

# Ispitivanje svojstava superupijajućih materijala za medicinski tekstil

---

**Polić, Irena**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:833384>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**TEKSTILNO TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO**

**ZAVRŠNI RAD**  
**ISPITIVANJE SVOJSTAVA SUPERUPIJAJUĆIH MATERIJALA ZA**  
**MEDICINSKI TEKSTIL**

**IRENA POLIĆ**

**Zagreb, rujan 2018.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**TEKSTILNO TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO**  
**ZAVOD ZA MATERIJALE, VLAKNA I ISPITIVANJE TEKSTILA**

**ZAVRŠNI RAD**  
**ISPITIVANJE SVOJSTAVA SUPERUPIJAJUĆIH MATERIJALA ZA**  
**MEDICINSKI TEKSTIL**

**Doc. dr. sc. Maja Somogyi Škoc**

**IRENA POLIĆ 9225/IDTO**

**Zagreb, rujan 2018.**

*Zahvaljujem se svojoj voljenoj obitelji što su mi bili podrška tijekom cijelog studija!*

*Zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc. Maji Somogyi Škoc na mentorstvu, svim svojim prijateljima, kolegama i svima koji su kroz sve faze života bili uz mene i pružali mi potporu i ljubav.*

*Veliko **HVALA** svima!*

***Irena Polić***

Završni rad je izrađen na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu, na Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila.

**Rad sadrži:**

Broj stranica: 52

Broj tablica: 10

Broj slika: 25

Broj formula: 3

Broj literaturnih izvora: 12

**Članovi povjerenstva:**

1. Doc. dr. sc. Ivana Schwarz, predsjednik
2. Doc. dr. sc. Maja Somogyi Škoc, član
3. Doc. dr. sc. Ružica Brunšek, član
4. Prof. dr. sc. Edita Vujasinović, zamjenik člana

Rad je pohranjen u knjižnici Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Prilaz baruna Filipovića 28a.

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| <b>I. TEORIJSKI DIO</b> .....  | 1  |
| <b>1. UVOD</b> .....   | 2  |
| <b>2. Medicinski tekstil</b> .....   | 3  |
| 2.1. Podjela medicinskog tekstila .....  | 5  |
| 2.1.1. Higijenski proizvodi .....  | 5  |
| 2.1.2. Implantati .....  | 6  |
| 2.1.3. Materijali za vanjsku primjenu .....  | 10 |
| 2.1.4. Materijali za izvantjelesnu primjenu (ekstrakorporalni uređaji) .....                                 | 15 |
| <b>3. Superupijajući polimeri ( SAP)</b> .....   | 16 |
| 3.1. Klasifikacija superupijajućih polimera.....   | 17 |
| 3.2. Sinteza superupijajućih polimera .....  | 17 |
| 3.3. Mehanizam bubrenja superupijajućih polimera .....   | 18 |
| 3.3.1. Bubrenje ionskih polimera .....   | 19 |
| 3.4. Kapacitet bubrenja.....   | 20 |
| 3.5. Upotreba superupijajućih polimera u medicinskom tekstilu.....   | 20 |
| <b>4. Priprema umjetnih tjelesnih tekućina</b> .....   | 23 |
| 4.1. Priprema umjetne krvi .....   | 23 |
| 4.2. Priprema umjetnog urina .....   | 23 |
| <b>II. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....   | 25 |
| <b>5. Zadatak</b> .....  | 26 |
| 5.1. Superupijajuće vlakno 141/6/10 .....  | 26 |
| <b>6. Metode ispitivanja</b> .....   | 28 |
| 6.1. Metode za ispitivanje funkcionalnosti i svojstva superupijajućeg polimera .....                         | 28 |
| 6.1.1. Određivanje brzine prijelaza superupijajućih čestica u stanje gela( prema propisu tt. Absormex) ..... | 28 |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.1.2. Ispitivanje ukupnog kapaciteta upijanja otopine 0.9% NaCl .....   | 29        |
| 6.1.3. Određivanje sposobnosti zadržavanja tekućine superupijajućih polimera nakon centrifugiranja- centrifuge retention capacity (CRC) .....        | 31        |
| 6.1.4. Ispitivanje sposobnosti upijanja superapsorbirajućih čestica umjetne krvi i urina ....  | 34        |
| 6.1.4.1 Ispitivanje sposobnosti upijanja umjetne krvi.....   | 34        |
| 6.1.4.2 Ispitivanje sposobnosti upijanja umjetnog urina .....  | 36        |
| <b>7. Rezultati ispitivanja funkcionalnosti i svojstava superupijajućih polimera .....</b>   | <b>39</b> |
| 7.1. Rezultati određivanja brzine prijelaza superupijajućih čestica u gel stanje (prema t.t. Absormex) .....   | 39        |
| 7.2 Rezultati ispitivanje ukupnog kapaciteta upijanja 0.9% otopine NaC .....   | 40        |
| 7.3. Rezultati određivanja sposobnosti zadržavanja tekućine superupijajućih polimera nakon centrifugiranja-centrifuge retention capacity (CRC) ..... | 43        |
| 7.4. Rezultati ispitivanja upijanja umjetnih tjelesnih tekućina .....  | 45        |
| 7.4.1. Rezultati upijanja umjetne krvi .....   | 45        |
| 7.4.2. Rezultati upijanja umjetnog urina.....  | 47        |
| <b>8. Zaključak .....</b>  | <b>50</b> |
| <b>9. LITERATURA.....</b>  | <b>52</b> |

## SAŽETAK

Pojmom tehnički tekstil označavaju se svi tekstilni proizvodi u linearnom, plošnom ili trodimenzionalnom obliku koji se ne koriste u konvencionalne svrhe. Medicinski tekstil posebna je podskupine tehničkog tekstila koja u zadnjih par desetljeća bilježi veliki porast.

Teorijski dio ovoga rada bavi se objašnjenjem medicinskog tekstila, podjelom u 4 skupine koje obuhvaćaju higijenske materijale, materijale za implantate, materijale za izvantjelesnu primjenu i materijale koji služe kao podloga za apliciranje lijekova. S obzirom na to da su vlakna neizostavan dio bilo kojeg tekstilnog materijala, u svakoj podskupini se navode ključni tipovi vlakana koji se koriste u izradi određenih proizvoda i u nekim dijelovima su opisani proizvodni procesi dobivanja tih proizvoda.

Superupijajući polimeri (SAP) su materijali koji imaju mogućnost upijanja i zadržavanja velikih volumena tekućina, bilo to da se radi o vodi, raznim otopinama ili tjelesnim tekućinama i radi tog svojstva neizostavna je gradbena jedinica proizvoda u svim skupinama medicinskog tekstila. U teorijskom dijelu ukratko su opisani procesi dobivanja SAP-a, svojstva koja su karakteristična za tu vrstu materijala poput kapaciteta bubrenja i mehanizama. Opisana je njihova primjena u medicini dok se u eksperimentalnom dijelu ispituju svojstva superupijajućeg vlakna (SAF) 141/6/10 proizvođača Technical absorbents kroz 4 metode ispitivanja (kapacitet apsorpcije, brzina prelaska u gel stanje, kapacitet zadržavanja tekućine (CRC) i mogućnost upijanja umjetnih tjelesnih tekućina). Svaka od metoda prvo se se predstavlja kroz teoriju i sam postupak ispitivanja, a na kraju rada su prikazani rezultati tih ispitivanja popraćeni odgovarajućim komentarima.

***Ključne riječi:*** medicinski tekstil, superupijajući polimeri (SAP), ispitivanje, apsorpcija



## **I. TEORIJSKI DIO**

## **1. Uvod**

Vlakna u području tehničkog tekstila posljednjih desetljeća bilježe veliki napredak, a u tu kategoriju ubrajaju se i vlakna koja se koriste u medicini i zdravstvu općenito. Termin "tehnički tekstil" uveo se 1980-ih kako bi opisao raznolikost proizvoda te proizvodnih tehnika razvijenih primarno radi svojih tehničkih svojstava dok su estetske karakteristike stavljene u drugi plan [1].

Sa znanstvenog gledišta medicinski tekstil je dodirna točka tehničkih disciplina i biomedicinskih znanosti. Možemo reći kako je medicinski tekstil nova znanstvena grana koja obuhvaća tekstilnu tehnologiju, inženjerstvo materijala, medicinu, mikrobiologiju i ostala srodna područja u znanosti i tehnologiji. Kao brzo napredujuće i tehnički najsofisticiranije polje funkcionalnog tekstila, medicinski tekstil može se podijeliti u 4 primarne kategorije: materijali za vanjsku primjenu, materijali za izvantjelesnu primjenu (ekstrakorporalni uređaji), implantati i higijenski tekstilni proizvodi [2].

Kategorije medicinskog tekstila naizmjenično u primjeni obuhvaćaju kompleksne sisteme unutar ljudskoga tijela. Ljudsko tijelo je cijela struktura ljudskog organizma i obuhvaća gotovo 100 trilijuna stanica. S bilijun mikroskopskih dijelova, od kojih svaki dio posjeduje svoj jedinstveni identitet, nedvojbeno možemo reći kako je ljudsko tijelo najkompleksnija struktura na svijetu. Dobro poznavanje ljudske anatomije je jedan od temeljnih kriterija razvoja medicinskog tekstila.

Poboljšavanjem tehničkih svojstava već postojećih vlakana te razvojem novih polimera, tj. vlakna također se ostvaruje razvojni doprinos medicinskog tekstila. Super upijajući polimeri (u daljnjem tekstu SAP) prvi puta se pojavljuju ne tako davne 1938 godine, a 1950-ih proizvodi se prva generacija hidrogela. Iako možda inicijalna namjena super upijajućih polimera nije trebala dosezati dalje od upotrebe u oftalmologiji i agronomiji, danas se primjenjuju u gotovo sve 4 kategorije medicinskog tekstila i jedan su od važnijih materijala korištenih u medicini. Razvojem funkcionalnosti SAP-a razvija se i njegov pojavni oblik tako da se na današnjem tržištu može pronaći u obliku granula i u obliku vlakana (SAF) različitih svojstava pa tako i namjena.

Cilj ovog rada bio je kroz teoretski dio prikazati široki spektar funkcija koje obuhvaća medicinski tekstil te kroz eksperimentalni dio ispitati svojstva, funkcionalnost i učinkovitost super upijajućeg vlakana tip 141/6/10 proizvođača iz Velike Britanije, Technical Absorbents.

## **2. Medicinski tekstil**

Tekstilni materijali u medicinske svrhe koristili su se 3000 godina prije Krista u starom Egiptu u svrhu šivanja i raznih obloga. U medicinskom okruženju, medicinskim tekstilom nazivaju se proizvodi načinjeni od vlakana koji se koriste kod liječenja povreda ili bolesti. Taj pojam obuhvaća sve tekstilne materijale koji se primjenjuju u zdravstvu. Medicinski tekstil je izuzetno važna podskupina tehničkih tekstilija jer obuhvaća široki spektar primjene koja seže od proizvoda za jednokratnu upotrebu kao što su pelene za djecu i odrasle, ženski higijenski ulošci do visoko vrijednih tekstilnih proizvoda koji se upotrebljavaju kod filtracije krvi, operacijskog šivanja, izrade proteza, te u novije vrijeme proizvoda služe kao temelj za novi rast tkiva (okvir strukturnih elemenata koji spaja stanice ili tkivo)

Tekstilni materijali za medicinsku primjenu načinjeni su od vlakana, pređa, tkanina i ostalih različitih kompozita koji se raznim prerađivačkim tehnikama stvara proizvod za finalnu upotrebu. Osnovni sastavni dijelovi medicinskih tekstilnih proizvoda su polimeri od kojih se, prikladnim proizvodnim tehnikama dobivaju vlakna. Vlakna proizvedena ili korištena u medicinske svrhe razlikuju se od konvencionalnih jer moraju zadovoljiti niz sljedećih kriterija:

- ✓ da nisu toksična,
- ✓ -da ne izazivaju alergijske reakcije,
- ✓ -da ih je moguće sterilizirati,
- ✓ -da posjeduju dobra mehanička svojstva ( čvrstoću, elastičnost, izdržljivost i biološku podnošljivost tzv. biokompatibilnost),
- ✓ -da posjeduju dobru mogućnost adsorpcije,
- ✓ -da su ugodna na dodir [3].

Mogućnost sterilizacije je osnovni zahtjev kod medicinskih tekstilnih proizvoda i vlakna gdje moraju biti u stanju izdržati grube fizičke i kemijske procese koje iziskuje sterilizacija. Korištenjem prikladnih polimera u proizvodnji vlakana pa tako i tekstilnih materijala mogu se zadovoljiti gore navedeni uvjeti. Vlakna korištena u medicinskoj industriji mogu biti vlakna od prirodnih polimera kao što su pamuk, svila i celulozni regenerati ili umjetnih polimera poput poliestera, poliamida, polietilena, polipropilena i staklenih vlakana.

**Tablica 1** Primjena različitih vrsta vlakana u medicinskim tekstilnim proizvodima [2]

| <b>VRSTA VLAKANA</b> | <b>PRIMJENA</b>  |
|----------------------|--|
| Pamuk                | Operacijske haljine, posteljno rublje, uniforme, medicinske čarape |
| Viskoza              | Kape, maske, maramice  |
| Poliester            | Haljine, maske, operacijski ogrtači, deke,                         |
| Poliamid             | Medicinske čarape  |
| Polipropilen         | Zaštitna odjeća  |
| Polietilen           | Operacijske zaštitne plahte, gaze                                  |
| Staklena vlakna      | Kape, maske  |
| Elastomerna vlakna   | Medicinske čarape  |

Kod proizvodnje medicinskog tekstila postoje brojne debate stručnjaka s područja medicine, farmacije i zaštita okoliša, a glavne teme i izvor debate predstavljaju sljedećih par pitanja:

- *Je li bolje koristiti prirodna ili umjetna vlakna u proizvodnji medicinskog tekstila?*
- *Trebali se proizvodnja više bazirati na jednokratnim ili višekratnim tkaninama?*
- *Antimikrobna vlakna ili antimikrobna obrada kod tretiranja infekcija?*
- *Kako postupati s otpadnim materijalima? i sl.*

U novije vrijeme se potiče uporaba prirodnih polimera koji su biokompatibilni, netoksični i razgrađivi.

## **2.1. Podjela medicinskog tekstila**

Počevši s temeljnim proizvodima izrađenih od pamuka, razvoj i napredak medicinskog tekstila rapidno se širio unazad par desetljeća. Primjena tekstilnih proizvoda u medicini je raznolika te konstantnim razvitkom tehnologije i sama namjena tekstilnih proizvoda se mijenja od jednostavnih zavoja do biokompatibilnih implantata i tkiva, zatim antimikrobnog liječenja rana i inteligentnog tekstila [4]. Glavna podjela medicinskog tekstila je podjela prema namjeni koja obuhvaća higijenske proizvode, implantate, materijale za izvantjelesnu primjenu (ekstrakorporalni uređaji) i materijale za vanjsku primjenu [3].

### **2.1.1. Higijenski proizvodi**

Veliki broj proizvoda namijenjenih zdravstvu čine higijenski proizvodi koji se koriste u operacijskim salama, bolničkim odjelima te kao zaštitni materijali za osoblje i pacijente. Mogu biti perivi ili za jednokratnu upotrebu.

Tijekom operacijskih zahvata, od primarne je važnosti da se okolina održava čistom i pod strogim sterilnim uvjetima. Proizvodi koji se koriste u operacijskim salama uključuju operacijske haljine, maske, kape i tkanine za prekrivanje različitih veličina. Potencijalni izvor prenošenja bakterija na pacijenta su zagađene čestice iz atmosfere koje se nalaze na medicinskom osoblju stoga operacijske haljine imaju ulogu barijere koja ne dopušta prelazak zagađenih čestica s osoblja u zrak ili direktno na pacijenta. Tradicionalne operacijske halje izrađene su od tkanog pamučnog materijala gdje postoji protok zraka i ne samo da dopuštaju prelazak zagađenih čestica u zrak, već su i one same izvor zaraze zbog visoke razine prašine u okolini dok su jednokratne operacijske halje izrađene od netkanog materijala i polietilenske prevlake koje mogu spriječiti prenošenje zaraza. Kao i operacijske haljine, maske i kape također služe kao zaštita od prenošenja zaraza. Jedan od preduvjeta koje moraju zadovoljavati jest udobnost pri nošenju što zahtjeva visoku koncentraciju filtracije i protoka zraka, a da su ujedno lagane i ne izazivaju alergije. Operacijske pokrivne tkanine služe za prekrivanje pacijenata i ostale radne površine te kao takve moraju biti neprobodne u dodiru s bakterijama ali istodobno moraju imati dobru mogućnost upijanja znoja i eksudata, tekućina koja se kod upale izliva iz krvnih žila pa se skuplja u tkivima ili tjelesnim tekućinama [4].

Proizvodi koji se koriste u ostalim bolničkim odjelima su posteljno rublje, odjeća, inkontinencijski proizvodi koji se pojavljuju u obliku pelena ili u obliku plahte i maramice. Tkanine i maramice izrađene su od papira tehnikom sljepljivanja koje su uronjene u antiseptička sredstva i tako su impregnirane. U tablici 2 prikazani su higijenski proizvodi korišteni u zdravstvu na način da se navodi pojavni oblik proizvoda, vrsta vlakana od kojih je proizvod načinjen te vrsta tkanine s obzirom na prerađivačku tehniku.

**Tablica 2** Prikaz higijenskih proizvoda korištenih u zdravstvu [2]

| <b>PROIZVOD</b>                                    | <b>VRSTA VLAKANA</b>                                   | <b>TIP TKANINE</b> |
|--|--|--------------------|
| Operacijske haljine                                | Pamuk, poliester, viskozne umjetne svile, polipropilen | Tkani, netkani     |
| Kape, maske  | Viskozna umjetna svila, staklena vlakna, poliester     | Netkani            |
| Operacijske plahte, platna                         | Polietilen, poliester                                  | Tkani, netkani     |
| Posteljno rublje, deke                             | Pamuk, poliester                                       | Tkani, netkani     |
| Uniforme, zaštitna odjeća                          | Pamuk, poliester, polipropilen                         | Tkani, netkani     |
| Inkontinencijske plahte - upijajući i vanjski sloj | Polipropilen, drvena pulpa, SAP                        | Netkani            |
| Maramice   | Viskozna umjetna svila                                 | Netkani            |
| Medicinske čarape                                  | Poliamid, poliester, pamuk, elastomerne pređe          | Netkani, pletivo   |

### **2.1.2. Implantati**

Medicinski implantati su uređaji od umjetnih polimera proizvedeni kako bi zamijenili, pružali potporu ili povećali neku biološku strukturu za razliku od transplantata koji su biomedicinska usađena tkiva. Medicinski implantati su invazivni materijali i zbog toga u interakciji s okolnim tkivom može doći do komplikacija kao što su infekcije, upale i bol. Ako dođe do zgrušavanja ili izazivanja alergijskih reakcija, velika je vjerojatnost da će implantat biti odbačen od strane domaćina-tijela u kojeg je implantat usađen jer će tjelesni receptori zbog određenih bioloških procesa kategorizirati ga kao strano tijelo i imunitet će ga početi napadati u svrhu zaštite.

Iako su tekstilni materijali u medicini već dugo u upotrebi, zbog lošeg poznavanja i razumijevanja materijala i medicine u prošlosti upotreba im je uglavnom bila bazirana na liječenju rana i nije se moglo ni pretpostaviti da bi se mogli koristiti kao trajni implantati [5]. Kada se govori o implantatima, svaki materijal korišten u tu svrhu pa tako i tekstilni mora zadovoljiti primarni kriterij kao što je biokompatibilnost kako bi bio prihvaćen od strane tijela. Tekstilni materijali su u većini slučajeva biokompatibilni materijali sa sposobnošću prerade u dvodimenzionalne i trodimenzionalne proizvode te podešavanja mehaničkih svojstava. Postoji 5 ključnih faktora koja određuju kako će tijelo reagirati na implantat:

- poroznost- određuje brzinu kojom će tkivo rasti i okružiti implantat,
- manja kružna vlakna bolje urastaju u ljudsko tkivo nego velika vlakna nepravilnog kružnog presjeka,
- vlakno te njegov gradbeni polimer ne smije ispuštati toksične supstance,
- vlakna ne smiju sadržavati površinsku onečišćenost kemijskih preparata,
- vlakno bi trebalo biti biorazgradivo [2].

Neki od bitnih implantata čija je izrada bazirana na tekstilnim materijalima su [2]:

### **Umjetni ligamenti i tetive**

Upotreba umjetnih materijala za rekonstrukciju ligamenata razvijena je 1980-ih, ali zbog velikih nedostataka tih uređaja i prouzrokovanog reaktivnog sinovitisisa kod pacijenata (upale sinovijskog sloja zglobne čahure) entuzijazam je pao i moralo je proći još niz godina i istraživanja koja bi dovela do razvoja današnjih umjetnih ligamenata koja koriste kolagenska vlakna. Za razliku od kolagenskih fibrila koji prirodno izgrađuju ligament, kolagenska vlakna imaju manji stupanj fibrilacije i kontrakcije zbog kojeg je manja razina stresa po jedinici naprezanja i manja vjerojatnost otkazivanja tkiva.

### **Kirurška mreža za liječenje hernije**

Medicinske mreže izrađene od PET monofilamenata prvi puta su ugrađene 1950-ih, ali 1960-ih godina zamjenjuju ih polipropilenske mreže jer se dokazalo da PET monofilamenti s vremenom slabe. Mreže se ugrađuju kao terapija koja oslobađa tenzije oko kirurških šavova i sprječava nastanak hernije. Kirurške mreže su najčešće korišteni tekstilni

implantati. U novije vrijeme koriste se i novi materijali koji imaju mogućnost ili djelomičnu mogućnost razgradnje kao na primjer poliglikolna kiselina.

### **Krvožilne proteze**

Krvožilne proteze se uglavnom ugrađuju u već postojeće arterije. Ideja je nastala 1952. u eksperimentima gdje se uspješno zamijenilo 17 abdominalnih aneurizma. Koristila su se PVC vlakna sašivena u cjevastu formu. Daljnjim istraživanjima utvrđeno je da PVC vlakna nisu prikladna za dugoročne implantate jer plastifikator korišten kako bi vlakna bila fleksibilna s vremenom postaje toksičan. U današnje vrijeme koriste se PET vlakna ispređena u multifilamentne pređe, a potom se pletu ili tkaju po osnovi jer potkine tkanine i pletiva se brže mogu rasplesti. Poroznost osnovinih pletiva smanjuje se kipućom vodom koja uzrokuje skupljanje pređa. PET vlakna je jedini materijal od kojih se mogu napraviti žile dijametra većeg od 6 mm, a da ga tijelo ne počinje napadati.

### **Tekstil u regenerativnoj medicini**

Regenerativna medicina bavi se procesima zamjene, inženjerstva i regeneracije ljudskih stanica, tkiva i organa kako bi povratili ili stvorili normalne funkcije u tijelu stimulirajući tjelesni mehanizam obnove. Tekstil se koristi kao strukturni okvir za rast stanica i ima mogućnost usmjeravanja biomaterijala, stanica i signaliziranja molekula prema regeneracijskom procesu. Koriste se vlakna na bazi kolagena.

U tablici 3 koja slijedi prikazani su neki od proizvoda koji se koriste kao implantati, vrsta vlakna od kojih su načinjeni te proizvodna tehnika dobivanja materijala.



**Tablica 3** Primjeri i vrste materijala koji se koriste u svrhu implantata [2]

| PROIZVOD   | VRSTA VLAKNA   | VRSTA TKANINE            |
|--|--|--------------------------|
| Konac za medicinsko šivanje  | Kolagen, polilaktidna vlakna, poliglikolna vlakna, poliamid, poliester, politetrafluoretilen, polipropilen, polietilen | Mono-filamentna, pletena |
| Umjetne tetive, umjetni ligamenti, umjetna koža, umjetni lumen, kontaktne leće | Politetrafluoretilen, poliester, poliamid, svila, ugljikova vlakna   | Tkana, pletena           |
| Ortopedski implantati, umjetni zglobovi, umjetne kosti                         | Silikon, poliacetal, polietilen, polisulfoni, ugljikova vlakna, staklena vlakna, keramička vlakna, poliester           | Kompoziti                |
| Kardiovaskularni implantati- umjetne žile, aorte, srčani ventil                | Politetrafluoretilen, poliester  | Tkana, pletena           |

Ako se tekstilni materijali uspoređuju s drugim ugradbenim materijalima, lagano se mogu uočiti njegove prednosti. Za razliku od metala i keramike, tekstilni materijali posjeduju fleksibilnost, elastičnost te je pojava oblika na tržištu raznolika. Mijenjajući proizvodni oblik vlakana paralelno se mijenjanju i njegova mehanička svojstva. Razvojem znanosti o vlaknima stvaraju se bezbrojne mogućnosti modificiranja kemijskih i fizičkih svojstava te stvaranja novih specifikacija. Kao na primjer, promatrajući na molekularnoj razini, polimeri sa specifičnim degradacijskim profilom mogu se koristiti u izradi materijala koji će se razgraditi sam od sebe u određenom vremenskom periodu dok na razini materijala, određenim tekstilno mehaničkim procesima može se povećati funkcionalnost nekog proizvoda.

Radi direktnog kontakta s ljudskim tijelom, medicinski tekstilni implantati mogu prouzročiti brojne sigurnosne rizike. Kako bi se osigurala sigurnost ali i funkcionalnost, tekstilni materijali korišteni za medicinske implantate i regeneracijske terapije su opsežno testirani *in vitro* i *in vivo* studijama. *In vitro* ispitivanje uključuje široki spektar kemijskih,

mehaničkih i bioloških ispitivanja od kojih su stvoreni određeni standardi pod nazivom ISO 10993 - biološka evolucija medicinskih uređaja. S obzirom na samu prirodu tretmana, ti uređaji se mogu klasificirati kao medicinski uređaji (npr. oblozi koji potiču regeneriranje kože), farmaceutski uređaji (npr. morfogenični protein kostiju), stanična terapija (npr. hondrocitna transplantacija koljena) ili kombinacija tih proizvoda.

Tekstilni materijali su meki, fleksibilni i čvrsti te su sa svojim fizičkim i kemijskim svojstvima slični mnogim biološkim strukturama unutar ljudskog tijela. Raznim *in vitro* i *in vivo* istraživanjima demonstrirano je kako materijali na bazi tekstila mogu stimulirati tjelesne funkcije i potaknuti regeneraciju tkiva i organa. Upravo ta jedinstvena interakcija između ugrađenih materijala i tkiva kojeg ga okružuje pružaju fascinantno područje za istraživanje i razvoj novih materijala koji će poboljšati ljudsko zdravlje.

### **2.1.3. Materijali za vanjsku primjenu**

Ova skupina medicinskog tekstila obuhvaća sve one materijale koji se koriste za vanjsku primjenu na tijelu koji mogu ali i ne moraju biti u kontaktu s kožom. To su uglavnom razno razni oblozi, zavoji, flasteri, steznici, ortopedski remeni, antimikrobni materijali za tretiranje rana, podloge za apliciranje lijekova i materijali za regulaciju mirisa.

Medicinski oblozi su najrasprostranjeniji oblik medicinskog materijala za vanjsku primjenu. U pravilu se upotrebljavaju kako bi prekrili, zaštitili, potpomogli oboljelom dijelu tijela te kako bi upijali tekućinu iz rana. Postoje različiti medicinski oblozi s obzirom na materijal koji ga izgrađuje i funkciju koju posjeduje, a to su oblozi za rane, upijajući ulošci, zavoji, zaštitni sloj, ljepljiva traka.

#### **Obloge za liječenje rana [5]**

Najveći postotak proizvoda u ovoj kategoriji namijenjeni su liječenju rana. Oblozi za rane stavljaju se pored površine zahvaćene ranom i moraju posjedovati zacjeljujuća svojstva, ne smiju izazivati mehaničke povrede rana, moraju imati nisku razinu lijepljenja, moraju biti stabilna i moraju omogućiti laku penetraciju eksudata iz rana u oblog. Rane su deformacije kože izazvane kemijskim, mehaničkim, električnim, ili termalnim povredama ili su prisutne kao posljedica medicinskog ili fiziološkog poremećaja. Oblozi za rane su materijali korišteni za pokrivanje rana i u upotrebi su dugo koliko i tekstil za konvencionalnu upotrebu. Primarna

funkcija obloga je zaštita rana. Možda neki oblozi kao takvi ne mogu ubrzati proces zacjeljivanja, ali nikako ga ne smiju niti sprečavati. Primjena im mora biti jednostavna i moraju se skidati bez poteškoća. 1960-ih otkriveno je kako rane brže zacjeljuju kada ih se tretira u vlažnim uvjetima za razliku od suhих, gdje tijekom zarastanja rana sitna vlakanca ostaju zarobljena u novim slojevima kože i stvaraju nelagodu pacijentu prilikom odstranjivanja obloga. Postoji više vrsta rana pa tako i obloga kojim ih se tretira. Glavne funkcije obloga za rane su:

- fizička barijera- sprječavanje zaraze rane bakterijama iz atmosfere,
- kontrola tekućine- upijanja viška eksudata iz rane ili donacija vlage suhim ranama,
- mikrobna kontrola,
- hemostatski efekt (zaustavljanje krvarenja),
- sprječavanje širenja mirisa,
- popunjavanje praznog prostora kako bi rana zarastala iz dubine,
- niska razina ljepljivosti,
- smanjenje ožiljka,
- ubrzavanje zarastanja [2].

Obloge za rane često su bili načinjeni od materijala sličnih tradicionalnim tekstilnim materijalima. Primjerice, tradicionalne gaze izrađene su od pamučne pređe, jednostavnom tehnikom pletenja. Metoda mokrog liječenja rana odgovorna je za razvoj mnogih tipova vlakana koji su uvelike poboljšala tehnike liječenja i zbrinjavanja rana. Neka od njih su:

#### **1) ALGINATNA VLAKNA [6, 2]**

Vlakna od smeđih morskih algi vrste *Laminaria*. Alge se suše i melju, čiste razrijeđenom kiselinom i otopinom sode radi dobivanja natrijeva alginata. Obradom natrijeva alginata solnom kiselinom dobiva se čista alginska kiselina od koje se ispredaju vlakna mokrim postupkom u vodenoj otopini natrijeva karbonata radi dobivanja kalcijeva alginata. U kontaktu s eksudatom rane dolazi do izmjene iona gdje se kalcijev ion iz vlakna mijenja s natrijevim ionima iz tjelesnih tekućina te vlakno poprima oblik hidrogela.

#### **2) KITOZAN VLAKNA [2]**

Prirodna vlakna dobiveno iz hitina-polisaharida koji se nalazi u kosturima školjkaša.

Ubrzava proces zarastanja rana i ima sposobnost ublažavanja opekline. Izuzetna antimikrobna svojstva.

### **3) SUPERUPIJAJUĆA CELULOZNA VLAKNA [2]**

Vlakna od pamuka i viskozne vještačke svile tretiraju se kloroocnom kiselinom radi dobivanja visoko upijajućih karboksil metil celuloznih vlakna. Prilikom upotrebe u kontaktu s eksudatima stvaraju kohezivnu gel barijeru te ublažava bol prilikom mijenjanja obloga.

### **4) OKSIDIRANA CELULOZNA VLAKNA I HOMEOSTATSKE GAZE [2]**

Materijal je biokompatibilan s dobrim upijajućim svojstvima i mogućnostima za održavanje bioloških sustava. Materijal se oksidira pomoću nitrogen dioksida radi selektivne oksidacije primarnih hidroksilnih skupina u celulozi.

### **5) POLIURETANSKI FILM I PJENA [2]**

Omogućuje izmjenu plinova između rane i okoline ali ujedno i štiti od bakterija.

### **6) HIDROGEL [2]**

Umreženi polimerni sustavi koji bubre u doticaju s biološkim tekućinama. Široka primjena u podlogama za apliciranje lijekova i popravcima tkiva/organa.

### **7) UMJETNA KOŽA [2]**

Može se proizvesti kombiniranjem stanica sintetičkih matrica, primjerice poliglikolne kiseline ili bioloških substrata poput kolagena.

## **Zavoji**

Osim obloga za rane, još jedan od dominantnijih pripadnika ove skupine su svakako zavoji za različite primjene. Mogu se koristiti za jednostavnu primjenu poput fiksiranja obloga za rane ili u svrhu potpore određenih dijelova tijela ili zglobova kao što čine elastični zavoji i medicinske čarape. Zavoji za kompresiju koriste se u tretmanima prevencije duboke venske tromboze i ulceracije (stvaranja gnoja, stvaranja čireva) dok ortopedski zavoji se koriste ispod gipsa kako bi što više ublažili neugodnosti prilikom nošenja.

## **Antimikrobni materijali za tretiranje rana**

Općenito za rane možemo reći kako je to slomljena koža koja izgubila svoja svojstva, a kod takve kože invazija bakterija može izazvati ozbiljne probleme i poteškoće kod

zacjeljivanja. Rane izlučuju veliku količinu tekućina koja je topla i sadrži razne nutritivne komponente koje pogoduju razvoju bakterija. U velikom broju slučajeva do infekcija dolazi već u bolničkim odjelima i prolongiraju pacijentov oporavak. Najčešće infekcije uzrokuju gram pozitivne bakterije stafilokoka s obzirom na to da se one općenito već nalaze na našoj koži i u nosu. Najzastupljeniji antimikrobni agensi su klorheksidin, hidrogen peroksid, jod, med i srebro te se mogu na razne načine nanijeti na rane. U ovom radu bit će navedeni samo postupci nanošenja pomoću tekstilnih materijala, kao npr.:

1) Tekstilna tkanina namočena antimikrobnim agensima

Konvencionalan oblog namače se u hidrogel koji sadrži antimikrobne agense. Primjerice parafinska gaza namočena antibioticima, viskozna gaza namočena jodom i dr.

2) Tekstilni materijal premazan antimikrobnim sredstvom

Tekstilni materijali mogu biti premazani antimikrobnim agensima kako bi postali antimikrobni oblozi. Na primjer Acticoat- proizvod koji se sastoji od sloja srebrovog nitrata nanesenog na gustu polietilensku mrežicu koja je ograđena poliesterom u netkanom obliku. Rubovi sva tri sloja su ultrazvučno zavareni kako ne bi došlo do razdvajanja

3) Tekstilna vlakna koja sadrže antimikrobne agense

Antimikrobni agensi mogu se dodati u otopinu za ispredanje vlakana. Na primjer dodavanje srebrovog nitrata u otopinu natrijevog alginata.

4) Kombinacija gore navedenih metoda, primjerice vlakna poliamida premazana srebrovim nitratom potom slijepljena u kompozit s alginatnim vlaknima [2].

### **Podloge za apliciranje lijekova**

Prednost transdermalnog apliciranja lijekova je što omogućuje kontrolirano otpuštanje lijekova, ali molekule lijekova moraju biti manje od pora na koži kako bi uspjele penetrirati u kožu, a potom u krvotok. Otpuštanje lijeka odvija se tako da je rezervoar lijeka obavijen polupropusnom tekstilnom membranom koja kontrolira otpuštanje lijeka ili se otpuštanje lijeka koji je nanesen na podlogu aktivira u kontaktu s tjelesnom toplinom. Podloge za apliciranje lijekova mogu se pripremiti raznim načinima gdje se lijek može nanijeti putem

premaza, ovijanjem, punjenjem šupljih vlakana, ionskom izmjenom, kompleksnom formacijom i direktnom konjugacijom, kao npr.:

1) Nanošenje putem premaza

Jedna je od jednostavnijih metoda gdje se materijal namače u lijek koji se potom otpušta onom brzinom koja ovisi o kemijskom sastavu vlakna

2) Ovijanje

Izvodi tako da se materijal uranja u tekućinu gdje lijek ulazi u strukturu vlakna. To je izvedivo kod materijala koji bubre u doticaju s lijekom.

3) Apliciranje lijeka tijekom ispredanja

Lijek se aplicira na vlakna tijekom procesa ispredanja, gdje lijek izlazi iz mlaznica u koagulacijsku kupelj prije procesa istezanja i ispiranja.

4) Punjenje vlakana

Šuplje vlakno ispunjava se otopinom lijeka

5) Biokonjukcija

Bioaktivne molekule lijeka se vežu za tekstilni materijal ako materijal ima slobodne funkcionalne grupe na površini.

6) Ionska izmjena

Lijek se aplicira na materijal iskorištavanjem suprotnog naboja lijeka i tekstilnog materijala [2].

### **Materijali za regulaciju mirisa**

Miris se može opisati kao svojstvo supstance koje se može percipirati pomoću njuha. S obzirom na to da su eksudati rana, metaforički nazvano kokteli koji sadrže proteine, enzime i ugljikohidrate često su izvor neugodnih mirisa pogotovo ako se radi o infekcijama.

Zdravim načinom života možemo kontrolirati tjelesni miris, ali po pitanju rana miris se može regulirati određenim aplikacijama.

Tekstilni materijali nam mogu pomoći tako da se na ranu aplicira antimikrobni oblog kako bi ublažio infekciju, a samim time i miris. Na tržištu postoje posebno izrađeni materijali koji imaju sposobnost upijanja mirisa i kao privremeno rješenje mogu se koristiti parfimirani

materijali s kojima treba biti oprezni s obzirom da parfemi sami po sebi mogu nanijeti štetu u vidu alergija i slično.

U tablici 4 prikazani su proizvodi koji se koriste za vanjsku primjenu u medicini, tipovi vlakana od kojih su izrađeni i vrste tkanina s obzirom na procese proizvodnje.

**Tablica 4** Primjeri tekstilnih materijala za vanjsku primjenu [2]

| <b>PROIZVOD</b>                         | <b>TIP VLAKNA</b>                                  | <b>TIP TKANINE</b>      |
|---|--|-------------------------|
| Upijajući ulošci, zaštitni sloj za ranu | Pamuk, viskoza, svila, poliamid, polietilen        | Netkani, tkani, pleteni |
| Jednostavni zavoji                      | Pamuk, viskoza, poliamid                           | Tkani, netkani, pleteni |
| Elastični zavoji                        | Elastomerna vlakna i pređe                         | Tkani, netkani, pleteni |
| Flasteri                                | Viskoza, poliester, polipropilen, perforirani film | Netkani, tkani, pleteni |
| Gaze                                    | Pamuk, viskoza                                     | Tkani, netkani          |
| Vata                                    | Viskoza, pamuk, drvena pulpa                       | Netkani                 |

#### **2.1.4. Materijali za izvantjelesnu primjenu (ekstrakorporalni uređaji) [2]**

Materijali za izvantjelesnu primjenu su uređaji koji se koriste za održavanje funkcija vitalnih organa. U tu grupaciju spadaju uređaji za dijalizu (umjetni bubrezi), umjetna jetra i mehanička pluća. Aparati za dijalizu su sitni instrumenti veličine svjetiljke na baterije izrađeni od šupljih vlakana celuloze i poliestera debljine jedne ljudske vlasi čija je funkcija čišćenja krvi od štetnih tvari. Mehanička pluća izrađena su od šupljih polipropilenskih vlakana ili silikonske membrane te se koriste za odstranjivanje ugljikovog dioksida iz krvi i opskrbljivanja krvotoka kisikom. Umjetna jetra izrađena su od šupljih celuloznih vlakana u svrhu razdvajanja i odstranjivanja oštećene plazme i pružanju krvotoku opskrbu svježe plazme. Kod umjetnog srca, plastična pumpica obložena je razgrađenim velurom kako bi se reduciralo oštećenje krvi ali zbog silabičke potpore materijal je nepropustan kod stvaranja plinova što nije poželjna stavka u krvi.

Iz navedenih činjenica u ovom dijelu rada možemo zaključiti kako je tekstil u medicini postao od visokog značaja te potreba za razumijevanjem znanosti i tehnologija koja

su uključena u istraživanja, razvoj, manufakturu i primjenu medicinskog tekstila sve je značajnija. Daljnja otkrića u ovom području moguća su isključivo kolaboracijom znanosti kao što su medicina, mikrobiologija, fiziologija i tekstilno inženjerstvo, ali važno je i napomenuti kako je bitna i spremnost proizvođača na prisvajanje novih metoda proizvodnje koje možda još nisu zastupljene zbog nedostatka potražnje konvencionalnog tržišta.

### **3. Superupijajući polimeri ( SAP) [7]**

Superupijajući polimeri su materijali koji imaju sposobnost upiti i zadržati velike volumene vode i ostalih tekućina s obzirom na svoju masu, a specifični su po tome što u kontaktu s tekućinom prelaze u gel stanje. U deioniziranoj ili destiliranoj vodi mogu upiti 50.000% u odnosu na vlastitu masu, dok u 0.9% slanoj otopini njihova sposobnost upijanja može dosegnuti do 5000% u odnosu na vlastitu masu. Superupijajući polimeri (u daljnjem tekstu SAP) mogu apsorbirati 180% više tekućine uspoređujući s filter papirom, 400% više nego papirnate maramice, 1050% više nego mekane spužve od poliuretana, 1200% više od drvene pulpe i 1890% više nego pamučna vata.

SAP su uglavnom izgrađeni od umreženo povezanih hidrofilnih polimera koji posjeduju anionske grupe koje sadrže vodu kao na primjer što su karboksilne grupe. U većini slučajeva SAP su bijeli higroskopni materijali nalik na šećer i mogu ih se podijeliti na:

- 1) umjetni SAP, čiji je sastav petrokemijski baziran,
- 2) prirodni SAP, čiji je sastav baziran na polisaharidima i polipeptidima.

Prvi su SAP bili napravljeni od kemijsko modificiranog škroba i celuloze, polivinil alkohola i polietilen oksida. Svi ti spojevi su hidrofilni i imaju veliki afinitet prema vodi. Laganim kemijskim ili fizičkim povezivanjem tih polimera stvorila se sposobnost bubrenja ali ne i otapanja u vodi. U današnje vrijeme, SAP se najčešće proizvode iz akrilne kiseline, njenih soli i akrilamida iz otopine ili metodom inverzno suspenzijske polimerizacije. Ako se uzima cjenovni aspekt ovo su dokazano najbolji materijali i procesi proizvodnje sa zadovoljavajućim performansama. Polimeri se proizvode kao krute tvari koje se kasnije suše i melju u granule. Ukupna apsorpcija i kapacitet bubrenja polimera kontroliran je tipom molekule koja povezuje polimerne lance i stupnjem umreženosti. SAP s rjeđom umreženošću



makromolekula imaju bolji kapacitet apsorpcije i mogućnost bubrenja i obrnuto, SAP s gušćom umreženošću ima slabiji kapacitet apsorpcije i mogućnost bubrenja je slabija ali je njegov gel čvršći i može zadržati oblik čak i pod pritiskom.

Prvi superupijajući polimeri sintetizirani su 1938. gdje su akrilna kiselina i divinil benzen termički polimerizirani u vodenom mediju, a 1950-ih pojavljuje se prva generacija hidrogelova s kapacitetom bubrenja 40-50% te su se uglavnom koristila za proizvodnju leća.

### **3.1. Klasifikacija superupijajućih polimera [7]**

Superupijajući polimeri mogu se podijeliti u 4 grupe na temelju prisutnosti ili odsutnosti električnog napona lociranog u umreženim lancima, a to su:

- 1) neionski,
- 2) ionski, uključujući anione i katione,
- 3) amfoterni elektroliti koji sadrže bazne i kiselinske grupe,
- 4) dvoionski, koji sadrže anionske i kationske grupe u svakom meru.

Mogu se klasificirati i na temelju monomerne jedinice korištene u kemijskoj strukturi:

- 1) umreženi poliakrilati i poliamidi
- 2) hidrolizirani celulozni poliakrilonitril ili škrob- PAN graft kopolimer
- 3) umreženi kopolimeri maleinskog anhidrida.

Što se tiče pojavnog oblika, superupijajući polimeri mogu se proizvesti u obliku praška, vlakana, listova i granula. Na tržištu SAP se najčešće pojavljuju u obliku granula. Uspoređujući s praškom i granulama, SAP u obliku vlakana mogu se lakše preraditi u tekstilne proizvode.

### **3.2. Sinteza superupijajućih polimera**

U proizvodnji superupijajućih polimera uglavnom se koriste monomeri akrila kao što su akrilna kiselina i njene soli, soli kalija, akrilamid. Monomeri akrilne kiseline inhibirani su metoksi hidrokinonom kako bi spontane reakcije bile spriječene. U proizvodnji se mogu još koristiti monomeri metakrilne kiseline, metakrilamida, akrilonitrila, 2-

hidroksietilmetakrilata, vinil sulfonske kiseline, vinil acetata i biopolimeri celuloze, škroba, kitozana i nekih drugih derivata. Kako bi proizvodnja bila uspješna postoji nekoliko parametara kojih se treba pridržavati:

- 1) ravnoteža između molekularne mase uvijek mora biti održana,
- 2) molekule koje vežu polimerne lance.

Uglavnom su polimerni lanci povezani kovalentnim vezama makromolekula koje posjeduju dvostruke veze koje su pripojene na glavni polimerni lanac u procesu polimerizacije. U novijim procesima polimerizacije, povezivanje može nastati i na površini te se na taj način poboljšavaju svojstva apsorpcije pod pritiskom.

Umreženo povezivanje tijekom polimerizacije je jako bitno, jer molekule koje povezuju polimerne lance doprinose tome da se polimeri ne otapaju u vodi i da stvore mogućnost apsorpcije i zadržavanje vode pri niskom opterećenju.

Tipični agensi koji se koriste kod povezivanja lanaca su trimetilolpropan triakrilat i etilen glikol .

### 3.3. Mehanizam bubrenja superupijajućih polimera [7]

Postoji nekoliko mehanizama koji sudjeluju u procesu bubrenja SAP-a i svi ti mehanizmi na kraju sudjeluju u finalnom kapacitetu bubrenja ili tzv CRC-u (engl. *Centrifugal retention capacity*) -centrifugalnom kapacitetu zadržavanja čime se izražava koliko 0.9% slane otopine superupijajući polimer zadržao nakon centrifuge). To su:

#### 1) HIDRATACIJA

Grananje polimera bazira se na hidrofilnosti jer sadrži karboksilne grupe koje preferiraju vodu. Dodavanjem vode na SAP dolazi do reakcije između polimera i otapala te dolazi do hidratacije i stvaranja vodikovih veza.

Hidratacija je reakcija u kojoj se ioni, molekule ili koloidne čestice vežu s molekulama vode. Konkretnije, u ovom mehanizmu ioni otopljenih supstanci reagiraju s molekulama otapala. To su  $\text{COO}^-$  i  $\text{Na}^+$  ioni privučeni polarnim molekulama vode.

## 2) VODIKOVE VEZE [7, 8]

Vodikove veze su elektrostatske interakcije među molekulama i pojavljuju se u molekulama koje sadrže vodikove atome spojene na male elektronegativne atome poput fluora, dušika i kisika. Vodikove atome privlače elektronegativni atomi koji imaju slobodni elektronski par. U vodi, elektronegativni atom je kisik koji vuče vodikove veze prema sebi stvarajući dipol u molekuli, a vodik privlače preostali ioni kisika u molekuli vode. Kisik posjeduje 2 elektrona koji omogućuju vezivanje s vodikom. Radi toga u sustavu se smanjuje energija, a povećava se entropija. Obzirom na hidrofilnu prirodu superupijajućih polimera, polimerni lanci imaju tendenciju disperzije u određenoj količini vode, tj. pokušavaju se otopiti u vodi što povećava broj konfiguracija u sistemu i povećava entropiju.

Umrežena povezanost polimernih lanaca formira trodimenzionalnu mrežu i sprječava bubrenje polimera u beskonačnost odnosno sprečava njegovo otapanje zahvaljujući elastičnim kontrakcijskim silama. Stupanj umreženosti ima direktan efekt na razinu bubrenja polimera.

### **3.3.1. Bubrenje ionskih polimera**

Kod ionskih polimera postoji malo drugačija interakcija između otapala i polimera. Neutralizirani lanci sadrže naboje koji se međusobno odbijaju. Sveukupna električna neutralnost se održava tako da se negativne karboksilne grupe izbalansiraju pozitivno nabijenim natrijevim ionima. U kontaktu s vodom, natrijevi ioni se hidratiziraju što smanjuje njihovu privlačnost prema karboksilnim ionima i omogućuje im da se kreću slobodno unutar mreže što doprinosi osmotskom tlaku unutar gela. Mobilni pozitivni ioni natrija ipak ne mogu napustiti gel jer su još uvijek slabim vezama vezani za karboksilne skupine uzduž polimernog kostura i ponašaju se kao da su zarobljeni u polupropusnoj membrani.

U ovom slučaju upravljajuća sila bubrenja je razlika u osmotskom tlaku unutrašnjosti gela i njegove okoline. Povećavajući razinu natrija izvan gela smanjit će osmotski tlak i reducirati bubreći kapacitet gela. Maksimalni kapacitet bubrenja postiže se u destiliranoj vodi.

### **3.4. Kapacitet bubrenja**

SAP s rjeđom umreženošću makromolekula imaju bolji kapacitet apsorpcije i mogućnost bubrenja i obrnuto, SAP s gušćom umreženošću ima slabiji kapacitet apsorpcije i mogućnost bubrenja je slabija

Poznato je da neutralizacijom polimernih lanaca povećavamo osmotski tlak superupijajućih polimera pa tako i kapacitet bubrenja.

Ako je razina molekula koje povezuju polimerne lance stabilna i bubrenje se odvija u slanoj otopini, kapacitet bubrenja će se povećati s povećanjem stupnja neutralizacije.

U proizvodnji superupijajućih polimera postoje 2 načina neutralizacije.

Prvi način je neutraliziranje monomernih otopina prije polimerizacije, tj. pre- neutralizacija koja je jednostavniji način jer se proces odvija u tekućoj fazi.

Drugi način je post-neutralizacija gdje se čvrsti gel miješa s čvrstim neutralizirajućim agensom, koji je malo kompliciraniji način.

### **3.5. Upotreba superupijajućih polimera u medicinskom tekstilu**

Plasiranjem superupijajućih polimera na tržište 1980-ih godina, u kratkom vremenu su stekla široku primjenu u proizvodnji jednokratnih higijenskih proizvoda za osobnu ali i za medicinsku upotrebu kao što su pelene za djecu i odrasle, sanitarne maramice, kirurške kape i ogrtače, kontaktne leće i obloga za rane.

#### **Dječje pelene**

Uspoređujući s perivim pelenama izrađenih od pamuka, konoplje, bambusa i mikrovlakana, pelene za jednokratnu upotrebu imaju bolju mogućnost upijanja i zadržavanja urina, suhoću i bolja svojstva zaštite od pojave osipa.

Pojava superupijajućih polimera uvela je revoluciju u proizvodnji pelena jer se njihovom upotrebom upola smanjila potreba za korištenjem celuloznih materijala i omogućila je proizvodnju ultra tankih pelena. Pelene su se proizvodile na 2 načina. U metodi naslojavanja, SAP u prahu se prvo rasuo na sloj paperjaste pulpe koji se zatim presavio i

prekrio netkanom tkaninom kako bi SAP bio u centralnom položaju. U metodi miješanja, SAP su homogeno pomiješani s pulpom prije polijeganja i zatim su prekrivena netkanom tkaninom. S vremenom se metoda proizvodnje unaprijedila na način da se dodao poseban sloj netkanih vlakana celuloze, SAP-a i poroznog pokrivnog sloja između kompozitne upijajuće srži radi bolje distribucije urina u pelenu.

### **Ženski higijenski ulošci**

Kriteriji koje ženski higijenski ulošci trebaju zadovoljiti jesu mogućnost izdržavanja opsega menstrualnih protoka u razno raznim uvjetima i aktivnostima, ne smiju biti grubi u dodiru s kožom, trebaju biti udobni pri nošenju i trebaju se moći lako odstraniti. Najnapredniji ulošci izrađeni su od jedinstvenog pokrivnog sloja koji provodi tekućinu do upijajuće srži pružajući osjećaj suhoće i čistoće. Upijajuća srž izrađena je od superupijajućih polimera koji odmah upija tekućinu, zadržava je, kontrolira miris te sprječava tekućinu da iscuri. Proces proizvodnje uložaka bazira se na istim tehnologijama kao i kod proizvodnje pelena.

### **Inkontinencijski proizvodi.**

Jednokratni inkontinencijski proizvodi upijaju i zadržavaju urin i fekalije i sprječavaju njihovo curenje kako bi koža potrošača ostala suha i zdrava. Ovi proizvodi se na tržištu mogu naći u obliku pelena, plahti i materijala za krevetnine. Proizvodi se uglavnom sastoje od pokrovnog sloja, upijajućeg sloja sastavljenog od SAP-a i vanjskog sloja, a procesi proizvodnje su slični kao kod proizvodnje dječjih pelena i ženskih uložaka.

### **Ogrtači i zaštitne tkanine**

To su kompozitni materijali korišteni u operacijskim salama gdje je netkana tkanina kombinirana s polimernim filmom kako bi u potpunosti bili nepropusni u doticaju s bakterijama a da ujedno imaju svojstva upijanja ljudskih tekućina.

### **Tkanine za brisanje**

Tkanine su izrađene od papira i netkane tkanine od mješavine polipropilena i viskoze i često su namočene antiseptičkim sredstvima.

### **Kontaktne leće**

Superupijajući polimeri sadrže OH skupine koje omogućuju protok kisika do oka kroz gelastu vodenu fazu. SAP korišten u ovu svrhu dobiva se iz HEM-a, prostetičke grupe koja se sastoji od atoma željeza smještenog u centru velikog heterocikličnog organskog prstena porfirina. U suhom stanju ima svojstva stakla, a hidratacijom postaje fleksibilan.

### **Podloga za apliciranje lijekova**

Gelasta struktura superupijajućeg polimera ima mogućnost neprekidnog i kontroliranog otpusta usađenih lijekova u tjelesne tekućine nakon što je uređaj usađen, ubrizgan ili apliciran nekom drugom metodom. Bubrenjem superupijajućeg polimera dolazi do otpuštanja malih molekula gdje polimerne matrice podliježu eroziji, a disperzija lijeka u okolinu nastaje kao posljedica dekompozicije.

### **Obloge za rane**

Dokazano je kako aplikacija hidrogela na ranu može ubrzati proces zacjeljivanja, gdje velika količina vode u strukturi hidrogela pomaže u stvaranju vlažnog okruženja. Hidrogel je fleksibilan te se lako može aplicirati na bilo koji dio tijela, a jednostavno odstranjivanje ne pruža nelagodan osjećaj kod pacijenata.

### **Inženjering tkiva**

Gelovi izrađeni od superupijajućih polimera slična su mekim tkivima, biokompatibilna su i posjeduju dobru propusnost kisika i metabolita otopljenih u vodi. Zahvaljujući tim svojstvima mogu stvoriti efikasno okruženje i osigurati brzi rast stanica stoga su prikladni materijal u pripremanju matrica kod regeneracije tkiva.

## **4. Priprema umjetnih tjelesnih tekućina**

### **4.1. Priprema umjetne krvi**

Krv je poseban tip vezivnog tkiva sastavljena od crvenih krvnih zrnca, bijelih krvnih zrnca, trombocita i plazme. Cilj proizvodnje umjetne krvi je učinkovita i sigurna zamjena pravoj krvi darivatelja, koje na godišnjoj bazi ima sve manje i manje. Umjetna krv je proizvod koji bi zamijenio crvene krvne stanice. Prava krv ima puno više funkcija dok je umjetna krv dizajnirana samo da transportira kisik i ugljikov dioksid tijelom. Ovisno o vrsti umjetne krvi, može biti proizvedena na umjetni način, kemijskom izolacijom ili rekombiniranjem biokemijske tehnologije. Glavni nedostaci umjetne krvi jesu ti da znanstvenici nisu uspjeli proizvesti dobru imitaciju složenih kompleksa poput hemoglobina koji prenosi kisik, pa niti čak staničnu membranu koja sadrži enzime koji sprječavaju razgradnju hemoglobina [2]. Tijekom povijesti ispitivani su mnogi materijali koji bi potencijalno mogli zamijeniti krv, ali samo su neki pokazali relativan uspjeh u određenim segmentima, a jedan od tih materijala je mlijeko koje je 1854. godine ubrizgavano u pacijente u svrhu liječenja azijske kolere, ali ubrzo se ustanovilo da se radi samo o placebo efektu. 1883. godine otkriveno je da otopina soli natrija, kalija, kalcija i barija uspijeva održavati kucanje žabljeg srca na kojemu se provodio eksperiment. Dodavanjem laktata u otopinu nastaje proizvod za povećanje volumena ljudske krvi koji se i dan danas koristi. Iako otkriće te otopine ne zamjenjuje crvena krvna zrnca i ne može se reći da je zamjena, uvelike je doprinijelo različitim industrijama mogućnost testiranja proizvoda koristeći razne varijacije te formule, među kojima je i tekstilna industrija.

### **4.2. Priprema umjetnog urina**

Uporaba tjelesnih tekućina poput krvi i urina ne odobravaju se u obrazovnim institucijama i raznim ispitivanjima iz etičkih, moralnih i logističkih razloga. Teško je u potpunosti imitirati tjelesne tekućine, ali uspješno se mogu proizvesti uzorci koji imaju zadovoljavajuće parametre na kojima se mogu izvoditi određena testiranja. Postoji nekoliko protokola za pripremu urina, ali niti jedan ne omogućava višenamjensku upotrebu. Dostupni protokoli osmišljeni su za specifičnu upotrebu. Umjetni urin se uglavnom koristi u istraživanjima vezanima za dijabetes, uzgoj raznih urinarnih patogena, u *in vitro* studijima

kako bi stimulirali normalnu fiziološku okolinu za rad bubrega i urinarnog trakta, za proučavanje komponenta kao što su sluz, epitelne stanice i kvasac u urinu i utjecaj urina na različite materijale. Glavni sastojci za stvaranje uzorka umjetnog urina su glukoza, soli natrijeva klorida, urea, voda i bjelanjak.



## **II. EKSPERIMENTALNI DIO**

Glavni znanstveni interes rada bio je usmjeren ispitivanju funkcionalnosti i učinkovitosti superupijajućeg vlakna tip 141/6/10 proizvođača iz Velike Britanije, Technical Absorbents.

## **5. Zadatak**

Eksperimentalni dio ovog završnog rada temeljio se na provedbi četiri različite metode ispitivanja funkcionalnosti i učinkovitosti ispitivanog uzorka:

1. brzini prijelaza SAP-a u gel stanje,
2. ukupnom kapacitetu apsorpcije SAP-a,
3. sposobnosti zadržavanja tekućine i
4. sposobnosti apsorpcije umjetnih tjelesnih tekućina.

### **5.1. Superupijajuće vlakno 141/6/10**

Na početku eksperimentalnog dijela pristupilo se određivanju osnovnih karakteristika, poput određivanja finoće, čvrstoće i duljine vlakana. Kako je pri tome ustanovljeno da su vlakna kraća od 5 mm zaključak je bio da nije moguće provesti određivanje finoće vlakana, a niti određivanje čvrstoće vlakana obzirom na ograničenje uređaja, tj. nemogućnost postizanja udaljenosti stezaljki za ispitivani uzorak.

Iz tog razloga preuzela se proizvođačka deklaracija sa slijedećim podacima (specifikacija vlakna):

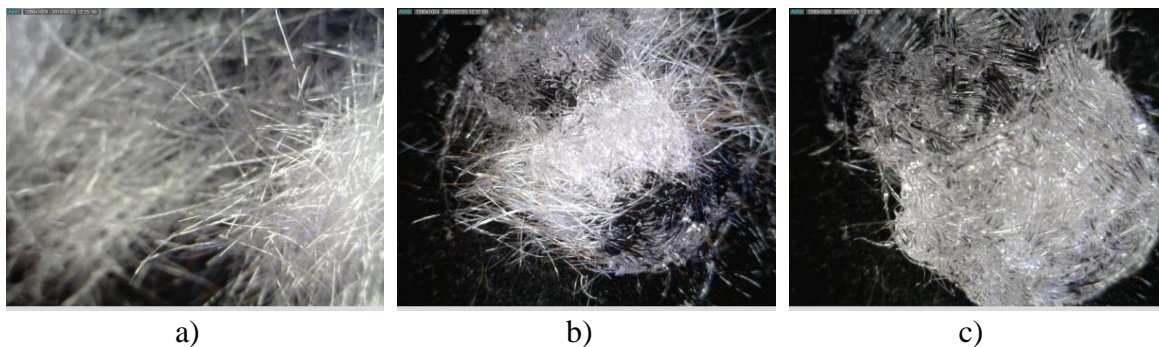
- duljina: 6 mm
- boja: bijela
- finoća: 10 dtex
- sadržaj vlage: 9%
- čvrstoća: 4,5 cN/tex (0,45 cN/dtex)
- pH: 5,5 [9].

Duljina vlakana provjerena je metodom pojedinačnog mjerenja (slika 4) pri čemu je potvrđena deklarirana vrijednost od 6 mm.



**Slika 1** Duljina vlakna

Pomoću Dino-lite sustava za mikroskopiranje, tj. njegovog nastavaka za mikroskop (Dino-eye) promatran je prijelaz u gel stanje (slika 2).



**Slika 2** a) Superupijajuće vlakno b) Prijelaz vlakna u gel c) Vlakno u gel stanju

Na osnovi pretražene literature i ponašanja vlakana pri upijanju vode pretpostavka je da je riječ o superupijajućem polimeru, tj. vlaknu koje je sastavljeno od umreženo povezanog kopolimera poliakrilata, djelomično neutraliziranog natrijevim solima.

## **6. Metode ispitivanja**

### **6.1. Metode za ispitivanje funkcionalnosti i svojstva superupijajućeg polimera**

#### **6.1.1. Određivanje brzine prijelaza superupijajućih čestica u stanje gela (prema propisu tt. Absormex) [10]**

Za potrebu provođenja ove metode potrebno je slijedeće:

- uzorak, tj. SAP (superapsorbirajuće vlakno)
- laboratorijske čaše
- NaCl
- stakleni štapić
- destilirana ili deionizirana voda
- menzura ili odmjerna tikvica
- vaga
- štoperica

#### ***Postupak***

Ovom metodom utvrđuje se brzina prijelaza superapsorbirajućih čestica (vlakana, granula i dr. oblika), u ovom slučaju vlakana u gel stanje.

Prije početka mjerenja potrebno je prirediti 0,9 % otopinu NaCl.

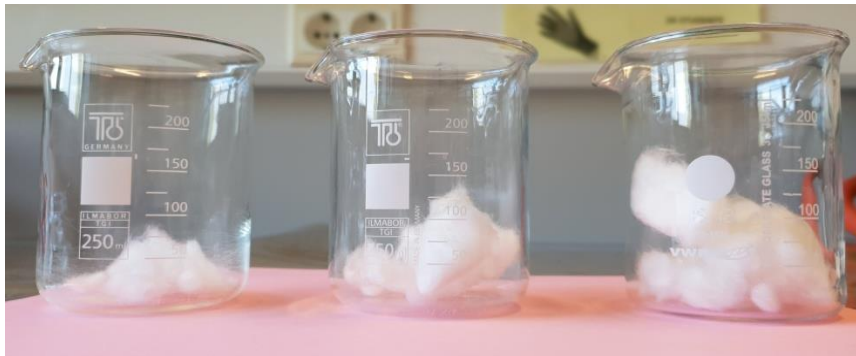
Vlakna se izvažu i izdvojena u 3 skupine:

1. skupina- skupina vlakana od 1 g
2. skupina- skupina vlakana od 3 g
3. skupina- skupina vlakana od 5 g.



**Slika 3** Uzorci vlakana od 1 g, 3 g i 5 g

Svaka skupina vlakana polože se u zasebnu laboratorijsku čašu u kojoj se preliju s 0,9% otopinom NaCl na način da je otopine 30x više u odnosu na masu vlakana.



**Slika 4** Uzorak 1 g, 3 g i 5 g u laboratorijskoj čaši prije dodavanja otopine

Da bi se vlaknu ili čestici mogao dodijeliti epitet superapsorbirajući, to vlakno ili čestica mora kao minimum imati sposobnost da upije 30x više tekućine od svoje težine. Brzina se određuje tako da u momentu kada je otopina došla u kontakt s vlaknom, štopericom se mjeri vrijeme potrebno vlaknu da prijeđe u gel stanje.

Mjerenje se provodi 3 ili više puta kako bi dobiveni rezultati bili što precizniji, tj. kako bi se smanjila mogućnost utjecaja neke od pogrešaka na rezultate ispitivanja.

### **6.1.2. Ispitivanje ukupnog kapaciteta upijanja 0.9% NaCl**

Za potrebe ispitivanja potrebno je slijedeće:

- uzorak, tj. SAP (superapsorbirajuće vlakno)
- laboratorijske čaše
- NaCl
- stakleni štapić
- destilirana ili deionizirana voda
- menzura ili odmjerna tikvica
- vaga
- posudice za vaganje

## **Postupak**

Nakon što se provede prethodno opisana metoda i utvrdi kako se radi o superapsorbirajućim vlaknima koji za otprilike 5 s imaju sposobnost upiti 30x više tekućine u odnosu na svoju masu neovisno o kojoj masi vlakana se radi. Ovom metodom ispitati će se koji je ukupni kapacitet tekućine, u ovom slučaju 0,9% otopine NaCl koji vlakno može upiti, a da ne dolazi do izlivanja. Odnosno koja je maksimalna količina tekućine koju vlakno može upiti, a da ne narušava kvalitetu nekog budućeg proizvoda.

Vlakna su podijeljena u 3 skupine slijedećih masa:

1. skupina - vlakna od 1 g,
2. skupina - vlakna od 3 g,
3. skupina - vlakna od 5 g.



**Slika 5** Pripremljeni uzorci od 1 g, 3 g i 5 g za ispitivanje

Svaka skupina vlakana stavljena je u zasebnu laboratorijsku čašu. U čaše se lagano dodaje, u početku 30x više ml u odnosu na masu vlakana otopine NaCl (30 ml, 90 ml, 150 ml).

Nakon što je vlakno upilo svu tekućinu, pojedinačno se u svaku čašu dodaje po 10 ml otopine onoliko puta koliko je potrebno da se dobije razrijeđena struktura gela, tj. krajnja granica mogućnosti vlakana da zadrži tekućinu i gel stanje.

Pri svakom novom dodavanju otopine sa strane se bilježi trenutni volumen. U trenutku kada se procijeni da je gel dosegao krajnju granicu upijanja u uzorak se prestaje dodavati tekućina te se on izvaže.

Pomoću dobivenih podataka izračunava se ukupan kapacitet upijanja (TAC) prema sljedećoj formuli:

$$\text{TAC [g]} = m_m - m_s \quad (1)$$

Gdje je:

TAC [g] – ukupni kapacitet upijanja

$m_s$  [g] – masa suhog uzorka

$m_m$  [g] – masa uzorka koji je upio 0.9% NaCl

$$\text{TAC [\%]} = (m_m - m_s) / m_m \times 100 \quad (2)$$

### **6.1.3. Određivanje sposobnosti zadržavanja tekućine superupijajućih polimera nakon centrifugiranja- centrifuge retention capacity (CRC) [10]**

Za provođenje ove metode potrebno je slijedeće:

- SAP vlakno
- Sušionik
- Laboratorijske čaše
- Igla i konac
- Menzura
- Vaga
- Odmjerna tikvica
- Štoperica
- NaCl
- Uređaj za centrifugiranje
- Destilirana/deionizirana voda
- Pinceta
- Asepsioleta maramice

## **Postupak**

Ovom metodom ispituje se sposobnost zadržavanja tekućine SAP vlakana nakon centrifugiranja.

Vlakna se kao u prethodnim metodama grupiraju u 3 skupine:

1. skupina – vlakna mase 1 g
2. skupina – vlakna mase 3 g
3. skupina – vlakna mase 5 g

Vlakna se stavljaju u Asepsoleta maramice, koje su prethodno osušene u sušioniku (slika 6, 9).



**Slika 6** Violeta maramice



**Slika 9** Violeta maramice u sušioniku

Maramice se potom presavijaju, ispune vlaknima i prošiju po rubovima kako bi se dobili mali punjeni jastučiće koji se onda važu (slika 10).





**Slika 7** Uzorci od 1 g, 3 g i 5 g sašiveni u violeta maramicama

Violeta maramice koriste se iz razloga jer su u formi netkanog tekstila i nemaju pore kroz koje bi SAP mogao izaći, a opet su hidrofilne te dovode tekućinu do SAP vlakana.

Dobiveni jastučići polažu se u zasebnu, prostorno prikladnu laboratorijsku čašu ispunjenu 0.9% otopinom NaCl u dostatnoj količini da u potpunosti prekrije jastučić.

U ovom pokusu čaše su bile volumena 800 mL ispunjene s 250 mL 0.9% otopine NaCl za svaki uzorak.

Namakanje jastučića mjeri se štopericom u vremenu od 5 i 30 minuta.

Nakon isteka 5 min, jastučići se vade z čaše i centrifugiraju na 220 okretaja 3 min.

Nakon centrifugiranja uzorak se ponovno izvaže i rezultat se zabilježi u svrhu daljnjeg izračuna.

Tako se isto postupa nakon isteka vremena s uzorkom koji se namače 30 min.

Kako bi se dobili što precizniji rezultati, mjerenje se provodi 3 puta na 18 uzoraka:

- 6 x jastučić od 1 g ( 3 uzorka za mjerenje od 5 min, 3 uzorka za mjerenje od 30 min),
- 6 x jastučić od 3 g ( 3 uzorka za mjerenje od 5 min, 3 uzorka za mjerenje od 30 min),
- 6 x jastučić od 5 g ( 3 uzorka za mjerenje od 5 min, 3 uzorka za mjerenje od 30 min).



**Slika 8** Jastučići s uzorkom uronjeni u 0.9% tekućinu NaCl

#### **6.1.4. Ispitivanje sposobnosti upijanja superapsorbirajućih čestica umjetne krvi i urina**

##### **6.1.4.1 Ispitivanje sposobnosti upijanja umjetne krvi [10, 11]**

Za ovu vježbu potrebno je sljedeće:

- Uzorak SAP-a,
- Laboratorijski pribor (staklene čaše, stakleni štapići, menzure, odmjerne tikvice, vaga),
- NaCl,
- Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,
- destilirana voda,
- jestivo crveno bojilo.

#### **Postupak**

Ovom metodom ispituje se sposobnost SAP vlakana na upijanje tjelesnih tekućina, konkretno krvi te utjecaj tjelesnih tekućina na ponašanje vlakana ako dolazi do promjena.

Krv koja će se koristiti u pokusu dobivena je laboratorijskim putem i nije ni približna zamjena pravoj krvi koju još na žalost nije moguće umjetno stvoriti. Potraga za odgovarajućom zamjenom za krv još uvijek je rad u procesu jer čovjek, koliko god vrstan u imitiranju prirode dolazi do prepreka kao što je umjetno stvaranje hemoglobina -kompleksa pozicioniranog u eritrocitima koji prenosi kisik te ga je nemoguće očuvati bez prisutnosti

stanične membrane i enzima koji sprečavaju njegovu razgradnju, dok u odsustvu stanica kao posljedica pojavljuje se hipertenzija - neobjašnjivo podizanje krvnog tlaka. Za sada darivanje je jedina funkcionalna metoda dobivanja krvi koja je na žalost podložna brojnim utjecajima te trenutno u svjetskom zdravstvu manjka 100 milijuna jedinica krvi, tako da bi otkriće umjetnog dobivanja te viskozne tekućine bile važne s humanitarnog, ali i s komercijalnog aspekta.

Možda nam je umjetan proces dobivanja krvi još nepoznat, ali kemijski sastav i to po krvnim grupama nije. Zahvaljujući tim podacima sastavljene su recepture krvnih grupa dovoljno funkcionalne za provođenje razno raznih ispitivanja, među koje spada i ovo.

U ovom ispitivanju koristile su se slijedeće krvne grupe i njihove recepture:

**Krvna grupa A**

2,9 g NaCl na 100 mL destilirane vode + jestivo crveno bojilo

**Krvna grupa B**

2,6 g Barijeva nitrata na 100 mL destilirane vode + jestivo crveno bojilo

**Krvna grupa AB**

2,6 g  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  + 2,9 g NaCl + 100 mL destilirane vode + jestivo crveno bojilo

**Krvna grupa 0**

destilirana voda + jestivo crveno bojilo



**Slika 9** Pripremljena umjetna krv

Nakon pripreme tekućina, uzorak SAP-a se razdijeli u laboratorijske čaše. Kako je u prijašnjim pokusima utvrđeno da masa vlakana ni na koji način ne utječe na brzinu upijanja tekućina, tj. kako je kapacitet upijanja i zadržavanja tekućina neovisno o masi uvijek približno jednak, ovo ispitivanje se provodilo samo na uzorku čija masa iznosi 1 g.

Ispitivanje se provodi tako da se u čašu s vlaknima dodaje po 10 mL tekućine do onog trena u kojemu vlakno, tj. već tada gel nema mogućnost održavanja svoje gelaste forme apsorpiranjem novih količina tekućina.

Mjerenje se provodi 3 puta, za svaku krvnu grupu posebno.

#### **6.1.4.2 Ispitivanje sposobnosti upijanja umjetnog urina [10, 12]**

Za izvođenje ove metode potrebno je slijedeće:

- vaga
- NaCl
- laboratorijske čaše
- urea
- odmjerne tikvice
- destilirana ili deionizirana voda
- glukoza
- SAP



**Slika 10** Pripremljen umjetan urin

Cilj ove metode bio je utvrditi ponašanje i mogućnost apsorpcije SAP različitih smjesa urina kako bi dobili što moguće vjerniji prikaz ponašanja superupijajućeg polimera u kontaktu s pravim urinom. Prva faza pokusa sastoji se od pripremanja umjetnih tjelesnih tekućina po sljedećim recepturama:

**Receptura A:** u 500 mL destilirane ili deionizirane vode miješa se 0.6 g NaCl, 2 g Uree.

**Receptura B:** u 500 mL destilirane ili deionizirane vode miješa se 1.4 g glukoze, 0.6 g NaCl, 2 g uree i dodaje se 2 mL NaOH.

**Receptura C:** u 500 mL destilirane ili deionizirane vode miješa se 0.5 g glukoze, 5 g NaCl i 2 g uree.

**Receptura D:** 500 mL destilirane ili deionizirane vode miješa se 3 g glukoze, 0.6 g NaCl, 2 g Uree.

**Receptura E:** 500 mL čiste deionizirane vode

Dobivene smjese imaju približnu pH vrijednost 6.

Kako je u prijašnjim pokusima utvrđeno da masa vlakana ni na koji način ne utječe na brzinu upijanja tekućina, tj. kako je kapacitet upijanja i zadržavanja tekućina neovisno o masi uvijek približno jednak, ovo ispitivanje se provodilo samo na uzorku čija masa iznosi 1 g.

U 5 izvaganih laboratorijskih čaša stavlja se prethodno izvagani uzorak SAP-a od 1 g.



**Slika 11** Uzorak od 1 g SAP-a raspoređen u laboratorijske čaše prije dodavanja umjetnog urina

Radi lakšeg i preciznijeg provođenja pokusa laboratorijske čaše označimo oznakama pripadajućoj smjesi urina. U svaku čašu se isprva stavlja po 30 mL od svake smjese, promatra se reakcija i ako je sva tekućina apsorbirana nastavlja se dodavati po 10 mL tekućine dok se ne procijeni da je SAP dosegao svoj maksimum upijanja. Volumen se bilježi sa strane pri svakom dodavanju te se zbroj tih volumena koristi kao konačni volumen koje vlakno može apsorbirati. Prije odstranjivanja uzorka iz čaše, dobivena gelasta smjesa se važe kako bi se mogla izračunati masa nabubrenog polimera. Ispitivanje se ponavlja 3 puta radi dobivanja preciznijih rezultata.

## 7. Rezultati ispitivanja funkcionalnosti i svojstava superupijajućih polimera

### 7.1. Rezultati određivanja brzine prijelaza superupijajućih čestica u gel stanje (prema t.t. Absormex) [10]

Ispitivani uzorak je imao sposobnost apsorbirati 30 puta više tekućine u odnosu na svoju masu i kao posljedica apsorpcije prešao je u gel stanje čime se može ustvrditi da se radi o SAP vlaknu.

Neovisno o količini vlakana, vrijeme potrebno da se vlakno pretvori u gel je približno jednako u svakoj skupini:

- Skupina od 1 g vlakana – 5,15 s
- Skupina od 3 g vlakana- 5,4 s
- Skupina od 5 g vlakana- 5,4 s

Razlika od +/- 10% može biti uzrok nejednake raspoređenosti vlakana u laboratorijskoj čaši, razlika u početku mjerenja štopericom (ljudski faktor) i način dovođenja tekućine u čašu.

**Tablica 5** Rezultati određivanja brzine prijelaza SAP vlakana u gel stanje

| UZORAK<br>(masa) | Vrijeme - t [s] |     |      |     | X    | $\sigma$ | V[%] |
|------------------|-----------------|-----|------|-----|------|----------|------|
|                  | I.              | II. | III. | IV. |      |          |      |
| 1 g              | 5,5             | 5,1 | 5    | 5   | 5,15 | 0,2380   | 4.62 |
| 3 g              | 5,4             | 5,6 | 5,1  | 5,5 | 5,4  | 0,2160   | 4    |
| 5 g              | 5,6             | 5,6 | 5    | 5,4 | 5,4  | 0,2828   | 5.24 |



Slika 12 SAP uzorak u gel stanju

## 7.2 Rezultati ispitivanja ukupnog kapaciteta upijanja 0.9% otopine NaCl

Rezultati ispitivanja ukupnog kapaciteta 0.9% otopine NaCl prikazani su u tablici 6.

**Tablica 6** Maksimalan volumen kojeg vlakno može apsorbirati te masa vlakana s ukupnom količinom apsorbirane tekućine

| UZORAK<br>(masa) | I   |     | II  |     | III |     | X      |        | σ     |       | V[%]  |       |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                  | mL  | g   | mL  | g   | mL  | g   | mL     | g      | mL    | g     | mL    | g     |
| <b>1g</b>        | 60  | 49  | 50  | 55  | 50  | 38  | 53.30  | 47.33  | 5,77  | 8,62  | 10,83 | 18,22 |
| <b>3g</b>        | 170 | 152 | 160 | 148 | 140 | 129 | 156.60 | 140.00 | 15,27 | 12,28 | 9,75  | 8,78  |
| <b>5g</b>        | 250 | 232 | 250 | 228 | 250 | 228 | 250.00 | 229.30 | 0     | 2,30  | 0     | 1     |

Gdje je: I, II, III - broj mjerenja

Volumen za **uzorak od 1 g** koji je 30x veći s obzirom na njegovu masu iznosi 30 mL.

Maksimalni volumen koji uzorak od 1 g može apsorbirati iznosi 53.3 mL te masa takvog vlakna/gela iznosi 47.33 g.

Volumen za **uzorak od 3 g** koji je 30x veći s obzirom na njegovu masu iznosi 90 mL.

Maksimalni volumen koji uzorak 3 g može apsorbirati iznosi 156.6 mL te masa takvog vlakna/gela iznosi 140 g.



Volumen za **uzorak 5 g** koji je 30x veći s obzirom na njegovu masu iznosi 150mL. Maksimalni volumen koji uzorak 5 g može apsorbirati iznosi 250 mL te masa takvog vlakna/ gela iznosi 229.30 g.



**Slika 13** Maksimalni volumen kojeg SAP od 1 g, 3 g i 5 g mogu upiti



**Slika 14** SAP vlakna u gel stanju II

Usporedbom dobivenih rezultata može se zaključiti kako je maksimalan upijeni volumen veći za 20 mL po gramu vlakana od minimalno uvjetovanog volumena koji je 30x veći u odnosu na masu vlakana, odnosno kako maksimalna apsorpcija vlakana iznosi 50x više otopine NaCl u odnosu na svoju masu.

Što se tiče mase vlakana, za svaku skupinu može vrijediti tvrdnja da se za svaki dodani mililitar masa vlakna povećava za približno 0.8 g.

**Tablica 7** Rezultati dobiveni izračunom ukupnog kapaciteta upijanja

| UZORAK<br>(masa) | I          |            | II         |            | III        |            | X          |            | σ          |            | V[%]       |            |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                  | TAC<br>[g] | TAC<br>[%] | TAC<br>[g] | TAC<br>[%] | TAC<br>[g] | TAC<br>[%] | TAC<br>[g] | TAC<br>[%] | TAC<br>[g] | TAC<br>[%] | TAC<br>[g] | TAC<br>[%] |
| <b>1g</b>        | 48         | 97.96      | 54         | 98.18      | 37         | 97.37      | 46.33      | 97.86      | 8,62       | 0,41       | 18,61      | 0,43       |
| <b>3g</b>        | 149        | 98.02      | 145        | 97.97      | 126        | 97.67      | 140.00     | 97.88      | 12,28      | 0,18       | 8,78       | 0,19       |
| <b>5g</b>        | 227        | 97.84      | 223        | 97.80      | 223        | 97.80      | 224.33     | 97.81      | 2,30       | 0,02       | 1,03       | 0,02       |

Za uzorak od 1 g ukupni kapacitet upijanja iznosi 46.33 g odnosno 97.86%.

Za uzorak od 3 g ukupni kapacitet upijanja iznosi 140 g odnosno 97.88%.

Za uzorak od 5 g ukupni kapacitet upijanja iznosi 224.33 g odnosno 97.81%.

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti kako neovisno o masi vlakana kapacitet upijanja iznosi približno 98%.

### 7.3. Rezultati određivanja sposobnosti zadržavanja tekućine superupijajućih polimera nakon centrifugiranja-engl. centrifuge retention capacity (CRC) [10]

Sposobnost zadržavanja tekućine SAP vlakana nakon centrifugiranja prikazana je u tablici 8.

**Tablica 8** Sposobnost zadržavanja tekućine SAP vlakana nakon centrifugiranja

| Vrijeme   |      | 5 min              |                    |                    |              | 30 min             |                    |                    |              |
|-----------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| n         |      | w <sub>0</sub> (g) | w <sub>1</sub> (g) | w <sub>2</sub> (g) | CRC          | w <sub>0</sub> (g) | w <sub>1</sub> (g) | w <sub>2</sub> (g) | CRC          |
| <b>1g</b> | I    | 1.7                | 1                  | 74.8               | 72.1         | 1.6                | 1                  | 74.9               | 72.3         |
|           | II   | 1.6                | 1                  | 62.3               | 59.7         | 1.6                | 1                  | 72.3               | 69.7         |
|           | III  | 1.6                | 1                  | 60.3               | 63.16        | 1.6                | 1                  | 68.8               | 66.2         |
|           | X    |                    |                    |                    | <b>64.98</b> |                    |                    |                    | <b>69.4</b>  |
|           | σ    |                    |                    |                    | 6,3986       |                    |                    |                    | 3,0610       |
|           | V[%] |                    |                    |                    | 9,85         |                    |                    |                    | 4,41         |
| <b>3g</b> | I    | 1.4                | 3                  | 143.4              | 46.33        | 1.6                | 3                  | 147.1              | 47.5         |
|           | II   | 1.5                | 3                  | 152                | 49.16        | 1.6                | 3                  | 149.7              | 48.36        |
|           | III  | 1.5                | 3                  | 147.5              | 47.66        | 1.6                | 3                  | 144.3              | 46.56        |
|           | X    |                    |                    |                    | <b>47,72</b> |                    |                    |                    | <b>47,47</b> |
|           | σ    |                    |                    |                    | 1,4159       |                    |                    |                    | 0,9002       |
|           | V[%] |                    |                    |                    | 2,97         |                    |                    |                    | 1,90         |
| <b>5g</b> | I    | 1.6                | 5                  | 214.8              | 41,64        | 1.5                | 5                  | 212.1              | 41.12        |
|           | II   | 1.5                | 5                  | 222.5              | 43.2         | 1.5                | 5                  | 214.1              | 41.52        |
|           | III  | 1.5                | 5                  | 211.9              | 41.08        | 1.5                | 5                  | 207.7              | 40.24        |
|           | X    |                    |                    |                    | <b>41,97</b> |                    |                    |                    | <b>40,96</b> |
|           | σ    |                    |                    |                    | 1,0986       |                    |                    |                    | 0,6548       |
|           | V[%] |                    |                    |                    | 2,62         |                    |                    |                    | 1,60         |

Gdje je: I, II, III – broj mjerenja; w<sub>0</sub>- masa prazne vrećice; w<sub>1</sub>- masa SAP-a; w<sub>2</sub>- masa vrećice nakon centrifuge

Sposobnost zadržavanja tekućine izračunavana je prema slijedećem izrazu:

$$CRC = W2 - (W0 + W1) / W1 \quad (3)$$

Uzorku od 1 g nakon močenja od 5 min i centrifuge od 220 okretaja za 3 minute kapacitet zadržavanja tekućine iznosi 64.98 g.

Uzorku od 1 g nakon močenja od 30 min i centrifuge od 220 okretaja za 3 minute kapacitet zadržavanja tekućina iznosi 69.4 g.

Uzorku od 3 g nakon močenja od 5 min i centrifuge od 220 okretaja za 3 minute kapacitet zadržavanja tekućine iznosi 47.72 g.

Uzorku od 3 g nakon močenja od 30 min i centrifuge od 220 okretaja za 3 minute kapacitet zadržavanja tekućine iznosi 47.47 g.

Uzorku od 5 g nakon močenja od 5 min i centrifuge od 220 okretaja za 3 minute kapacitet zadržavanja tekućine iznosi 41.97 g.

Uzorku od 5 g nakon močenja od 30 min i centrifuge od 220 okretaja za 3 minute kapacitet zadržavanja tekućine iznosi 40.96 g.

Iz dobivenih podataka može se iščitati kako vlakna iste mase, neovisno koliko dugo stoje namočena imaju približno jednaki kapacitet zadržavanja tekućine nakon centrifugiranja. Za razliku od prijašnje dvije metode, u ovom pokusu masa vlakana dolazi do izražaja jer se između grupa vlakana kapacitet zadržavanja tekućine nakon centrifugiranja razlikuje.

Prema dobivenim rezultatima grupa vlakana od 1 g ima najveći kapacitet zadržavanja tekućine nakon centrifugiranja dok grupa vlakana od 5 g ima najmanji kapacitet.

Grupa vlakana od 3 g po rezultatima nalazi se između dvije prethodno spomenute grupe.



**Slika 15** Uzorci tijekom ispitivanja na mućkalici



Slika 16 Centrifugirani uzorak

## 7.4. Rezultati ispitivanja upijanja umjetnih tjelesnih tekućina

### 7.4.1. Rezultati upijanja umjetne krvi

Rezultati ispitivanja sposobnosti upijanja umjetne krvi prikazani su u tablici 9.

Tablica 9 Rezultati ispitivanja upijanja umjetnih tjelesnih tekućina - krv

| br. mjerjenja | KRVNE GRUPE   |             |               |              |                |             |               |               |
|---------------|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
|               | Krvna grupa A |             | Krvna grupa B |              | Krvna grupa AB |             | Krvna grupa 0 |               |
|               | mL            | g           | mL            | g            | mL             | g           | mL            | g             |
| <b>I</b>      | 40            | 39,6        | 30            | 39,7         | 30             | 30,8        | 150           | 142,7         |
| <b>II</b>     | 40            | 39          | 30            | 29,5         | 30             | 30,2        | 150           | 146,7         |
| <b>III</b>    | 40            | 39,6        | 30            | 30,6         | 20             | 20,9        | 160           | 145,5         |
| <b>X</b>      | <b>40</b>     | <b>39,4</b> | <b>30</b>     | <b>33,27</b> | <b>26,6</b>    | <b>27,3</b> | <b>153,33</b> | <b>144,97</b> |
| <b>σ</b>      | 0             | 0,3464      | 0             | 5,5985       | 5,7735         | 5,5507      | 5,7735        | 2,0526        |
| <b>V[%]</b>   | 0             | 0,88        | 0             | 16,83        | 21,7           | 20,33       | 3,77          | 1,42          |

Gdje je: I, II, III - broj mjerjenja

**Krvna grupa A:** 1 g SAP-a ima mogućnost apsorpcije 40 mL krvne grupe A.



Slika 17 Apсорpcija krvne grupe A

**Krvna grupa B:** 1 g SAP ima mogućnost apsorpcije 30 mL krvne grupe B.



**Slika 18** Apсорpcija krvne grupe B



**Slika 19** Nastale grudice

**Krvna grupa AB:** 1 g SAP ima mogućnost apsorpcije 26.6 mL krvne grupe AB.



**Slika 20** Apсорpcija krvne grupe AB



**Slika 21** Nastale grudice

**Krvna grupa 0:** 1 g SAP ima mogućnost apsorpcije 153.33 mL krvne grupe 0.



**Slika 22** Apsorpcija krvne grupe 0

U krvnim grupama B i AB se zbog prisutnosti barijeva nitrata u otopini stvaraju grudice od superupijajućeg vlakna.

Najbolju apsorpcijsku moć vlakno ima kod krvne grupe 0, zatim kod krvne grupe A, krvne grupe B i najmanju ima kod krvne grupe AB.

Kod krvne grupe AB nije zadovoljen preduvjet SAP-a koji glasi: „*da bi se neka tvar smatra SAP-om mora imati sposobnost upijanja 30x više tekućine u odnosu na svoju masu*“.

#### 7.4.2. Rezultati upijanja umjetnog urina

Rezultati upijanja umjetnog urina prikazani su u tablici 10, a način provedbe na slici 25.



**Slika 23** Upijanje urina

**Tablica 10** Rezultati ispitivanja umjetnog urina

| 1 g<br>uzorka | SMJESE URINA |             |              |              |             |              |              |              |              |              |
|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | A            |             | B            |              | C           |              | D            |              | E            |              |
|               | mL           | g           | mL           | g            | mL          | g            | mL           | g            | mL           | g            |
| <b>I</b>      | 110          | 100.6       | 120          | 113.1        | 70          | 67.1         | 110          | 104.1        | 160          | 155.6        |
| <b>II</b>     | 100          | 96.6        | 110          | 105          | 50          | 49.4         | 120          | 116.5        | 150          | 147.8        |
| <b>II</b>     | 90           | 86.9        | 90           | 89.1         | 50          | 49.6         | 90           | 89.4         | 150          | 147.9        |
| <b>X</b>      | <b>100</b>   | <b>94.7</b> | <b>106.7</b> | <b>102.4</b> | <b>56.7</b> | <b>55.37</b> | <b>106.7</b> | <b>103.3</b> | <b>153.3</b> | <b>150.4</b> |
| <b>σ</b>      | 10           | 7.044       | 15.27        | 12.20        | 11.54       | 10.16        | 15.27        | 13.56        | 5.73         | 4.47         |
| <b>V[%]</b>   | 10           | 7.44        | 14.32        | 11.92        | 20.37       | 18.35        | 14.32        | 13.13        | 3.77         | 2.97         |

Maksimalna sposobnost superupijajućih vlakana mase 1 g da upiju smjesu tekućine A iznosi 100 mL, odnosno njihova masa u tom stanju iznosi 94.7 g. Vidljivi mjehurići.



**Slika 24** Nastali mjehurići

Maksimalna sposobnost superupijajućih vlakana mase 1 g da upiju smjesu tekućine B iznosi 106.7 mL, odnosno njihova masa u tom stanju iznosi 102.4 g.

Maksimalna sposobnost superupijajućih vlakana mase 1g da upiju smjesu tekućine C iznosi 56,7 mL, odnosno njihova masa u tom stanju iznosi 55.37 g.



Maksimalna sposobnost superupijajućih vlakana mase 1 g da upiju smjesu tekućine D iznosi 106.7 mL, odnosno njihova masa u tom stanju iznosi 103.33 g. Vidljivi mjehurići.



**Slika 25** Mjehurići u uzorku

Maksimalna sposobnost superupijajućih vlakana mase 1 g da upiju smjesu tekućine E iznosi 153.33mL, odnosno njihova masa u tom stanju iznosi 150.43 g.

Iz rezultata se može iščitati da najbolju moć upijanja ima tekućina E koja je u biti samo deionizirana voda, a najmanju moć upijanja ima kod tekućina C koja u sebi sadrži najviše NaCl, zatim kod tekućine D koja sadrži najviše glukoze čime se može potvrditi teza da najbolju moć upijanja SAP ima u deioniziranoj/destiliranoj vodi dok s povećanjem NaCl ili nekih drugih čestica u okolnom okruženju kapacitet bubrenja pa tako i apsorpcije se smanjuje. Iako apsorbirani volumen varira od tekućine do tekućine i dalje, u svih 5 slučajeva vlakno zadovoljava osnovan kriterij SAP-a i apsorbira tekućine čak i više od 30x svoje mase.

## **8. Zaključak**

U zadnjih par desetljeća upotreba tekstilnih materijala u području medicine prerasla je svoju dotadašnju primjenu pa se i samim time povećala, a taj pozitivan trend uspinjat će se po putanji rasta još neko vrijeme i u budućnosti. Nedovoljno poznavanje i razumijevanje znanosti kao što su mikrobiologija, kemija, medicina, tekstilno inženjerstvo i njima srodnih znanosti spriječilo je njihovo udruživanje u ranijoj prošlosti, a od 1950-ih do danas, uspinjući se uzbrdicama inovacija i rasta njihov konačan spoj omogućio je, skromno rečeno revoluciju u pristupu liječenja ljudi. Medicina je time, u svojoj već ionako dovoljno kompleksnoj anatomiji sastavnih znanosti prigrlila još jednu. Inženjering tekstilnih materijala poput kojekakve bakterije proširio se u svaku domenu medicine i omogućio upotrebu tekstilnih materijala u području higijene, njege, regeneracije i kirurgije. Sinteza svih maloprije navedenih znanosti bila je moguća isključivo zasebnim razvojem, gdje se kao i nusprodukt na tržištu pojavio superupijajući polimer. Evolucija superupijajućih polimera na tržište je plasirala veoma moćan materijal koji je svojom pojavnošću od granule pa sve do vlakna postao gradivna komponenta različitih proizvoda.

U ovom radu provelo se ispitivanje superupijajućeg vlakna 141/6/10, proizvođača Technical Absorbents. Dobiveni rezultati ukazali su na to da bez obzira na linearnost strukture ovog superupijajućeg polimera svojstva su i dalje zadovoljavajuća. Posjeduje dobre apsorpcijske mogućnosti koje su u deioniziranoj/destiliranoj vodi najbolje kao i kod svakog SAP-a gdje u prosjeku apsorbira 150x više tekućine u odnosu na svoju masu.

U 0.9% otopini NaCl apsorpcija je 3 puta manja s brzinom prelaska u gel od 5 s, ali je i dalje veća od minimalnog propisanog zahtjeva. U oba slučaja masa vlakana nije bila nikakav faktor, te je sposobnost apsorpcije uzoraka od 1 g, 3 g i 5 g bila jednaka i iznosila je približno 98%. Masa se ipak pokazala ključnom u kapacitetu zadržavanja tekućine, gdje najlakši uzorak imao najbolji CRC, a najteži najslabiji.

CRC uzorka od 1 g iznosio je približno 68, kod uzorka od 3 g 48 i kod uzorka od 5 g 41 i taj kapacitet bio je jednak i kod uzoraka koji su se namakali 5 min i kod uzoraka koji su se namakali 30 min. Kod upijanja umjetnih tjelesnih tekućina, rezultati su pokazali kako je kod najjednostavniji smjesa otopina s najmanje komponenta apsorpcija vlakana najveća, a dodavanjem više čestica slabi. Apsorpcija umjetnog urina i krvi i dalje zadovoljava

minimalni propisani kriterij osim kod krvne grupe AB gdje nije uspio apsorbirati niti 30x više tekućine u odnosu na masu što je vjerojatni indikator da će upotreba ovog vlakna biti ograničena ili će se kombinacijom drugih materijala morati pospješiti.

## **9. LITERATURA**

- [1] Horrocks, A. R.; Anand; S. C.: Handbook of Technical Textiles, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2000, ISBN: 9781855733855
- [2] Qin, Y.: Medical Textile Materials, The Textile Institute, Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 174, Cambridge, 2016, ISBN: 978-0-08-100618-4
- [3] Somogyi Škoc, M.: Medicinski tekstil, materijali s predavanja, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2018.
- [4] Bartels, V.: Handbook of Medical Textiles, Woodhead Publishing, Cambridge, 2011, ISBN: 9781845696917
- [5] Somogyi Škoc, M.; Pezelj, E.; Ležaić, D.: Karakterizacija i učinkovitost medicinskih obloga za kronične rane, Tekstil, 63 (9-10) (2014), 293-305, ISSN 0492-5882
- [6] Čunko R., Andrassy M.: Vlakna, Zrinski d.d., Zagreb, (2005), 83-110
- [7] M. Elliot: Superabsorbent Polymers, [http://chimianet.zefat.ac.il/download/Super-absorbant\\_polymers.pdf](http://chimianet.zefat.ac.il/download/Super-absorbant_polymers.pdf), rujan 2018.
- [8] Filipović I., Lipanović S.: Opća i anorganska kemija, II dio, Školska knjiga, Zagreb, (1995)
- [9] <https://techabsorbents.com/>, rujan 2018.
- [10] Somogyi Škoc, M.: Medicinski tekstil, materijali za vježbe, interna nerecenzirana skripta, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2018.
- [11] Sarkar, S.: Artificial blood, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2738310/>, rujan 2018.
- [12] Khan, L.B.; Read, H.M.; Ritchie, S.R.: Artificial Urine for Teaching Urinalysis Concepts and Diagnosis of Urinary Tract Infection in the Medical Microbiology Laboratory, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5577974/>, rujan 2018.