

# **bHIDROGELI IZ NANOFIBRILIRANE CELULOZE Z DODATKI TANINA IN NJIHOVI UČINKI NA RAST BAKTERIJ**

EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

RAZISKOVALNA NALOGA

Lara Vincetič

9. razred

Mentorica:

Katarina Kunaver, univ. dipl. biol.

Somentorica:

izr. prof. dr. Ida Poljanšek, univ. dipl. ing. kem. teh.

Šolsko leto 2019/2020

OSNOVNA ŠOLA RIHARDA JAKOPIČA

LJUBLJANA

# **HIDROGELI IZ NANOFIBRILIRANE CELULOZE Z DODATKI TANINA IN NJIHOVI UČINKI NA RAST BAKTERIJ**

**RAZISKOVALNA NALOGA  
EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA**



**9. razred**

**Šolsko leto 2019/2020**

## **Kazalo vsebine**

1 UVOD .....	6
2 TEORETIČNI DEL .....	9
2.1 CELULOZA .....	9
2.1.1 NANOCELULOZA.....	12
2.2 HIDROGELI.....	14
2.3 TANINI.....	16
3 EKSPERIMENTALNI DEL .....	18
3.1 IZDELAVA NFC HIDROGELOV.....	18
3.2 SUŠENJE Z ZAMRZOVANJEM-LIOFILIZACIJA .....	20
3.3 ANTIBAKTERIJSKI TEST .....	28
3.4 RAZPRAVA .....	33
4 ZAKLJUČEK.....	35
5 VIRI .....	36
5.1 KNJIŽNI VIRI .....	36
5.2 SPLETNI VIRI .....	36
5.3 VIRI SLIK.....	37
6 PRILOGA .....	40
6.1 IZRAČUN GOSTOTE IN POROZNOSTI NFC HIDROGELOV .....	40

## Kazalo slik

Slika 1: Bombaž.....	9
Slika 2: Deblo.....	10
Slika 3: Molekule celuloze .....	11
Slika 4: Nanoceluloza .....	12
Slika 5: Nanoceluloza .....	13
Slika 6: Hidrogel.....	14
Slika 7: Obliž.....	15
Slika 8: Tanin .....	16
Slika 9: Kozarec vina .....	17
Slika 10: Kostanjev tanin .....	18
Slika 11: NFC z dodanim taninom .....	19
Slika 12: Hidrogeli v NaOH.....	19
Slika 13: Vzorci po vzetju iz termobloka .....	19
Slika 14: Hidrogeli, narejeni z 20 % raztopino NaOH brez tanina .....	20
Slika 15: Zalitje s tekočim dušikom.....	20
Slika 16: Liofilizator.....	21
Slika 17: Tehtanje vzorcev .....	21
Slika 18: Merjenje hidrogela .....	22
Slika 19: Pospravljen in označen hidrogel.....	22
Slika 20: Zalitje vzorcev s suspenzijo .....	28
Slika 21: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0 % tanina.....	29
Slika 22: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,1 % tanina.....	29
Slika 23: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,25 % tanina...	30
Slika 24: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,5 % tanina....	30
Slika 25: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,75 % tanina...	31
Slika 26: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 1 % tanina.....	31
Slika 27: Primerjava hidrogelov, narejenih z 20 % in 30 % raztopino NaOH ..	32

## **Kazalo tabel**

Tabela 1: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0 % tanina .....	23
Tabela 2: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,1 % tanina .....	23
Tabela 3: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,25 % tanina .....	23
Tabela 4: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,5 % tanina .....	24
Tabela 5: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,75 % tanina .....	24
Tabela 6: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 1 % tanina .....	24
Tabela 7: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0 % tanina .....	25
Tabela 8: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,1 % tanina .....	25
Tabela 9: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,25 % tanina .....	25
Tabela 10: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,5 % tanina .....	26
Tabela 11: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,75 % tanina .....	26
Tabela 12: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 1 % tanina .....	26
Tabela 13: Vsi rezultati .....	42

## **Kazalo grafov**

Graf 1: Povprečna gostota hidrogelov .....	27
Graf 2: Povprečna poroznost hidrogelov .....	27

## **POVZETEK**

Z raziskovalno nalogo sem želela izdelati hidrogele iz nanofibrilirane celuloze ter raziskati njihove lastnosti. Zanimala me je njihova uporabnost v vsakdanjem življenju in odpornost proti bakterijam.

V teoretičnem delu raziskovalne naloge sem predstavila nekaj ključnih pojmov, s katerimi sem se srečevala pri raziskovanju in pisanju raziskovalne naloge.

V eksperimentalnem delu sem izdelala hidrogele iz nanofibrilirane celuloze. Hidrogele sem stehtala, izmerila in posušila z zamrzovanjem (liofilizacija). Rezultate sušenja z zamrzovanjem sem prikazala v preglednici. Izvedla sem antibakterijski test.

S pomočjo eksperimentalnega dela sem analizirala zastavljene hipoteze. Prvo, **izdelava NFC hidrogelov je zahtevna**, sem ovrgla, saj sem imela vse potrebne materiale. Izdelava bi bila zahtevna, če ne bi imela priskrbljenih vseh materialov. Drugo, **NFC hidrogeli z dodatkom tanina imajo antibakterijski učinek**, sem potrdila. Hidrogeli z dodanim taninom so se na antibakterijskem testu odrezali bolje kot hidrogeli brez tanina. Tretjo, **obstojnost hidrogelov je boljša ob višji koncentraciji raztopine natrijevega hidroksida**, sem potrdila. Hidrogeli, narejeni s 30 % raztopino NaOH, so bili bolj obstojni kot tisti, ki so bili narejeni z 20 % raztopino NaOH. Četrto, **količina tanina v NFC hidrogelih vpliva na antibakterijsko delovanje**, sem potrdila. Hidrogeli z večjo vsebnostjo tanina so se na antibakterijskem testu bolje odrezali.

## **Ključne besede:**

celuloza, nanoceluloza, tanin, hidrogeli iz nanofibrilirane celuloze, sušenje z zamrzovanjem, antibakterijski test.

## **1 UVOD**

Že pred tremi leti sem se navdušila nad raziskovanjem in izdelavo raziskovalnih nalog. V sedmem razredu sem preučevala uporabnost tujerodnih invazivnih rastlin. S to temo sem nadaljevala v osmem razredu, kjer sem na Biotehniški fakulteti, Oddelku za lesarstvo preučevala lastnosti tujerodnih invazivnih lesnih vrst. Tam sem videla plakate o nanocelulozi in hidrogelih. Ta tema me je zelo pritegnila. Pomislila sem, ali bi lahko nanocelulozo in posledično hidrogele izdelali tudi iz lesnih invazivnih vrst in tako pripomogli k ohranjanju avtohtonih lesnih vrst. V prvi vrsti sem se želela spoznati z lesno nanocelulozo kot materialom in možnostjo izdelave hidrogela. Povezala sem se s prof. dr. Primožem Ovnom in z dr. Ido Poljanšek s Katedre za kemijo lesa in druge lignocelulozne materiale, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete. Po njuni kratki predstavivti raziskav s področja nanoceluloze, ki potekajo na njihovi katedri, in možnosti uporabe nanoceluloze sem se zelo navdušila nad tematiko, zato sem se odločila za letošnjo raziskovalno nalogu, s katero bi ugotovila uporabnost hidrogelov, ki bi jih lahko izdelovali tudi iz nanoceluloze, pridobljene iz lesnih invazivnih vrst. Raziskava na temo pridobivanja nanoceluloze iz invazivnih lesnih vrst poteka na Biotehniški fakulteti v okviru projekta Applause (UIA02-228).

## **CILJI:**

- spoznati, kaj je nanoceluloza,
- naučiti se izdelati hidrogel,
- ugotoviti, ali koncentracija NaOH vpliva na kvaliteto hidrogela,
- ugotoviti, ali koncentracija NaOH vpliva na hitrost izdelave hidrogela,
- določiti vpliv tanina na tvorbo in lastnosti hidrogelov,
- dodati različno količino tanina v hidrogele,
- ugotoviti, ali hidrogeli delujejo antibakterijsko,
- ugotoviti, ali količina tanina vpliva na antibakterijsko delovanje hidrogelov.

## **HIPOTEZE**

**Hipoteza 1:**

**Izdelava NFC hidrogelov je zahtevna.**

**Hipoteza 2:**

**NFC hidrogeli z dodatkom tanina imajo antibakterijski  
učinek.**

**Hipoteza 3:**

**Obstojnost hidrogelov je boljša ob višji koncentraciji  
raztopine natrijevega hidroksida.**

**Hipoteza 4:**

**Količina tanina v NFC hidrogelih vpliva na antibakterijsko  
delovanje.**

## **METODE DELA**

### **Teoretični del:**

- zbiranje podatkov o celulozi in z njo povezanih temah v knjigah in na spletnih straneh,
- zbiranje informacij s pomočjo strokovnjakov, zaposlenih na Biotehniški fakulteti, Oddelku za lesarstvo.

### **Eksperimentalni del:**

- obisk Biotehniške fakultete, Oddelka za lesarstvo,
- obisk Nacionalnega laboratorija za zdravje, okolje in hrano,
- izdelava nanofibriliranih hidrogelov,
- tehtanje in merjenje vzorcev,
- sušenje z zamrzovanjem,
- antibakterijski test.

## **2 TEORETIČNI DEL**

### **2.1 CELULOZA**

Celuloza je organska snov – polisaharid iz skupine ogljikovih hidratov. Sestavlajo jo molekule glukoze. Celulozo izdelujejo rastlinske celice in je najbolj razširjena organska snov na Zemlji. Rastlinam omogoča oporo, saj je glavna sestavina celičnih sten rastlinske celice. Njena kemijska formula je  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Je netopna v vodi in v večini organskih topil.

Les vsebuje okoli 45 % celuloze. Celuloza je izhodna snov za izdelavo papirja, pomembna pa je tudi v tekstilni industriji, kjer se uporablja v obliki bombaža, lanu, iz nje pa pridobivajo tudi umetno svilo, viskozo in druge materiale. Celulozni derivati, na primer metilceluloza, so pomembni tudi v gradbeništvu. Celuloza je tudi izhodni material za celofan, ki se uporablja kot ovojnina.



**Slika 1: Bombaž**

Rastline jo izdelajo približno 10 milijard ton na dan. Vlakna semen bombaževca, iz katerih izdelujejo vato in filtrirni papir, so skoraj čista celuloza.

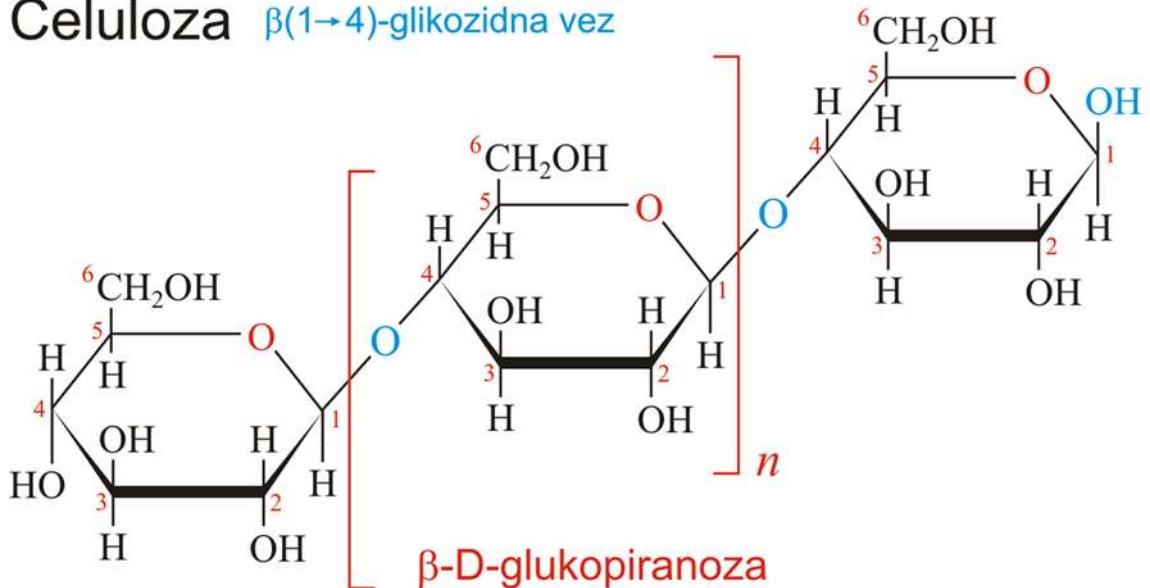


**Slika 2: Deblo**

Ljudje celuloze ne moremo izkoristiti za vir hrane, ker človeško telo ne vsebuje potrebnih encimov, ki bi razgradili celulozo do manjših oziroma monomernih enot.

Celulozo sestavljajo glukozne enote, ki so med seboj povezane z  $\beta$ -1,4-glikozidnimi vezmi, zato so molekule celuloze linearne. Od 1200 do 1400 molekul celuloze se med seboj povezuje v vlakna, mikrofibrile, z vodikovimi vezmi. Taka struktura daje celulozi veliko trdnost.

## Celuloza $\beta(1 \rightarrow 4)$ -glikozidna vez



Slika 3: Molekule celuloze

Celuloza ima sposobnost v trdem stanju tvoriti dve ali več kristalnih oblik, ki imajo različno ureditev molekul. Najbolj pomembni kristalinični obliki sta celuloza I in celuloza II. Če je celuloza I obdelana z alkalno raztopino, se nabrekne in pretvori v celulozo II. Nabrekanje je odvisno od tipa in koncentracije alkalne raztopine ter temperature (Stante, 2019, str. 5).

Celuloza je naraven, obnovljiv, trajnosten in razgradljiv material, ki s širokim spektrom uporabnosti učinkovito konkurira materialom, ki so zasnovani na fosilnih surovinskih virih (Levanič et al., 2019). To velja tudi za nanocelulozo.

## **2.1.1 NANOCELULOZA**

Glede na način pridobivanja ločimo nanokristalinično celulozo (NCC), nanofibrilirano celulozo (NFC) in bakterijsko nanocelulozo (BNC). Nanofibrilirana celuloza se pridobiva na mehanski način iz lesne pulpe. Mehanski način razvlaknjevanja ohrani amorfne (neurejene) in kristalinične (urejene) dele v mikrofibrilah. Z mehansko obdelavo vodikove vezi med celuloznimi molekulami popustijo. Med postopkom fibrilacije se fibrile, ki tvorijo celično steno, ločijo med seboj. Kot rezultat nastane viskozen gel, ki vsebuje nanofibrile s premerom od 20 nm do 40 nm in meri nekaj mikrometrov v dolžino.

Za proizvodnjo nanokristalinične in nanofibrilirane celuloze bi lahko uporabili tudi les tujerodnih invazivnih vrst. S tem bi jih uporabili za nekaj koristnega, ohranili pa bi nekaj dreves naših domorodnih vrst.

Nanocelulozo lahko dobimo v suhem stanju ali v obliki gela. Za surovine se lahko uporablja les, celuloza, slama in drugi materiali.



**Slika 4: Nanoceluloza**

Nanoceluloza je biorazgradljiva, ima tudi dobre mehanske lastnosti (ima nizko specifično težo, odzivnost na spremembe v okolju, visoko mehansko jakost in drugo). Je 5-krat lažja in 5-krat močnejša od jekla.

Uporabnost nanoceluloze se še posebej izkazuje v proizvodnji embalaže, biokompozitov, bioplastike, papirništva in tekstilstva. Dodatek nanoceluloze poveča mehanske lastnosti končnega izdelka, lahko se uporabi za ojačitev izdelka, v tekstilni industriji predstavlja velik potencial kot nanopolnilo ali kot apreturno sredstvo.



**Slika 5: Nanoceluloza**

## 2.2 HIDROGELI

Nanocelulozni hidrogeli so materiali, ki lahko svojo obliko spremenijo glede na razmere v okolju (npr. pH, temperatura, koncentracija soli). Spremembe potekajo dvosmerno (če hidrogel posušimo, dobimo aerogel, če ga ponovno namočimo v vodo, zopet dobimo hidrogel). Dobro vpijajo in zadržujejo vodo.



**Slika 6: Hidrogel**

»Mehanizem nastanka tovrstnih hidrogelov je kompleksen. Pri koncentracijah nad 12 % so longitudinalni skrčki fibril še bistveno večji, zato hitreje pride do približevanja fibril, povečajo pa se tudi volumski skrčki hidrogela. To ima tudi pozitiven vpliv na mehanske lastnosti hidrogelov. Hkrati se z večanjem koncentracije NaOH prične spremnjati kristalna struktura celuloze, le-ta začne prehajati iz celuloze I v celulozo II. Ob pretvorbi celuloze I v celulozo II pride do nastanka prepletene in neprekinjene fibrilarne strukture, kar dodatno prispeva k dobrim mehanskim lastnostim hidrogelov iz celuloze II. Tako nastali hidrogel je potrebno nevtralizirati s šibkimi kislinami (npr. ocetna kislina), kar še dodatno izboljša mehanske lastnosti hidrogelov zaradi ireverzibilne koalescence celuloznih nanofibril oz. nastanka vodikovih vezi. Nastanek tovrstnih hidrogelov je torej kombiniran proces, v katerem imajo ključno vlogo približevanje,

prepletanje in krčenje nanofibril, nastanek vodikovih vezi med njimi ter pretvorba kristaliničnih območij iz celuloze I v celulozo II« (Levanič et al., 2019, str. 3).

»Uporaba hidrogelov je zelo raznolika, od bolj preprostih aplikacij kot zadrževala vode v kmetijstvu do visoko zahtevnih optičnih pripomočkov, kot so kontaktne leče. Najbolj perspektivna uporaba nanoceluloznih hidrogelov pa so medicinske aplikacije. Razvoj nanoceluloznih hidrogelov je trenutno še v povojuh, saj je potrebno dodobra raziskati njihove dolgoročne učinke na zdravje ljudi. Med zelo verjetne potencialne uporabe nanoceluloznih hidrogelov štejemo strukture za dostavo zdravilnih učinkovin s kontroliranim sproščanjem, strukture za proliferacijo humanih celic z namenom nadomeščanja poškodovanih tkiv ter zdravljenje površinskih poškodb« (Levanič et al., 2019, str. 7).



**Slika 7: Obliž**

## 2.3 TANINI

Tanini so polifenolne spojine, ki jih večinoma pridobivamo iz rastlin. Vežejo in obarvajo proteine. Imajo grenek okus. Poznamo hidrolizirajoče in kondenzirane tanine. Hidrolizirajoči tanini so večinoma estri sladkorja, ki jih pridobivamo s hidrolizo estra, ki poteče s šibko kislino ali šibko bazo.

Največ tanina je v golosemenkah in kritosemenkah, nahaja pa se v listih, popkih, semenih, koreninah, steblu in drevesni skorji.

Veliko tanina se nahaja v iglavcih, čajevcu, hrastu in navadnem orehu, za industrijo pa se pridobivajo iz hrasta ali akacije v obliki prahu. Največ tanina je v hrastovem lubju. V industriji so se uporabljali pri izdelavi usnja, proizvodnji črnila in barvanju tkanin.



**Slika 8: Tanin**

Raztopina tanina se imenuje adstringentna kislina. Uporablja se predvsem v vinarstvu in pivovarstvu.

Tanini so v prehranski industriji znani kot aditivi E181. Veliko tanina vsebujejo vino, čaj, kakav, granatna jabolka, kakiji, grozdje, brusnice, jagode, borovnice, črni ribez, pehtran, timijan, cimet, večina stročnic, temna čokolada, mandlji, želodi, kostanj, evkaliptus, vanilija in veliko drugega.

Tanini so prisotni v kožici grozdnih jagod, pečkah in peclju, nekaj tanina pa vino lahko pridobi iz sodov, narejenih iz lesa, še posebej hrasta. Študije o uživanju vina kažejo pozitivne učinke na ožilje, saj zavirajo delovanje peptida, ki povzroča otrdelost arterij.



**Slika 9: Kozarec vina**

Včasih so tanini veljali za nehranljive in škodljive. Koristne in nekoristne lastnosti taninov so odvisne od kemijske strukture in odmerka.

Pri prekomerni uporabi izdelkov s taninom lahko pride do draženja črevesja, ledvic in želodca, poškodbe jeter, prebavnih motenj, preprečevanja vnosa mineralov in železa.

Tanini zdravijo opeklne, zaustavljajo krvavitve, preprečujejo nastanek infekcij, pomagajo pri celjenju ran, varujejo ledvice, pomagajo pri bolečem grlu in utrujenosti, so učinkoviti pri zdravljenju vnetij, kožnih bolezni in lajšanju srbenja, preprečujejo dehidracijo povrhnjice in zdravijo rane, ki so nastale po operacijah. Imajo antivirusne, antibakterijske in antiparazitske učinke. Preučevali so tudi njihova možna delovanja proti raku.

### **3 EKSPERIMENTALNI DEL**

Poskuse za eksperimentalni del sem izvedla na Biotehniški fakulteti, Oddelku za lesarstvo. Naredila sem tri poskuse:

- izdelava hidrogelov in dodajanje tanina,
- tehtanje, merjenje in liofilizacija (sušenje z zamrzovanjem) hidrogelov,
- antibakterijski test.

#### **3.1 IZDELAVA NFC HIDROGELOV**

Pri izdelavi NFC hidrogelov sem uporabila:

- 1,31 % nanofibrilirano celulozo, pridobljeno iz Centra za biokompozite in biomateriale iz Kanade,
- kostanjev tanin proizvajalca Tanin d. d., Sevnica,
- 20 % in 30 % raztopino NaOH, proizvajalca Sigma Aldrich,
- 4 % raztopino ocetne kisline, proizvajalca Sigma Aldrich,
- destilirano vodo.



**Slika 10: Kostanjev tanin**

Naredila sem več serij po šest hidrogelov z 20 % ali 30 % raztopino NaOH. Serije hidrogelov sem kasneje uporabila pri sušenju z zamrzovanjem in za antibakterijski test. Vzorec z 0 % tanina v vsaki seriji je bil kontrola.

V prvo čašo sem stehtala 20 g NFC.

V drugo čašo sem stehtala 19,98 g NFC in dodala 0,02 g tanina.

V tretjo čašo sem stehtala 19,95 g NFC in dodala 0,05 g tanina.

V četrto čašo sem stehtala 19,9 g NFC in dodala 0,1 g tanina.

V peto čašo sem stehtala 19,85 g NFC in dodala 0,15 g tanina.

V šesto čašo sem stehtala 19,8 g NFC in dodala 0,2 g tanina.



**Slika 11: NFC z dodanim taninom**

Nato sem vzorce zalila z 20 % ali s 30 % raztopino NaOH. Razlika je bila takoj opazna, oblikovali so se hidrogeli (slika 12). Vse vzorce sem nato dala v termoblok za 24 ur na 50°C (slika 13). Zaradi povišane temperature in visoke koncentracije NaOH je prišlo do preureditve kristalne rešetke celuloze I v celulozo II. Zatem sem vzorce izpirala s 4 % ocetno kislino in nato z destilirano vodo.



**Slika 12: Hidrogeli v NaOH**



**Slika 13: Vzorci po vzetju iz termobloka**

### 3.2 SUŠENJE Z ZAMRZOVANJEM-LIOFILIZACIJA

Liofilizacija je sušenje pri nizkih temperaturah, s katero sem iz hidrogelov odstranila odvečno vodo brez nezaželenih kemijskih reakcij. Z njo sem pridobila ustrezne mase aerogelov.

Dve seriji (ena narejena v 20 %, druga v 30 % raztopini NaOH) sem stehtala. Premer in debelino vzorcev sem izmerila z digitalnim kljunastim merilom. Po merjenju sem jih dala hladiti v hladilnik.



**Slika 14: Hidrogeli, narejeni z 20 % raztopino NaOH brez tanina**

Vzorce sem nato zalila s tekočim dušikom in jih za 48 ur dala v liofilizator.



**Slika 15: Zalitje s tekočim dušikom**

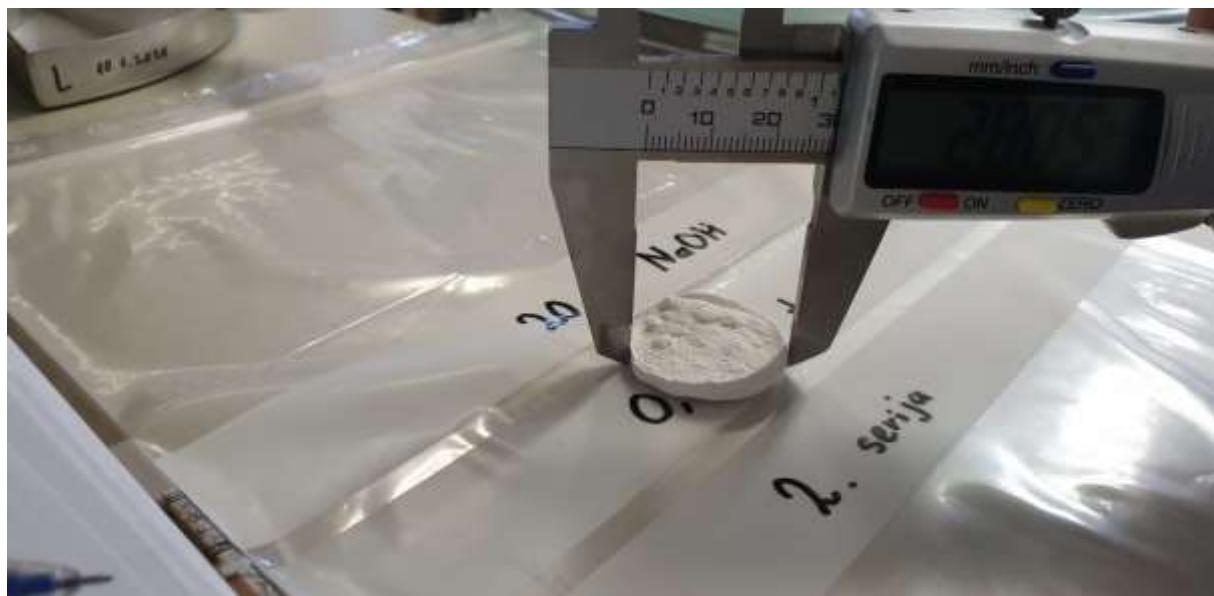


**Slika 16: Liofilizator**

Po liofilizaciji sem hidrogele znova stehtala in jim izmerila premer in debelino.

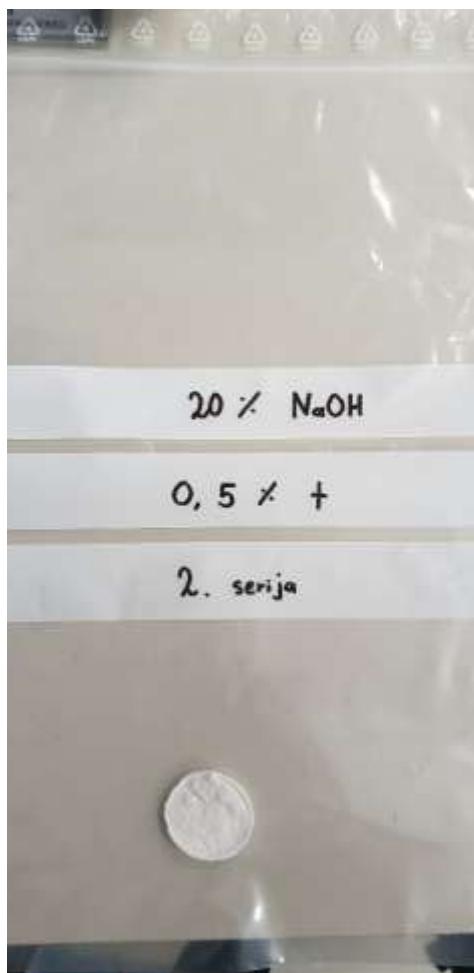


**Slika 17: Tehtanje vzorcev**



**Slika 18: Merjenje hidrogela**

Po ponovnem tehtanju in merjenju sem jih označila in shranila.



**Slika 19: Pospravljen in označen hidrogel**

Spodaj navedeni podatki so rezultati tehtanja in merjenja hidrogelov pred in po sušenju z zamrzovanjem.

**Tabela 1: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2	vzorec 3
pred	masa (g)	3,835	4,384	5,399
	premer (mm)	31,5	34,4	37,14
	debelina (mm)	4,87	3,06	5,41
po	masa (g)	0,247	0,299	0,362
	premer (mm)	24,15	26,67	28,51
	debelina (mm)	3,34	3,85	3,99

**Tabela 2: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,1 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2	vzorec 3
pred	masa (g)	4,208	4,797	4,754
	premer (mm)	37,76	36,56	36,84
	debelina (mm)	2,99	4,58	6,24
po	masa (g)	0,235	0,259	0,294
	premer (mm)	29,19	29,25	26,19
	debelina (mm)	3,55	4,98	3,33

**Tabela 3: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,25 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2	vzorec 3
pred	masa (g)	4,109	4,746	5,129
	premer (mm)	35,06	35,82	36,28
	debelina (mm)	6,34	5,8	6,44
po	masa (g)	0,247	0,254	0,322
	premer (mm)	29,65	28,62	28,01
	debelina (mm)	3,53	4,21	3,73

**Tabela 4: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,5 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2	vzorec 3
pred	masa (g)	3,83	4,586	5,226
	premer (mm)	32,96	35,09	36,81
	debelina (mm)	6,39	5,48	5,91
po	masa (g)	0,257	0,281	0,286
	premer (mm)	26,48	27,82	28,92
	debelina (mm)	3,67	3,99	4,89

**Tabela 5: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 0,75 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2	vzorec 3
pred	masa (g)	4,468	4,578	5,347
	premer (mm)	37,5	35,66	36,98
	debelina (mm)	4,05	3,6	4,9
po	masa (g)	0,252	0,265	0,294
	premer (mm)	30,39	27,93	31,01
	debelina (mm)	3,79	4,34	4,49

**Tabela 6: Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, 1 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2	vzorec 3
pred	masa (g)	4,626	4,473	5,348
	premer (mm)	35,63	36,07	37,12
	debelina (mm)	3,5	4,55	5,35
po	masa (g)	0,252	0,249	0,305
	premer (mm)	30,1	30,49	29,14
	debelina (mm)	3,37	3,57	4,5

**Tabela 7: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2
pred	masa (g)	3,21	3,489
	premer (mm)	32,56	34,45
	debelina (mm)	5,17	4,49
po	masa (g)	0,224	0,278
	premer (mm)	30,45	30,97
	debelina (mm)	6,86	2,64

**Tabela 8: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,1 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2
pred	masa (g)	3,48	4,617
	premer (mm)	33,28	34,84
	debelina (mm)	5,28	5,6
po	masa (g)	0,251	0,315
	premer (mm)	30,64	34,06
	debelina (mm)	5,52	5,67

**Tabela 9: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,25 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2
pred	masa (g)	3,352	4,303
	premer (mm)	32,97	35,44
	debelina (mm)	4,86	3,72
po	masa (g)	0,251	0,325
	premer (mm)	32,43	33,64
	debelina (mm)	4,64	3,93

**Tabela 10: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,5 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2
pred	masa (g)	3,493	4,497
	premer (mm)	32,78	35,14
	debelina (mm)	4,33	4,54
po	masa (g)	0,253	0,318
	premer (mm)	31,56	35,01
	debelina (mm)	4,97	4,87

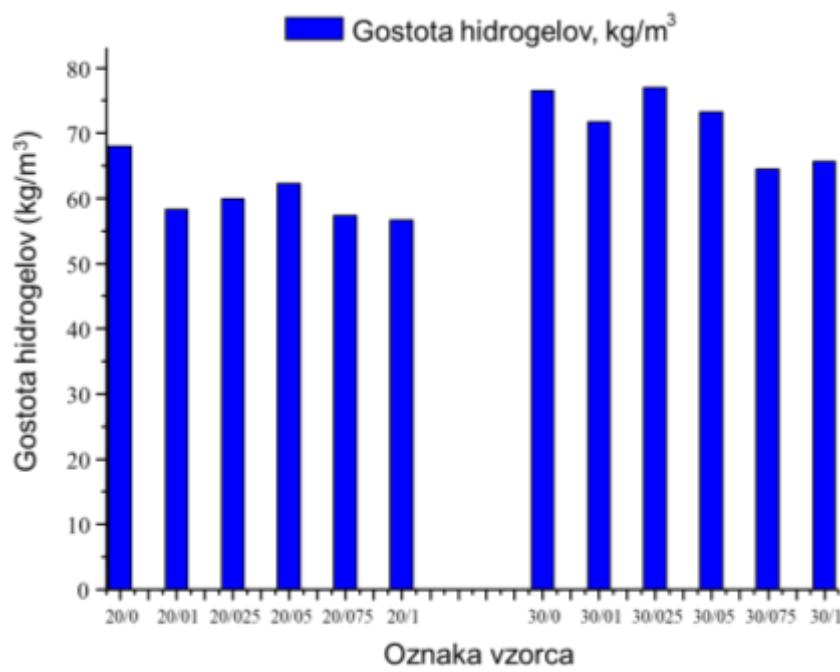
**Tabela 11: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 0,75 % tanina**

		vzorec 1	vzorec 2
pred	masa (g)	3,734	3,91
	premer (mm)	34,04	35,25
	debelina (mm)	4,4	3,37
po	masa (g)	0,205	0,28
	premer (mm)	32,61	33,16
	debelina (mm)	4,41	4,1

**Tabela 12: Vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, 1 % tanina**

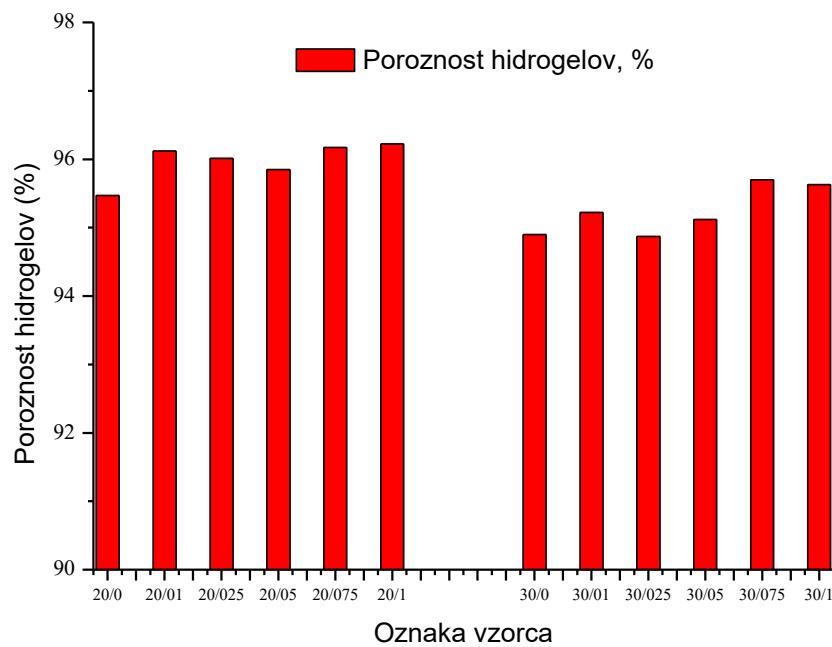
		vzorec 1	vzorec 2
pred	masa (g)	3,773	4,406
	premer (mm)	33,24	35,29
	debelina (mm)	5,51	4,51
po	masa (g)	0,226	0,303
	premer (mm)	32,35	34,32
	debelina (mm)	4,63	5,11

Iz teh podatkov lahko izračunamo gostoto in poroznost hidrogelov. Iz izračunov lahko razberemo, kako dodatek tanina vpliva na poroznost in gostoto hidrogela. Pri hidrogelih brez dodatka tanina je tudi pomembno, kolikšna je gostota in kolikšna je poroznost, saj s tem dobimo vpogled, koliko določene spojine je hidrogel pripravljen absorbirati, narejen z 20 % oziroma 30 % raztopino NaOH.



**Graf 1: Povprečna gostota hidrogelov**

Graf prikazuje, da imajo hidrogeli, narejeni s 30 % raztopino NaOH, večjo gostoto kot hidrogeli, narejeni z 20 % raztopino NaOH. Gostota pada s količino tanina.



**Graf 2: Povprečna poroznost hidrogelov**

Stolpični diagram prikazuje, da imajo hidrogeli, narejeni s 30 % raztopino NaOH, manjšo poroznost kot hidrogeli, narejeni z 20 % raztopino NaOH.

### 3.3 ANTIBAKTERIJSKI TEST

Za antibakterijski test sem uporabila:

- bakterijo *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*),
- navadni bujon,
- agar.

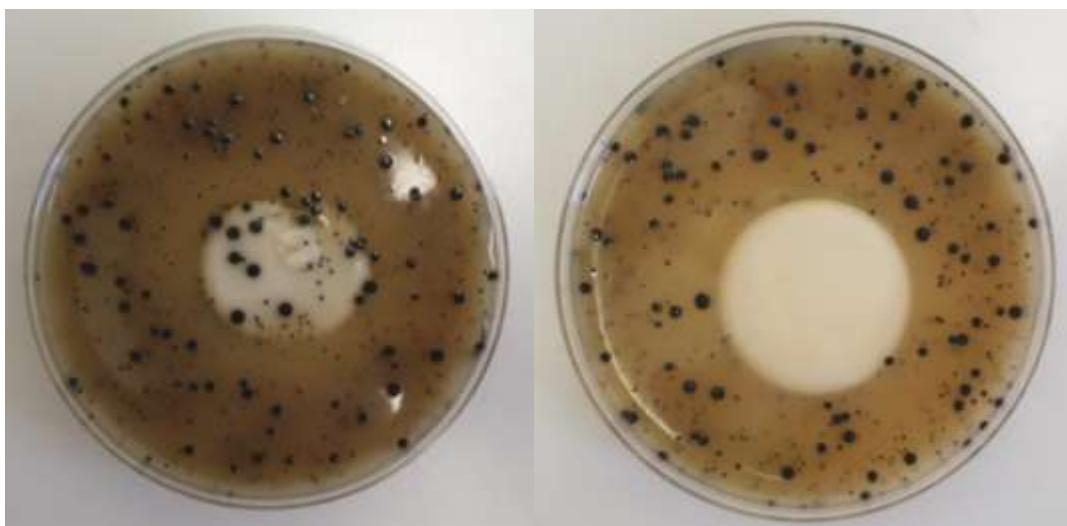
Antibakterijski test sem izvedla v Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano. Pri izvajanju poskusa mi je pomagala ga. Tatjana Rupel, univ. dipl. biol., spec.

Dve seriji hidrogelov sem testirala za antibakterijski učinek. Uporabila sem bakterijo vrste *Staphylococcus aureus*. V 5 ml suspenzije smo dodali 500 ml sterilnega selektivnega agarja (BP) in dobro premešali. Nato smo prelili pripravljene vzorce hidrogelov in jih dali inkubirati na 37°C. Po treh dneh sem preverila rezultate. Menim, da so bili hidrogeli, narejeni s 30 % raztopino NaOH, predhodno okuženi, saj so kazali nepravilne rezultate. Teh rezultatov nisem upoštevala, dodala sem jih samo za primerjavo. Primerno bi bilo antibakterijski učinek hidrogelov, narejenih s 30 % raztopino NaOH, ponoviti. Tako bi lahko ugotovila razliko antibakterijskega delovanja hidrogelov, narejenih z 20 % oziroma 30 % raztopino NaOH. Z izvedenim eksperimentom sem ugotovila, da hidrogeli z dodanim taninom res delujejo antibakterijsko.



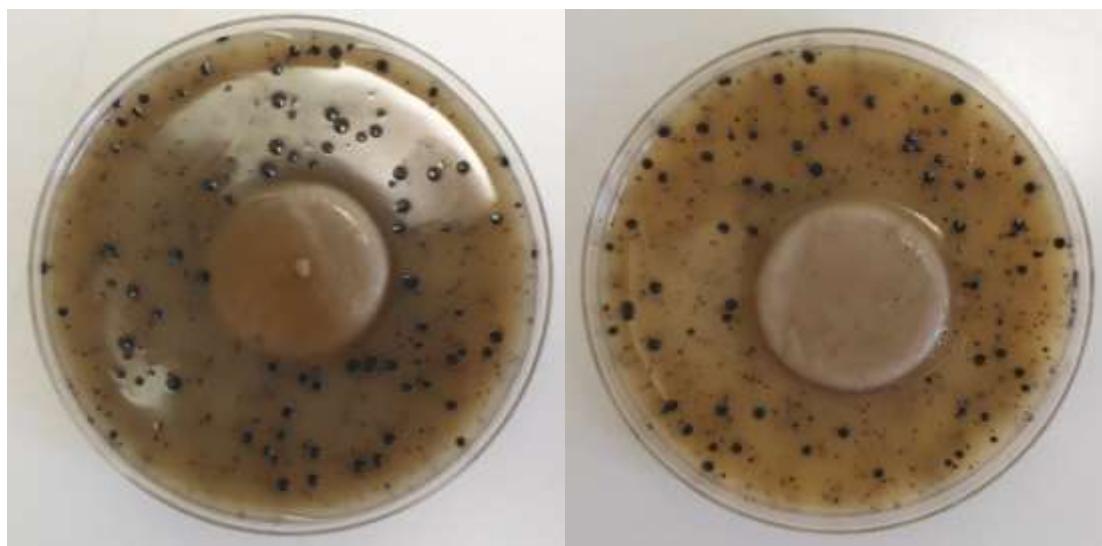
**Slika 20: Zalitje vzorcev s suspenzijo**

**Vzorci, narejeni z 20 % raztopino NaOH, so na vseh slikah na levi strani,  
vzorci, narejeni s 30 % raztopino NaOH, pa na desni.**



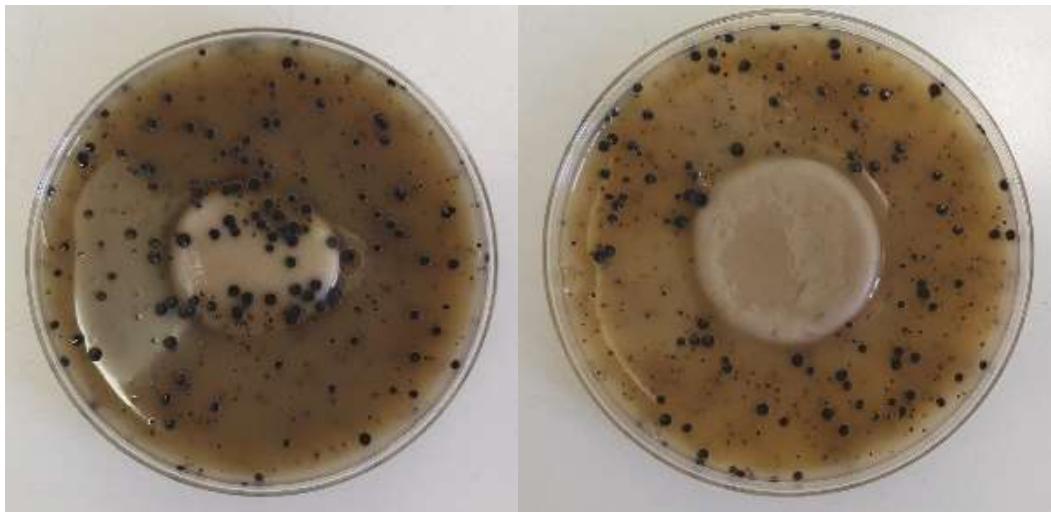
**Slika 21: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0 % tanina**

Vzorec, narejen z 20 % raztopino NaOH, kaže znake okužbe. Tak rezultat je bil pričakovan, saj vzorec ni vseboval tanina, ki ima antibakterijske lastnosti.



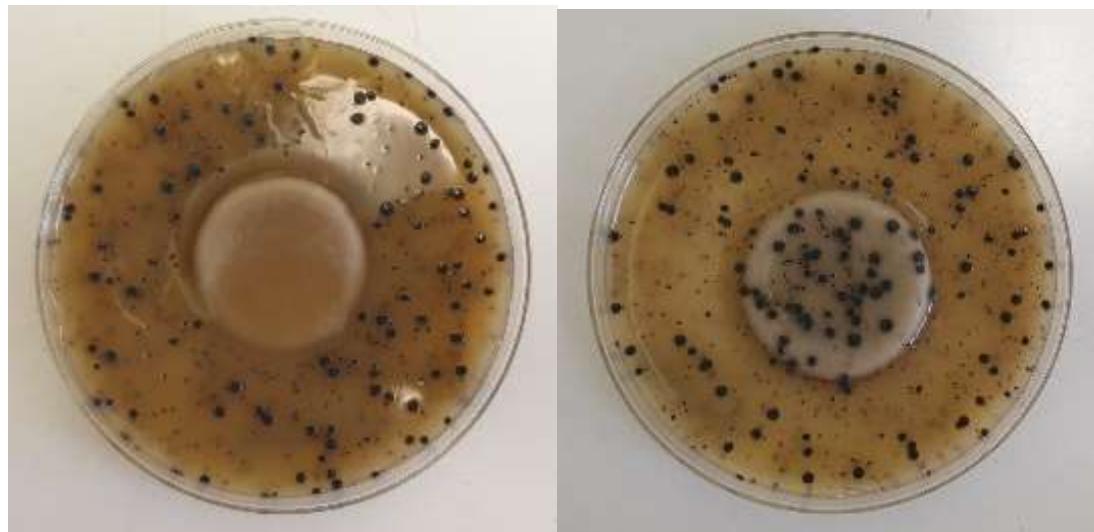
**Slika 22: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,1 % tanina**

Vzorec ni bil preraščen z bakterijami. Ta rezultat me je presenetil, saj je vseboval le 0,1 % tanina, kar ni veliko.



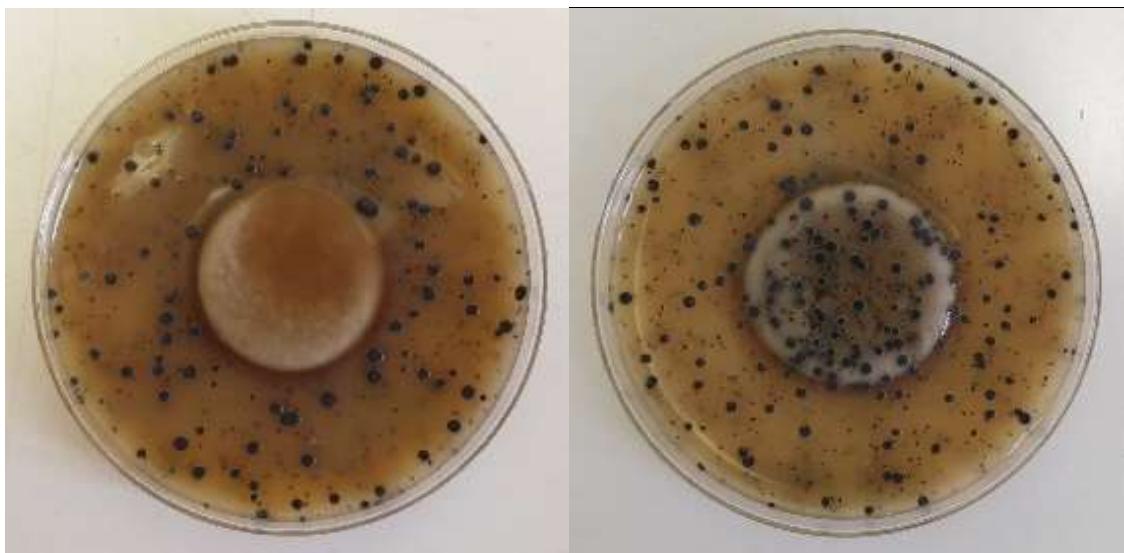
**Slika 23: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,25 % tanina**

Vzorec je bil preraščen z bakterijami. Tak rezultat je bil presenetljiv, saj sem pričakovala, da bo višja koncentracija tanina (0,25 %) tudi delovala antibakterijsko.



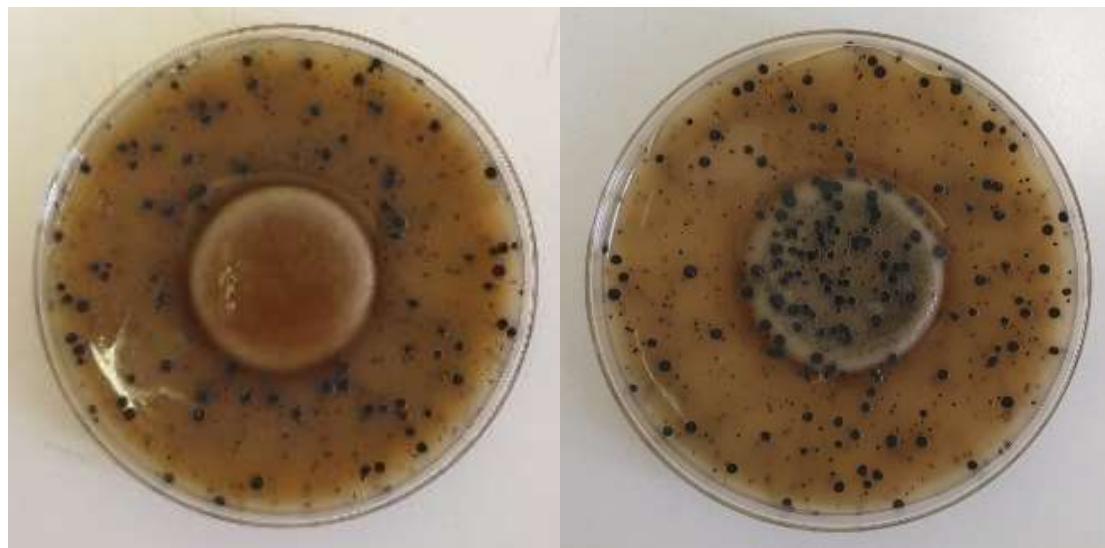
**Slika 24: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,5 % tanina**

Vzorec ni bil preraščen z bakterijami, kar je bilo pričakovano. Vseboval je 0,5 % tanina.



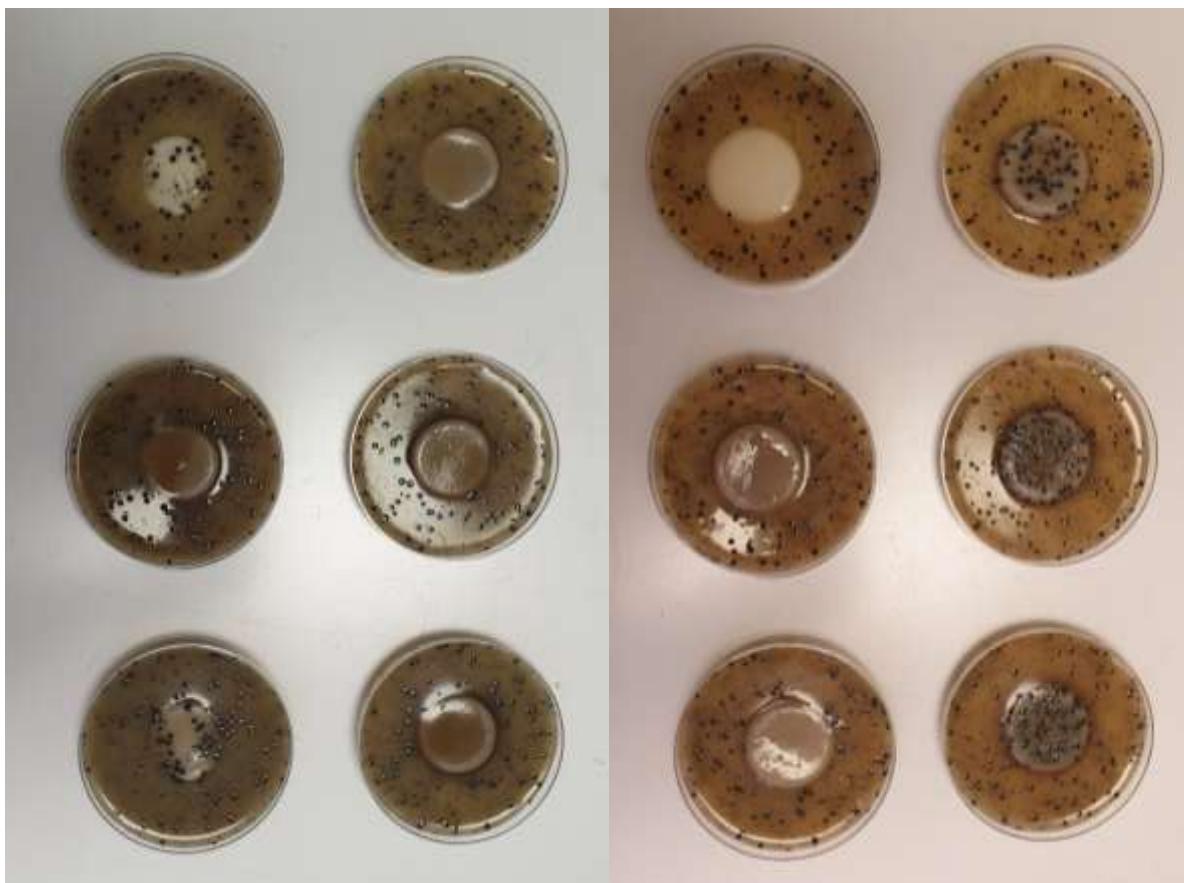
**Slika 25: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 0,75 % tanina**

Vzorec ni bil preraščen z bakterijami. Vseboval je 0,75 % tanina, zato je bil tak rezultat pričakovan.



**Slika 26: Vzorca, narejena z 20 % in 30 % raztopino NaOH, 1 % tanina**

Vzorec ni bil preraščen z bakterijami. Tak rezultat me ni presenetil, saj je vzorec vseboval največjo vrednost tanina v eksperimentalnem delu, 1 %.



**Slika 27: Primerjava hidrogelov, narejenih z 20 % in 30 % raztopino NaOH**

Na levi strani si od zgoraj navzdol sledijo vzorci z 0 %, 0,1 % in 0,25 % tanina, na desni strani pa od zgoraj navzdol 0,5 %, 0,75 % in 1 % tanina.

Z eksperimentom sem dokazala, da hidrogeli z dodanim taninom delujejo antibakterijsko. Med eksperimentom je lahko prišlo do okužbe samih hidrogelov, kar je vplivalo na točnost rezultatov. Zato bi bilo treba eksperiment ponoviti.

### **3.4 RAZPRAVA**

Postavila sem si štiri hipoteze, ki sem jih preverila z eksperimenti, izdelavo hidrogelov, sušenjem z zamrzovanjem in antibakterijskim testom.

#### **1. hipoteza:**

#### **IZDELAVA NFC HIDROGELOV JE ZAHTEVNA.**

Hipotezo sem preverila z izdelavo hidrogelov iz nanofibrilirane celuloze. Pri izdelavi nisem imeli nobenih težav, saj je sama tehnika izdelave hidrogelov zelo preprosta. Na voljo sem imela vse potrebne materiale in napisana navodila, ki so mi jih priskrbeli v laboratoriju Biotehniške fakultete, Oddelka za lesarstvo. Navodilom sem natančno sledila, zato izdelava hidrogelov ni bila zahtevna.

#### **HIPOTEZO SEM OVRGLA.**

#### **2. hipoteza:**

#### **NFC HIDROGELI Z DODATKOM TANINA IMAJO ANTIBAKTERIJSKI UČINEK.**

Hidrogeli, ki so vsebovali tanin, so zavirali rast bakterij na svoji površini (niso bili okuženi z bakterijami), hidrogeli, ki tanina niso vsebovali, so bili okuženi. Za natančnost rezultatov bi morala poskus ponoviti, vendar zaradi pomanjkanja časa in zasedenosti laboratorija tega nisem uspela narediti. Odločila sem se, da vzorcev, narejenih s 30 % raztopino NaOH, ne upoštevam zaradi možne okužbe pri eksperimentu. Zaradi aktualnosti teme razmišljjam, da bi ta eksperiment v naslednji raziskovalni nalogi nadgradila in izpopolnila. Kljub vsemu pa sem z eksperimentom dokazala, da hidrogeli z dodanim taninom delujejo antibakterijsko.

#### **HIPOTEZO SEM POTRDILA.**

### **3. hipoteza:**

#### **OBSTOJNOST HIDROGELOV JE BOLJŠA OB VIŠJI KONCENTRACIJI RAZTOPINE NATRIJEVEGA HIDROOKSIDA.**

Obstojnost hidrogelov sem preverila ob sami izdelavi. Ugotovila sem, da so hidrogeli, narejeni z 20 % raztopino NaOH manj obstojni in se počasneje oblikujejo. Hidrogeli, narejeni s 30 % raztopino NaOH, se bistveno hitreje oblikujejo in so bolj obstojni. Pri postopku sušenja z zamrzovanjem je velika večina hidrogelov, narejenih z 20 % raztopino NaOH, razpadla na koščke. Hidrogeli, narejeni s 30 % raztopino NaOH, pa so bili nepoškodovani. Po izračunih gostote in poroznosti sem ugotovila, da so vzorci z večjo gostoto in manjšo poroznostjo bolj obstojni.

#### **HIPOTEZO SEM POTRDILA.**

### **4. hipoteza:**

#### **KOLIČINA TANINA V NFC HIDROGELIH VPLIVA NA ANTIBAKTERIJSKO DELOVANJE.**

S hipotezo sem želela določiti najmanjšo inhibitorno koncentracijo tanina. Domnevala sem, da bo 0,1 % koncentracija tanina dovolj nizka, zato sem jo določila kot najnižjo. Pri eksperimentu že pri koncentraciji 0,1 % opazim antibakterijsko delovanje, kar pomeni, da je morda najnižje antibakterijsko delovanje tanina nižje od 0,1 %. Morala bi narediti še več poskusov z nižjimi koncentracijami tanina, antibakterijski test s 30 % raztopino NaOH pa ponoviti. Vzorcev, narejenih s 30 % raztopino NaOH, nisem upoštevala zaradi možne okužbe ali napake pri poskusu.

#### **HIPOTEZE NE MOREM NE POTRDITI, NE OVREČI.**

## **4 ZAKLJUČEK**

Raziskovalka sem že tretje leto. V sedmem razredu sem raziskovala uporabnost tujerodnih invazivnih rastlin. V osmem razredu sem preverjala lastnosti tujerodnih invazivnih lesnih vrst. Rdeča nit je ohranjanje slovenskih avtohtonih vrst in izkoriščanje tujerodnih invazivnih vrst v iste namene.

Ugotovila sem, da lahko tujerodne invazivne vrste koristno uporabimo za izdelavo papirja, v prehrani, zdravilstvu, lesni industriji in na tak način ohranimo slovenske avtohtone vrste.

Letos sem preverila uporabnost hidrogelov iz nanofibrilirane celuloze, ki sem jim dodala tanin. Tako nanofibrilirana celuloza kot tanin sta snovi, ki bi ju lahko pridobivali tudi iz tujerodnih invazivnih lesnih vrst in tako koristno uporabili rastline, ki izpodrivajo slovenske avtohtone vrste.

Spoznala sem, da izdelava NFC hidrogelov ni zahtevna, saj je le natančno potrebno slediti napisanim navodilom. Dokazala sem, da imajo hidrogeli z dodatkom tanina antibakterijski učinek, kar je zelo uporaben podatek.

Prihodnost hidrogelov je v uporabi v medicini, farmaciji, kmetijstvu.

Lahko jih uporabljam kot zadrževala vode v kmetijstvu. Lahko so sestavni del kontaktih leč. Hidrogeli bi lahko vsebovali zdravila s kontroliranim sproščanjem učinkovin. Lahko bi jih uporabljali za nadomeščanje poškodovanih tkiv in zdravljenje površinskih poškodb.

Z izdelavo raziskovalne naloge sem pridobila veliko novega znanja in izkušenj, ki mi bodo zagotovo v pomoč še dolga leta. Na tematiki hidrogelov je še veliko dela, od proučevanja lastnosti do izdelovanja novih izdelkov. Tema je še precej neraziskana, kaže pa velike potenciale. Kljub zahtevnosti raziskovalne naloge in moje mladosti sem zelo vesela, da mi je naloga uspela in da sem jo uspešno končala.

## 5 VIRI

### 5.1 KNJIŽNI VIRI

1. ABE, Kentaro, YANO, Hiroyuki. 2012. *Cellulose nanofiber-based hydrogels with high mechanical strength.* Cellulose 19:1907–1912
2. LEVANIČ, Jaka, POLJANŠEK, Ida, OVEN, Primož. 2019. *Stabilni hidrogeli iz nanofibrilirane celuloze.* Ljubljana: Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta.
3. STANTE, Luka. 2019. *Uporaba nanofibrilirane celuloze za izdelavo hidrogelov.* Ljubljana: Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta.
4. TIŠLER, Miha. 2013. *Organska kemija.* Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo.
5. VODNIK, Dominik. 2012. *Osnove fiziologije rastlin.* Ljubljana: Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta.

### 5.2 SPLETNI VIRI

1. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Celuloza> (Pridobljeno 1. 2. 2020.)
2. <https://eucbeniki.sio.si/kemija3/1276/index5.html> (Pridobljeno 1. 2. 2020.)
3. <https://celkrog.si/kljucni-pojmi/nanoceluloza/> (Pridobljeno 1. 2. 2020.)
4. <https://slv.healthycatchups.com/chaj-bez-tanina.html> (Pridobljeno 4. 3. 2020.)
5. <https://sl.wikipedia.org/wiki/%C4%8Creslovina> (Pridobljeno 4. 3. 2020.)

## 5.3 VIRI SLIK

NASLOVNICA: Ida Poljanšek (15. 11. 2019)

SLIKA 1:

[https://www.google.com/search?q=cotton&source=lnms&tbo=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj526Co1fbnAhWCAXAIHeOwDosQ\\_AUoAXoECA4QAw&biw=1366&bih=657#imgrc=\\_PhCHPWVHE5WPM](https://www.google.com/search?q=cotton&source=lnms&tbo=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj526Co1fbnAhWCAXAIHeOwDosQ_AUoAXoECA4QAw&biw=1366&bih=657#imgrc=_PhCHPWVHE5WPM) (Pridobljeno 29. 2. 2020.)

SLIKA 2:

[https://www.google.com/search?q=tree+trunk&tbo=isch&ved=2ahUKEwjutK3LqPHnAhXUdIAKHWWhjCK8Q2-cCegQIABAA&oq=tree+trunk&gs\\_l=img.3..0i10.9227.12196..12705...0.0..0.76.670.10.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i67.qYPPPkJKNB8&ei=M35XXq7PFtTtwQLhxqP4Cg&biw=1920&rlz=1C1GCEA\\_enSI875SI876#imgrc=L\\_TSO0PG5yVYLM](https://www.google.com/search?q=tree+trunk&tbo=isch&ved=2ahUKEwjutK3LqPHnAhXUdIAKHWWhjCK8Q2-cCegQIABAA&oq=tree+trunk&gs_l=img.3..0i10.9227.12196..12705...0.0..0.76.670.10.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i67.qYPPPkJKNB8&ei=M35XXq7PFtTtwQLhxqP4Cg&biw=1920&rlz=1C1GCEA_enSI875SI876#imgrc=L_TSO0PG5yVYLM) (Pridobljeno 27. 2. 2020.)

SLIKA 3: <https://www.periodni.com/gallery/cellulose.png> (Pridobljeno 4. 3. 2020.)

SLIKA 4:

[https://www.google.com/search?q=nanoceluloza&tbo=isch&ved=2ahUKEwilolWetv7nAhUSIVAKHQHyCqkQ2-cCegQIABAA&oq=nanoceluloza&gs\\_l=img.3..0i24.13753.17950..19103...0.0..0.85.841.12.....0....1..gws-wiz-img.....0..0j0i131j0i30j0i19j0i30i19.TXV8DNdfyxQ&ei=V11eXuWYApLCwAKB5KvICg&biw=1920#imgrc=6VizQTA\\_lz9IGM](https://www.google.com/search?q=nanoceluloza&tbo=isch&ved=2ahUKEwilolWetv7nAhUSIVAKHQHyCqkQ2-cCegQIABAA&oq=nanoceluloza&gs_l=img.3..0i24.13753.17950..19103...0.0..0.85.841.12.....0....1..gws-wiz-img.....0..0j0i131j0i30j0i19j0i30i19.TXV8DNdfyxQ&ei=V11eXuWYApLCwAKB5KvICg&biw=1920#imgrc=6VizQTA_lz9IGM) (Pridobljeno 3. 3. 2020.)

SLIKA 5:

[https://www.google.com/search?q=nanocellulose&tbo=isch&hl=sl&chips=q:nano cellulose&hl=sl&ved=2ahUKEwiCopG11\\_bnAhVJ3hoKHW70Ax8Q3VZ6BAgBEBQ&biw=1349&bih=657#imgrc=wb-8UHHB9jT7GM](https://www.google.com/search?q=nanocellulose&tbo=isch&hl=sl&chips=q:nano cellulose&hl=sl&ved=2ahUKEwiCopG11_bnAhVJ3hoKHW70Ax8Q3VZ6BAgBEBQ&biw=1349&bih=657#imgrc=wb-8UHHB9jT7GM) (Pridobljeno 29. 2. 2020.)

SLIKA 6: Lara Vincetič (13. 1. 2020)

SLIKA 7:

[https://www.google.com/search?q=hydrogel+plaster&tbo=isch&ved=2ahUKEwidl8TI2fbnAhUG8RoKhc4EAmEQ2-cCegQIABAA&oq=hydrogel+pla&gs\\_l=img.1.1.0i19l3j0i8i30i19j0i30i19l2j0i5i30i19l2j0i8i30i19.21774.38528..40827...0.0..0.127.408.2j2.....0....1..gws-wiz-img.izVOTpX5tmE&ei=4IBaXp2eEobia86JilgG&bih=657&biw=1349&hl=sl#imgrc=yJjFebNU\\_5xAKM](https://www.google.com/search?q=hydrogel+plaster&tbo=isch&ved=2ahUKEwidl8TI2fbnAhUG8RoKhc4EAmEQ2-cCegQIABAA&oq=hydrogel+pla&gs_l=img.1.1.0i19l3j0i8i30i19j0i30i19l2j0i5i30i19l2j0i8i30i19.21774.38528..40827...0.0..0.127.408.2j2.....0....1..gws-wiz-img.izVOTpX5tmE&ei=4IBaXp2eEobia86JilgG&bih=657&biw=1349&hl=sl#imgrc=yJjFebNU_5xAKM) (Pridobljeno 29. 2. 2020.)

SLIKA 8:

[https://www.google.com/search?q=tanin&tbo=isch&ved=2ahUKEwjDyuGJooPoAhWQLOwKHSQ3CisQ2-cCegQIABAA&oq=tanin&gs\\_l=img.3..0l3j0i30l7.14769.16364..16777...0.0..0.127.444.4j1.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i67j0i131.vMalzqvGsd8&ei=SudgXsP9HZDZsAek7qjYAg&bih=966&biw=1920&client=firefox-b-d#imgrc=fHRFWd5pXJ262M](https://www.google.com/search?q=tanin&tbo=isch&ved=2ahUKEwjDyuGJooPoAhWQLOwKHSQ3CisQ2-cCegQIABAA&oq=tanin&gs_l=img.3..0l3j0i30l7.14769.16364..16777...0.0..0.127.444.4j1.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i67j0i131.vMalzqvGsd8&ei=SudgXsP9HZDZsAek7qjYAg&bih=966&biw=1920&client=firefox-b-d#imgrc=fHRFWd5pXJ262M) (Pridobljeno 5. 3. 2020.)

SLIKA 9:

[https://www.google.com/search?q=wine+glass&tbo=isch&ved=2ahUKEwj9yLBpIPoAhVFt6QKHeB8CjcQ2-cCegQIABAA&oq=wine&gs\\_l=img.1.1.0l10.357648.357648..359844...0.0..0.79.79.1.....0....1..gws-wiz-img.ldB5eQWAneg&ei=UulgXv3XAcXukgXg-am4Aw&bih=966&biw=1920&client=firefox-b-d#imgrc=nz4QMvXVUCYr\\_M](https://www.google.com/search?q=wine+glass&tbo=isch&ved=2ahUKEwj9yLBpIPoAhVFt6QKHeB8CjcQ2-cCegQIABAA&oq=wine&gs_l=img.1.1.0l10.357648.357648..359844...0.0..0.79.79.1.....0....1..gws-wiz-img.ldB5eQWAneg&ei=UulgXv3XAcXukgXg-am4Aw&bih=966&biw=1920&client=firefox-b-d#imgrc=nz4QMvXVUCYr_M) (Pridobljeno 5. 3. 2020.)

SLIKA 10: Lara Vincetič (15. 11. 2019)

SLIKA 11: Lara Vincetič (15. 11. 2019)

SLIKA 12: Lara Vincetič (15. 11. 2019)

SLIKA 13: Lara Vincetič (15. 11. 2019)

SLIKA 14: Lara Vincetič (13. 1. 2020)

SLIKA 15: Lara Vincetič (13. 1. 2020)

SLIKA 16: Lara Vincetič (13. 1. 2020)

SLIKA 17: Lara Vincetič (21. 1. 2020)

SLIKA 18: Lara Vincetič (21. 1. 2020)

SLIKA 19: Lara Vincetič (21. 1. 2020)

SLIKA 20: Lara Vincetič (7. 2. 2020)

SLIKA 21: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

SLIKA 22: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

SLIKA 23: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

SLIKA 24: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

SLIKA 25: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

SLIKA 26: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

SLIKA 27: Lara Vincetič (10. 2. 2020)

## 6 PRILOGA

### 6.1 IZRAČUN GOSTOTE IN POROZNOSTI NFC HIDROGELOV

Vsebnost vode v NFC hidrogelu sem izračunala iz gravimetričnih podatkov s pomočjo naslednje enačbe:

$$U(\%) = \left[ \frac{mw-md}{mw} \right] \times 100,$$

kjer je:  $U$  – vsebnost vode, %,

$mw$  – masa mokrega vzorca (hidrogela), g,

$md$  – masa absolutno suhega vzorca (aerogela), g.

Pred sušenjem sem izmerila vse mase ( $mw$ ) mokrih vzorcev - hidrogelov.

Vzorce sem posušila z zamrzovanjem. V napravi Telstar LyoQuest CC1930 je bil tlak nastavljen na 0,040 mbar in temperatura na -82 °C. Po 48 h urah so bili vzorci posušeni. Po sušenju sem stehtala maso ( $md$ ) posušenih vzorcev in izračunala vsebnost vode v hidrogelih.

Gostoto ( $\rho, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) hidrogelov sem izračunala po enačbi:

$$\rho = \frac{Wd}{\frac{(1-Wd)}{\rho \text{ vode}} + \frac{Wd}{\rho \text{ celuloze}}},$$

kjer je:  $\rho$  – gostota vzorca,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,

$Wd$  – delež suhe snovi NFC vzorca,  $Wd=1-U/100$

$\rho \text{ vode}$  – gostota vode,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,

$\rho \text{ celuloze}$  – gostota celuloze,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Za  $\rho$  vode pri sobni temperaturi ( $22^{\circ}\text{C}$ ) sem uporabila vrednost  $997.77 \text{ kg/m}^3$ .

Za gostoto celuloze pa sem povzela vrednost  $1500 \text{ kg/m}^3$  (Abe in sod, 2012).

Poroznost hidrogelov sem izračunala po enačbi:

$$P = \left[ 1 - \left( \frac{\rho}{\rho_{celuloze}} \right) \right] \times 100,$$

kjer je:  $P$  – poroznost vzorca, %,

$\rho$  – gostota vzorca,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,

$\rho_{celuloze}$  – gostota celuloze,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Vsi rezultati so prikazani v tabeli na naslednji strani.

	m (g)	m (g)	U(%)	Ww	Wd	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	P (%)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	P (%)
oznaka vzorca	masa hidrogela	masa aerogela	vsebnost vode v %	delež vode	delež suhe snovi	gostota vzorca (kg/m <sup>3</sup> )	poroznost (%)	povprečna gostota vzorcev (kg/m <sup>3</sup> )	povprečna poroznost vzorcev (%)
20/0	3,835	0,247	93,56	0,94	0,06	65,68	95,62	67,92	95,47
	4,384	0,299	93,18	0,93	0,07	69,64	95,36		
	5,399	0,362	93,30	0,93	0,07	68,44	95,44		
20/01	4,208	0,235	94,42	0,94	0,06	56,78	96,21	58,22	96,12
	4,797	0,259	94,60	0,95	0,05	54,86	96,34		
	4,754	0,294	93,82	0,94	0,06	63,01	95,80		
20/025	4,109	0,247	93,99	0,94	0,06	61,21	95,92	59,86	96,01
	4,746	0,254	94,65	0,95	0,05	54,37	96,38		
	5,129	0,322	93,72	0,94	0,06	63,99	95,73		
20/05	3,83	0,257	93,29	0,93	0,07	68,49	95,43	62,18	95,85
	4,586	0,281	93,87	0,94	0,06	62,42	95,84		
	5,226	0,286	94,53	0,95	0,05	55,62	96,29		
20/075	4,468	0,252	94,36	0,94	0,06	57,36	96,18	57,38	96,17
	4,578	0,265	94,21	0,94	0,06	58,90	96,07		
	5,347	0,294	94,50	0,95	0,05	55,89	96,27		
20/1	4,626	0,252	94,55	0,95	0,05	55,36	96,31	56,66	96,22
	4,473	0,249	94,43	0,94	0,06	56,60	96,23		
	5,348	0,305	94,30	0,94	0,06	58,01	96,13		
30/0	3,21	0,224	93,02	0,93	0,07	71,29	95,25	76,49	94,90
	3,489	0,278	92,03	0,92	0,08	81,68	94,55		
30/01	3,48	0,251	92,79	0,93	0,07	73,75	95,08	71,71	95,22
	4,617	0,315	93,18	0,93	0,07	69,67	95,36		
30/025	3,352	0,251	92,51	0,93	0,07	76,64	94,89	76,98	94,87
	4,303	0,325	92,45	0,92	0,08	77,32	94,85		
30/05	3,493	0,253	92,76	0,93	0,07	74,07	95,06	73,17	95,12
	4,497	0,318	92,93	0,93	0,07	72,27	95,18		
30/075	3,734	0,205	94,51	0,95	0,05	55,80	96,28	64,51	95,70
	3,91	0,28	92,84	0,93	0,07	73,21	95,12		
30/1	3,773	0,226	94,01	0,94	0,06	60,99	95,93	65,61	95,63
	4,406	0,303	93,12	0,93	0,07	70,23	95,32		

Tabela 13: Vsi rezultati