

# Utjecaj atmosferilija na biorazgradivost i vlažna svojstva tekstilija

---

**Jelečević, Mihael**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:201:093369>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**DIPLOMSKI RAD**

***UTJECAJ ATMOSFERILIJA NA BIORAZGRADIVOST I VLAČNA  
SVOJSTVA TEKSTILIJA***

**Mihael Jelečević**

**Zagreb, kolovoz 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila**

**DIPLOMSKI RAD**

***UTJECAJ ATMOSFERILIJA NA BIORAZGRADIVOST I VLAČNA  
SVOJSTVA TEKSTILIJA***

**Mentor: doc. dr. sc. Ružica Brunšek**

**Izradio: Mihael Jelečević**  
**Broj indeksa: 10752/ TTI-TKME**

**Zagreb, kolovoz 2019.**

## **DIPLOMSKI RAD**

**Kandidat:** Mihael Jelečević

**Naslov rada:** Utjecaj atmosferilija na biorazgradivost i vlačna svojstva tekstilija

**Naziv studija:** Tekstilna tehnologija i inženjerstvo

**Naziv smjera:** Tekstilna kemija, materijali i ekologija

**Voditelj rada:** doc. dr. sc. Ružica Brunšek

**Jezik teksta:** Hrvatski

**Rad ima:**       56 stranica  
                      36 slika  
                      10 tablica  
                      1 jednadžba  
                      21 literatura

### **Institucija u kojoj je rad izrađen:**

Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila

### **Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:**

1. Izv. prof. dr. sc. Sanja Ercegović Ražić, predsjednica
2. Doc. dr. sc. Ružica Brunšek, mentorica
3. Doc. dr. sc. Dragana Kopitar, član
4. Doc. dr. sc. Ivana Schwarz, zamjena člana

**Datum predaje i obrane diplomskog rada:** 29.08.2019.

## **FINAL THESIS**

**Candidate:** Mihael Jelečević

**Title:** Influence of Weathering conditions on Biodegradability and Tensile Properties of Textile

**Graduate study:** Textile Technology and Engineering

**Field of study:** Textile Chemistry, Materials and Ecology

**Mentor:** Assist. Prof. Ružica Brunšek, Ph.D.

**Language of final thesis:** Croatian

**Paper has:** 56 papers  
36 pictures  
10 tables  
1 equation  
21 literature

### **The institution in which the work was made:**

University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Department of Materials, Fibers and Textile Testing

### **Committee members of final thesis defence:**

1. Assoc. Prof. Sanja Ercegović Ražić, Ph.D., president of committee
2. Assist. Prof. Ružica Brunšek, Ph.D., mentor
3. Assist. Prof. Dragana Kopitar, Ph.D., member
4. Assist. Prof. Ivana Schwarz, Ph. D., substitute member

**Submission and defence date of the final thesis:** 29<sup>th</sup> of August 2019.

## SAŽETAK

Biorazgradnja je kemijska razgradnja polimera izazvana djelovanjem mikroorganizama kao što su bakterije, gljivice i alge. Polimeri se u ekosustavima razgrađuju reakcijama oksidacije i hidrolize te se razgrađuju u biomasu, ugljikov dioksid, plin metan te ostatak. Prilikom razgradnje polimera dolazi do promjene njegovih početnih svojstava kao što su vlačna čvrstoća, masa, boja, oblik itd. Takve promjene nazivamo "starenje" (engl. *ageing*) i to je nepoželjna pojava ukoliko se ne radi o biorazgradivim materijalima. U ovom radu ispitivana je biorazgradivost različitih tkanih i netkanih plošnih proizvoda izrađenih od prirodnih vlakana, sintetičkih polimera te folija. Uzorci su zakopani u zemlju te tako izloženi vanjskim vremenskim utjecajima u vremenskim periodima od 12 i 24 dana. Nakon prolaska određenog vremenskog perioda obrade, uzorcima su ispitivane površinske mase, debljina uzoraka, vlačna čvrstoća, prekidno istezanje te su vizualno promatrane morfološke promjene na površini uzoraka te uspoređivane s nultim uzorcima. Nakon prikupljanja i analiziranja podataka vidljivo je kako su svim uzorcima svojstva koja ukazuju na razgradnju bila smanjena, odnosno da su bili izvrgnuti djelovanju mikroorganizama.

***Ključne riječi:*** biorazgradivost, atmosferilije, vlačna svojstva, površinska masa, debljina materijala i morfologija površine materijala

## ABSTRACT

Biodegradation is the chemical degradation of polymers caused by the action of microorganisms such as bacteria, fungi and algae. Polymers are degraded in ecosystems by oxidation and hydrolysis reactions and decomposed into biomass, carbon dioxide, methane gas and the residue. During the decomposition of a polymer, its initial properties such as tensile strength, mass, color, shape, etc. are altered. Such changes are called „aging“ and this is an undesirable phenomenon if it is not a biodegradable material. This paper examines the biodegradability of various woven and non-woven sheet products made from natural fibers, synthetic polymers and foil. The samples were buried in the ground and thus exposed to external weather in periods of 12 and 24 days. After a certain period of time, the samples were examined for surface mass, thickness of the specimens, tensile strength, breaking elongation, and morphological changes were observed on the surface of the specimens and compared with the null specimens. After collecting and analyzing the data, it can be seen that all the samples showed degradation properties, ie they were exposed to microorganisms.

**Keywords:** *biodegradability, weathering conditions, tensile properties, surface mass, material thickness and surface morphology of the material*

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	3
<b>2</b>	<b>TEORIJSKI DIO</b> .....	4
2.1	VLAKNA .....	4
2.1.1	PRIRODNA VLAKNA .....	4
2.1.2	UMJETNA VLAKNA .....	8
2.2	TKANINE .....	11
2.2.1	PODJELA TKANINA .....	12
2.2.2	PARAMETRI TKANINA .....	14
2.2.3	VEZOVI TKANINA .....	15
2.3	NETKANI TEKSTIL .....	16
2.3.1	OSNOVNE KARAKTERISTIKE NETKANOG TEKSTILA TE NJEGOVA PODJELA .....	16
2.3.2	PROCESI PROIZVODNJE NETKANOG TEKSTILA .....	17
2.3.3	POSTUPCI IZRADE RUNA .....	18
2.3.4	POSTUPCI UČVRŠĆENJA RUNA .....	19
2.3.5	ZAVRŠNE OBRADJE NETKANOG TEKSTILA .....	20
2.4	BIORAZGRADNJA .....	20
2.4.1	RAZGRADNJA I SVOJSTVA .....	22
2.4.2	BIORAZGRADIVI POLIMERNI MATERIJALI .....	22
2.4.3	PODJELA I SVOJSTVA BIORAZGRADIVIH POLIMERNIH MATERIJALA .....	23
2.4.4	ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA BIORAZGRADNJU .....	24
2.4.5	NAJZNAČAJNIJA PODRUČJA PRIMJENE BIORAZGRADIVIH POLIMERA .....	26
<b>3</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	29
3.1	ZADATAK RADA .....	29
3.2	DEFINIRANJE UZORAKA ZA ISPITIVANJE .....	30
3.3	IZLAGANJE UZORAKA .....	30
3.4	METODE ISPITIVANJA SVOJSTAVA UZORAKA .....	31
3.4.1	POVRŠINSKA MASA (ISO 9073-1) .....	31
3.4.2	DEBLJINA PLOŠNOG PROIZVODA (HRN F. S2.021) .....	32
3.4.3	OTPORNOST NA VLAČNE SILE (UNI EN ISO 13934/1 ZA TKANINE, UNI EN ISO 29073-3 ZA NETKANI TEKSTIL TE ISO 527-1 ZA FOLIJU) .....	33
3.4.4	DINO-LITE – DIGITALNI USB MIKROSKOP .....	35
<b>4</b>	<b>REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	36
4.1	REZULTATI ODREĐIVANJA POVRŠINSKE MASE .....	36



4.2	REZULTATI ODREĐIVANJA DEBLJINE.....	37
4.3	REZULTATI ODREĐIVANJA VLAČNE ČVRSTOĆE.....	40
4.4	REZULTATI ODREĐIVANJA ISTEZANJA .....	44
4.5	MORFOLOŠKA ANALIZA POVRŠINE UZORAKA.....	49
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>54</b>

## 1 UVOD

Tekstil je naziv za vlakna te sve proizvode koji se mogu izraditi iz istih. Prilikom prerade vlakana u složenije površine koriste se razni procesi prerađivanja kao što su: pređenje, tkanje, pletenje, iglanje i dr. Tako se tekstil definira kao sve linearne i plošne tvorevine od vlakana te njihovi obrađeni proizvodi koji daju nova funkcionalna svojstva materijalima, odnosno sve novonastale proizvode koji se dobivaju obradom linearnih i plošnih proizvoda u gotove proizvode. Treba napomenuti kako se tekstil generalno može podijeliti u dvije skupine, a one su: konvencionalna tekstilna primjena i nekonvencionalna tekstilna primjena. Prva navedena podjela obuhvaća tekstile koji zadovoljavaju čovjekovu osobnu upotrebu (odjeća, obuća, dekorativni tekstili), dok u drugu skupinu ubrajamo tekstil koji se upotrebljava u različitim granama industrija te ga nazivamo i tehnički tekstil [1].

Tehnički tekstil kako bi se tako nazivao mora zadovoljiti brojne navedene specifikacije ovisno o području njegove primjene, odnosno imati zadovoljavajuća svojstva kao što su: vlačna i udarna čvrstoća, otpornost na visoke temperature i plamen, otpornost na kemikalije i dr. Najznačajnija primjena tehničkog tekstila s biorazgradivim svojstvima je u medicini i poljoprivredi. U obje djelatnosti njegova biorazgradivost ima ključnu ulogu. U medicini mora uz biorazgradivost biti inertan na ljudsko tkivo kako ga tijelo ne bi identificiralo kao prijetnju organizmu i izbacilo, a u poljoprivredi je bitan aspekt biorazgradnje kako bi pridonijelo povećanju prinosa uz manji udio ljudskog rada koji je potreban za uklanjanje na zemlju položenih materijala koji se nakon određenog vremenskog perioda razgrade te upiju u tlo dodatno ga obogaćujući potrebnim tvarima za uspješniji rast biljaka [1].

Mnogo svjetskih istraživanja u prošlosti bavilo se problemom razvoja biorazgradivog polimera kako bi smanjili štetan utjecaj dotadašnjih polimera na okoliš i ekosustav. Otkriveno je i proizvedeno mnogo sintetskih polimera, ali malo toga je poznato kako se dosadašnji već poznati polimeri mogu upotrebljavati u raznim djelatnostima i da li je moguće poboljšati njihovu biorazgradivost određenim djelovanjima. U ovom radu koristili smo tkane i netkane plošne proizvode izrađene od celuloznih vlakana i sintetičkih polimera te smo mjerili njihova svojstva i vrijednosti tokom određenog perioda provedenog u zemlju izloženi stvarnim atmosferilijama. U radu su promatrani pokazatelji razgradnje kao što su površinska masa, debljina, vlačna svojstva, istezljivost materijala te je promatrana površina uzoraka. Kao uzorke koristili smo tkane i netkane tekstile te poljoprivrednu foliju [2].

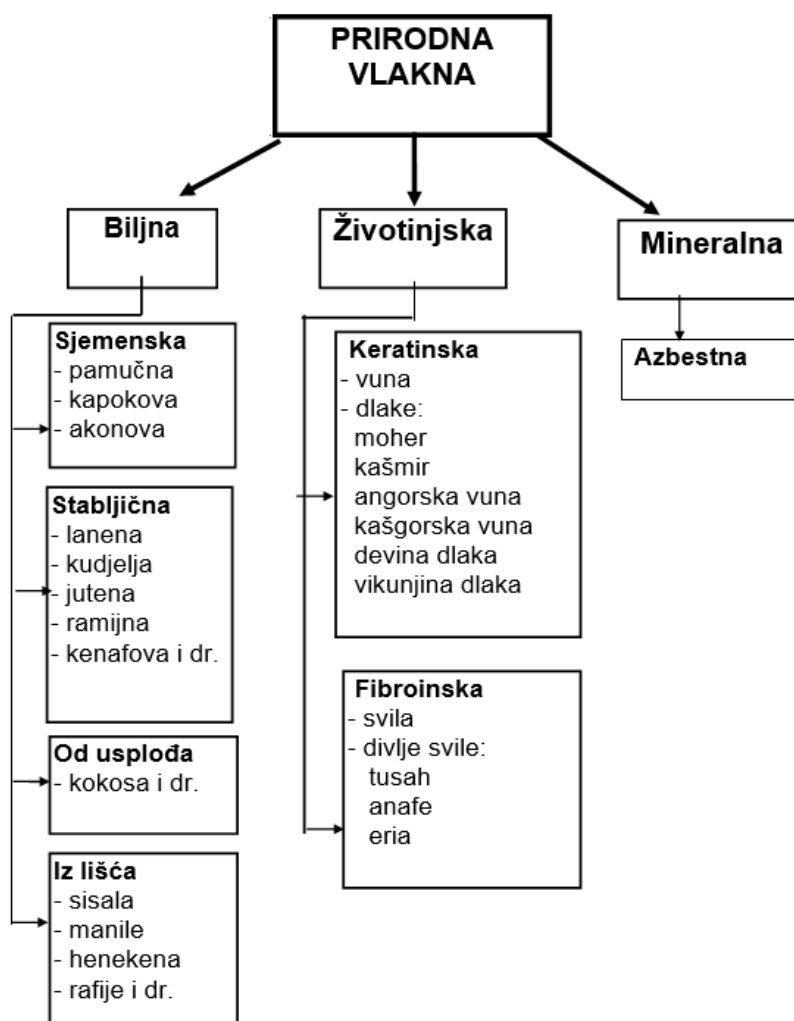
## **2 TEORIJSKI DIO**

### **2.1 VLAKNA**

Vlakno se smatra oblikom tvari kojem je duljina mnogo veća od poprečnih dimenzija, odnosno širina mora biti veća od promjera, zbog čega se ubrajaju i u linearne tekstilije. Omjer uzdužnih i poprečnih dimenzija mora biti najmanje 1:100. Također, za vlakna je potrebno da posjeduju odgovarajuća svojstva koja im omogućavaju preradivost u kompleksnije tekstilne proizvode. Sposobnost prerade je jedna od karakteristika koja određuje vlakno, a određuje se prikladnim omjerom duljine i finoće, dostatnom čvrstoćom i kemijskom otpornošću, savitljivošću, kohezivnosti te je potrebno da ta svojstva budu jednolika u odnosu na pojedinačna vlakna iste vrste. Vlakna se dijele prema podrijetlu, a postoje vlakna prirodnog i vlakna umjetnog podrijetla [1].

#### **2.1.1 PRIRODNA VLAKNA**

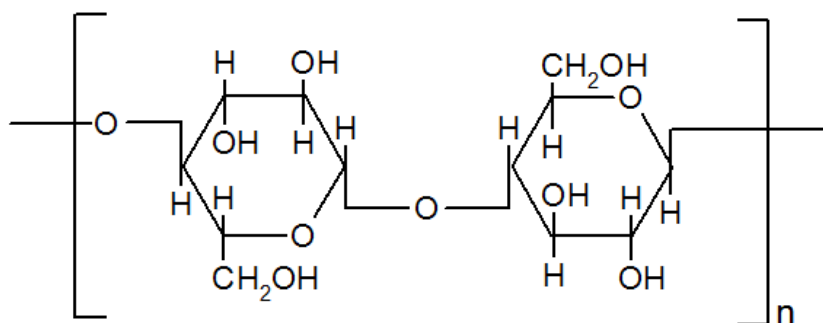
Prirodna vlakna mogu se nazvati i prirodna celulozna vlakna. Vlakna tog podrijetla su pretežno izgrađena od celuloze I, a nalaze se u prirodi kao sastavni dio većine biljaka. Također, uz celulozu u vlaknima nalaze se i ne vlaknaste tvari kao što su lignin, pektin, voskovi i mnoge anorganske tvari. Prirodna vlakna se dijele na biljna, životinjska i mineralnog podrijetla (Sl. 1.), a najznačajniji predstavnici prirodnih celuloznih vlakana su pamuk i juta [1].



Sl. 1. Podjela prirodnih vlakana [1]

#### 2.1.1.1. PAMUK

Pamuk je najraširenije i najupotrebljavanije tekstilno vlakno te je jedna od najvažnijih sirovina za izradu tekstilija za razna područja primjene. Ono je sjemensko vlakno koje se dobiva iz istoimene biljke iz roda *Gossypium*, porodica *Malvacea*. Pamuk se uzgaja u preko 70 država, najviše u Kini, SAD-u, Indiji, Pakistanu, Turskoj i Uzbekistanu te se godišnje proizvodi više od 20 milijuna tona godišnje. Po kemijskom sastavu pamuk se sastoji većinski od celuloze (Sl. 2.) te drugih tvari u manjim postotcima (Tab. 1.) [1].

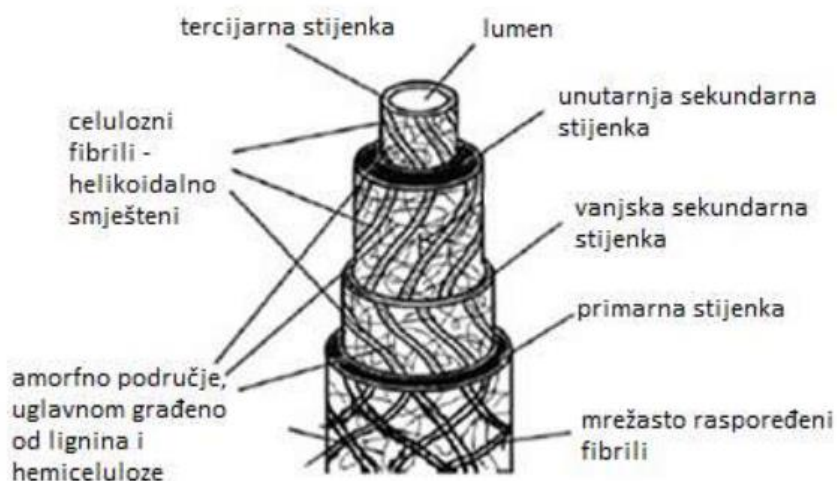


Sl. 2. Kemijska formula celuloze [1]

Tab. 1. Kemijski sastav pamučnog vlakna [1]

Naziv tvari	Postotni udio po masi
Celuloza	82-89
Vlaga	7-10
Pektin	0,6-1,1
Proteini	1,0-1,8
Organske kiseline	0,5-0,9
Voskovi	0,4-0,9
Ostalo	Oko 1,0
Mineralne tvari i pepeo	0,6-1,5

Pamučno vlakno je specifičnog spiralnog oblika te je zbog toga i prepoznatljivo. Karakterističan oblik dobiva se prilikom zrenja vlakana koje se sastoji od 3 faze. U prvoj fazi vlakno je cjevastog oblika te se sastoji samo od jezgre s citoplazmom i tanke primarne stijenke koja se nalazi s vanjske strane vlakna gdje se također nalazi i kutikula. Nakon što vlakno dosegne punu duljinu započinje druga faza. U njoj se razvija sekundarna stijenka slaganjem slojeva celuloze s unutrašnje strane primarne stijenke. Takvo naslojavanje pridonosi debljanju vlakna te se naziva zrenjem vlakna. U trećoj fazi prilikom prekida sazrijevanja pamučnih vlakana dolazi do otvaranja čahura iz kojih postanu vidljiva pamučna vlakna koja su rasla iz sjemenke u sredini čahure. Nakon prekida sazrijevanja vlakno i protoplazma unutar njega se počinju sušiti. Ostaci protoplazme se nakupljaju na granici između sekundarne stijenke i lumena te stvaraju tercijarnu stijenku. Zbog tog procesa se oblik vlakna mijenja iz cjevastog u spljošteni oblik, a do spiralnog uvijanja dolazi zbog podtlaka koji nastaje u lumenu i zbog raznih nakupljenih napetosti u sekundarnoj stijenci (Sl. 3.) [1].



Sl. 3. Strukturna građa pamučnog vlakna [3]

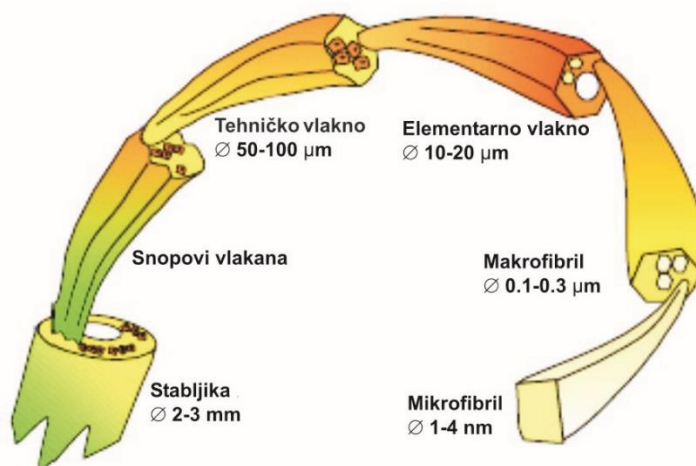
U Tab. 2. prikazana su svojstva i značajke pamučnog vlakna.

Tab. 2. Svojstva i značajke pamučnog vlakna [1]

Svojstvo	Vrijednosti
Boja	Blijedo žućkasta
Duljina	Varira ovisno o vrsti vlakna te duljina pojedinih vlakana može varirati zbog polidisperzije duljine
Finoća	1,5-2,0 dtex
Čvrstoća	20-50 cN/tex
Repriza	Oko 8,5%
Gustoća	1,53-1,55 g/cm <sup>3</sup>
Otpornost na toplinu	Temperatura staklastog prijelaza – 50 °C Temperatura oštećenja – iznad 200 °C Temperatura samozapaljenja 400 °C
Otpornost na mikroorganizme i insekte	Vrlo slaba
Otpornost na sunčevo svjetlo	Relativno niska
Otpornost na kemikalije	Relativno dobra otpornost prema alkalijima i organskim otapalima, a manja prema anorganski kiselinama

### 2.1.1.2. JUTA

Vlakna jute jedna su od najkorištenijih stabličnih vlakana. Mogu se dobiti od više vrsta biljaka od kojih su najčešće gorka juta (lat. *cororus olitorius*) te slatka juta (lat. *corborus capsularis*). Vlakna se postupkom mecerizacije obrađuju nakon čega se iz tehničkog vlakna odvajaju elementarna vlakna koja se najčešće koriste u tehničke svrhe, zbog svoje zavidne čvrstoće. Juta se najviše uzgaja u Indiji i Pakistanu, a godišnje se proizvede više od 350 000 tona jutenog vlakna (Sl. 4.) [1].



Sl. 4. Strukturna građa jutenog vlakna [4]

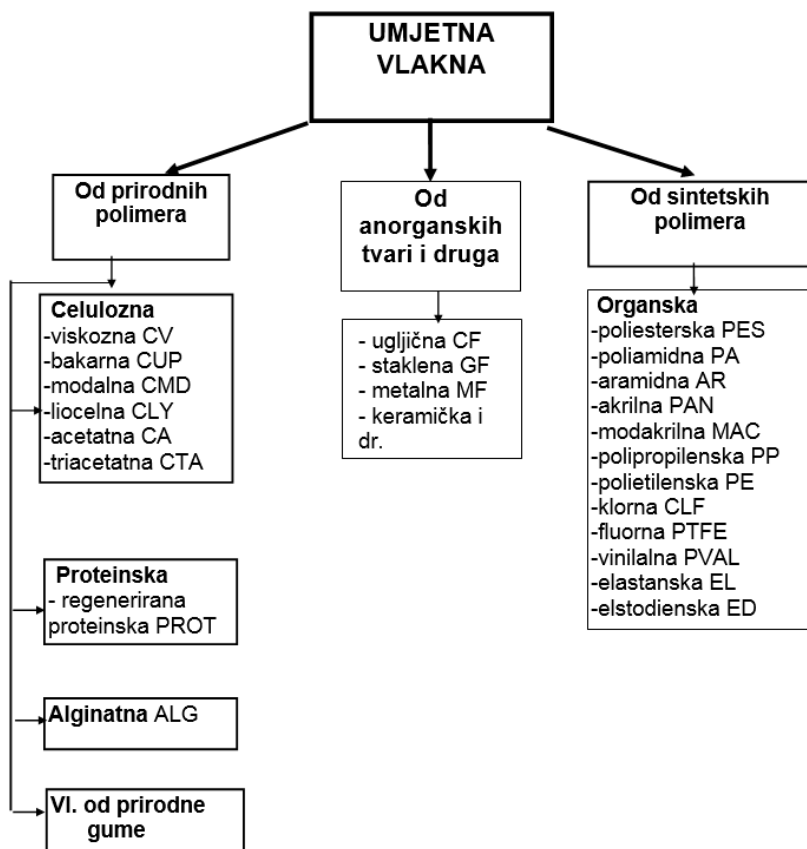
U Tab. 3. prikazana su svojstva i značajke jutenog vlakna.

Tab. 3. Svojstva i značajke jutenog vlakna [1]

Svojstvo	Vrijednosti
Boja i opip	Smeđa boja i hrapav opip
Duljina	Tehničko vlakno 1,5-4,0 m Elementarno vlakno 1-5 mm
Čvrstoća	3-3,5 cN/dtex
Repriza	Oko 13,75%

### 2.1.2 UMJETNA VLAKNA

Umjetna vlakna obuhvaćaju sva vlakna koja nastaju industrijskom proizvodnjom, za razliku od prirodnih čiji se vlaknasti oblik stvara prirodnim putem. Početna tvar iz koje se dobiva takvo vlakno može biti u obliku taline ili otopine određenog prirodnog ili sintetičkog polimera, a neka se umjetna vlakna dobivaju iz raznih krutih anorganskih tvari i plinova te se tako i dijele na sintetska vlakna od prirodnih i sintetičkih polimera te anorganskih tvari (Sl. 5.) [1].



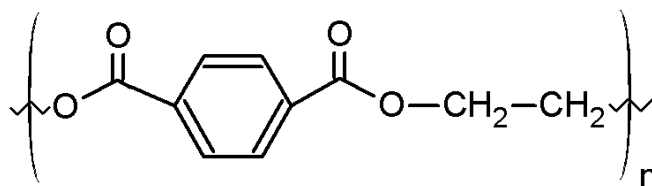
Sl. 5. Podjela umjetnih vlakana [1]

### 2.1.2.1 POLIESTERSKO VLAKNO (PES)

Poliesterskim vlaknom nazivaju se vlakna kojima je maseni udio estera teraftalne kiseline i nekog dialkohola najmanje 85%, s prisustvom prepoznatljive esterske veze (-CO-O-). Prvo poliestersko vlakno pojavilo se 1953. godine kada ga je tvrtka Dacron proizvela pod nazivom Terylene. U današnje vrijeme, više od polovice umjetnih vlakana pripada skupini PES vlakana sa više od 20 000 milijuna tona proizvedenih godišnje.

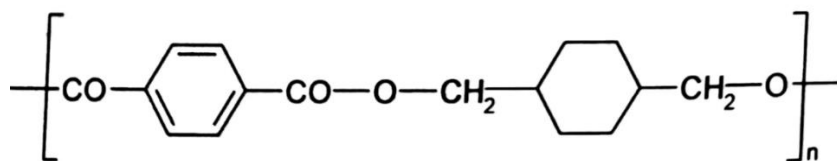
Najčešći tipovi PES vlakana su: a) poli(etilen-tereftalat), b) poli(1,4-dimetilen-cikloheksil-tereftalat) i c) poli(butilen-tereftalat) (Sl. 6.) [1].

a)

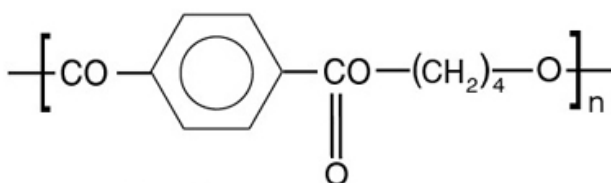




b)



c)



Sl. 6. Tipovi PES vlakna; a) poli(etilen-tereftalat) [5], b) poli(1,4-dimetilen-cikloheksil-tereftalat) [1] i c) poli(butilen-tereftalat) [6]

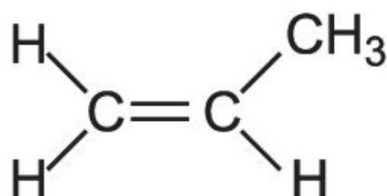
U Tab. 4. prikazana su svojstva i značajke poliesterskog vlakna.

Tab. 4. Svojstva i značajke poliesterskog vlakna [1]

Svojstvo	Vrijednosti
Boja	Mogućnost bojadisanja
Duljina	Filamentno vlakno – beskonačna duljina Pamučni tip 32 - 40 mm Vuneni tip 60 - 100 mm
Finoća	Pamučni tip – 1,3 - 6,7 dtex Vuneni tip – 3,6 - 6,7 dtex
Čvrstoća	< 90 cN/tex
Repriza	0,5%
Gustoća	1,38 – 1,44 g/cm <sup>3</sup>
Otpornost na toplinu	Temperatura staklastog prijelaza – 150°C Temperatura taljenja – 250 - 260 °C
Otpornost na mikroorganizme i insekte	Veoma otporna
Otpornost na sunčevo svjetlo	Relativno visoka
Otpornost na kemikalije	Dobra prema kiselinama, a loša prema alkalijima uz povišenu temperaturu

### 2.1.2.2 POLIPROPILENSKA VLAKNA (PP)

Polipropilenska vlakna su vlakna koja su izgrađena od linearnih makromolekula u kojima se kao konstrukcijska jedinica ponavlja zasićeni alifatski ugljikovodik, a na svaki drugi C-atom vezana je bočna metilenska skupina, u pravilu izotaktičnoj konfiguraciji (metilenske skupine se nalaze s iste strane polimernog lanca) i bez supstituenata (Sl. 7.) [1].



Sl. 7. Kemijska formula polipropilena [7]

### SVOJSTVA I ZNAČAJKE PP VLAKANA

U Tab.5. prikazana su svojstva i značajke polipropilenskog vlakna

Tab. 5. Svojstva i značajke polipropilenskog vlakna [1]

Svojstvo	Vrijednosti
Boja	Bezbojna sa slabom mogućnosti bojadisanja
Duljina	Filamentno vlakno – beskonačna duljina
Čvrstoća	< 100 cN/tex
Repriza	0,0%
Gustoća	0,87 - 0,94 g/cm <sup>3</sup>
Otpornost na toplinu	Temperatura staklastog prijelaza – 150 – 155 °C Temperatura taljenja – 165 - 175 °C
Otpornost na mikroorganizme i insekte	Veoma otporna
Otpornost na sunčevo svjetlo	Veoma osjetljiva
Otpornost na kemikalije	Dobra prema kiselinama i lužinama, osjetljiv na organska otapala

## 2.2 TKANINE

Tkanina kao tekstilni plošni proizvod je najkorištenija i najučestalija tekstilna plošna tvorevina. U povijesti, a i danas koristila se za mnoge primjene od odijevanja do olakšavanja obavljanja poslova. Prilikom tkanja potrebno je voditi brigu o njenoj čvrstoći, stabilnosti i popunjenosti tkanine te konstrukcijskim parametrima kao što su: gustoća, vez, debljina, masa i dr. Također, za postizanje odgovarajućih uporabnih svojstava

potrebno je paziti na: fizikalno-mehanička svojstva, poroznost, otpornost na: gorenje, UV i druga zračenja, nabijanje statičkog elektriciteta i dr. (Tab. 6.) [8].

**Tab. 6. Osnovne karakteristike i svojstva tkanina [8]**

Redni broj	Karakteristike i svojstva tkanina
1	Gustoća
2	Vez
3	Masa
4	Debljina
5	Prekidna sila
6	Prekidno istezanje
7	Čvrstoća
8	Rad do prekida
9	Sirovinski sastav
10	Otpornost na habanje
11	Otpornost na smicanje
12	Otpornost na piling
13	Otpornost na gorenje
14	Otpornost na gužvanje
15	Otpornost na UV zračenje
16	Otpornost na starenje
17	Otpornost na ciklička naprezanja
18	Otpornost na sferno probijanje (hidrauličko, pneumatsko, kuglom)
19	Propusnost vodene pare i vode
20	Propusnost zraka
21	Propusnost mikroorganizama
22	Ustezanje (Poissonov efekt)
23	Elektroprovodljivost
24	Dimenzijska promjena kod pranja
25	Dimenzijske promjene djelovanjem vodene pare
26	Dimenzijske promjene djelovanjem suhe topline
27	Ponašanje kod profesionalne njege
28	Kut oporavka
29	Elastičnost
30	Vodoodbojnost
31	Sposobnost upijanja tekućine - kvašenje
32	Poroznost

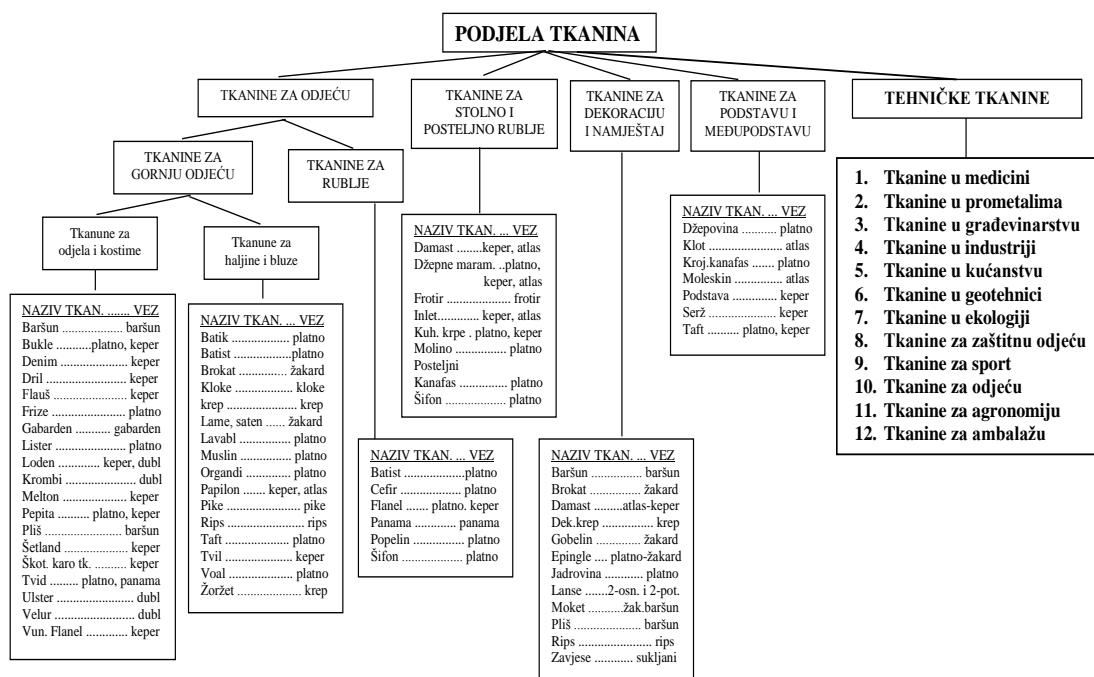
### 2.2.1 PODJELA TKANINA

Tkanine se razlikuju po mnogim karakteristikama uz konstrukcijske parametre kao što su: uporabna vrijednost, otpornost na kemijske i mehaničke kontakte, parametrima koji definiraju njihovu namjenu i dr. Izrada tkanina počinje sa ciljanim karakteristikama koja direktno ovise o njezinoj namjeni, što često uvjetuje specijalne strukture, sirovine i strojeve te su danas vidljive velike razlike kod tkanina specifično izrađenih za određenu namjenu. Stoga, tkanine se mogu podijeliti prema [8]:

- vrsti sirovine (pređe izrađene od prirodnih, sintetskih ili mješavine vlakana)

- vrsti i složenosti vezova (platno, keper, frotir, provezujuće, višepotkine, višeosnovine, pliš, 3D tkanine, šuplje, itd.)
- načinu kemijske dorade (bijeljene, bojadisane, tiskane, statičkog elektriciteta, obrađene antibakterijski, itd.)
- načinu mehaničke dorade (glatke, valjane, čupavljene, šišane, brušene, smuđene, prošivane, itd.)
- načinu naknadne obrade (laminirane, spajanje u kompozit, itd.)
- namjeni (za odjeću, dekoraciju, tapeciranje, transport, ugostiteljstvo, zaštitnu odjeću, vojsku, u medicini, interijer prometala, itd.)
- masi (teške, srednje teške i lake).

Uz opću podjelu, tkanine se često dijele prema namjeni (Sl. 8.).



Sl. 8. Podjela tkanina prema namjeni [8]

## **2.2.2 PARAMETRI TKANINA**

Tkanine su tekstilni plošni proizvod koji se izrađuje tkanjem, odnosno ispreplitanjem sustava niti (osnove i potke) pod pravim kutem gdje su osnovine niti uvijek u pravcu rubova tkanine (uzdužni smjer), dok su potkine niti u poprečnom smjeru. Prilikom proizvodnje tehničkih tekstilija može se koristiti i više sustava niti te se takve tkanine moraju izrađivati na posebnim strojevima. Tkanine imaju nekoliko parametara koji ih određuju, a to su [8]:

- Osnovni ili primarni konstrukcijski parametri tkanina:
  - finoća pređe,
  - gustoća,
  - vez.
- Sekundarni konstrukcijski parametri tkanina:
  - utkanje osovinih i potkinih niti,
  - masa,
  - debljina,
  - specifična gustoća.

Također, postoje i ostali parametri kao što su [8]:

- tehnološki parametri tkanine: definiraju tijek procesa proizvodnje:
  - duljina tkanine (duljina osnove za ciljanu duljinu tkanine uvećana za utkanje, otpad među fazama prerade i udio niže klase kod procjene kvalitete),
  - širina tkanine (praćena od snovanja, odnosno škrobljenja: širina osnove na osnovinom valjku, širina tkanine tijekom klasiranja, širina uvoda osnove u brdo, širina tkanine nakon kemijske dorade, širina tkanine nakon pritkajne linije),
  - gustoća tkanine (na tkalačkom stroju nakon pritkajne linije, tijekom klasiranja, nakon kemijske dorade),
- mehanička svojstva tkanine : prekidna sila, prekidno istezanje, habanje i dr.
- kemijska i druga svojstva tkanine: otpornost na kemikalije, gorenje, električna vodljivost, mogućnost stvaranja statičkog eliktriciteta, propusnost zraka i dr.

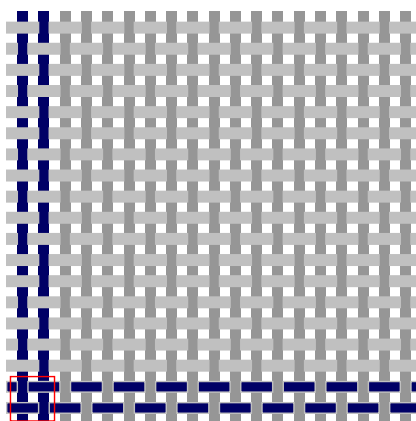
### 2.2.3 VEZOVI TKANINA

Način na koji se isprepliću osnovina i potkina nit naziva se vez. Definira se jedinicom veza, odnosno najmanjim brojem osnovinih i potkinih niti u tkanini koji čine jednu cjelinu niti te se uzastopno ponavlja kontinuirano po svim smjerovima tkanine (duljini, širini i dijagonalno). Vezovi se dijele u 4 skupine [8]:

- temeljni vezovi: platno (dvije osnovine i dvije potkine niti u jedinici veza), keper (tri osnovine i tri potkine niti u jedinici veza) i atlas (pet osnovinih i pet potkinih niti u jedinici veza),
- izvedenice temeljnih vezova,
- kombinirani vezovi,
- specijalni vezovi.

#### 2.2.3.1 PLATNO VEZ

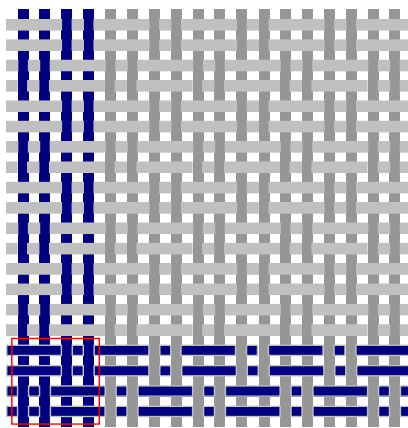
Platno vez je najjednostavniji vez s najvećim mogućim brojem ispreplitanja osnovinih i potkinih sustava niti (Sl. 9.) te se svaka osnovina nit povezuje sa svakom potkinom niti (1x1). Tako proizvedene tkanine u pravilu postižu veću čvrstoću, otpornost na habanje te stabilnost, nego tkanine proizvedene drugim vezovima, no to ne mora uvijek biti slučaj. Razlog tome je što se prilikom tkanja pletiva, kako bi se postigla čistoća zijeve, moraju upotrijebiti veće sile na osnovine niti koje tako mogu prouzročiti oštećenje niti te posljedično tome narušiti karakteristike gotovih proizvoda [8].



Sl. 9. Prikaz platno veza [8]

### 2.2.3.2 PANAMA VEZ

Panama vez je vez koji je sličan platno vezu. Kod panama veza se par osnovinih niti isprepliće s parom potkinih niti (2x2) te se takva jedinica ponavlja u svim smjerovima tkanine (Sl. 10.) [8].



Sl. 10. Prikaz panama veza [8]

## 2.3 NETKANI TEKSTIL

### 2.3.1 OSNOVNE KARAKTERISTIKE NETKANOG TEKSTILA TE NJEGOVA PODJELA

Za netkani tekstil koristi se općeniti naziv tekstil jer taj naziv obuhvaća sve oblike tekstilnih materijala kao što su: linearni, plošni i trodimenzionalni materijali te proizvode od tekstilnih vlakana koji se koriste za ostale namjene u mnogim industrijama [9].

Netkani tekstil proizvodi se od različitih sirovina i primjenom različitih tehnika. Dvije trećine netkanog tekstila proizvodi se direktno od vlakana, a jedna trećina kemijskim ispredanjem iz taline. Zbog posebnog načina proizvodnje i različitosti dobivenih tekstilija, netkani tekstil ima brojne funkcije i područja primjene kao što su [10]:

- Poljoprivreda (*eng. Agrotech*) – zaštitni materijali za staklenike, kapilarno navodnjavanje ili vrećice za korjenje.
- Građevinarstvo (*eng. Builtech*) – omotači za cijevi, izolacijski materijali, fasadni materijali, akustične obloge za zidove i drugo.
- Izrada odjeće i obuće (*eng. Clothtech*) – materijali za ojačavanje naramenica, međupodstavne materijale, unutrašnji dijelovi obuće, vodootporni materijali i drugi.

- Medicina (*eng. Medtech*) – medicinska odjeća za jednokratnu upotrebu, zaštitne maske za lice, medicinska vata, maramice, salvete, tamponi, ulošci i drugi higijenski materijali.
- Ambalaža (*eng. Packtech*) – vrećice, materijali za zaštitu od udara, za zaštitu od vlage, materijali za vezivanje i drugi.
- Domaćinstvo (*eng. Hometech*) – punila za jastuke i prekrivače, kod namještaja za ispuhe za stolice (nasloni, sjedište), sjedeće garniture i dr.
- Sport i rekreacija (*eng. Sporttech*) – šatori, vreće za spavanje, tkanina za balone, kompozitni materijali koji se koriste u čamcima i drugo.
- Materijali za izradu zaštitne odjeće (*eng. Protech*) – zaštitna odjeća za različite namjene, uključujući i zaštitu od vatrenog oružja.
- Geotekstil (*eng. Geotech*) – materijali za kontrolu erozije, filtraciju i odvodnjavanje, materijali za nasipe i brane koji sprječavaju prolaz vode.
- Automobilaska industrija (*eng. Mobiltech*) – podne obloge, materijali za zvučnu izolaciju, punjenja za autosjedala, obloge za prtljažni prostor i upijajući materijali i drugo.
- Industrija općenito (*eng. Indutech*) – prijenosne trake, filteri za različite namjene (zrak, tekućine), razne vrste crijeva i brojne druge.

Netkani tekstil može se dijeliti i prema trajnosti [10]:

- trajne (proizvodi duge trajnosti) tekstilne proizvode i
- kratkotrajne (za jednokratnu ili kratkotrajnu upotrebu).

### **2.3.2 PROCESI PROIZVODNJE NETKANOG TEKSTILA**

Četiri su osnovna principa izrade netkanog tekstila [11]:

- suhi postupak,
- mokri postupak,
- ispredanje polimera,
- hibridne kombinacije.

Proizvodnja netkanih tekstilija suhim postupkom podrazumijeva proces prerade vlakana grebanjem ili aerodinamičkim postupkom obrade runa. Prednost primjene ovog načina obrade je njegova ekonomičnost, odnosno uz niske početne investicije.

Pri proizvodnji netkanog tekstila mokrim postupcima koriste se kratka umjetna vlakna i drvena pulpa koja se na strojevima za preradu kratkih vlakana iz vodene suspenzije oblikuju u runo. Za navedenu proizvodnju netkanog tekstila potrebna je značajna



modifikacija strojnog parka koja predstavlja značajnu investiciju za proizvođača. Navedenim postupkom ne mogu se proizvoditi raznovrsni proizvodi, ali se mogu proizvoditi jednakomjerna runa velikim proizvodnim brzinama [11].

Proces ispredanja polimera koristi se za umjetne polimere gdje se runo oblikuje na trakama za polaganje nakon ispredanja niti uz pomoć ekstrudera. Takvim načinom proizvodnje ne može se proizvesti više različitih proizvoda, ali se dobiva netkani tekstil izrazite čvrstoće, jednoličnosti uz relativno niske troškove proizvodnje [11].

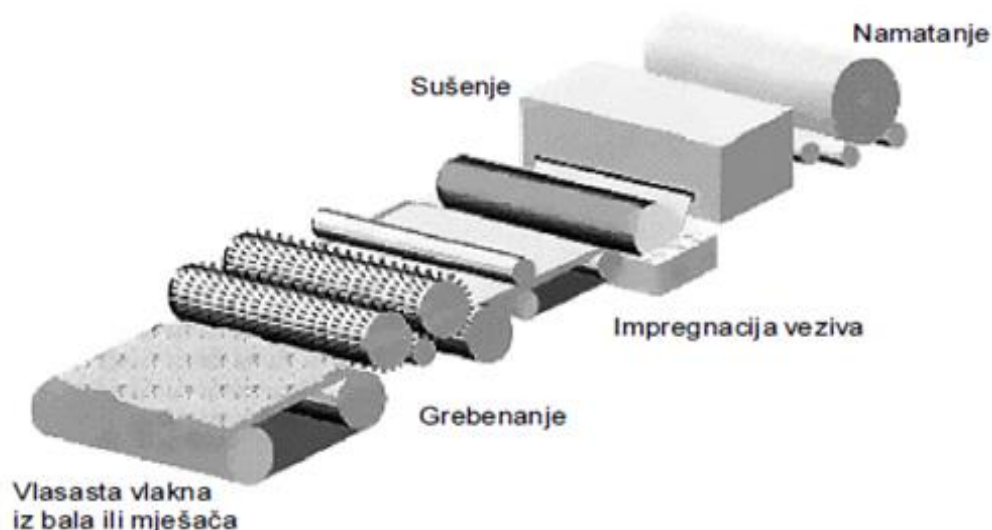
Hibridne kombinacije obuhvaćaju procese izrade runa kombiniranjem prethodno navedenih procesa. Kombiniranjem različitih procesa moguće je međusobno spajanje više vrsti tekstilnih supstrata i materijala. Proces proizvodnje netkanog tekstila odvija se u tri faze: izrada runa, učvršćivanje runa i završna obrada [11].

### **2.3.3 POSTUPCI IZRADE RUNA**

Runo za izradu netkanog tekstila proizvodi se sljedećim postupcima [11]:

- suhim postupkom,
- mokrim postupkom,
- postupkom ispredanja i
- kombinacijom navedenih postupaka.

Suhim postupkom runo se proizvodi postupkom grebenanja, aerodinamičkim postupkom te kombinacijom navedenih postupaka (Sl. 11.). Postupak grebenanja vlakana provodi se uz pomoć jednog ili više bubnjeva te parova valjaka za grebenanje. Između bubnjeva i parova valjaka mehanički se razvlaknuju snopići vlakana do pojedinačnih vlakana. Nastala pojedinačna vlakna se tijekom procesa grebenanja paraleliziraju, izravnavaju i usmjeravaju tvoreći runo. Svojstva i površina bubnjeva i grebenaljki ovisno je o finoći i orijentaciji vlakana, a ona mogu biti orijentirana uzdužno u smjeru transporta koprene ili nasumice izotropno [11].



Sl. 11. *Proizvodnja runa mehaničkim postupkom [11]*

Runo po mehaničkom postupku proizvodi se od vlakana dužine od 1 do 20 centimetara te nakon grebenanja provodi se impregnacija veziva, zatim sušenje i namatanje proizvedenog runa kao što je vidljivo na Sl. 11. Proizvedeni netkani tekstil mora zadovoljavati određena mehanička svojstva, tj. mora imati dovoljnu čvrstoću, biti otporna na trenje i druga svojstva s obzirom na namjenu [11].

Mokri postupak izrade runa sličan je procesu proizvodnje papira. U vodenu disperziju raspoređuju se prirodna ili umjetna vlakna ili njihova mješavina. Nakon toga polaže se u transparentni metalni okvir na kojem se odstranjivanjem vode uz pomoć valjaka oblikuje runo koje se nakon toga podvrgava termičkom i/ili mehaničkom sušenju. Ovakvim postupkom vlakna se mogu orijentirati izotropno ili anizotropno (nasumično ili usmjereno), a mokri postupak se najviše koristi kod prerade umjetnih vlakana i drvene pulpe, a najveća prednost je brzina proizvodnje [10].

Također, jedan od postupaka proizvodnje netkanog tekstila je ekstrudiranjem polimernih niti ili polaganjem. U ekstruderu dolazi do taljenja polimera koji je u krutom obliku čipsa koja se kroz mlaznicu istiskuje, isteže uz pomoć strujanja zraka i hladi. Takva filamentna vlakna polažu se na traku za transport gdje se učvršćuju i sljepljuju te nastaju netkani tekstili manje čvrstoće s nasumično orijentiranim vlaknima [10].

#### 2.3.4 POSTUPCI UČVRŠĆENJA RUNA

Izrađena runa nemaju zadovoljavajuću čvrstoću pa ih je potrebno učvrstiti. Učvršćenje runa može biti kemijskim, termičkim ili mehaničkim postupcima. Kemijski proces učvršćivanja provodi se u 3 faze: nanošenje vezivnog sredstva na runo,

odstranjivanje vlage ili otopine te formiranje čvrste veze između vezivnog sredstva i runa. Prilikom kemijskog učvršćivanja vezivna sredstva se nanose metodama impregnacije, prskanjem, nanošenjem print tehnikom i nanošenjem vezivnog sredstva u obliku pjene [12].

Nanošenjem kemijskog sredstva na površinu runa dolazi do omekšavanja ili djelomičnog otapanja vlakana čime se dobivaju samo vezujuće površine između vlakana. Danas najčešće korištena vezivna sredstva su otopine lateksa iz vinilnih materijala radi efikasnosti, lakoće nanošenja i ekonomske isplativosti [12].

Učvršćivanje runa vrši se pri visokim temperaturama taljenjem vlakana koji se tako međusobno sljepljuju. Najčešće se u takvom procesu koristi mješavina vlakana različitih temperatura taljenja. Djelovanjem topline, lakše taljiva vlakna se tale te nakon hlađenja međusobno povezuju ostala vlakna stvarajući netkani tekstil [12].

Također, danas se u sve većoj mjeri počinje koristiti upravo termičko učvršćivanje, jer brzina sušenja prilikom kemijskog učvršćivanja ovisi o faznom sušenju. Strojevi za termičko učvršćenje u usporedbi sa strojevima za kemijsko učvršćenje (strojevi za sušenje i isparavanje) zauzimaju i manje prostora te termičko vezivanje zahtjeva manju količinu topline u usporedbi s toplinom koja je potrebna pri kemijskom učvršćivanju za isparavanje tekućina iz vezivnih sredstava [13].

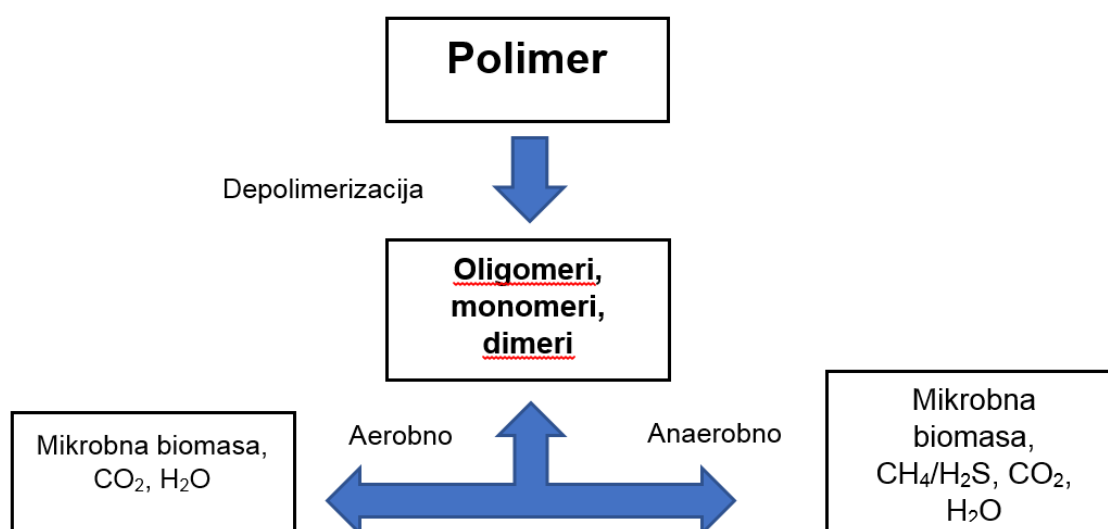
### **2.3.5 ZAVRŠNE OBRADJE NETKANOG TEKSTILA**

Odabirom vlakana, tehnološkog postupka izrade i učvršćenja netkanog tekstila mogu se dobiti različita funkcionalna svojstva, dok se završnom obradom postižu određena specifična funkcionalna svojstva. Završna obrada netkanog tekstila može biti suha i mokra. Suha obrada koristi se za stabiliziranje dimenzija, perforiranje, kalandriranje ili davanje površinskih efekata dok se mokra obrada koristi za pranje, bojanje, tisak, naslojavanje i završno uglađivanje izgleda (npr. čupavljenje ili drugi željeni estetski izgled) te za davanje specifičnih svojstava poput hidrofilitnosti, hidrofobnosti, antistatičke obrade, otpornosti na vatru i gorenje, antimikrobnu obradu itd. [14].

## **2.4 BIORAZGRADNJA**

Biotička razgradnja ili jednostavnije zvana biorazgradnja je kemijska razgradnja polimera izazvana djelovanjem mikroorganizama kao što su bakterije, gljivice i alge. Definicija biorazgradivih polimera uključuje razgradljivi polimer kod kojeg se primarni mehanizam razgradnje odvija metaboličkim djelovanjem mikroorganizama. Biorazgradnja se tako smatra vrstom razgradnje koja uključuje bilo kakvu biološku

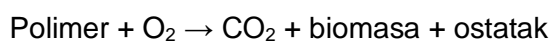
aktivnost te se može očekivati kako će se kemikalije puštene u okoliš razgraditi mehanizmom biorazgradnje. Kao što je spomenuto, postupak se temelji na aktivnosti živih mikroorganizama te nastajanja produkata razgradnje njihovim djelovanjem. Prirodni polimeri kao što su proteini, nukleinske kiseline i polisaharidi se u ekosustavima razgrađuju reakcijama oksidacije i hidrolize te se razgrađuju u biomasu, ugljikov dioksid te plin metan. Kod razgradnje sintetičkih polimera izvor ugljika je ugljikov lanac koji je potreban za mikroorganizme kako bi započeli proces razgradnje. Također, veliku ulogu pri razgradnji imaju temperatura i prisustvo kisika. Pri pogodnim temperaturama mikroorganizmi se brže razmnožavaju, a kisik je potreban većini kako bi mogli djelovati te se biorazgradivost može podijeliti ovisno o prisustvu kisika (Sl. 12.) [15].



Sl. 12. Shema razgradnje polimera pod aerobnim i anaerobnim uvjetima [15]

Tako s obzirom na prisustvo kisika razlikujemo aerobnu (s prisustvom kisika) te anaerobnu (bez prisustva kisika) biorazgradnju.

Aerobna biorazgradnja



Anaerobna biorazgradnja



Ukoliko je kisik prisutan pri razgradnji, stvara se ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), dok bez prisutnosti kisika dolazi do stvaranja metana ( $\text{CH}_4$ ). Proces u kojem se biorazgradivi materijali ili biomasa pretvaraju u plin (ugljikov dioksid, metan i dušikove spojeve), vodu, minerale i ostatke biomase naziva se mineralizacija. Mineralizacija je potpuna kada se sav biorazgradivi materijal i biomasa potroše, a sav ugljik pretvori u ugljikov dioksid [15].

Biorazgradivi materijali, u uobičajenom okolišu u koji se materijal odlaže, imaju dokazanu sposobnost razgradnje, unutar jedne godine, putem prirodnog biološkog

procesa u netoksični ugljik u tlu, vodu ili ugljikov dioksid. Kemijska struktura (odgovorna za stabilnost funkcionalnih skupina, reaktivnost, hidrofilnost i sposobnost bubrenja) je najvažniji čimbenik koji utječe na biorazgradnju polimernih materijala. Drugi važni čimbenici su između ostalog 3 fizička i fizičko-mehanička svojstva, npr. molekulska masa, poroznost, elastičnost i morfologija (kristalna, amorfna) [15].

#### **2.4.1 RAZGRADNJA I SVOJSTVA**

Prilikom razgradnje polimera dolazi do promjene njegovih početnih svojstava kao što su čvrstoća, boja, oblik, masa itd. Takve promjene nazivamo "starenje" (engl. *ageing*) i nepoželjne su prilikom osnovne namjene materijala, iako su promjene nastale tim procesom poželjne kod materijala koji su zamišljeni kao biorazgradivi ili kao materijali koji su namijenjeni za ponovnu upotrebu i recikliranje. Polimerne molekule su vrlo velike (na molekulskoj skali) i njihova jedinstvena i korisna svojstva su uglavnom rezultat njihove veličine. Svako smanjenje duljine lanca rezultira sniženjem vlačne čvrstoće, što je razlog preranom raspadanju polimera [16].

#### **2.4.2 BIORAZGRADIVI POLIMERNI MATERIJALI**

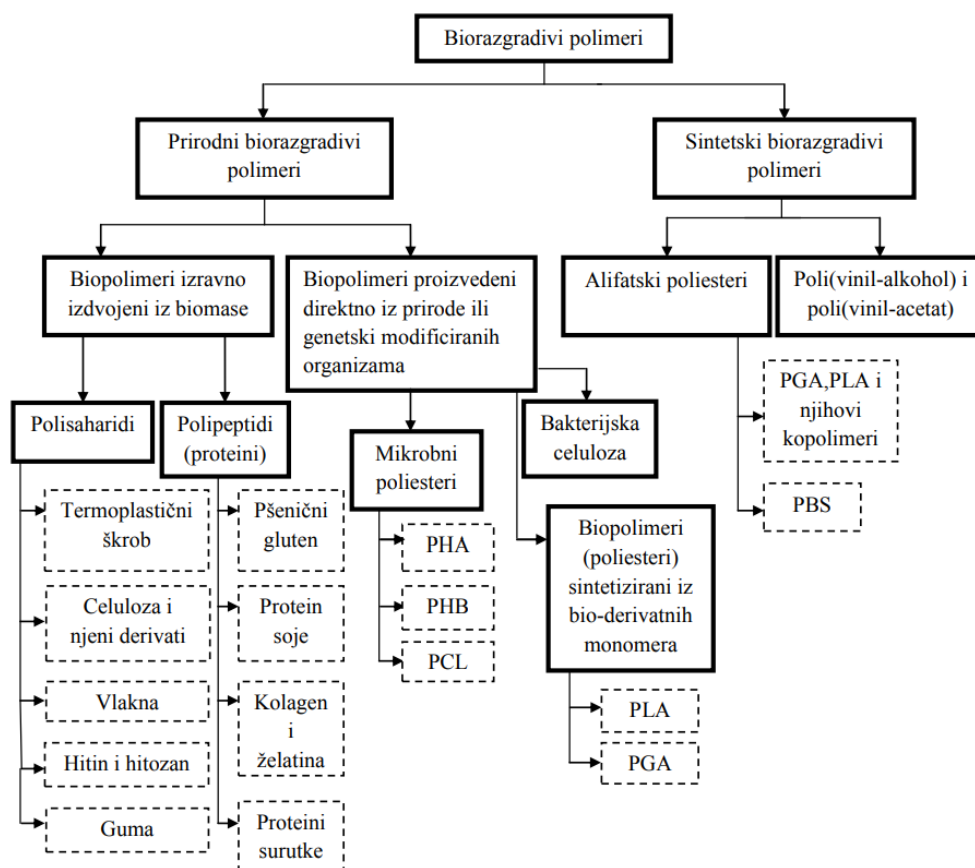
Korištenje prirodnih polimera u druge svrhe, osim za prehranu, vidljivo je tijekom povijesti. Biljna vlakna, ostatci životinja kao što su koža i kosti, svila itd. jedni su od primjera polimera koje su ljudi upotrebljavali u prošlosti. U novijoj povijesti dolazi do zamjene prirodnih polimera s polimerima sintetičke proizvodnje. Isto tako biorazgradivi polimeri postaju zanimljivi istraživačima zadnjih 50 godina te svakodnevno doživljavaju bitne faze razvoja. Na početku, njihova glavna upotreba bila je prilikom odvoza i odlaganja otpada. Zamišljeno je kako bi se posebna područja odlagališta uspjevala rješavati biorazgradivog otpada samostalno putem biorazgradnje. Iz toga proizlazi kako pri dizajniranju razgradivih polimernih materijala prve generacije se nije vodila briga o posljedicama koje takav materijal ostavlja na okoliš, već je jedino bilo bitno kako smanjiti količinu otpada na odlagalištima smeća. Prvi takvi materijali bili su bazirani na spojevima konvencionalne smole poliolefina s dodatkom škroba koji bi se razgrađivali nakon izvjesnog vremena na manje komade radi biorazgradnje škroba ili svojstva fotodegradacije poliolefina. Druga generacija biorazgradivih materijala bila je bazirana na nafti. Takvi materijali zbog svoje biorazgradivosti ubrzo su bili prihvaćeni na tržištu [17].

Ovako napredni biorazgradivi polimeri uglavnom uključuju alifatske poliestere kao što su polikaprolakton (PCL), polibutilen-sukcinat (PBS), polibutilen-sukcinat adipat

(PBSA) i ostale alifatske kopoliestere i alifatsko-aromatske kopoliestere kao što je polibutilen adipatterefalat (PBAT). Narednih godina znanstvenicima su postali zanimljivi biorazgradivi materijali iz prirodnih polimera kao što su celuloza, škrob, sojini proteini i biljno ulje. Celulozna vlakna mogu se iskoristiti kao ojačala u vlaknima ojačanim polimernim kompozitima koja se koriste u agronomiji, građevinskoj industriji te auto industriji. To su vlakna najčešće dobivena od biljaka kao što su pamuk, juta, lan, kokos itd. koja također pronalaze primjenu u svakodnevnici kao što su odjeća i ukrasni materijali u kućanstvima. Poli(laktidna) kiselina ili poli(mliječna) kiselina (PLA) i poli(hidroksialkanoat) (PHA) predstavljaju dva najvažnija biorazgradiva polimera dobivena iz obnovljivih izvora. Njihovo otkriće predstavlja veliki napredak u razvoju biorazgradivih polimera [17].

### **2.4.3 PODJELA I SVOJSTVA BIORAZGRADIVIH POLIMERNIH MATERIJALA**

Podjela biorazgradivih polimera može se provesti u skladu s njihovim kemijskim sastavom, podrijetlom i načinom dobivanja, metodama prerade, primjeni, ekonomskoj važnosti itd. Obzirom na podrijetlo, biorazgradivi polimeri dijele se u dvije skupine: biorazgradivi polimeri koji su dobiveni iz prirodnih izvora i biorazgradivi polimeri dobiveni iz sintetskih polimera (Sl. 13.) [18].



Sl. 13. Podjela biorazgradivih polimera [18]

## 2.4.4 ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA BIORAZGRADNJU

Nekoliko čimbenika utječe na polimernu biorazgradnju od kojih su najvažniji polimerna struktura, morfologija, molekulska masa, zračenje i kemijski tretmani [18].

### 2.4.4.1 STRUKTURA POLIMERA

Molekule koje nalazimo u prirodi kao što su celuloza, škrob i proteini, u okolišu se razgrađuju reakcijom hidrolize te oksidacijom. Stoga ne iznenađuje da se na većini sintetičkih polimernih materijala nalaze hidrolitirajuće veze po dužini polimernih lanaca.

Takve hidrolizirajuće skupine najčešće su esteri, amid enamin, urea i urtetanske veze koje omogućavaju razgradnju hidrolizom i enzimima. Također je primijećeno da hidrofilno/hidrofobni karakter sintetskih polimera značajno utječe na biorazgradivost. Izgleda kako polimeri koji sadrže obje karakteristike imaju bolju biorazgradivost od onih polimera koji sadrže ili hidrofilne ili hidrofobne skupine [18].

Međutim, polimeri derivirani iz C<sub>6</sub> i C<sub>8</sub> alkan diola su znatno razgradljiviji od hidrofilnijih polimera deriviranih iz C<sub>2</sub> i C<sub>4</sub> alkan diola ili hidrofobnijih polimera deriviranih iz C<sub>10</sub> i C<sub>12</sub> alkan diola. Da bi se sintetski polimeri razgradili enzimskom katalizom,

polimerni lanac mora biti dovoljno fleksibilan kako bi se poklopio s aktivnim mjestom enzima. To je najvjerojatnije razlog zašto se fleksibilni alifatski poliesteri brže razgrađuju pomoću bioloških sustava dok se krući aromatski poli(etilen tereftalat) općenito razmatra kao bioinertan [18].

#### **2.4.4.2 MORFOLOGIJA POLIMERA**

Prirodni proteinski i sintetizirani polimeri imaju jednu znatnu razliku, a ona je ta da proteinski polimeri nemaju odgovarajuće ponavljajuće jedinice (merove) uzduž makromolekulskih lanaca. Ta nepravilnost u njihovoj strukturi smanjuje mogućnost pojave kristalizacije, koji stoga pridonosi lakšoj biorazgradnji proteina. Kod sintetskih polimera uobičajeno se ponavljaju kraci ponavljajući merovi koji omogućavaju pojavu kristalizacije te tako blokiraju enzimima pristup hidrolizirajućim skupinama, što je poduprieto činjenicom da su sintetski polimeri s dugim ponavljajućim jedinicama s manjim stupnjem kristalizacije podložniji biorazgradivosti [18].

#### **2.4.4.3 UTJECAJ ZRAČENJA I KEMIJSKIH TRETMANA**

Fotoliza polimera UV svjetlom i zračenjem  $\gamma$ -zrakama (gama) rezultira nastajanjem radikala i/ili iona koji često dovode do cijepanja lanaca i umrežavanja te dolazi do pojave procesa oksidacije što mijenja osjetljivost polimera na biorazgradnju. Na početku procesa, brzina razgradnje je veća zbog fragmentiranog dijela polimera koji se troši, a nakon toga brzina razgradnje se usporava i dolazi do umrežavanja polimera, što potvrđuju i studije utjecaja UV zračenja na hidrolizirajuće polimere [18].

Također, fotooksidacija potiče biorazgradnju polialkana, a za to su zaslužne karbonilne i esterske skupine. Sukladno tome, razvijen je postupak pripreme kopolimera alkena koji sadrže karbonilne skupine kako bi se osjetljivost prema fotolitičkom cijepanju povećala prije razgradnje. No, postupak ima i problem koji pokazuje da u periodu duljem od dvije godine dolazi do neznatne razgradnje uzoraka koji su zakapani u zemlju. Zbog toga ostaje problem daljnjeg odlaganja plastičnog otpada, jer čak i sa stalnom izloženošću svjetlosti ne dolazi do znatnih konačnih rezultata [18].

Drugačije je s  $\gamma$ -zrakama (gama) koje značajno utječu na brzinu razgradnje polimera. Za poliglikolide i poli(glikolid-ko-laktid) pH razgrađene otopine smanjuje se s napredovanjem procesa. Također krivulja razgradnje pokazuje tri faze: ranu, ubranu i kasnu te krivulja ima sigmoidne oblike. Povećanje doze zračenja skraćuje vrijeme rane faze. Sličan utjecaj pomoću enzimske i mikrobne razgradnje trebalo bi proučiti [18].



#### 2.4.4.4 MOLEKULSKA MASA

Nakon brojnih istraživanja povezanosti molekulske mase i biorazgradivosti utvrđene razlike mogu se pripisati promjenama i razlikama u morfologiji i hidrofilno/hidrofobnim karakterima polimera različite molekulske mase. Mikroorganizmi proizvode i egzoenzime (razgrađuju polimere od terminalnih skupina (prema unutra) i endoenzime (razgrađuju polimere nasumično uzduž lanca) te se može očekivati znatan utjecaj molekulske mase na brzinu razgradnje polimera u slučaju egroenzima i neznatan utjecaj molekulske mase prilikom djelovanja endoenzima. Problem kod sintetičkih plastičnih polimera je njihova imunost na mikroorganizme sve dok imaju znatnu molekulsku masu. Brojne vrste takvih polimera kao što su: polipropilene, polietilene i polistiren, ne samo da su poprilično otporni, oni također ne podržavaju mikrobni rast [18].

Međutim, polimeri takve vrste s niskom molekulskom masom mogu se razgraditi djelovanjem mikroba. Fotorazgradnja i kemijska razgradnja mogu dovesti do smanjenja molekulske mase cijepanjem makromolekula na veličine manje otporne na djelovanje mikroorganizama. Tako je dokumentirano kako alkalne molekule s više od 30 ugljikovih atoma moraju biti rascijepane na manje molekule kako bi došlo do biorazgradnje. Kao primjer uzmimo LDPE (eng. *Low Density polietilen*) srednje molekulske mase  $M_w=150\ 000$  sadrži oko 11 000 ugljikovih atoma. Kada se molekulska masa smanji na biološki prihvatljive dimenzije dolazi do značajnijeg razaranja PE matrice. Takvo razaranja može se poboljšati mješavinama PE i biorazgradivih polimera djelovanjem organizama kao što su člankonošci, cvrčci i puževi [18].

#### 2.4.5 NAJZNAČAJNIJA PODRUČJA PRIMJENE BIORAZGRADIVIH POLIMERA

Biorazgradive polimere moguće je obrađivati kao i konvencionalnu plastiku prilagodbom uvjeta obrade. Radi toga postaje sve više prisutna u svakodnevnom životu, a najčešće se primjenjuje u agronomiji i medicini. Neki od proizvoda te njihovi proizvođači i namjena vidljivi su u Tab. 7. [19].

Tab. 7. Neke od primjena biorazgradivih polimera [19]

Proizvod	Proizvođač	Sastav	Primjena
Mater-Bi®	Novamont (Italija)	Škrob i poliester	Torbe za sakupljanje biljnog otpada, poljoprivredni filmovi, jednokratni predmeti, itd.
Polynat®	Roverc`h (Francuska)	Cvijet raža (80%)	Jednokratni predmeti, spremnici za cvijeće

Ecofoam®	American Excelsior Company (SAD)	Škrob	Plastika za zametanje
Biopol®	Goodfellow (Velika Britanija)	PHB/PHV	Brtve i boce
Eco-pal®	Cargill Dow (SAD)	PLA	Sanitarni proizvodi, sportska odjeća, pakiranja
Bio-D®	Cirad (Francuska)	Proteini izvađeni iz sjemenki pamuka	Poljoprivredni filmovi
Ecoflex®	BASF (Njemačka)	CO-poliester	Poljoprivredni filmovi
Eastar Bio®	Eastman (Velika Britanija)	CO-poliester	Poljoprivredni filmovi
BAK 1095®	Bayer (Njemačka)	Poliester amid	Jednokratni predmeti, spremnici za cvijeće

#### 2.4.5.1 POLJOPRIVREDA

Za primjenu u poljoprivredi najvažnije svojstvo biorazgradivih polimera je baš njihova biorazgradivost. Takvi polimeri su većinom temeljeni na škrobu, jer ispunjavaju kriterij biorazgradivosti te imaju dovoljno vremena za djelovanje [19].

Najčešća primjena je prilikom pokrivanja tla oko mladica kako bi ih se zaštitilo od mraza i korova te tako poboljšala stopa rasta. Poljoprivredna površina prekrivena takvim materijalom zadržava vlagu ispod te održava pogodnu temperaturu tla za biljke, a nakon upotrebe može ostati u tlu gdje se nakon nekog vremena biorazgrađuje [19].

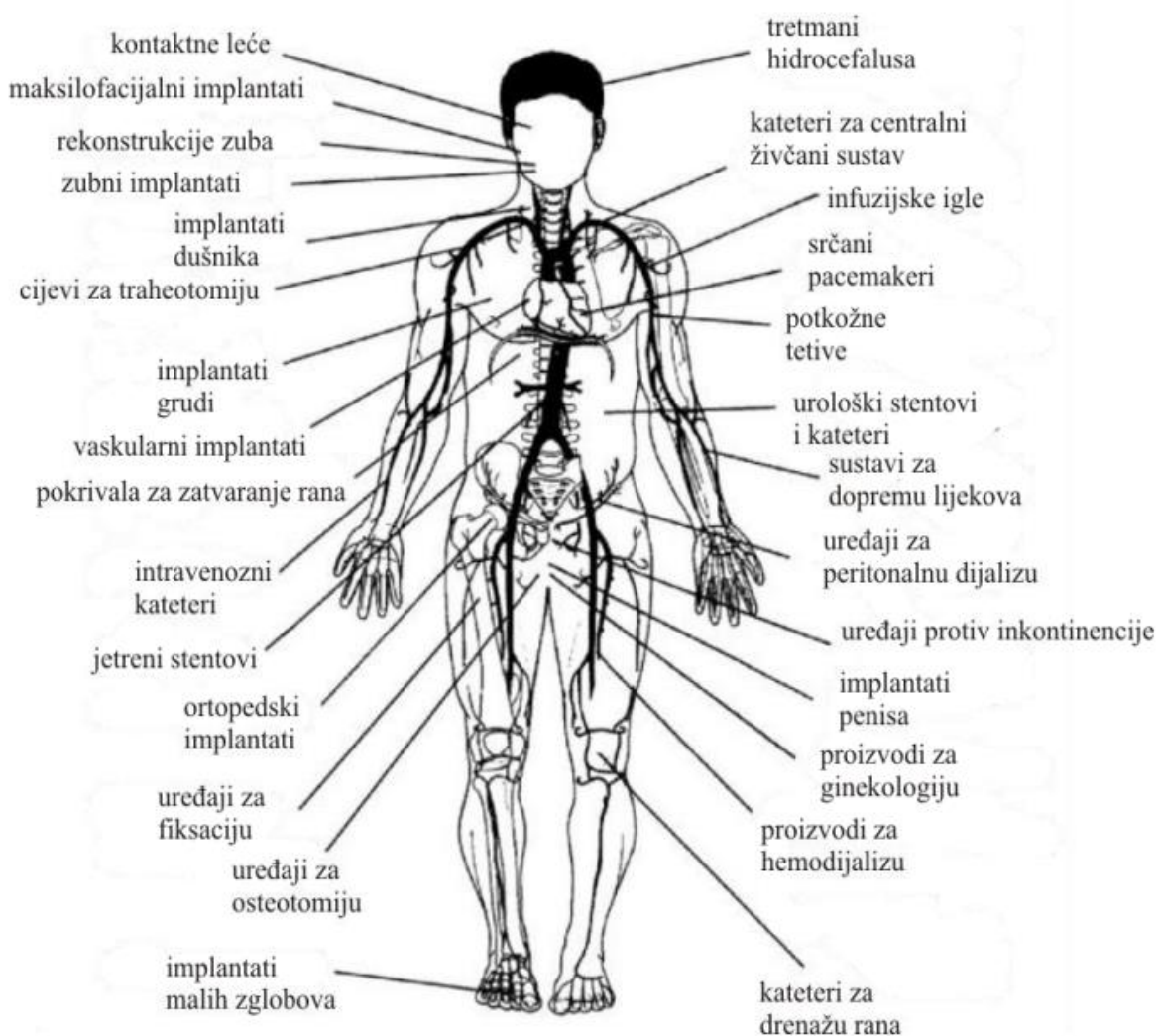
Jedna od najnaprednijih načina korištenja je ta da se prilikom pokrivanja i postepene biorazgradnje tlo obogaćuje kemikalijama, odnosno produktima raspadanja samog polimera (Sl. 14.). Aktivna tvar može biti otopljena, disperzirana ili inkapsulirana polimernom matricom ili oblogama, ili je dio makromolekularnog osnovnog ili pokrajnjeg lanca. Primjer takvih kemikalija najčešće su gnojiva, hranjive tvari, pesticidi itd. [19].



Sl. 14. Poljoprivredna folija [20]

## 2.4.5.2 MEDICINA

Upotrebu biomaterijala u medicini najlakše je objasniti sa Sl. 15. Polimerni materijali korišteni u ovu svrhu moraju imati tri glavne karakteristike: biokompatibilnost, bioupijanje i mehaničku otpornost. Najčešće korišteni biorazgradivi predmeti su koruški implantati u vaskularnoj ili ortopedskoj kirurgiji i obične membrane. Također, mogu se koristiti kao zamjena poroznih tkiva, zbog svoje zadovoljavajuće čvrstoće i prilagodljive brzine razgradnje. No međutim, najčešće se koriste kao implantati koji otpuštaju lijek unutar tijela ili kao upijajući i kirurški konac za zatvaranje šavova [19].

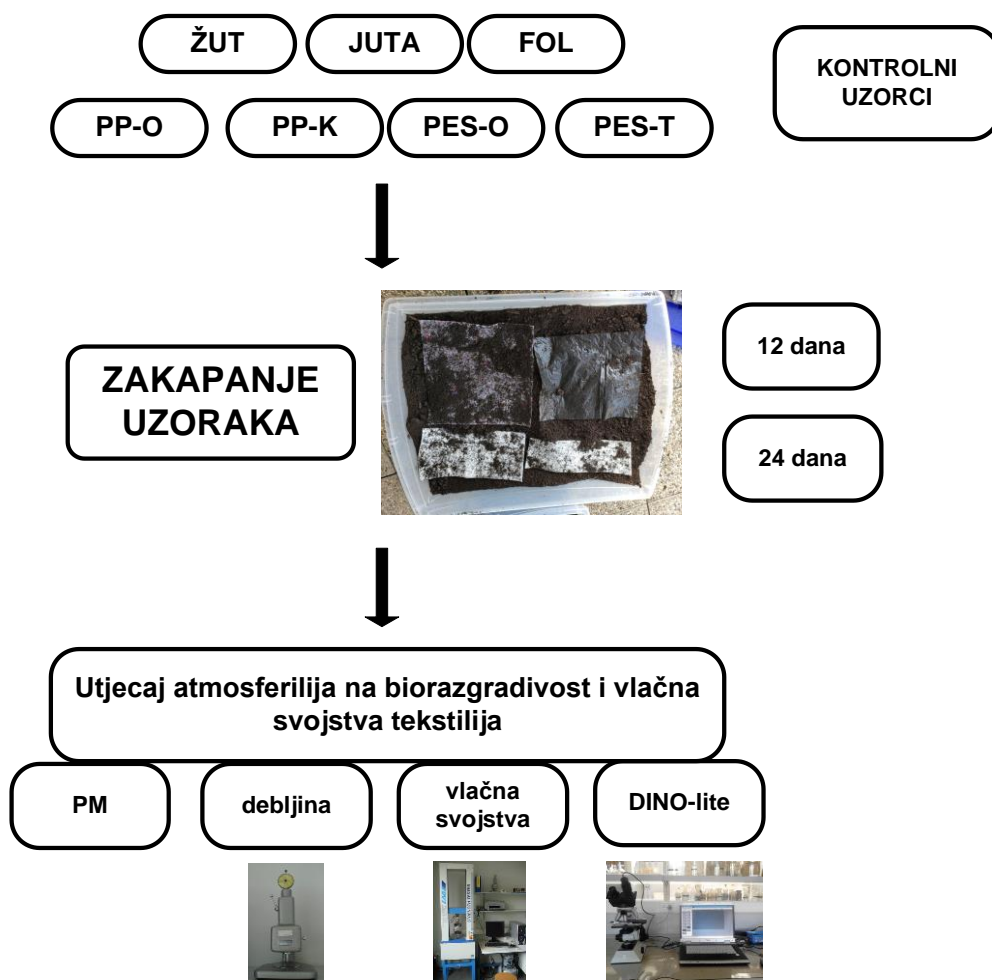


Sl. 15. Primjena biorazgradivih materijala u medicini [21]

### 3 EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1 ZADATAK RADA

Zadatak rada je ispitati utjecaj atmosferilija na biorazgradivost i vlačna svojstva plošnih tekstilija. U tu svrhu odabrane su se netkane tekstilije od poliestera i polipropilena, predstavnici likovih i tvrdih vlakana te folija. Uzorci su bili podvrgnuti biorazgradivosti u stvarnim uvjetima u vremenskom razdoblju od 12 i 24 dana. Utjecaj prirodnih klimatskih uvjeta, odnosno utjecaj atmosferilija na biorazgradivost ocjenjivana je mjerenjem i međusobnim uspoređivanjem promjena vlačnih svojstava, promjena površinske mase i debljine uzoraka vlakana te analizom morfologije tekstilija. Na Sl. 16. prikazana je shema ispitivanja utjecaja atmosferilija na biorazgradivost i vlačna svojstva tekstilija.



Sl. 16. Shema ispitivanja utjecaja atmosferilija na biorazgradivost i vlačna svojstva tekstilija

### 3.2 DEFINIRANJE UZORAKA ZA ISPITIVANJE

Paralelno su provedena ispitivanja na 7 uzoraka u 3 serije od kojih je jedna serija ostavljen kao početni neobrađeni uzorak dok su druge dvije zakapane u periodu od 12 i 24 dana te ostavljene pod utjecajem atmosferilija. Ispitivanja su provedena na uzorcima tkanina izrađenih od pamuka i jute, netkanom tekstilu izračenom od PES i PP te na poljoprivrednoj foliji izrađenoj od PP. Radi lakšeg snalaženja uzorcima su pridružene oznake uz opis svakog uzorka što je prikazano u Tab. 8.

Tab. 8. Oznake uzoraka

Oznaka uzorka	Opis uzorka
ŽUT	Pamučno platno izvezeno s panama vezom
JUTA	Juteno platno izvezeno platno vezom
PP-O	Polipropilenska vlakna, mehanički proizvedeno runo na grebenaljci, mehanički učvršćenje iglanjem
PP-K	Polipropilenska vlakna, mehanički proizvedeno runo na grebenaljci, mehanički učvršćenje iglanjem i kalandriranjem
PES-O	Poliesterska vlakna, mehanički proizvedeno runo na grebenaljci, mehanički učvršćenje iglanjem
PES-T	Poliesterska vlakna, mehanički proizvedeno runo na grebenaljci, termički učvršćeno prolaskom kroz vrući zrak
FOL	Poljoprivredna folija izrađena od PP

### 3.3 IZLAGANJE UZORAKA

Uzorci su izloženi uvjetima koji predstavljaju simulaciju uvjeta u kojima se nalaze agrotekstili korišteni za pokrivanje poljoprivrednih površina, odnosno izlagani su utjecaju mikroorganizama pod utjecajem atmosferilija. Metoda ukapanja u zemlju je veoma značajna prilikom ispitivanja agrotekstila, geotekstila i materijala korištenih u vojne namjene. Glavni kriteriji prilikom takve obrade su usporedba površinske mase obrađenih i početnih materijala te usporedba njihovih vlačnih svojstava, odnosno prekidne čvrstoće uzoraka. Postupak ukapanja tekstilija u zemlju bogatu mikroorganizmima je reproducibilan i u kratkom vremenu može donijeti zaključak o ponašanju tekstilija. Uzorci su ukopani u zemlju na određeno vrijeme pri stvarnim atmosferskim utjecajima u posudu jedan iznad drugog uz ostavljanje razmaka između uzoraka kako bi se izložili jednakom djelovanju mikroorganizama te nakon obrade uspoređivani sa svojstvima početnih uzoraka. Zemlja koja je korištena za zakapanje bila je kupovna mješavina zemlje za cvijeće (humus) koja sadrži različite mikroorganizme. Posuda je zatim smještena na mjesto gdje će biti pod utjecajem atmosferilija te je inkubacija trajala 12 i 24 dana. Nakon tog perioda uzorci su otkopani nakon čega su čišćeni pod mlazom vode te sušeni na zraku. Zbog tehničkih problema, odnosno kvara klima komore uzorke nije bilo moguće

kondicionirati. Stoga su se sva ispitivanja provodila pri  $R_H 40 \pm 2\%$  te temperaturi  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ )

### 3.4 METODE ISPITIVANJA SVOJSTAVA UZORAKA

Nakon provedenog izlaganja mikroorganizmima i atmosferilijama ispitivana su sljedeća svojstva uzoraka (Tab. 9.):

- površinska masa,
- debljina plošnog proizvoda,
- otpornost na vlačne sile i
- vizualna ocjena površine uzoraka.

Tab. 9. Metode ispitivanja svojstava uzoraka

Ispitivana svojstva	Metode ispitivanja/ uređaj	Izračun
<b>Površinska masa</b> [g/cm <sup>2</sup> ]	ISO 9073-1	<b>PM</b> = m/A <b>m</b> = masa uzorka minimalne veličine 50 000 mm <sup>2</sup> (g) <b>A</b> = površina uzorka mm <sup>2</sup>
<b>Debljina</b> [mm]	gravimetrijska metoda HRN F. S2. 021	srednja vrijednost
<b>Prekidna sila</b> [N] <b>istezanje</b> [%]	Dinamometar Tensolab 1000/3000 – Mesdan Lab UNI EN ISO 13934/1 za tkanine UNI EN ISO 29073-3 za netkani tekstil ISO 527 -1: 2012 za foliju	$\bar{x}$ [N] -aritmetička sredina $\sigma$ [N] - standardna devijacija <b>CV</b> [%] - koeficijent varijacije <b>n</b> – broj mjerenja (5)
<b>Morfološka analiza</b>	DINO-LITE – digitalni USB mikroskop	vizualna procjena površine uzorka

#### 3.4.1 POVRŠINSKA MASA (ISO 9073-1)

Površinska masa je masa jednog kvadrata plošnog proizvoda, a jedinica joj je g/m<sup>2</sup>. prilikom kontrole kvalitete potrebno je redovno ispitivati površinsku masu plošnog proizvoda radi kontrole specifične vrijednosti. Također površinska masa služi kao pomoćna veličina pri mjerenju i izračunavanju drugih kvalitetnih karakteristika plošnih proizvoda. Takva se mjerenja prema standardu vrše pri kondicionim uvjetima te na apsolutno suhim uzorcima.

### Postupak rada:

Nožem ili škarama izreže se površina materijala minimalno 50 000 mm<sup>2</sup>. Uzorci se zatim kondicioniraju te nakon kondicioniranja (zbog neispravnosti klima komore pri R<sub>H</sub> 40 ± 2% te temperaturi 26 ± 1 °C) važu na analitičkoj vazi koja ima preciznost od 0,01 g. Zatim se dobivene vrijednosti mase dijele s prethodno izračunatom površinom epruvete prema izrazu:

$$PM = m/A, \text{ g/cm}^2 \quad [1]$$

m - masa epruvete u g

A – površina epruvete u cm<sup>2</sup>

### 3.4.2 DEBLJINA PLOŠNOG PROIZVODA (HRN F. S2.021)

Do podataka o debljini plošnog proizvoda dolazimo pomoću uređaja zvanog debljinomjer (Sl. 17.). Debljina plošnog proizvoda se zatim definira kao razmak između dvije ravne paralelno postavljene površine razmaknute plošnim proizvodom pod određenim pritiskom. Gornja površina s kojom se stvara pritisak naziva se pritiskivač. Mjerni rezultat je direktno ovisan o pritisku koji za vrijeme ispitivanja djeluje na materijal.

### Postupak rada:

Na početku moramo osigurati preciznost debljinomjera od 0,01 mm. To radimo tako da otpustimo vijak na zadnjoj strani debljinometra te podesimo pokazatelj debljine početnu vrijednost odnosno na 0 mm. Zatim se na podlogu stavlja uzorak te se polugom spušta pritiskivač koji materijal tlači određenom silom te na mjernom satu pokazuje debljinu uzorka u mm. Budući da su u radu korištene tkane i netkane tekstilije korišteni su pritiskivači s površinom od 4,91 cm<sup>2</sup> i 24,63 cm<sup>2</sup> s predopterećenjem od 2 N . Mjerenje se zatim provodi dijagonalno po uzorku kako bi se zahvatila što različitija mjesta uzoraka, a u izvješću se rezultat prikazuje kao srednja vrijednost mjerenja.



Sl. 17. Debljinomjer

### 3.4.3 OTPORNOST NA VLAČNE SILE (UNI EN ISO 13934/1 ZA TKANINE, UNI EN ISO 29073-3 ZA NETKANI TEKSTIL TE ISO 527-1 ZA FOLIJU)

Uobičajena je praksa da se prilikom kontrole kvalitete ispituje otpornost tekstilija na djelovanje vlačne sile. Ispitivanje se provodi jednostavnom metodom pomoću dinamometra. To ispitivanje spada u tzv. statičke postupke ispitivanja što znači da se provodi kratkotrajno opterećenje uz konstantnu brzinu istezanja ili konstantnu brzinu opterećenja sve do prekida ispitivane epruvete. Brzina opterećenja ili istezanja također mora biti određena kako bi se spriječilo puzanje materijala prilikom mjerenja, odnosno kako se ne bi prešlo u područje dinamičkih opterećenja. Brzina opterećenja ili istezanja ne smije biti prevelika niti premala. U današnje vrijeme za takva ispitivanja koriste se automatski dinamometri sa prethodno instaliranim softverima koji sadrže nekolicinu normi za ispitivanje vlačnih svojstava materijala. U našem slučaju ispitivanja su vršena na dinamometru Tensolab 1000/3000 – Mesdan Lab (Sl. 18.) koji ima konstantnu brzinu istezanja. Dinamometar je spojen sa računalom koji je ulazna izlazna jedinica te je na ekranu moguće pratiti tijek te rezultate ispitivanja u obliku vrijednosti te grafičkih prikaza.



## Postupak rada:

Ispitivanje je rađeno kako je već spomenuto na dinamometru Tensolab 1000/3000 – Mesdan Lab, a za mjerenje je potrebno pripremiti po pet epruveta dimenzija 300 x 50 mm za tkanje i netkane tekstile te 100 x 25 mm za foliju u oba smjera proizvodnje materijala. Mora se iznimno paziti kako se epruvete ne bi oštetile. Kod pripreme epruveta za tkanine potrebno je imati epruvete malo šire kako bi se isparale bočne niti s obje strane epruvete dok se ne dođe do niti koja je duljine epruvete, nakon čega se daljnjim paranjem dolazi do željene debljine od 50 mm. Taj postupak nije potrebno vršiti na uzorcima netkanog tekstila i folije, već je jednostavno potrebno precizno izrezati na potrebne dimenzije za ispitivanje oštrim predmetom. Epruvete se zatim kondicioniraju (zbog neispravnosti klima komore pri  $R_H 40 \pm 2\%$  te temperaturi  $26 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) na uvjete standardne atmosfere te se podvrgavaju djelovanjima vlačne sile na dinamometru. Razmak između stezaljki je 200 mm, a predopterećenje epruvete ovisno je o površinskoj masi uzorka (do  $200 \text{ mm}^2$  – 2N, od  $200 \text{ mm}^2$  do  $500 \text{ mm}^2$  – 5N,  $500 \text{ mm}^2$  do  $1000 \text{ mm}^2$  – 10N).



Sl. 18. Dinamometar Tensolab 1000/3000 - Mesdan Lab

### **3.4.4 DINO-LITE – DIGITALNI USB MIKROSKOP**

Ocjenjivanje morfologije površine provodi se vizualnim promatranjem, te uspoređivanjem obrađenog uzorka s kontrolnim uzorkom. Prilikom promatranja moguće je koristiti neku vrstu povećala kako bi promjene na površini bile vidljivije. Uređaj koji je korišten za ovaj rad je DINO-LITE – digitalni USB mikroskop koji ima mogućnost snimanja i slikanja te povećanja u rasponu od 1 do 500 puta. Također je opremljen LED lampicama koje svijetle u bijeloj, polariziranoj, ultraljubičastoj, infracrvenoj ili kombinaciji navedenih. Na površini se traže oštećenja ili promjene boja koje bi mogle upućivati na djelovanje mikroorganizama na materijal. Takvi mali mikroskopi često se koriste pri inspekcijama, u medicini, tekstilstvu itd.

#### **Postupak rada:**

DINO-LITE – digitalni USB mikroskop se priključuje na računalo na kojem je prethodno instaliran poseban softver za korištenje mikroskopa (Sl. 19.). Nakon toga uređaj je potrebno kalibrirati uz pomoć mjerne skale na uzorku. Kada se kalibrira može se početi sa slikanjem površina. Mikroskop pomičemo po uzorku, na pritisak gumba slikamo trenutno prikazanu sliku na ekranu računala te ju kao takvu možemo spremiti. Slika se također može izoštravati te povećavati ovisno o potrebama te kako bi nam uspoređivanje učinilo što lakšim.

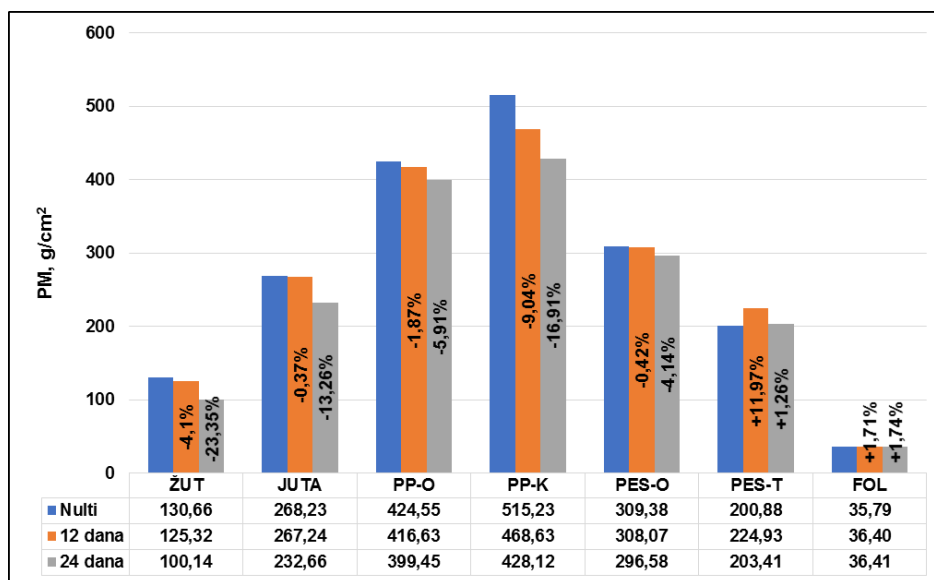


**Sl. 19. DINO-LITE - mikroskop**

## 4 REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1 REZULTATI ODREĐIVANJA POVRŠINSKE MASE

Vrijednosti aritmetičkih sredina mjerenja površinske mase početnog uzorka te uzoraka nakon 12 i 24 dana obrade prikazani su na Sl. 20. Na x osi prikazani su nazivi uzoraka, dok su na y osi prikazane vrijednosti površinske mase izraženi u g/cm<sup>2</sup>. Također, prikazane su postotne promjene površinske mase uzoraka izlaganih 12 dana i 24 dana u odnosu na početni uzorak.



Sl. 20. Rezultati određivanja površinske mase

Najmanju površinsku masu među početnim uzorcima, uzorcima obrađenih 12 i 24 dana po g/m<sup>2</sup> ima uzorak FOL (35,78; 36,40; 36,41), dok najveću masu po g/m<sup>2</sup> ima uzorak PP-K (515,23; 468,63; 428,11).

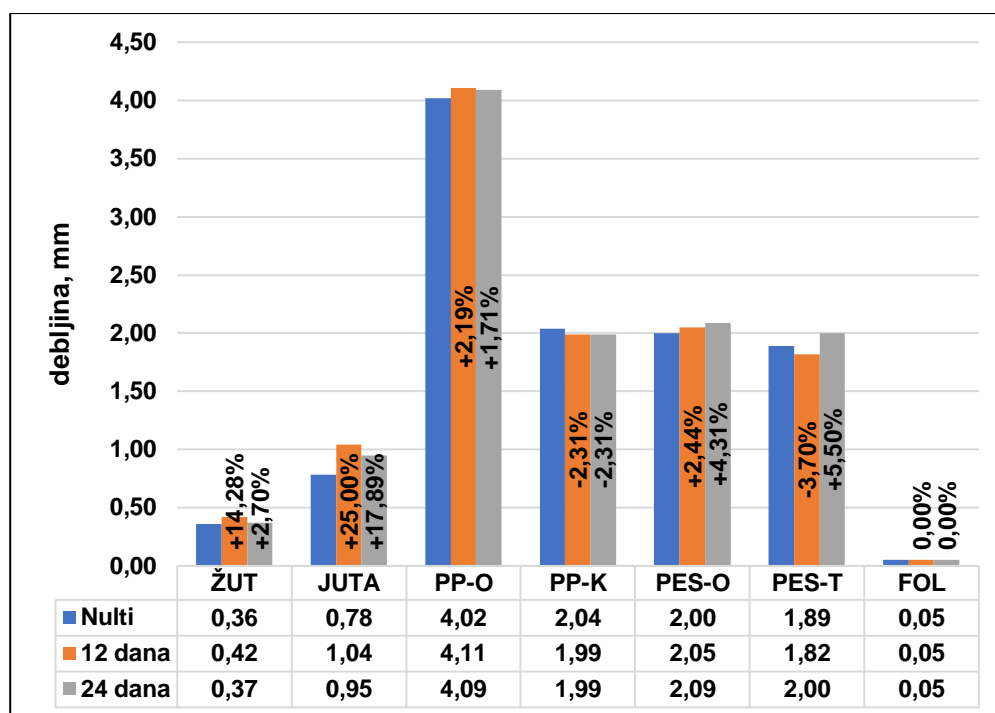
Uzorak koji je nakon 12 dana zabilježio najveći pad površinske mase u odnosu na početne uzorke je uzorak PP-K s promjenom od 9,04 %, dok je uzorak PES-T zabilježio povećanje površinske mase za 11,97 %. Budući da su oba uzorka proizvedena od sintetskih materijala za pretpostaviti je da nije trebalo doći do velike promjene površinske mase pod utjecajem mikroorganizama u zemlji. Iako su svi sintetički netkani tekstili zabilježili pad površinske mase, osim uzorka PES-T, uzorak PES-T, zbog načina na koji je učvršćen, sadrži velike prazne prostore unutar tkanine te je za pretpostaviti kako je porast mase uzrokovan primjesama iz zemlje koji su ostali unutar tekstila. Također, valja spomenuti kako su uzorci ŽUT i JUTA izrađeni od prirodnih celuloznih vlakana zabilježili očekivani pad površinske mase, zbog utjecaja mikroorganizama.

Nadalje, uzorak koji je nakon 24 dana zabilježio najveći pad površinske mase u odnosu na početni uzorak je ŽUT s promjenom od 23,36 %, dok je uzorak koji je zabilježio najveći porast površinske mase uzorak FOL s postotnom promjenom od 1,74 %.

Svi uzorci su nastavili trend pada ili rasta površinske mase. Naravno pad površinske mase bio je očekivan za uzorke od prirodnih celuloznih vlakana (ŽUT i JUTA), jer su ti materijali, zbog velikog upijanja vlage, podložni utjecaju mikroorganizama, dok se od ostalih uzoraka nije očekivala velika promjena. Međutim, svi sintetski materijali, osim PES-T i FOL zabilježili su pad površinske mase nakon 12 te nakon 24 dana obrade. Pad površinske mase za sintetičke uzorke rastao je u ovisnosti vremena obrade te valja zaključiti kako je uzrok tome oštećenje uzrokovano mikroorganizmima ili sama nejednoličnost netkanih tekstilija.

## **4.2 REZULTATI ODREĐIVANJA DEBLJINE**

Prilikom mjerenja debljine uzoraka provedeno je 10 mjerenja za svaki uzorak. Debljina uzoraka mjerena je na nultim uzorcima te uzorcima obrađenim 12 i 24 dana kako bi se uočila promjena u debljini koja također može biti pokazatelj razgradnje uz promjenu površinske mase. Budući da su uzorci tkanina, netkanog tekstila te folija mjereni pod predopterećenjem od 2N te s pritiskom dviju različitih površina pošto se manja površina od 4,91 cm<sup>2</sup> prema standardu koristi za tkanine, a veća površina od 24,63 cm<sup>2</sup> za netkane tekstile. Dobiveni rezultati su prikazani na Sl. 21. za manju površinu pritiska, dok su rezultati za veću površinu pritiska prikazani na Sl. 22. Na obje slike os x prikazuje nazive uzoraka, dok os y prikazuje debljinu uzoraka mjerenu u mm. Također, slike prikazuju srednje vrijednosti dobivenih mjerenja svih uzoraka te postotne promjene u odnosu na nulti uzorak prikazane stupcima u dijagramu (plavi stupac za nulte uzorke, narančasti za uzorke nakon 12 dana obrade te sivi za uzorke nakon 24 dana obrade).



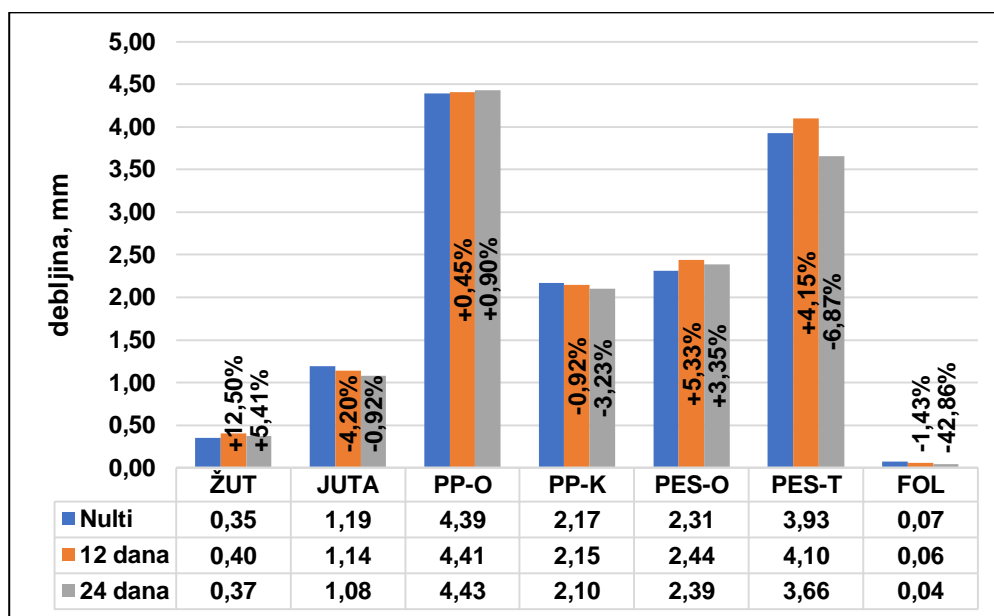
Sl. 21. Rezultati određivanja debljine s površinom pritiska od 4,91 cm<sup>2</sup>

Najveći rast debljine uzoraka mjerenih površinom pritiska od 4,91 cm<sup>2</sup> nakon 12 dana obrade mogu se primijetiti kod uzoraka ŽUT i JUTA koji su ujedno i predstavnici uzoraka izrađenih od likovih i tvrdih vlakana. S obzirom da navedena vlakna upijaju veliku količinu vlage (u prosjeku oko 10%) zabilježeno je povećanje debljine i to 14,28 % za uzorak ŽUT te 25,00 % za uzorak JUTA. Najveće smanjenje debljine nakon 12 dana obrade uočeno je kod uzoraka PES-T od 3,70 %, koji je ujedno i jedini uzorak koji je zabilježio pad debljine nakon 12 dana obrade.

Najveće povećanje debljine uzoraka nakon 24 dana uočeno je kod uzoraka JUTA od 17,89 % u odnosu na početni uzorak, dok je uzorak PP-K zabilježio najveći pad u odnosu na nulti uzorak te je on iznosio isto kao i nakon obrade od 12 dana odnosno 2,31 %.

Promjene koje su se dogodile kod uzoraka izrađenih od prirodnih vlakana bili su očekivani zbog svojstva takvih vlakana da upijaju vlagu, odnosno zbog reprize. Kod uzoraka ŽUT i JUTA za pretpostaviti je da je došlo do bubrenja vlakana te da su iz tog razloga pokazala zamjetnu promjenu debljine. Također, znatno manji rast debljine uzoraka ŽUT nakon 24 dana obrade može se pripisati već značajnom djelovanju mikroorganizama koji su oštetili uzorak te usprkos bubrenju vlakana prikazuje manji rast u odnosu na 12 dana nakon obrade. Uzorak JUTA također prati taj trend, no kod njega nije došlo do toliko značajne promjene u debljini između uzoraka obrađenih 12 i 24 dana.

Svi uzorci izrađeni od sintetičkih polimera zabilježili su neznatne ili nikakve promjene debljine nakon oba perioda obrade, osim što je uočena najveća promjena od 5,50 % za uzorak PES-T nakon 24 dana obrade. Budući da se radi o materijalima s vrlo malim svojstvom upijanja vlage te materijala koji su vrlo otporni na djelovanje mikroorganizama za zaključiti je da su te promjene uzrokovane specifičnim načinom proizvodnje takvih materijala, odnosno samom nejednoličnošću proizvedenih materijala.



Sl. 22. Rezultati određivanja debljine s površinom pritiska od 24,63 cm<sup>2</sup>

Najveći rast debljine uzoraka mjerenih površinom pritiska od 24,63 cm<sup>2</sup> nakon 12 dana obrade ovoga puta mogu se primijetiti kod uzoraka ŽUT koji iznosi 12,50 %, dok je najveći pad od 4,20 % zabilježio uzorak JUTA.

Nakon 24 dana obrade najveći rast debljine od 5,41 % bilježi također uzorak ŽUT, dok najveći pad bilježi uzorak FOL od 42,86 %.

Prilikom mjerenja debljine i njene promjene većom površinom pritiska kod uzoraka ŽUT i JUTA izrađenih od prirodnih celuloznih vlakana ne primjećuju se sličnosti. Uzorak ŽUT bilježi rast debljine, uzorak JUTA bilježi pad. Unatoč svojstvu reprize zbog veće površine pritiska te drugačije konstrukcije materijala te broja niti po jedini površine dolazi do većeg stlačivanja uzorka JUTA koji zatim bilježi pad debljine. Uzorak ŽUT zbog svoje gušće konstrukcije bilježi rast kao i u prethodnom mjerenju zahvaljujući svojstvu upijanja vlage.

Gotovo svi uzorci izrađeni od sintetičkih polimera ne pokazuju značajne promjene u debljini. Promjene su neznatne, te izuzevši uzorak FOL najveća promjena iznosi 6,87 %. To se također, zbog ranije navedenih razloga, pripisuje nejednoličnosti proizvodnje netkanih tekstilija.

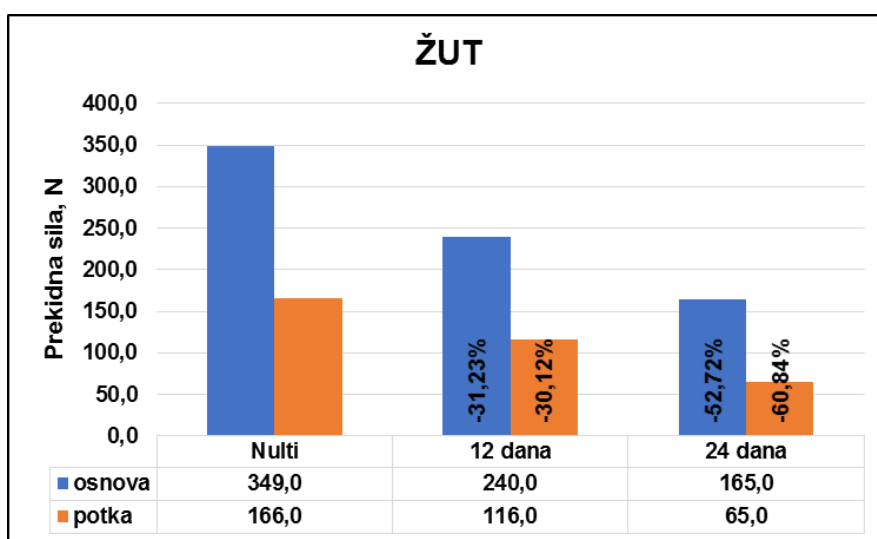
Bitno je naglasiti kako uzorak FOL bilježi značajne promjene debljine od gotovo 50 % nakon obrade od 24 dana. Uzrok tome je što je prosječna debljina uzorka veoma niska te uz odstupanje mjernog uređaja od 0,01 dolazi do visokih postotnih promjena.

### 4.3 REZULTATI ODREĐIVANJA VLAČNE ČVRSTOĆE

Vlačna svojstva te postotne promjene dobivenih vrijednosti tkanih i netkanih uzoraka te folije u odnosu na nulti uzorak prikazane su na Sl. 23.-29. Na slikama koje prikazuju vlačnu čvrstoću os x predstavlja nazive uzoraka, dok os y predstavlja prekidnu silu izraženu u N. Brojevi ispod naziva uzoraka prikazuju prosječne vrijednosti dobivene mjerenjem vlačne čvrstoće, a postotci unutar stupaca prikazuju postotne promjene uzoraka obrađenih 12 i 24 dana u odnosu na nulti uzorak. Plavi stupac dijagrama prikazuje vrijednosti u smjeru osnove za tkane uzorke te smjeru proizvodnje za netkane uzorke, dok narančasti stupac prikazuje vrijednosti u smjeru potke za tkane uzorke te u smjeru suprotnom od smjera proizvodnje za netkane uzorke. Potrebno je napomenuti kako je za sve uzorke obavljeno ispitivanje u oba smjera proizvodnje (smjer osnove i potke za tkanine te smjer proizvodnje - MD i suprotni smjer proizvodnje - CMD za netkane tekstilije), osim za uzorak FOL kod kojeg postoji samo jedan smjer.

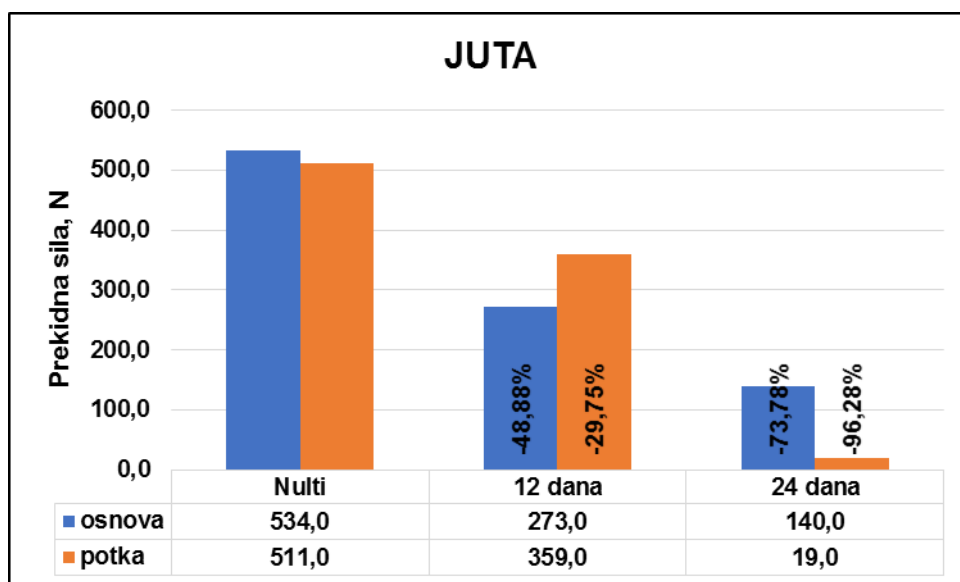
Iz Sl. 23.-29. vidljivo je kako najotporniji uzorci na vlačna svojstva jesu uzorci obilježeni s PP-O i PP-K u oba smjera proizvodnje, dok je uzorak PES-T u oba smjera ima najnižu otpornost u sve tri skupine ispitivanih uzoraka.

Jedan od bitnih čimbenika provjeravanja biorazgradivosti materijala je njegova promjena vlačnih svojstava. Sl. 23.-29. prikazuju postotne promjene vlačnih svojstava u odnosu na nulte uzorke te uzoraka obrađenih 12 i 24 dana.



Sl. 23. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka ŽUT

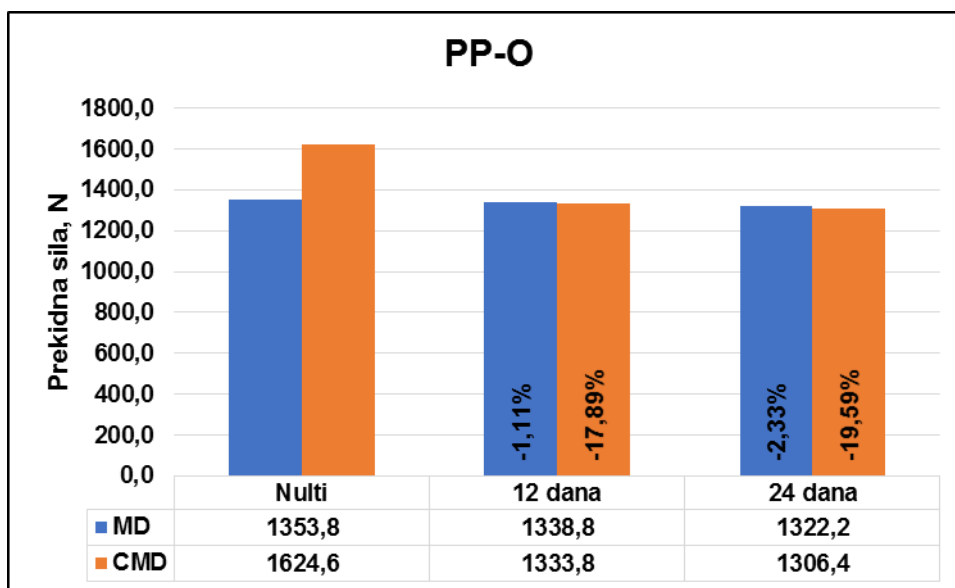
Vidljivo je kako je na samom početku osnova mnogo čvršća nego potka kod ovog uzorka što je slučaj u većini tkanina. Također, vidljiv je sličan pad čvrstoće praćen kroz vrijeme od 12 i 24 dana obrade. Nakon 12 dana uzorcima su se vlačna svojstva smanjila za otprilike 30 % (-31,23 % i -30,12 %), dok se smanjenje vlačne čvrstoće dodatno smanjilo nakon 24 dana obrade gdje se bilježi pad od preko 50% početne čvrstoće (52,72 % i -60,84 %).



Sl. 24. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka JUTA

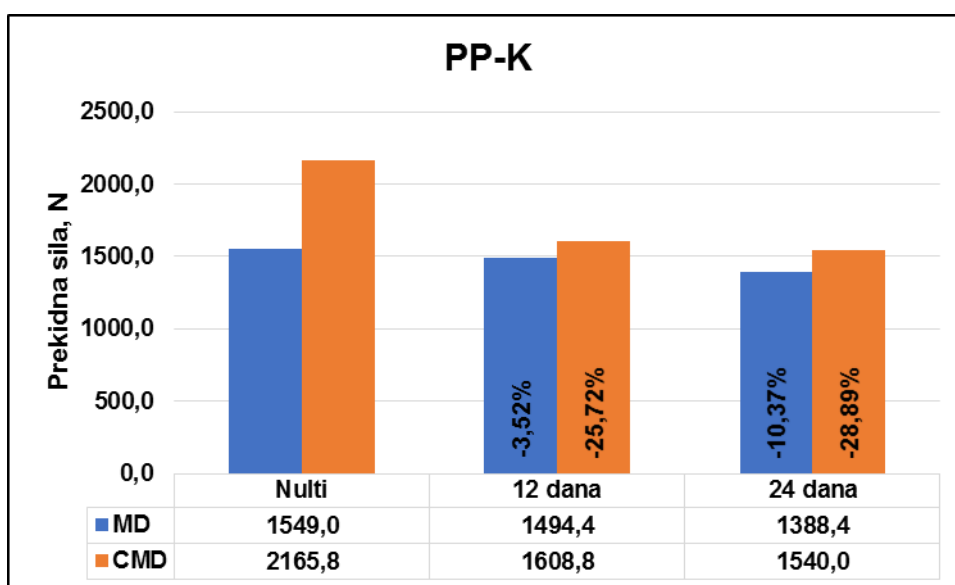
Sličan rezultat može se vidjeti kod uzorka JUTA. Kod uzorka jutene tkanine uočen je veliki pad vlačne čvrstoće, pogotovo nakon 24 dana. Početna mjerenja su relativno visoka te iznose preko 500 N sile u oba smjera proizvodnje, što se mijenja nakon 12 dana. Rezultati nakon 12 dana u smjeru osnove prikazuju pad od 48,88 %, dok u smjeru potke bilježi manji pad od samo 27,94 %. Međutim, nakon 24 dana oba uzorka bilježe pad čvrstoće veći od 70 %. Za uzorak u smjeru osnove pad čvrstoće iznosi 73,78 %, dok je pad čvrstoće za uzorak u smjeru potke visokih 96,19 %.





Sl. 25. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PP-O

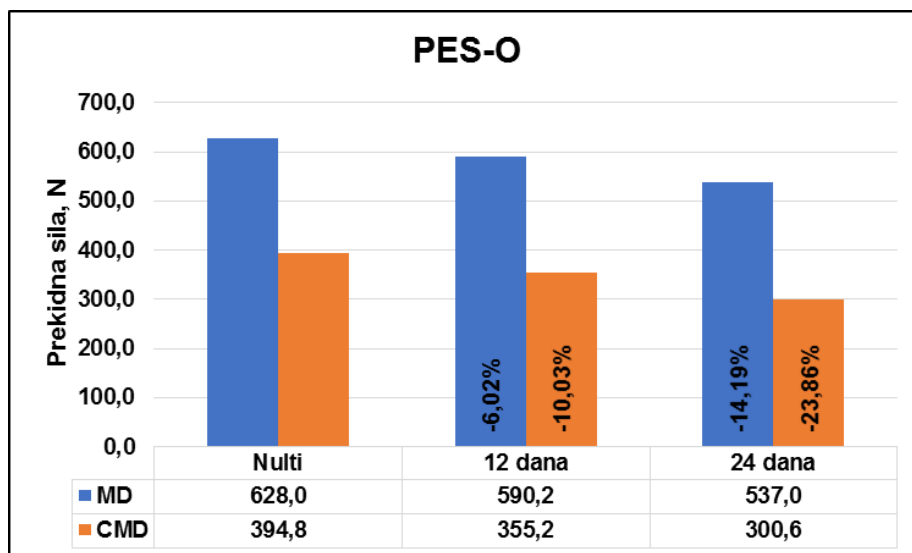
Kod uzorka PP-O u smjeru MD i CMD vidljiv je drugačiji trend u odnosu na uzorke od prirodnih celuloznih vlakana. Kod uzorka PP-O u smjeru MD primjećuje se neznatan pad čvrstoće od 1,11 % nakon 12 dana te 2,33 % nakon 24 dana obrade. Uzorak PP-O u smjeru CMD pokazuje značajniji pad vlačnih svojstava nakon 12 dana od 17,89 % te nakon 24 dana gotovo jednaka pad kao i nakon 12 dana obrade, odnosno pad od 19,59 %.



Sl. 26. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PP-K

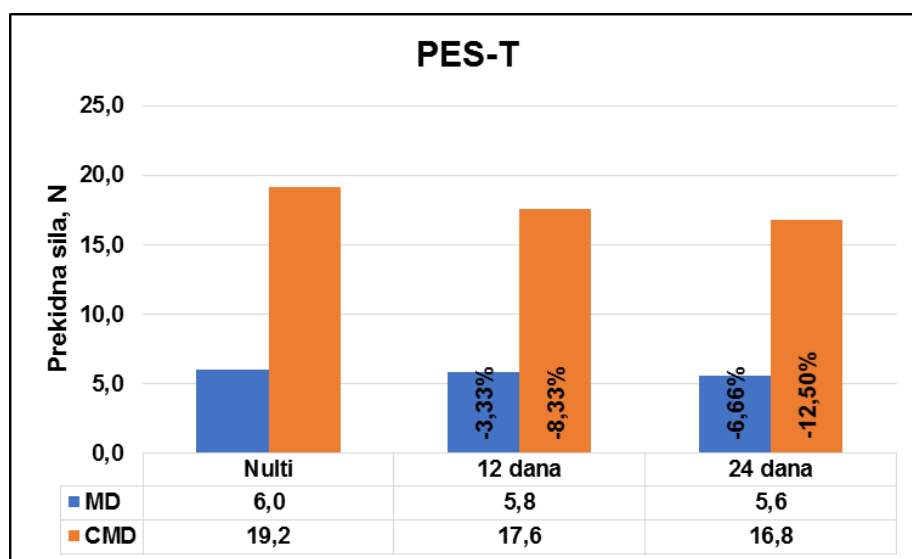
Uzorak PP-K je pokazao odličnu otpornost na vlačnu čvrstoću, pogotovo uzorak PP-K u smjeru CMD s prosječnom početnom čvrstoćom od 2165,8 N. Međutim, druga dva prosječna mjerenja kod oba uzorka PP-K u smjeru MD i CMD pokazuju podjednaka

svojstva. Prosječna vlačna sila koju uzorak PP-K u smjeru MD nakon 12 dana može podnijeti iznosi 1494,4N, što je pad od 3,52 %, a nakon 24 dana je 1388,4 N što je pad od 10,37 %. Kod uzorka PP-K u smjeru CMD pad vlačnih svojstava je značajniji, odnosno 25,72 % nakon 12 dana i 28,89 % nakon 24 dana.



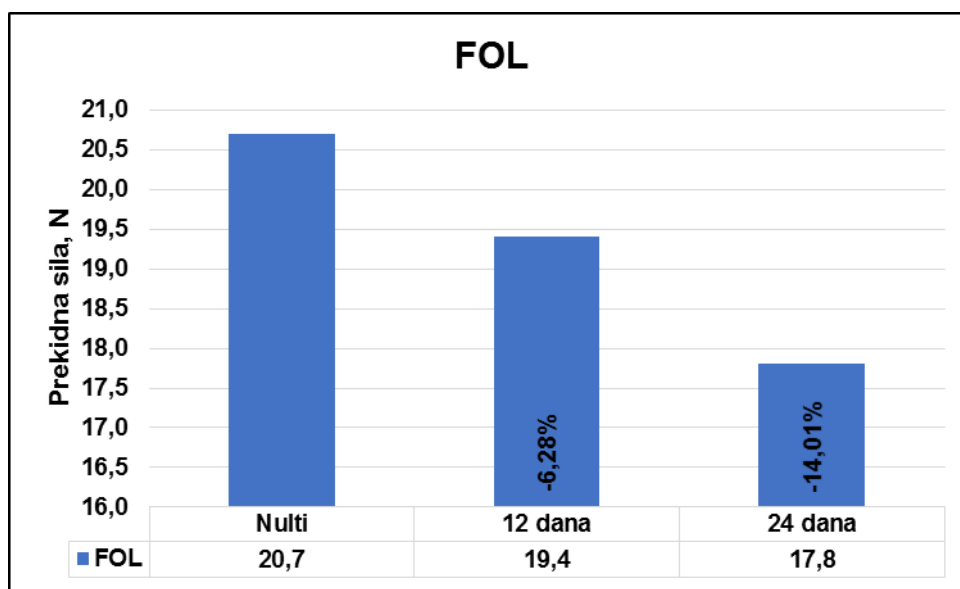
Sl. 27. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PES-O

Uzorci PES-O pokazuju nešto drugačije rezultate. PES-O u smjeru MD bilježi pad vlačnih svojstava nakon 12 i 24 dana u odnosu na početni uzorak. Nakon 12 dana pad je od 6,02 % te nakon 24 dana iznosi 14,19 %. Uzorak PES-O u smjeru CMD u odnosu na uzorak PES-O u smjeru MD ima gotovo duplo manju vlačnu čvrstoću. Pad nakon 12 dana obrade iznosi 10,03 % te bilježi povećanje pada vlačnih svojstava nakon 24 dana, odnosno 23,68 %.



Sl. 28. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PES-T

Uzorak PES-T se pokazao kao najslabiji uzorak u oba smjera proizvodnje. PES-T u smjeru MD pokazuje pad vlačne čvrstoće od 3,33 % nakon obrade od 12 dana te nastavlja s padom od 6,66 % nakon 24 dana. Uzorak PES-T u smjeru CMD pokazao oko 3 puta veću otpornost na vlačne sile. Nakon vremena otpornost na vlačnu silu počinje slabjeti te nakon 12 dana vidljiva je postotna promjena od 8,33 % te nakon 24 dana od 12,50 %.



Sl. 29. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka FOL

Uzorak FOL je podvrgnut ispitivanju vlačnih sposobnosti samo u jednom smjeru, budući da ne postoji drugi smjer proizvodnje. Iako nije pokazao zavidnu otpornost na vlačnu silu koja kod nultog uzorka iznosi nešto više od 20 N, također bilježi pad čvrstoće u odnosu na vrijeme provedeno pod obradom. Vlačna svojstva su se smanjila za 6,28 % nakon 12 dana obrane te za 14,01 % nakon 24 dana obrane

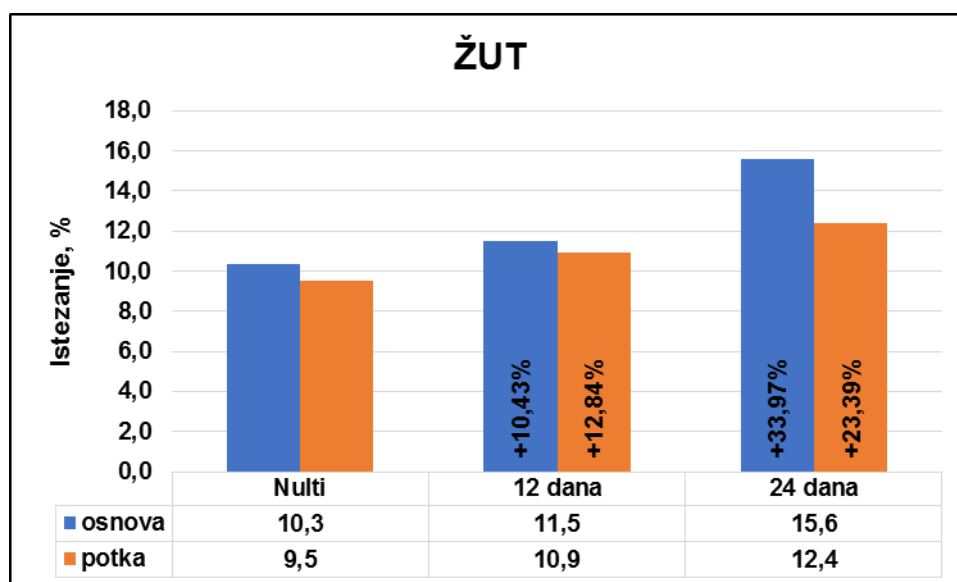
#### 4.4 REZULTATI ODREĐIVANJA ISTEZANJA

Postotno produljenje, odnosno istezanje te postotne promjene dobivenih vrijednosti tkanih i netkanih uzoraka te folije u odnosu na nulti uzorak prikazane su na Sl. 30.-36. Na slikama koje prikazuju istezanje os x predstavlja nazive uzoraka, dok os y predstavlja prekidno istezanje izraženo u %. Brojevi ispod naziva uzoraka prikazuju prosječne vrijednosti dobivene mjerenjem istezanja, a postotci unutar stupaca prikazuju postotne promjene uzoraka obrađenih 12 i 24 dana u odnosu na nulti uzorak. Plavi stupac dijagrama prikazuje vrijednosti u smjeru osnove za tkane uzorke te smjeru proizvodnje za netkane uzorke, dok narančasti stupac prikazuje vrijednosti u smjeru

potke za tkane uzorke te u smjeru suprotnom od smjera proizvodnje za netkane uzorke. Potrebno je napomenuti kako je za sve uzorke obavljeno ispitivanje u oba smjera proizvodnje (smjer osnove i potke za tkanine te smjer proizvodnje - MD i suprotni smjer proizvodnje -CMD za netkane tekstilije), osim za uzorak FOL kod kojeg postoji samo jedan smjer.

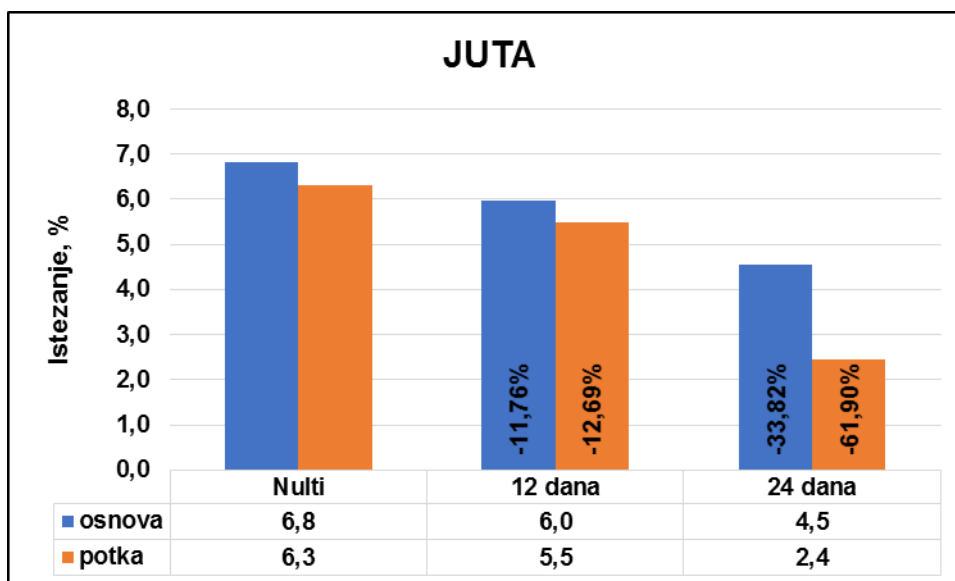
Iz Sl. 30.-36. vidljivo je kako uzorak FOL ima najveće istežanje prilikom mjerenja vlačne sile u sve tri skupine ispitivanja uzoraka, koje iznosi od 325,4 do 383 %. U suprotnom, uzorak JUTA u oba smjera proizvodnje pokazuje suprotne rezultate, istežanja gotovo nije niti bilo, odnosno iznosilo je svega od 2,4 do 6,8 %.

Valjalo bi napomenuti kako nije moguće donijeti sveopći zaključak zbog odstupanja pojedinih mjerenja koja su moguće uzrokovani raznim parametrima proizvodnje uzoraka te same njegove nejednoličnosti i svojstvima početnih materijala.



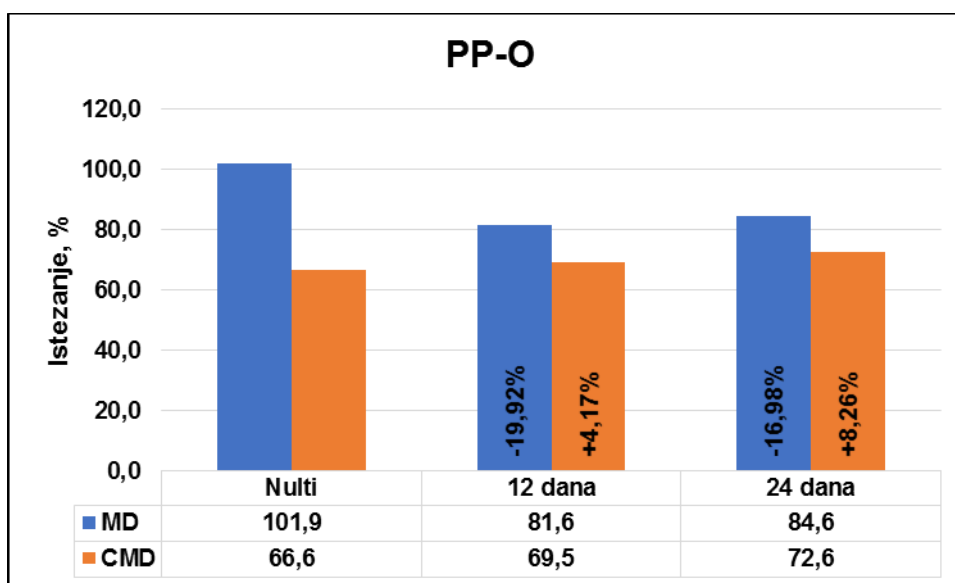
Sl. 30. Rezultati određivanja istežanja uzorka ŽUT

Uzorak ŽUT, jedan od predstavnika uzoraka izrađenih od celuloze, bilježi povećanje istežanja prilikom ispitivanja vlačne čvrstoće. Uzorci u oba smjera nakon 12 dana obrade bilježe porast istežanja za 10,43 % u smjeru osnove te 12,84 u smjeru potke. Također, zamjetan rast produljenja vidljiv je i nakon 24 dana obrade gdje on iznosi u smjeru osnove 33,97 % te u smjeru potke 23,39%.



Sl. 31. Rezultati određivanja istežanja uzorka JUTA

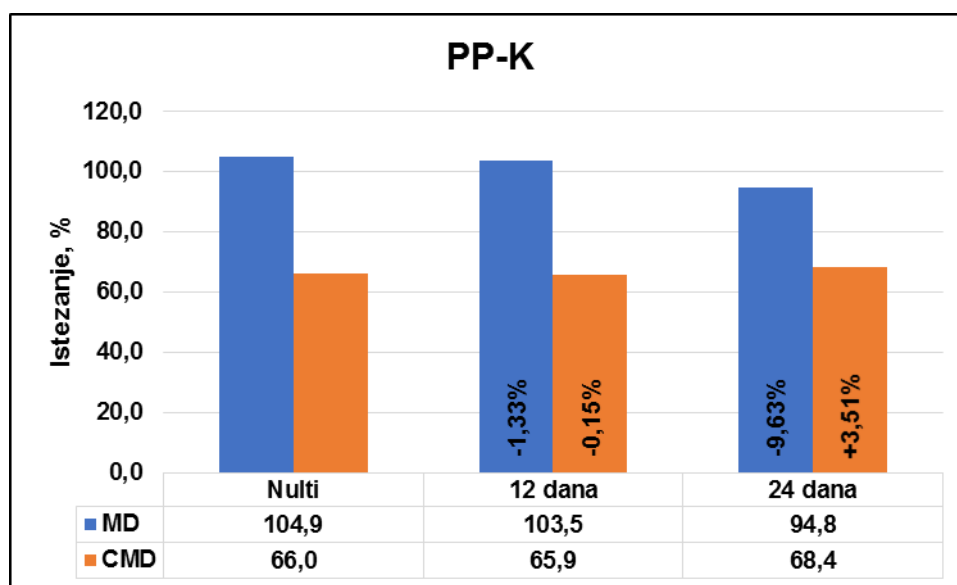
Uzorak JUTA, kao drugi predstavnik uzoraka izrađenih od celuloze bilježi veoma značajan pad istežanja prilikom ispitivanja vlačnih svojstava. Nakon 12 dana obrade pad iznosi 11,76 % u smjeru osnove te 12,69 % u smjeru potke. Prateći taj trend, pad se povećava te iznosi 33,82 % u smjeru osnove i 61,90 % u smjeru potke nakon 24 dana obrade. s



Sl. 32. Rezultati određivanja istežanja uzorka PP-O

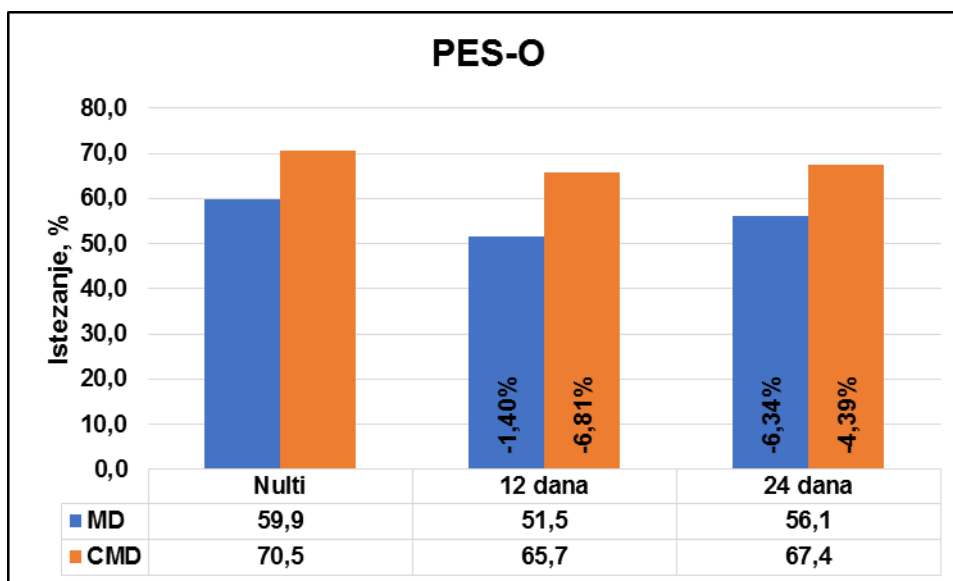
Prilikom mjerenja istežanja uzorka PP-O vidljive su velike razlike u vrijednostima ovisno o smjeru proizvodnje. Nulti uzorak MD smjeru je pokazao gotovo 35 % veće postotno istežanje od istog uzorka u CMD smjeru. Također, uzorci se značajno razlikuju u postotnim promjenama u odnosu na nulti uzorak poslije obrade materijala. Uzorak u

smjeru MD bilježi pad istezanja od 19,92 % nakon obrade od 12 dana te pad od 16,98 % nakon obrade od 24 dana, dok uzorak u smjeru CMD bilježi rast istezanja za 4,17 % nakon 12 dana obrade i rast od 8,26 % nakon 24 dana obrade. Takvi rezultati mogu biti jedino utjecaj nejednoličnosti gotovih netkanih tekstilija ovisno o smjeru proizvodnje.



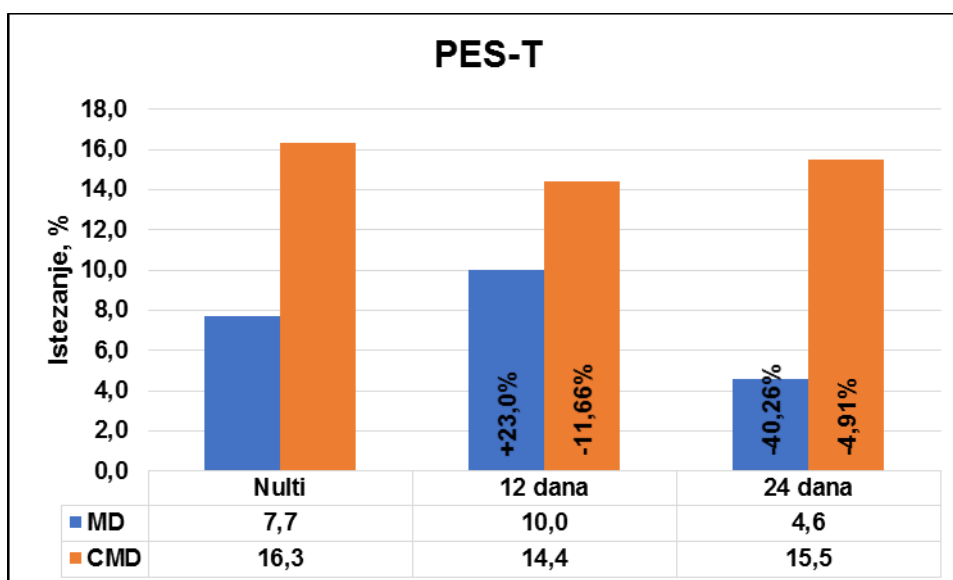
Sl. 33. Rezultati određivanja istezanja uzorka PP-K

Uzorak PP-K također pokazuje nedosljednosti prilikom ispitivanja postotnog produljenja. Uzorak u smjeru MD nakon 12 dana obrade pokazuje postotni pad u odnosu na nulti uzorak od 1,33 % koji se povećava na 9,63 % nakon 24 dana obrade, dok uzorak u smjeru CMD nakon 12 dana obrade gotovo ne pokazuje promjene, odnosno one su veoma niske i iznose 0,15 %, a nakon 24 dana obrade bilježi rast od 3,51 %. Također zbog nedosljednosti dobivenih vrijednosti zaključak je da do njih dolazi zbog nejednoličnosti proizvodnje netkanih tekstilija u ovisnosti o smjeru proizvodnje.



Sl. 34. Rezultati određivanja istežanja uzorka PES-O

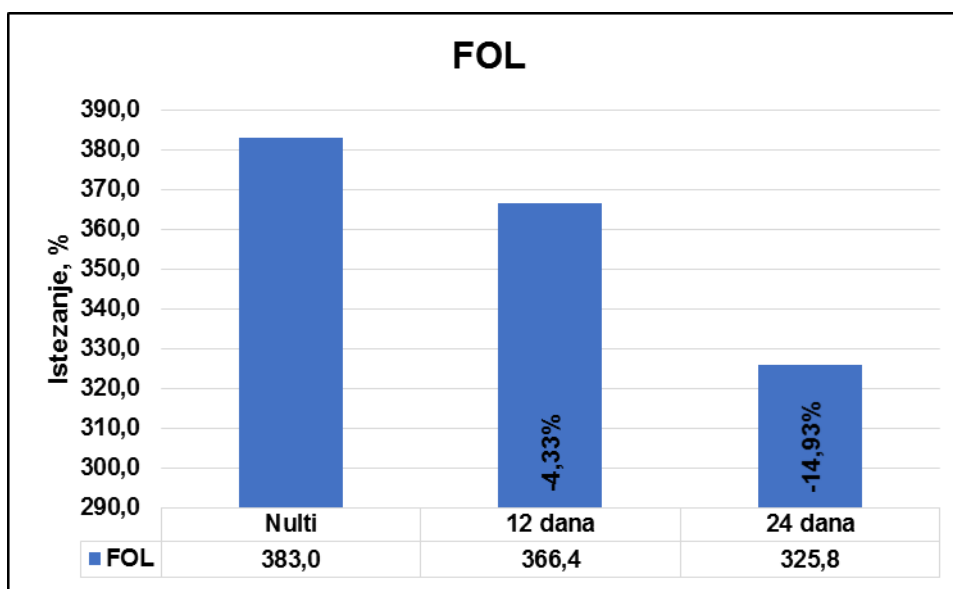
Za razliku od prethodna dva uzorka izrađena od sintetskih polimera, uzorak PES-O ne pokazuje tolike nedosljednosti. Produljenje nakon 12 dana obrade u odnosu na nulti uzorak za smjer MD bilježi pad istežanja od 1,40 % dok nakon 24 dana obrade taj pad se povećava na 6,34 %. Isti uzorak u smjeru CMD nakon 12 dana obrade bilježi pad istežanja za 6,81 % te nakon 24 dana obrade bilježi pad od 4,39 %. Trend pada istežanja je relativno proporcionalan s vremenom obrade tako da se može zaključiti da je izlaganje uzorka mikroorganizmima utjecalo na istežanje ovog uzorka.



Sl. 35. Rezultati određivanja istežanja uzorka PES-T

Početne vrijednosti istežanja uzorak PES-T u smjeru CMD su više nego duplo veće od istog uzorka u smjeru MD. Nakon 12 dana obrade uzorak u smjeru MD bilježi

porast istezanja za visokih relativno visokih 23,0 %, dok u smjeru CMD uzorak bilježi pad od 11,66 %. Nakon 24 dana obrade oba uzorka bilježe pad, no ovoga puta uzorak u smjeru MD bilježi pad koji je gotovo 10 puta veći u odnosu na drugi smjer proizvodnje, odnosno iznosi 40,26 % dok je u CMD smjeru postotna promjena 4,91 %. Za ovaj uzorak također je teško donijeti zaključak zbog nekonzistentnosti rezultata te se takve vrijednosti pripisuju nejednoličnosti netkanog tekstila.



Sl. 36. Rezultati određivanja istezanja uzorka FOL

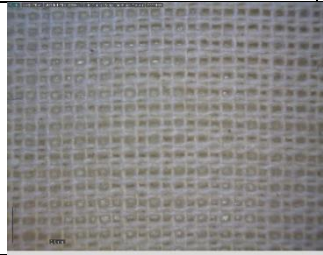
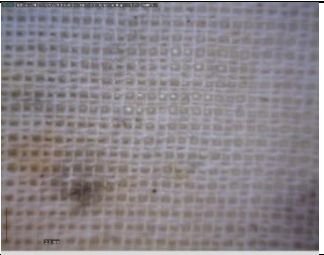














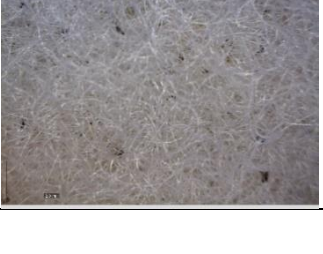
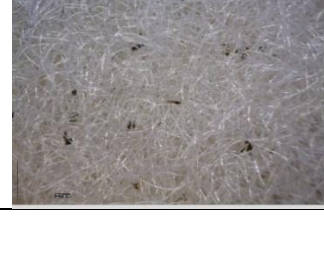
Prilikom ispitivanja istezanja uzorka FOL dobivene su zanimljive vrijednosti. Vrijednosti za sve serije mjerenja ovisnosti o stupnju obrade iznose preko 300 %. Iako se početna vrijednost pokazala veoma visokom, obrada je pokazala kontinuirani pad istezanja. Nakon 12 dana obrade pad je iznosio 4,33 % dok je nakon 24 dana iznosio 14,93 %. Za ovaj uzorak se može zaključiti kako u ovisnosti o vremenu obrade istezanje uzorka će opadati.

#### 4.5 MORFOLOŠKA ANALIZA POVRŠINE UZORAKA

Morfologija površina uzorka je snimljena s DINO-LITE – digitalni USB mikroskopom te prikazani u Tab. 10. Svi uzorci slikani su prije obrade te nakon 12 i 24 dana obrade, ovaj puta u jednom smjeru pošto oba smjer proizvodnje mogu biti vidljivi na jednoj slici. Promatrane su promjene na materijalima koji bi mogli ukazivati na djelovanje mikroorganizama, odnosno naposljetku na biorazgradivost materijala.



Tab. 10. Slike površine uzoraka prije i nakon obrade od 12 i 24 dana

Uzorak	Početni	12 dana	24 dana
ŽUT			
JUTA			
PP-O			
PP-K			
PES-O			
PES-T			



Vidljive su promjene na oba uzorka tkanine izrađene od prirodnih vlakana (ŽUT i JUTA) nakon 12 dana i nakon 24 dana obrade. Na uzorku ŽUT nakon 12 dana obrade vidljive su crne i žute mrlje na površini materijala, dok se na uzorku obrađenom 24 dana mogu vidjeti uz žute, crne i crvene mrlje. Sva navedena obojenja ukazuju na prisustvo mikroorganizama koji podupiru prijašnje rezultate kao što su promjena površinske mase te vlačnih svojstava.

Uzorku JUTA nakon 12 i 24 dana obrade slabije su vidljiva obojenja žute i crvene boje zbog specifične boje samog vlakna, ali su vidljive crne mrlje na površini materijala te prekinuta nit. Uzorak obrađen 12 dana ima jednu djelomično prekinutu nit dok uzorak nakon 24 dana obrade ima vidljive dvije prekinute niti. Sama obojenje te prekinute niti su posljedica djelovanja mikroorganizama, što također potvrđuje promjene prikazane u prethodnim tablicama kao što su promjena površinske mase te pad vlačne čvrstoće.

Za sintetičke uzorke PP-O, PP-K, PES-O, PES-T nisu vidljive značajne promjene na površini materijala nakon 12 i nakon 24 dana obrade. Na svim uzorcima vidljivi su zaostali primjesi iz zemlje, ali ne i aktivnost mikroorganizama.

Kod uzorka FOL također nisu vidljivi utjecaji mikroorganizama, poslije oba perioda obrade jedino je vidljiva naboranija površina nakon 12 dana obrade što je uzrok nedovoljno raširenog uzorka nakon zakapanja.

## **5 ZAKLJUČAK**

Budući da su glavni pokazatelji biorazgradivosti materijala, odnosno utjecaj mikroorganizama na njegova svojstva, promjena površinske mase te promjena vlačnih svojstava procjena uzoraka se bazirala na tim podacima uz promjenu morfologije površina uzoraka. Iako su debljina materijala i prekidno istezanje također ispitivani, podatci koji su dobiveni ne predstavljaju direktnu poveznicu s biorazgradivosti.

Kod uzoraka ŽUT vrijednosti su se poprilično promijenile. Uzorci u oba smjera zabilježila su proporcionalni pad mase u odnosu na vrijeme te isto tako i pad vlačne otpornosti. Morfologija oba uzorka pratila je isti slijed, odnosno vidljiva su djelovanja mikroorganizama na površini uzoraka kao i na sama svojstva materijala.

Uzorci JUTA u oba smjera također bilježe značajne i najdrastičnije promjene. Površinska masa smanjivala se proporcionalno s prolaskom vremena. Vlačna svojstva su doživjela velike negativne promjene. Proporcionalno se smanjivao u ovisnosti o vremenu, no pad od 73 % i 96 % nakon 24 dana ukazuju na veliku aktivnost mikroorganizama te samim time i na odličnu biorazgradivost materijala. Slike morfologije površine potvrđuju tu činjenicu. Uzorci nakon 12 i 24 dana obrade jasno pokazuju prekinuta vlakna što je rezultat utjecaja mikroorganizama na površinu te svojstva materijala.

Uzorci PP-O u smjerovima proizvodnje MD i CMD pokazuju tendenciju pada površinske mase, iako je taj pad nezamjetan. Budući da je površinska masa opadala s vremenom očekivao se pad čvrstoće koji se i dogodio. Pad čvrstoće neznatniji je nego li kod uzoraka izrađenih od prirodnih vlakana. Finalni pad u smjeru MD je vrlo mal te iznosi samo 2,33 % u odnosu na početni uzorak, dok je pad u smjeru CMD nakon 24 dana obrade iznosio 19,59 %. Budući da se radi o netkanom tekstilu izrađenom od sintetskog polimera utjecaj nejednolične površine materijala te njihovih svojstava je velik te je moguće primijetiti veće razlike u promjeni svojstava zbog same konstrukcije materijala prije nego li zbog samog djelovanja mikroorganizama na uzorke, iako je vidljiv pad u oba smjera koji se definitivno može pripisati biorazgradnji.

Uzorci PP-K u oba smjera proizvodnje bilježe pad površinske mase i vlačne čvrstoće nakon 12 i 24 dana obrade. Također je vidljiva razlika u padu vlačne čvrstoće između smjerova proizvodnje. Iako je neupitno da je došlo do razgradnje polimera, veliku ulogu u razlici pada čvrstoće između smjerova proizvodnje imaju nejednolike karakteristike netkanog tekstila te njihova proizvodnja.

Uzorci PES-O u oba smjera proizvodnje imaju negativne promjene svojstava bitnih za biorazgradivost. Pad površinske mase je neznatjan, odnosno ispod 1 % nakon 12 dana obrade te neznatno iznad 4 % nakon 24 dana obrade. Vlačna svojstva

imaju nešto značajnije promjene. PES-O u smjeru MD ima relativno mali postotni pad vlačne čvrstoće nakon vremena obrade te on iznosi nešto više od 14 %, dok je pad kod uzorka PES-O u smjeru CMD nešto zamjetnija, odnosno iznosi preko 23 %. Uzevši sve podatke u obzir zajedno s morfologijom površine vlakana, za pretpostaviti je da je kod oba uzorka došlo do biorazgradnje, a što je poduprieto promjenama čvrstoće nakon obrade, iako nije došlo do velikog pada površinske mase.

Slične promjene kao i kod prethodnog uzorka vidljive su na uzorcima PES-T u oba smjera proizvodnje. Iako je uzorak zabilježio porast površinske mase, to se može pripisati primjesama zemlje zaostalom u karakterističnim prazninama u materijalu zbog načina fiksiranja s vrućim zrakom te nejednoličnoj proizvodnje samog uzorka. Te šupljine i zaostali primjesi se jasno vide na slikama površina uzorka. Međutim, do pada čvrstoće je došlo u oba smjera te je on također nešto značajniji u CMD smjeru proizvodnje. Uzevši te podatke u obzir možemo zaključiti kako je došlo do razgradnje samog polimera.

Uzorak FOL ne pokazuje značajne promjene niti kod ispitivanja površinske mase. Uzorak je zabilježio porast površinske mase koji je iznosio manje od 2 posto za oba perioda obrade. No, promjene koje su se dogodile s vlačnim svojstvima su mnogo značajnije. Nakon 12 dana promjena je iznosila nešto više od 6 % te se više nego udvostručila nakon 24 dana obrade. Uzevši to u obzir, za pretpostaviti je kako je došlo do razgradnje uzorka FOL, odnosno poljoprivredne folije izrađene od PP polimera.

Na kraju se može zaključiti kako su svi uzorci, uključujući skupinu uzorka izrađenih od prirodnih i sintetskih materijala zabilježili određen stupanj biorazgradivosti. Na nekim uzorcima vidljive su drastične promjene svojstava kao što je uzorak JUT kojem su vlačna svojstva opala za 75-90 %, dok su uzorci od sintetičkih polimera zabilježili puno manji pad čvrstoće kao što je bio slučaj s oba uzorka izrađena od PES polimera. Uzorci koji su prošli veće promjene svojih svojstava podložniji su vlazi te samim time i utjecajem mikroorganizama. Vodeći se tim zaključkom, valja napomenuti kako uzorci od sintetičkih polimera nemaju visoke reprice, no mikroorganizmi su svejedno pronašli način kako ih razgraditi do određenog stupnja u ovako kratkom vremenu. Kako bi se dobili precizniji podatci i veće postotne promjene takve uzorke se mora obrađivati u duljem vremenskom periodu, iako rezultati ovog rada prikazuju kako mikroorganizmi počinju veoma brzo djelovati neovisno o vrsti i kemijskom sastavu polimera.

## 6 LITERATURA

- [1] Čunko, R., Andrassy, M.: Vlakna, Zrinski d.d., Zagreb, Hrvatska, 2005.
- [2] FEMS Microbiology Reviews, Volume 9, Issue 2-4, December 1992, Pages 339–345, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05856.x> (pristupljeno 10.08.2019)
- [3] Kalia, S., Kaith, B.S., Kaur, I., :Cellulose Fibers: Bio- and Nano- Polymer Composites, Green Chemistry and Technology, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2011
- [4] Bos, H. L., Vam den Oever, M. J. A., Peters, O. C. J. J.: Tensile and compressive properties of flax fibres for natural fibre reinforced composites, Journal of Materials Science, 37 (2002), pp. 1683-1692
- [5] wikimedia commons.org, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polyethylene\\_terephthalate.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polyethylene_terephthalate.png) (pristupljeno 15.08.2019)
- [6] Dowell Mateerials.com.hk, <http://www.dowell.com.hk/whatisPBT.htm> (pristupljeno 15.08.2019)
- [7] The Essential Chemical Industry.org, <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polypropene.html> (pristupljeno 15.08.2019)
- [8] Kovačević S.: Ručno tkanje, stručna knjiga, Centar za kreativne alternative & Prometej, 2003
- [9] Enciklopedija.hr, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=60688> (pristupljeno 11.08.2019.)
- [10] Das, D., Pourdeyhimi, B.: Composite Nonwoven Materials, Woodhead Publishing Ltd., UK, 2014
- [11] Kisilak, D., Voncina, B., Golob, D., Vrbac, M.: Značajni utjecaji na funkcionalna svojstva gotovog netkanog proizvoda, Tekstil, 56 (2007), 3, 166-173.
- [12] Russell, S.J.: Handbook of nonwovens, The Textile Institute, Woodhead Publishing in Textiles, CRC, Cambridge, England, 2007.
- [13] Horrocks, A.R., Anand, S.C.: Handbook of Technical Textiles, CRC, Cambridge, England, 2000.
- [14] Textor, T., Knittel, D., Bahners, T., Schollmeyer, E.: Inorganic-organic hybrid polymers for coating textile materials. Curr. Trends Polym. Sci. 2003,8, 127–133.
- [15] ] Leja, K., Lewandowicz, G.: Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review, Polish J. of Environ. Stud. 19 (2) (2010) 255-266.

- [16] Ashwin Kumar, A., Karthick. K, Arumugam, K. P.: Properties of Biodegradable Polymers and Degradation for Sustainable Development, International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2 (3) (2011) 164-167.
- [17] Jiang, L., Zhang, J.: Biodegradable and biobased polymers; Applied plastics engineering handbook; str. 127-143; 2017.
- [18] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H.: Biodegradable Polymersu "Biodegradation - Life of Science"; ed. Chamy R., Rosenkranz F.; lipanj 2013.
- [19] Vroman I., Tighzert L., Biodegradable Polymers, ISSN 1996-1944, <http://www.mdpi.com/1996-1944/2/2/307> (pristupljeno 11.08.2019)
- [20] Folimat.de, <http://www.folimat.de/english/seiten/folimat.html> (pristupljeno 15.08.2019)
- [21] BRKIĆ, S., Primjena polimernih kompozita u kirurgiji, Polimeri, Vol. 34, no.1, 2013, [https://hrcak.srce.hr/search/?show=results&stype=1&c%5B0%5D=article\\_search&t%5B0%5D=Primjena+polimernih+kompozita+u+kirurgiji](https://hrcak.srce.hr/search/?show=results&stype=1&c%5B0%5D=article_search&t%5B0%5D=Primjena+polimernih+kompozita+u+kirurgiji) (pristupljeno 11.08.2019)

## Popis slika:

Sl. 1. Podjela prirodnih vlakana [1].....	3
Sl. 2. Kemijska formula celuloze [1] .....	4
Sl. 3. Strukturna građa pamučnog vlakna [3] .....	5
Sl. 4. Strukturna građa jutenog vlakna [4].....	6
Sl. 5. Podjela umjetnih vlakana [1].....	7
Sl. 6. Tipovi PES vlakna; a) poli(etilen-tereftalat) [5], b) poli(1,4-dimetilen- cikloheksil-tereftalat) [1] i c) poli(butilen-tereftalat) [6].....	8
Sl. 7. Kemijska formula polipropilena [7] .....	9
Sl. 8. Podjela tkanina prema namjeni [8] .....	11
Sl. 9. Prikaz platno veza [8] .....	13
Sl. 10. Prikaz panama veza [8].....	14
Sl. 11. Proizvodnja runa mehaničkim postupkom [11] .....	17
Sl. 12. Shema razgradnje polimera pod aerobnim i anaerobnim uvjetima [15] ....	19
Sl. 13. Podjela biorazgradivih polimera [18] .....	22
Sl. 14. Poljoprivredna folija [20] .....	25
Sl. 15. Primjena biorazgradivih materijala u medicini [21].....	26
Sl. 16. Shema ispitivanja utjecaja atmosferilija na biorazgradivost i vlažna svojstva tekstilija .....	27
Sl. 17. Debljinomjer .....	31
Sl. 18. Dinamometar TensoLab 1000/3000 - Mesdan Lab.....	32
Sl. 19. DINO-LITE - mikroskop.....	33
Sl. 20. Rezultati određivanja površinske mase .....	34
Sl. 21. Rezultati određivanja debljine s površinom pritiska od 4,91 cm <sup>2</sup> .....	36
Sl. 22. Rezultati određivanja debljine s površinom pritiska od 24,63 cm <sup>2</sup> .....	37
Sl. 23. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka ŽUT .....	38
Sl. 24. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka JUTA.....	39
Sl. 25. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PP-O .....	40
Sl. 26. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PP-K.....	40
Sl. 27. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PES-O .....	41
Sl. 28. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka PES-T .....	41
Sl. 29. Rezultati određivanja prekidne sile uzorka FOL .....	42
Sl. 30. Rezultati određivanja istezanja uzorka ŽUT .....	43
Sl. 31. Rezultati određivanja istezanja uzorka JUTA.....	44

<b>Sl. 32. Rezultati određivanja istežanja uzorka PP-O.....</b>	<b>44</b>
<b>Sl. 33. Rezultati određivanja istežanja uzorka PP-K.....</b>	<b>45</b>
<b>Sl. 34. Rezultati određivanja istežanja uzorka PES-O .....</b>	<b>46</b>
<b>Sl. 35. Rezultati određivanja istežanja uzorka PES-T.....</b>	<b>46</b>
<b>Sl. 36. Rezultati određivanja istežanja uzorka FOL .....</b>	<b>47</b>



## Popis tablica:

Tab. 1. Kemijski sastav pamučnog vlakna [1] .....	4
Tab. 2. Svojstva i značajke pamučnog vlakna [1] .....	5
Tab. 3. Svojstva i značajke jutenog vlakna [1] .....	6
Tab. 4. Svojstva i značajke poliesterskog vlakna [1] .....	8
Tab. 5. Svojstva i značajke polipropilenskog vlakna [1] .....	9
Tab. 6. Osnovne karakteristike i svojstva tkanina [8] .....	10
Tab. 7. Neke od primjena biorazgradivih polimera [19] .....	24
Tab. 8. Oznake uzoraka.....	28
Tab. 9. Metode ispitivanja svojstava uzoraka.....	29
Tab. 10. Slike površine uzoraka prije i nakon obrade od 12 i 24 dana.....	48