazine bodo pomagale:

- zadrževati vlago v tleh in zmanjševale izhlapevanje.
- delovale kot kompostna gnojila, saj jih lahko napojimo s hranili (npr. ekstrakt gabeza, ki je bogat s kalijevimi ioni).
- se prilagajale vremenskim razmeram in potrebam rastlin (močni nalivi – vsrkajo vodo; suša-sproščajo vodo).

Ker se bodo povsem razgradile, ne bodo obremenjevala talne faune.

Alginatne blazinice bodo zelo uporabne tudi na vrtovih, še posebno v trenutno (modernih) visokih gredah za vse zgoraj opisane namene, pa tudi za »zdravljenje« rastlin.

6 UPORABLJENI VIRI

- 1) Bertagnolli C., Espindola A.P.D.M., Kleinübing S.J., Tasic L., Da Silva M.G.C. (2014). *Sargassum filipendula* Alginate from Brazil: Seasonal Influence and Characteristics. *Carbohydr. Polym.* 2014;111:str. 619–623. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.05.024.
- 2) Brun, C. "Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives". EUR-Lex: Access to European Union law. 16 December 2008. Archived from the original on 31 August 2021. Retrieved 31 August 2021.
- 3) Ching S.H., Bansal N., Bhandari B. (2017). Alginate Gel Particles—A Review of Production Techniques and Physical Properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017;57:1133–1152. doi: 10.1080/10408398.2014.965773.
- 4) Dobrinčić A., Balbino S., Zorić Z., Pedisić S., Bursać Kovačević D., Elez Garofulić I., Dragović-Uzelac V. (2020). Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides. *Mar. Drugs.* 2020;18:str. 168. doi: 10.3390/md18030168
- 5) Donati I., Paoletti S. Material Properties of Alginates. (2009) V: Rehm B.H.A., editor. *Alginates: Biology and Applications*. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 2009. pp. 1–53. Microbiology Monographs.
- 6) Fernando I.P.S., Lee W., Han E.J., Ahn G. (2019). Alginate-Based Nanomaterials: Fabrication Techniques, Properties, and Applications. *Chem. Eng. J.* 2020:str. 123823. doi: 10.1016/j.cej.2019.123823
- 7) Fenoradosoa T.A., Ali G., Delattre C., Laroche C., Petit E., Wadouachi A., Michaud P. (2010). Extraction and Characterization of an Alginate from the Brown Seaweed *Sargassum Turbinarioides* Grunow. *J. Appl. Phycol.* 2010;22:131–137. doi: 10.1007/s10811-009-9432-y. [
- 8) Gomez C.G., Pérez Lambrecht M.V., Lozano J.E., Rinaudo M., Villar M.A. (2009). Influence of the Extraction–Purification Conditions on Final Properties of Alginates Obtained from Brown Algae (*Macrocystis Pyrifera*) Int. J. Biol. Macromol. 2009;44:str. 365–371. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2009.02.005.
- 9) Gilbert L. "Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives". EUR-Lex: Access to European Union law. 16 December 2008. Archived from the original on 31 August 2021. Retrieved 31 August 2021.
- 10) Hirst E.L., Jones J.K.N., Jones W.O. (1939). The Structure of Alginic Acid. Part I. *J. Chem. Soc. (Resumed)* 1939:str. 1880–1885. doi: 10.1039/jr9390001880.
- 11) Hecht H., Srebnik S. (2016). Structural Characterization of Sodium Alginate and Calcium Alginate (2016). *Biomacromolecules.* 2016;17: str. 2160–2167. doi: 10.1021/acs.biomac.6b00378.
- 12) Kadolph, Sara J. (1998). Textiles. Internet Archive. Upper Saddle River, N.J. : Merrill. str. 4, 5. ISBN 978-0-13-494592-7.
- 13) Khajouei R.A., Keramat J., Hamdami N., Ursu A.-V., Delattre C., Laroche C., Gardarin C., Lecerf D., Desbrières J., Djelveh G., et al. (2018). Extraction and Characterization of an Alginate from the Iranian Brown Seaweed *Nizimuddinia zanardini*. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018;118:str. 1073–1081. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.154.
- 14) Lucas R. Brun, Maela Lupo, Damia'n A. Delorenzi, Vero'nica E. Di Loreto, Alfredo Rigall (2013). Chicken eggshell as suitable calcium source at home. International Journal of Food Sciences and

Nutrition · April 2013. DOI: 10.3109/09637486.2013.787399 · Vir: PubMed. Dostopno na: <https://www.researchgate.net/publication/236264782> Povzeto 30. 12. 2023

- 15) Mohammed A., Rivers A., Stuckey D.C., Ward K. (2020). Alginate Extraction from *Sargassum* Seaweed in the Caribbean Region: Optimization Using Response Surface Methodology. *Carbohydr. Polym.* 2020;245:str. 116419. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116419.
- 16) Pereira, P., Cotas, J. Introductory Chapter: Alginates - A General Overview. Dostopno na: <https://www.researchgate.net/publication/339051580> Povzeto 7. 1. 2024.
- 17) Pillay V., Fassihi R. (1999). Vitro Release Modulation from Crosslinked Pellets for Site-Specific Drug Delivery to the Gastrointestinal Tract: I. Comparison of PH-Responsive Drug Release and Associated Kinetics. *J. Control. Release.* 1999;59:str. 229–242. doi: 10.1016/S0168-3659(98)00196-5.
- 18) Rastogi P., Kandasubramanian B. (2019). Review of Alginate-Based Hydrogel Bioprinting for Application in Tissue Engineering. *Biofabrication.* 2019;11:042001. doi: 10.1088/1758-5090/ab331e.
- 19) Sellimi S., Younes I., Ayed H.B., Maalej H., Montero V., Rinaudo M., Dahia M., Mechichi T., Hajji M., Nasri M. (2015). Structural, Physicochemical and Antioxidant Properties of Sodium Alginate Isolated from a Tunisian Brown Seaweed. *Int. J. Biol. Macromol.* 2015;72:1358–1367. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.10.016.
- 20) Teegarden, D. M. (2004). Polymer Chemistry: Introduction to an Indispensable Science. NSTA Press. p. 149. ISBN 9780873552219.
- 21) Tutor Ale M., Meyer A.S. (2013). Fucoidans from Brown Seaweeds: An Update on Structures, Extraction Techniques and Use of Enzymes as Tools for Structural Elucidation. *RSC Adv.* 2013;3:str. 8131–8141. doi: 10.1039/C3RA23373A.
- 22) Wang X., Fosse H.K., Li K., Chauton M.S., Vadstein O., Reitan K.I. (2019). Influence of Nitrogen Limitation on Lipid Accumulation and EPA and DHA Content in Four Marine Microalgae for Possible Use in Aquafeed. *Front. Mar. Sci.* 2019;6:str. 95. doi: 10.3389/fmars.2019.00095.
- 23) Naslovna slika: text to image AI

Drugi viri:

https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/GreenChem_p006/green-chemistry/alginate-seaweed-biofabrics povzeto 7. 10. 2023

<https://fran.si/> (Slovar slovenskega knjižnega jezika, druga), dostopno 1. 9. 2023