

# Ispitivanje ponašanja poliamida prilikom izlaganja fiziološkoj otopini

---

**Sabljak, Matija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:369291>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-05**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

Studij politehnike

Diplomski studij politehnike i informatike

Matija Sabljak

**Ispitivanje ponašanja poliamida prilikom izlaganja fiziološkoj  
otopini**

Diplomski rad

Mentor: Izv. Prof. dr. sc. Mateja Šnajdar mag. ing. mech.

Rijeka, 2023

SVEUČILIŠTE U RIJECI

Studij politehnike

Rijeka, 17.03.2023.

## Zadatak za diplomski rad

Pristupnik: Matija Sabljak

Naziv diplomskog rada: Ispitivanje ponašanja poliamida prilikom izlaganja fiziološkoj otopini

Naziv diplomskog rada na eng. jeziku: Testing the behavior of polyamide when exposed to a physiological solution

Sadržaj zadatka:

Istražiti kako se poliamid ponaša prilikom izlaganja fiziološkoj otopini. Fiziološka otopina je tekućina sastavljena od elektrolita i drugih tvari koji su slični sastavu tjelesnih tekućina, stoga se često koristi kao stimulacija ljudskog ili životinjskog tkiva u laboratorijskim istraživanjima. Konkretnije, zadatak bi uključuje pripremu uzoraka poliamida, koji bi se potom izlagali fiziološkoj otopini pod kontroliranim uvjetima. Nakon određenog vremena izlaganja, uzorci bi se analizirali kako bi se utvrdilo kako su reagirali na fiziološku otopinu.

Cilj istraživanja bi bio razumjeti kako poliamid reagira na fiziološku otopinu i utvrditi mogu li se ti materijali koristiti u medicinskim aplikacijama, poput implantata ili drugih medicinskih uređaja koji dolaze u kontakt s ljudskim tkivom. Rezultati istraživanja mogli bi biti korisni za poboljšanje dizajna i performansi medicinskih uređaja, a također bi mogli biti korisni i u drugim primjenama poliamida, poput proizvodnje tekstila i drugih materijala.

U završnom zadatku treba slijediti **Upute o izradi diplomskog rada**.

Mentor: Doc. dr.sc. Mateja Šnajdar Musa

(potpis mentora)

Voditelj za diplomske radove:

Zadatak preuzet:

(potpis pristupnika)

## SAŽETAK

S razvojem tehnologije postavljaju se sve veći kriteriji na materijale. Razvoj materijala predstavlja kompleksan proces koji zahtjeva konstantnu integraciju inovacija u svim aspektima razvoja. Razvoj materijala predstavlja i tehnološki razvitak, upravo zbog unaprjeđivanja tehnologije proizvodnje pa i samih proizvoda. Primarna svrha razvitka je smanjenje ekološkog utjecaja i pronalaženje alternativnih načina za poboljšavanje tehničkih karakteristika. Materijale je potrebno razvijati ovisno o upotrebi okruženja u kojem se koriste. Jedno od takvih primjera razvoja prati i poliamide. Vrlo velik i ključni problem općenito kod poliamida je njihov utjecaj prema ekologiji. Za njihovu proizvodnju su ključni neobnovljivi izvori energije poput nafte. Cilj razvitka je razvoj materijala kako bi se našao neki alternativni način koji bi smanjio štetni utjecaj na ekologiju. Također, bitno svojstvo u medicini je i kemijska otpornost te otpornost na trošenje, što stavlja dodatnu specifikaciju na materijal koju treba poboljšavati. Sveukupno, razvoj poliamida je usmjeren na razvitak svojstava koji bi bili prilagođeni za uvijete tj. potrebe moderne industrije.

Ključne riječi; Održivost, ekološki utjecaj, tehničke karakteristike poliamida, razvoj poliamida

**Testing the behavior of polyamide when exposed to a physiological solution****SUMMARY**

With the development of technology, more and more criteria are placed on materials. Material development is a complex process that requires constant integration of innovations in all aspects of development. The development of materials also represents technological development, precisely because of the improvement of production technology and the products themselves. The primary purpose of development is to reduce environmental impact and find alternative ways to improve technical characteristics. Materials need to be developed depending on the use of the environment in which they are used. One such example of development follows polyamides. A very big and key problem in general with polyamides is their environmental impact. Non-renewable energy sources such as oil are key to their production. The goal of development is the development of materials in order to find an alternative way that would reduce the harmful impact on ecology. Also, an important property in medicine is chemical resistance and wear resistance, which places an additional specification on the material that needs to be improved. Overall, the development of polyamide is aimed at the development of properties that would be adapted to the conditions, i.e. the needs of modern industry.

Keywords; Sustainability, environmental impact, technical characteristics of polyamide, development of polyamide

## *Sadržaj*

<b>SAŽETAK</b> .....	III
<b>Popis tablica</b> .....	2
<b>Popis tablica</b> .....	3
<b>UVOD</b> .....	4
<b>1. Poliamidi</b> .....	5
<b>1.1. Poliamid 6</b> .....	7
<b>1.2. Poliamid PA 6.6</b> .....	8
<b>2. Eksperiment izlaganja poliamida otopini</b> .....	10
<b>2.1. Pripremanje uzorka poliamida PA 6</b> .....	11
<b>2.2. Početno vaganje uzorka</b> .....	13
<b>2.3. Prvi dan mjerenja rezultata</b> .....	14
<b>2.4. Drugi dan mjerenja rezultata</b> .....	15
<b>2.5. Treći dan mjerenja rezultata</b> .....	16
<b>2.6. Peti dan mjerenja rezultata</b> .....	17
<b>2.7. Sedmi dan mjerenja rezultata</b> .....	18
<b>2.8. Deveti dan mjerenja rezultata</b> .....	19
<b>2.9. Četrnaesti dan mjerenja rezultata</b> .....	20
<b>2.10. Dvadeset i prvi dan mjerenja rezultata</b> .....	21
<b>2.11. Mjerenje rezultata dvadeset i osmog dana</b> .....	22
<b>Dijagram promjene mase poliamida PA 6</b> .....	23
<b>Higroskopnost poliamida PA 6</b> .....	25
<b>Zaključak</b> .....	26
<b>3. Metodički dio</b> .....	27
<b>3.1. UVODNI DIO</b> .....	27
<b>3.2. Priprema za nastavu</b> .....	30
<b>LITERATURA</b> .....	38

## Popis tablica

Tablica 1 Svojstva poliamida PA 6 [1][3][4] .....	7
Tablica 3 Svojstva poliamida 6.6 [1,3] .....	9
Tablica 4 Rezultati mjerenja početnih uzoraka .....	13
Tablica 5 Rezultati mjerenja prvog dana.....	14
Tablica 6 Rezultati mjerenja drugog dana.....	15
Tablica 7 Rezultati mjerenja trećeg dana .....	16
Tablica 8 Rezultati mjerenja petog dana .....	17
Tablica 9 Rezultati mjerenja sedmog dana .....	18
Tablica 10 Rezultati mjerenja devetog dana .....	19
Tablica 11 Rezultati mjerenja četrnaestog dana.....	20
Tablica 12 Rezultati mjerenja dvadeset i prvog dana.....	21
Tablica 13 Rezultati mjerenja dvadeset i osmog dana .....	22
Tablica 14 Ukupni rezultati.....	23
Tablica 15 Nastavni program .....	28

## Popis tablica

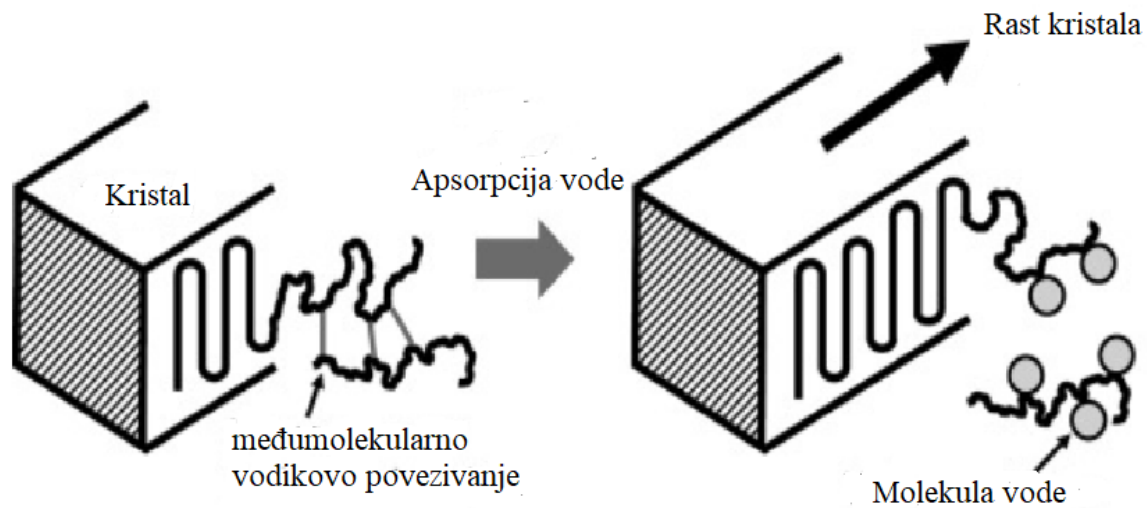
Tablica 1 Svojstva poliamida PA 6 [1][3][4] .....	7
Tablica 3 Svojstva poliamida 6.6 [1,3] .....	9
Tablica 4 Rezultati mjerenja početnih uzoraka .....	13
Tablica 5 Rezultati mjerenja prvog dana.....	14
Tablica 6 Rezultati mjerenja drugog dana.....	15
Tablica 7 Rezultati mjerenja trećeg dana .....	16
Tablica 8 Rezultati mjerenja petog dana .....	17
Tablica 9 Rezultati mjerenja sedmog dana .....	18
Tablica 10 Rezultati mjerenja devetog dana .....	19
Tablica 11 Rezultati mjerenja četrnaestog dana.....	20
Tablica 12 Rezultati mjerenja dvadeset i prvog dana.....	21
Tablica 13 Rezultati mjerenja dvadeset i osmog dana .....	22
Tablica 14 Ukupni rezultati.....	23
Tablica 15 Nastavni program .....	28



## UVOD

Tema diplomskog rada je ispitivanje poliamida prilikom izlaganja fiziološkoj otopini. Poliamidi su materijali koji imaju široku primjenu u svakodnevnim proizvodima. Drugi naziv za poliamide je najlon koji dolazi do značajnog razvoja u toku nestašice svile. Široku primjenu mogu zahvaliti upravo svojim odličnim svojstvima kao što je otpornost na habanje te mogućnost prilagodbe strukture za uvijete u kojima se primjenjuju. Prvi dio rada obradit će se što su to poliamidi, zatim se obrađuju njihova svojstva te način proizvodnje. Definira se njihova podjela te usporedba svojstava više vrsta poliamida. U drugome dijelu se stavlja fokus kako i sam naslov teme kaže ispitivanje poliamida u fiziološkoj otopini. Eksperiment je održavan kroz duži period te će se u nastavku obrađivati podaci o dobivenim rezultatima te na temelju toga se dolazi do zaključka. U dijelu s eksperimentom će biti prikazani rezultati u obliku tabličnih prikaza te u dijagramu. Na kraju u završnom dijelu prikazani su sumirani zaključci odrađenog eksperimenta u kojem su definirana bitna zapažanja u promjenama koje su opažene.





Slika 2 Apsorpcija vode u kristal [5]

Veća pokretljivost molekula je posljedica upravo tog „bubrenja“ strukture jer se na taj način povećava razmak u strukturi i dolazi do lakšeg osciliranja u strukturi. Utjecaj vlage se može smanjiti dodavanjem ojačavala. [1][2][3]

Dva glavna tipa poliamida su: - Poliamid 6 (PA 6)

- Poliamid 6.6 (PA 66)

## 1.1. Poliamid 6

Poliamid, odnosno polikaprolaktam koji je njegov trgovački naziv se dobiva polimerizacijom. Postupak se provodi s rastaljenim monomerom na temperaturi od 240°C -300 °C. Taj postupak traje i do 300 sati gdje se dodaje maseni udio vode od nekih 0,3 %-10 % uz konstantan pritisak. Postupak dobivanja može biti različit. On može biti kontinuiran i diskontinuiran. Kod kontinuiranih postupaka već rastaljeni monomer dobiva vodu te se smjesa kontinuirano dovodi do reaktora koji je već zagrijan na temperaturu od preko 200 °C. Taj postupak traje oko nekih 20 sati ali se to vrijeme može značajno smanjiti ako se povećava tlak u reaktoru. Diskontinuiran postupak dobivanja poliamida 6 se provodi tako da se dozira određena količina octene kiseline uz 5% vode zajedno s monomerom. Taj postupak se također provodi na temperaturi od preko 200 °C te traje 12 sati. U usporedbi ova dva postupka više se koristi kontinuiran postupak proizvodnje, dok je diskontinuirani postupak više namijenjen za pokusne pripreme. Gotovi proizvod se suši te skladišti ovisno o svojoj granulaciji. [1][3][4]

Tablica 1 Svojstva poliamida PA 6 [1][3][4]

Svojstvo	Poliamid 6
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	1,14
Vlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	55
Istezljivost(%)	300
Udarni rad loma (J/m)	160
Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	1000
Tvrdoća (Rockwell)	100
Talište (°C)	220



Tablica 2 Svojstva poliamida 6.6 [1,3]

Svojstvo	Poliamid 6.6
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	1,14
Vlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	60
Istezljivost(%)	300
Zarezna udarna žilavost (J/m)	105
Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	1400
Tvrdoća (Rockwell)	112
Talište (°C)	260

U tablici 2. vide se prikazane vrijednosti svojstava poliamida PA 6.6. Ako se usporede sa svojstvima poliamida PA 6 može se zaključiti da su svojstva poliamida PA 6.6 mnogo bolja. Gustoća je kod oba materijala ista.

## 2. Eksperiment izlaganja poliamida otopini

U nastavku rada proveden je pokus kojim se ispituje koji je utjecaj vlage na poliamid. Pokus traje 28 dana tijekom kojih se u određenim vremenskim intervalima prate promjene u masi. Vaganje se provodi na analitičkoj vagi. Za početak pokusa bilo je potrebno odrediti početne dimenzije uzorka tj. početnu masu koja će se u eksperimentu pratiti. Uzorak će biti uronjen u fiziološku otopinu. Vaganje uzoraka je održano u sljedećim vremenskim periodima:

1. Početak pokusa ( prvo mjerenje početnog uzorka)
2. Nakon 1 dana;
3. Nakon 2 dana;
4. Nakon 3 dana;
5. Nakon 5 dana;
6. Nakon 7 dana;
7. Nakon 9 dana;
8. Nakon 14 dana;
9. Nakon 21 dan;
10. Nakon 28 dana;

### 1. Uzorak – poliamid uronjen u fiziološku otopinu

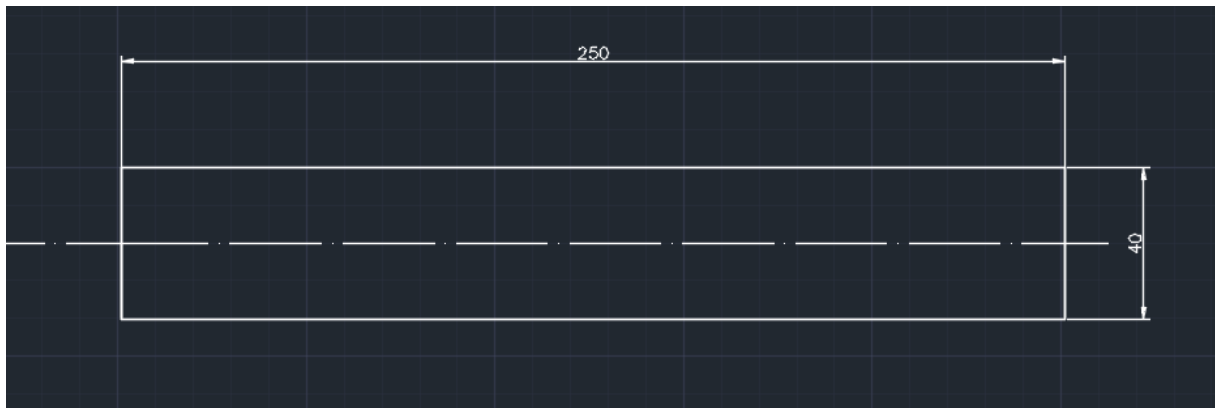
Za prvi uzorak je uzeta epruveta sa dimenzijama 70mmx10 mm. Ta epruveta je uronjena u fiziološku otopinu u kojoj će se nalaziti tijekom izvođenja eksperimenta.

### 2. Uzorak – poliamid smješten u hermetički zatvorenu posudu s rižom.

Za drugi uzorak uzeta je epruveta dimenzija 70 \*10 mm. Epruveta je stavljena u posudu s rižom te je hermetički zatvorena radi izbjegavanja pojave vlage u uzorku.

## 2.1. Pripremanje uzorka poliamida PA 6

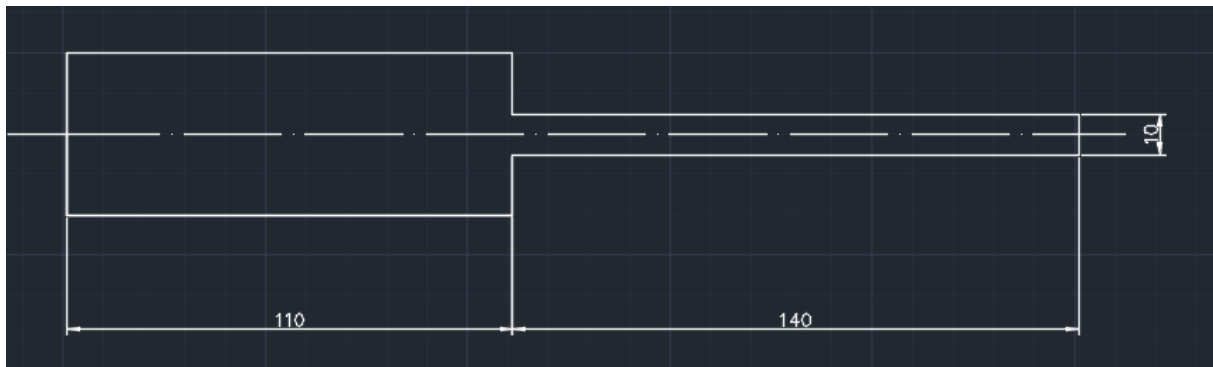
Za potrebe eksperimenta je potrebno pripremiti dva uzorka materijala poliamida PA 6 u obliku epruvete koja je dimenzija 10 mm \* 70 mm. Kao početnu sirovinu pripremljen je uzorak dimenzija 40 mm \* 250 mm. Kako bi se dobili uzorci traženih dimenzija bilo je potrebno odraditi nekoliko postupka s odvajanjem čestica.



*Slika 4 Dimenzije početnog materijala poliamida PA 6*

Operacija poravnavanja čela je prva od tri operacije koje se izvode u pripremi materijala za eksperiment, odnosno dimenzioniranje uzorka prema kriteriju eksperimenta. Nakon obavljenog postupka poravnavanja čela slijedi tokarenje. Tokarenje je postupak obrade s odvajanjem čestica gdje smanjujemo promjer uzorka koji će se kasnije koristiti u eksperimentu. U ovom slučaju bilo je potrebno smanjiti promjer s početnih 40 mm na traženih 10 mm. Postupak tokarenja izvodio se više puta, odnosno iz više prohoda alata kroz materijal. Zbog rotacije materijala u steznoj glavi bilo je potrebno pripaziti na količinu skinute strugotine te na vlastitu sigurnost tijekom obrade zbog mogućnosti pojave krhotina koje zbog velike brzine rotacije stezne glave mogu biti opasne. Po završetku obrade tokarenja dobiven je uzorak materijala čije su dimenzije prikazane na slici 5.





*Slika 5 Dimenzije materijala poliamida PA 6 nakon obrade tokarenja*

Nakon obavljenog tokarenja slijedi piljenje materijala na konačnu duljinu od 70 mm. Kod piljenja je bilo također potrebno voditi računa o debljini lista pile koja siječe materijal. Uvijek se ostavi na materijalu nekoliko milimetara materijala više kako bi dobili točne dimenzije uzorka.

## 2.2. Početno vaganje uzorka

Nakon završene pripreme uzorka potrebno je izmjeriti početnu vrijednost mase uzorka. Vaganje uzorka je odrađeno na mikrogramskoj digitalnoj vagi. S lijeve strane nalazi se uzorak koji se stavlja u fiziološku otopinu te njegova masa iznosi 6,023 grama. S desne strane nalazi se drugi uzorak koji će biti testiran tako da će biti stavljen u hermetički zatvorenu posudu u kojoj se nalazi riža koja nam služi kao zamjena za silika gel. Masa drugog uzorka je 6,149 grama. U tablici su prikazani rezultati mjerenja.

*Tablica 3 Rezultati mjerenja početnih uzoraka*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,023	6,149



*Slika 6 Rezultati početnog mjerenja poliamida PA 6*

U sljedećim mjerenjima se mjeri povećanje mase te se prati promjena mase u odnosu na početno stanje uzorka .

### 2.3. Prvi dan mjerenja rezultata

Nakon što su uzorci odstajali u eksperimentalnim uvjetima jedan dan izmjerena je masa za oba uzorka. Moguće je zaključiti da je uzorak počeo dobivati na masi zbog upijanja fiziološke otopine. Uzorak koji se nalazio u fiziološkoj otopini postao teži za 0,083 grama. Drugi uzorak koji se nalazio u riži je također dobio na masi i teži je za 0,004 grama. Nakon prvog mjerenja može se zaključiti da je poliamid PA 6 počeo upijati tekućinu te da ima svojstvo higroskopnosti. U sljedećim mjerenjima će se pratiti promjenu mase uzorka. Nakon završetka se donosi zaključak o ponašanju poliamida u raznim uvjetima.

*Tablica 4 Rezultati mjerenja prvog dana*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,106	6,153



*Slika 7 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 prvog dana*

## 2.4. Drugi dan mjerenja rezultata

U drugom danu mjerenja nastavak povećavanja mase uzoraka. Na lijevoj slici je uzorak koji se nalazi u fiziološkoj otopini te je masa i ovog puta veća za 0,052 grama u odnosu na mjerenje iz prvog dana. Također se događa i za drugi uzorak koji se nalazi na desnoj slici kojem je masa veća za 0,002 grama. Može se zaključiti da je ovdje promjena vrlo mala zbog pojave vlage unutar riže u kojoj se nalazi uzorak.

*Tablica 5 Rezultati mjerenja drugog dana*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,158	6,155



*Slika 8 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 drugog dana*

## 2.5. Treći dan mjerenja rezultata

Trećeg dana mjerenja eksperiment se nastavlja kao i do sada uz konstantno povećavanje mase uzoraka epruveta poliamida PA 6. Na lijevoj strani je uzorak iz fiziološke otopine koja je teža za 0,024 grama u odnosu na mjerenje trećeg dana. S desne strane je uzorak iz riže koji je također teži ali za nešto manje povećanje mase od svega 0,004 grama.

*Tablica 6 Rezultati mjerenja trećeg dana*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,182	6,159



*Slika 9 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 trećeg dana*

## 2.6. Peti dan mjerenja rezultata

Petog dana mjerenja rezultata eksperimenta moguće je uočiti da je povećanje mase nastavljeno, ali sa laganim oscilacijama u periodima upijanja tekućine. Moguće je uočiti da je vidljivo osciliranje u porastu mase nakon nekoliko mjerenja. U odnosu na prvi dan gdje je porast iznosio i do 0,052 grama te se smanjivao do 0,024 i sada iznosi 0,046 grama za uzorak koji se nalazio u fiziološkoj otopini. Masa uzorka koji se nalazio u riži se znatno povećala za čak 0,028 grama.

*Tablica 7 Rezultati mjerenja petog dana*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,228	6,187



*Slika 10 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 petog dana*

## 2.7. Sedmi dan mjerenja rezultata

Nakon mjerenja rezultata sedmog dana nema nikakvih značajnijih promjena. Masa uzorka u fiziološkoj otopini i dalje raste. Ovoga puta masa se povećala ali uz ponovnu oscilaciju. U mjerenju petog dana dešava se skok od 0,046 grama dok je sada ponovno smanjenje od 0,025 grama za uzorak iz fiziološke otopine. Kod drugog uzorka bilježimo pad mase tijekom mjerenja što bi značilo da se smanjila prisutnost tekućine unutar uzorka. Masa iznosi 6,162 grama što je za 0,025 grama manje od prošlog mjerenja.

*Tablica 8 Rezultati mjerenja sedmog dana*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,253	6,187



*Slika 11 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 sedmog dana*

## 2.8. Deveti dan mjerenja rezultata

Devetog dana mjerenja uzoraka moguće je primijetiti da u odnosu na prošla mjerenja dolazi do lagane stagnacije porasta mase. Čak i do minimalnog pada u slučaju uzorka na slici s lijeve strane iz fiziološke otopine. Drugi uzorak ponovno počinje dobivati na masi što znači da se povećala prisutnost tekućine u strukturi. Povećanje iznosi 0,008 grama u odnosu na prošlo mjerenje.

*Tablica 9 Rezultati mjerenja devetog dana*

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,252	6,170



*Slika 12 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 devetog dana*



## 2.9. Četrnaesti dan mjerenja rezultata

Po rezultatima mjerenja dogodio se ponovni skok u povećanju mase uzorka iz fiziološke otopine. Povećanje iznosi 0,021 gram dok je povećanje uzorka iz riže minimalno svega 0,004 grama. Po ovome moguće je zaključiti da poliamid PA 6 konstantno mijenja vrijednost vlage tj. tekućine u svojoj strukturi ali i dalje se prati porast tekućine. Po mjerenjima je moguće zaključiti da to upijanje nije konstantno i varira ovisno o intervalu što ćemo vidjeti na kraju u dijagramu.

Tablica 10 Rezultati mjerenja četrnaestog dana

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,273	6,174



Slika 13 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 četrnaestog dana

## 2.10. Dvadeset i prvi dan mjerenja rezultata

Dvadeset i prvog dana mjerenja rezultata nastavlja se već kontinuirani porast vrijednosti mase uzoraka poliamida PA 6 u slučaju s otopinom i suhom tvari tj. rižom. Naravno taj rast je znatno manji u odnosu na početna mjerenja u prvih par dana. Porast mase za uzorak koji se nalazio u fiziološkoj otopini ovoga puta iznosio je 0,017 grama (uzorak na slici 12 s lijeve strane), a za uzorak u suhoj tvari tj. riži je iznosio 0,006 grama.

Tablica 11 Rezultati mjerenja dvadeset i prvog dana

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,290	6,180



Slika 14 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 dvadeset i prvog dana

## 2.11. Mjerenje rezultata dvadeset i osmog dana

Dvadeset i osmi dan je ujedno i posljednji dan mjerenja rezultata uzoraka poliamida PA 6. Povećanje vrijednosti za uzorak poliamida koji se nalazio u fiziološkoj otopini iznosio je 0,042 grama što je značajno povećanje ali s obzirom na vremenski interval koji je protekao nije ništa iznenađujuće u odnosu na ostala mjerenja tijekom eksperimenta. Što se tiče uzorka u suhoj tvari bilježi se povećanje mase od 0,006 grama. Za drugi uzorak moguće je primijetiti da ima konstantan porast vrijednosti mase tijekom vremena.

Tablica 12 Rezultati mjerenja dvadeset i osmog dana

Uzorak	Izmjerena masa, g	
	Fiziološka otopina	Riža
1	6,332	6,186

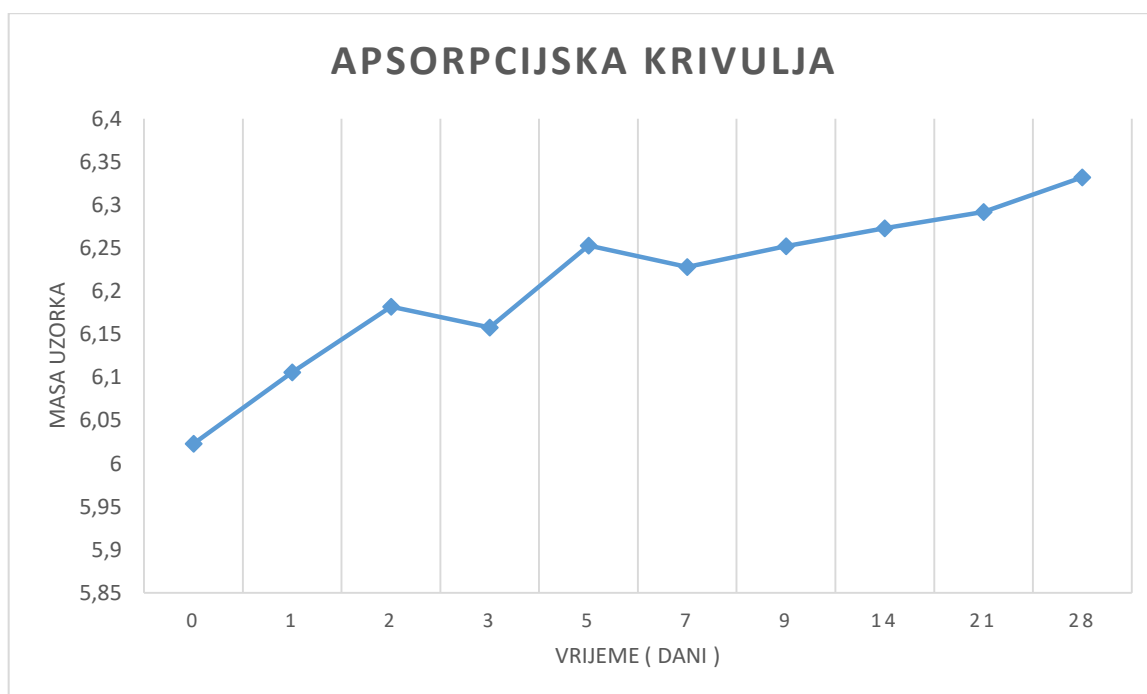


Slika 15 Rezultati mjerenja poliamida PA 6 dvadeset i osmog dana

## Dijagram promjene mase poliamida PA 6

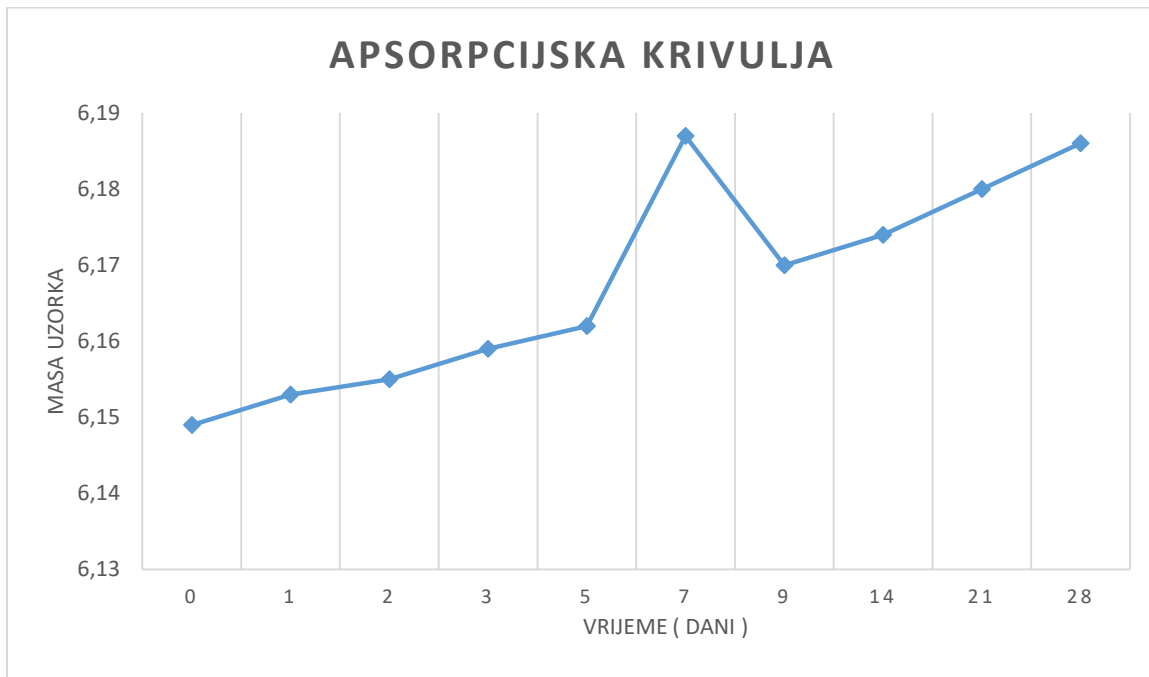
Tablica 13 Ukupni rezultati

t (d)	<i>epruveta 1,</i> (fiziološka otopina)	<i>epruveta 2</i> (riža)
<b>0</b>	6,023	6,149
<b>1</b>	6,106	6,153
<b>2</b>	6,182	6,155
<b>3</b>	6,158	6,159
<b>5</b>	6,253	6,162
<b>7</b>	6,228	6,187
<b>9</b>	6,252	6,170
<b>14</b>	6,273	6,174
<b>21</b>	6,292	6,180
<b>28</b>	6,332	6,186



Slika 16 Apsorpcijska krivulja materijala iz fiziološke otopine

Na slici 16. nalazi se grafikon apsorpcije tekućine poliamida PA 6. Moguće je uočiti da se rast mase uzorka znatno povećao. Na početku mjerenja masa uzorak iznosila je 6,023 grama, a na kraju eksperimenta iznosila je 6,332 grama, što je povećanje mase od 0,309 grama.



*Slika 17 Apsorpcijska krivulja uzorka iz riže*

Na slici 17. nalazi se apsorpcijsku krivulju uzorka poliamida PA 6 koji se nalazio u suhoj tvari tj. u riži. Kod ovog uzorka također se bilježi rast mase u periodu od 28 dana trajanja eksperimenta. Početna masa uzorka bila je 6,149 grama, a konačna 6,186 grama. S obzirom na povećanje mase od 0,037 grama moguće je zaključiti da je u posudi sa suhom tvari bila prisutna vlaga koju je poliamid PA 6 apsorbirao što se vidi i po krivulji koja ima konstantno povećanje vrijednosti.

## Higroskopnost poliamida PA 6

Poliamid PA 6 vrlo lako upija vodu, odnosno fiziološku otopinu u eksperimentu. To je bilo očekivano upravo zbog njihove polarnosti koja je prisutna zbog amidne skupine. Poliamid PA 6 pri normalnim uvjetima sadrži oko 2,5 % tekućine. Količina tekućine koju apsorbiraju ovisi i o strukturi tj. o količini amidne skupine, odnosno o omjeru amida i metilena. Na taj način se i pokušava regulirati koliko će se tekućine apsorbirati u materijal. Negativna strana apsorbiranja tekućine je ta da može dovesti do slabljenja strukture materijala. Druga negativna strana je ta da se zbog apsorbiranja povećavaju dimenzije samog predmeta što baš i nije poželjno u nekim uvjetima gdje se zahtijeva preciznost. Za primjer moguće je uzeti implantate koji se ugrađuju ljudima gdje nije baš poželjno da se dimenzije povećavaju te da postoji mogućnost lošijih svojstava. Podrazumijeva se da je dobro da zadržavaju tekućinu ali, nije dobro zbog povećavanja dimenzija. Svojstva se mogu modulirati ovisno o primjeni predmeta koji je izrađen od tog materijala. Drugi primjer je primjerna poliamida u tekstilnoj industriji, gdje je poželjno svojstvo apsorbiranja tekućine kako bi se uklanjao višak vlage s kože. Način na koji poliamid apsorbira tekućinu se opisuje I. Fickovim zakonom. [1][4]

$$J = -D(\partial c / \partial x)$$

U zakonu J predstavlja protok nekog materijala kroz neki zadani presjek u nekom vremenskom intervalu. D je difuzijska konstanta, a  $\partial c / \partial x$  je koncentracijski gradijent.

## Zaključak

Poliamidi su materijali koji su dosta rasprostranjeni te imaju širok spektar primjene od industrije do medicine. Sve to mogu zahvaliti svojim svojstvima koja su kombinacija čvrstoće, elastičnosti te otpornosti na habanje. Zbog toga se od njih mogu izrađivati dijelovi strojeva poput ležajeva, cijevi, brtvi. U medicini se mogu koristiti kao implantati, ortopedski ulošci te kao razna medicinska oprema. Zahvaljujući svojim dobrim izolacijskim svojstvima koriste se i u elektrotehnici. Po završetku eksperimenta koji je bio tema ovog rada dolazi se do zaključka da poliamid PA 6 ima higroskopna svojstva, odnosno svojstvo da apsorbira tekućinu. Po rezultatima mjerenja uzorka iz riže može se uočiti da je i najmanja količina vlage dovoljna da ju poliamid apsorbira. Ta apsorpcija može biti od koristi u određenim uvjetima dok u drugima baš i nije toliko poželjno svojstvo zato što može dovesti do slabljenja strukture materijala, može dovesti do povećanja dimenzija. Pozitivna svojstva higroskopnosti su za medicinu, gdje je poželjno da implantati zadržavaju određenu količinu vlage u strukturi. Negativna strana apsorpcije tekućine može loše utjecati na dielektrična svojstva materijala. Količina apsorpcije se može korigirati postupkom koji se naziva kontrola higroskopnosti koja prilagođava strukturu ovisno o uvjetima primjene materijala. Upotreba poliamida poput uzorka PA 6 zapravo predočava važnost znanosti o materijalima te njene praktične primjene.

## 3. Metodički dio

### 3.1. UVODNI DIO

Tema diplomskog rada se bazira na poliamidima koji su vrsta polimera. Kako im je upotreba dosta rasprostranjena tako se i ova vrsta materijala obrađuje u mnogim područjima. Jedno od tih područja bi bio i tehničar za mehatroniku koji u svome nastavnome planu i programu ima predmet pod nazivom tehnički materijali. Cilj nastavnog predmeta tehnički materijali je da upozna učenike sa vrstama materijala, njihovim svojstvima, normama, oznakama te u konačnici gdje se i upotrebljavaju. Nastavni predmet je predviđen za učenike prvog razreda srednje škole u trajanju od po tri sata tjedno. Što se tiče obrade polimeri su predviđeni za obradu u trećoj cjelini. Naravno tu je samo okvirna podjela i teorijska obrada materijala. Smatram da bi se trebala uvesti i detaljnija obrada podvrsta polimera kako bi učenici shvatili da postoji mnogo materijala s raznim svojstvima. To bi bilo što se tiče teorijskog dijela. U ovome radu je stavljen glavni fokus na ispitivanje svojstava poliamida u raznim uvjetima. Uvođenje ovakve vrste obrade sadržaja bi bilo vrlo korisno, a i uključivalo bi dodatni angažman učenika u nastavnome procesu. Zbog trajanja eksperimenta koji je dosta dugotrajan bilo bi praktično zadati ga učenicima kao seminarski dar koji će samostalno izrađivati tj. kod kuće će izvoditi eksperiment na osnovu kojeg će dobivene rezultate kroz seminarski rad prikazati. Smatram da je ovakav način provođenja nastave koristan iz razloga što nije klasični tip nastave gdje nastavnik predaje, a učenici slušaju već je tip nastave u kojem je potrebno da se učenik angažira te da samostalnim radom i odgovornosti dolazi do zaključaka u vezi nastavnog gradiva. Samostalnim radom učenicima se potiče motiviranost te im se razvija kritičko mišljenje, odnosno samostalno donošenje zaključaka na temelju dobivenih rezultata. Mogu sami procijeniti gdje se ti materijali mogu koristiti, a gdje ne mogu ovisno o dobivenim rezultatima.



## Reducirani nastavni program

Tablica 14 Nastavni program

<b>CJELINE</b>	<b>TEME</b>	<b>ISHODI</b>
<b>1. Struktura i svojstva materijala</b>	Uvod u nastavni predmet Osnovne strukture Mehanička svojstva materijala Električna svojstva materijala	Opisati mehanička svojstva materijala  Opisati električna svojstva materijala  Nabrojati osnovne strukture materijala
<b>2. Metali</b>	Željezo Čelik Lijevana željeza Bakar Aluminij Cink, olovo, kositar Mangan, krom, kobalt Molibden, volfram, vanadij	Nabrojati modifikacije željeza Opisati i nacrtati dijagram zagrijavanja i hlađenja Navesti primjenu u elektrotehnici i strojarstvu Opisati te nacrtati Fe-C dijagram Navesti svojstva čelika Definirati norme čelika Navesti primjenu čelika u strojarstvu Objasniti svojstva bakra kao vodiča Navesti slitine bakra te definirati norme Nabrojati svojstva aluminija kao konstrukcijskog materijala Definirati svojstva, primjene i označavanje materijala cinka, olova, kositra, mangana, kroma, nikla, molibdena, volframa i vanadija
<b>3. Polimeri</b>	Sustav polimera, podjela i označavanje polimera Elastomeri, plastomeri, duromeri Poliamidi Prepoznavanje polimera Primjena polimera u strojarstvu i elektrotehnici	Definirati polimere i njegove podije Prepoznati vrste polimera Definirati primjenu polimera u praksi Usporediti vrste polimera Usporediti svojstva materijala

<p><b>4. Ostali materijali u strojarstvu</b></p>	<p>Sintetizirani materijali Materijali za brušenje i poliranje Sredstva za podmazivanje i hlađenje Prirodni materijali</p>	<p>Procijeniti koji bi materijal bio pogodan za brušenje Procijeniti koji bi materijal bio pogodan za poliranje Odabrati prigodno sredstvo za podmazivanje i hlađenje Prepoznati prirodne materijale</p>
<p><b>5. Ostali materijali u elektrotehnici</b></p>	<p>Poluvodički materijali Materijali za hlađenje Plinovi i tekućine u elektrotehnici Kemijski izvori EMS</p>	<p>Definirati poluvodičke materijale Odrediti gdje se primjenjuju poluvodički materijali Navodi plinove i tekućine u elektrotehnici Definira kemijske izvore EMS</p>
<p><b>6. Izbor tehničkih materijala</b></p>	<p>Izbor prema normama vrste, oblika i dimenzije Izbor sa stanovišta funkcije</p>	<p>Razviti osjećaj za racionalno korištenje materijala Služiti se normama</p>
<p><b>7. Rukovanje materijalima i zaštita okoline</b></p>	<p>Pravilno rukovanje u cilju zaštite materijala Pravilno rukovanje u cilju zaštite ljudi Nastajanje otpadnog materijala i uklanjanje</p>	<p>Razviti osjećaj za očuvanje okoline Koristiti se pravilima zaštite na radu Pravilno rukovati alatima</p>

### **3.2. Priprema za nastavu**

SVEUČILIŠTE U RIJECI

PRIPREMA  
ZA IZVOĐENJE NASTAVE

**Škola:** Tehnička škola

**Mjesto:** Rijeka

**Razred:** 1.

**Zanimanje:** tehničar za mehatroniku

**Nastavni predmet:** tehnički materijali

**Kompleks:** Polimeri

**Metodička nastavna jedinica:** Poliamidi

**SADRŽAJNI PLAN****Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)**

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	Sustav polimera, podjela i označavanje polimera	2	
2.	Elastomeri, plastomeri, duromeri	2	
3.	<b>Poliamidi</b>	1	
4.	Prepoznavanje polimera	1	
5.	Primjena polimera u strojarstvu i elektrotehnici	1	

**Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice**

Formativni karakter – obrada novog nastavnog sadržaja zbog poučavanja učenika o poliamidima, odnosno o vrstama poliamida, njegovim svojstvima te primjerna u praksi.

***Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):*****ZNANJE I RAZUMIJEVANJE:**

Učenik će moći:

- Objasniti pojam poliamid
- Navesti podjele poliamida
- Nabrojati primjenu poliamida u praksi
- Definirati postupak dobivanja poliamida

**VJEŠTINE I UMIJEĆA:**

Učenik će moći:

- Prepoznati o kojem se poliamidu radi ovisno o definiranim svojstvima
- Doći do zaključka o svojstvima nakon odrađenog pokusa

**SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST:**

Učenik će moći:

- Slijediti upute dane za izradu eksperimenta koja se nalazi na operacijskom listu
- Samostalno izvoditi ispitivanje poliamida u raznim uvjetima

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
Uvod	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ponavljanje gradiva prethodnih nastavnih satova</li> <li>- Najava novog gradiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metoda razgovora</li> <li>- Dijalog s učenicima</li> </ul>	5
Glavni dio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obrada novog nastavnog sadržaja o poliamidima (definicija, primjeri, primjena, svojstva)</li> <li>- Zadavanje praktičnog zadatka – učenicima se dijeli operacijski list za provedbu eksperimenta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Predavanje o poliamidima</li> <li>- Pojašnjavanje operacijskog lista</li> </ul>	25
Završni dio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refleksija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refleksija i učeničko samovrednovanje</li> </ul>	15

***Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:***

**Nastavna sredstva:**

- PowerPoint prezentacija
- Radni materijal

**Nastavna pomagala:**

- Računalo
- Ploča
- Projektor
- Marker za ploču

**Ostali materijalni uvjeti:**

- Digitalna mikro vaga
- Poliamid uzorak materijala

***Korelativne veze s ostalim predmetima i međupredmetnim temama:***

Učiti kako učiti:

D.4/5.2. Učenik ostvaruje dobru komunikaciju s drugima, uspješno surađuje u različitim situacijama i spreman je zatražiti i ponuditi pomoć.

***Metodički oblici koji se primjenjuju i povezanost s ishodima iz kurikuluma:*****1. Uvodni dio**

- Ponavljanje prethodno obrađivanog gradiva
- Uvođenje u novo gradivo

**2. Glavni dio**

- obrada novog nastavnog sadržaja

**3. Završni dio**

- refleksija učenika

## TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD

## POČETNI DIO

Na početnome dijelu sata nastavnik pozdravlja učenike te pokreće računalo na kojem će pokrenuti PowerPoint prezentaciju. Zapisuje izostanke učenika u e-dnevnik. Nakon upisanih izostanaka nastavnik započinje s ponavljanjem gradiva s prošlog nastavnog sata te postupno najavljuje temu današnjeg nastavnog sata, odnosno gradiva koje će se obrađivati. Zapčinje se s općenitim pitanjima što su to polimeri, kako ih dobivamo te ono najbitnije gdje se mogu primjenjivati. Svo ponavljanje se održava kroz razgovor s učenicima, gdje se stavlja na fokus njihovo zaključivanje dok ih nastavnik samo navodi. Navođenjem i podjelom podvrsta lagano se upoznaju s temom sata. Nakon što je obavljeno ponavljanje prelazi se na glavnu temu nastavnog sata, a to su poliamidi.

## SREDIŠNJI DIO

## POLIAMID

Po završetku uvodnog dijela sata nastavnik predavanjem objašnjava učenicima što su to poliamidi. Poliamidi su plastomerni materijali koji se sastoje od slabih kiselina te amino grupe. Oni se dijele na više podvrsta od kojih su neke polamid PA 6, poliamid PA 6,6. koje će se u nastavku obrađivati. Načelom postupnosti nastavnik obrađuje gradivo te uz pomoć prezentacije na projektoru prikazuje tu vrstu materijala te na taj način potiče načelo zornosti kod učenika. Bitna napomena da su podvrste imenovane s obzirom na broj monomera od kojih se sastoje. Pa za primjer PA 6,6 što znači da se sastoji od dva monomera dok se PA 6 sastoji samo od jednog monomera. Nakon toga se prelazi na podvrste poliamida.



## POLIAMID PA 6

Nakon početka obrade poliamida PA 6 nastavnik definira postupak nastajanja. Taj postupak se provodi na dva načina. Kontinuirani te diskontinuirani postupak. Zatim, potiče rad s učenicima te ih pita zašto poliamid PA 6 ima samo jednu oznaku, a ne dvije. Nakon odgovora nastavlja s objašnjavanjem postupka nastanka. Bitno je zapamtiti da se postupak odvija na temperaturama do 300 °C te da je postupak dugotrajan i može trajati do 300 sati. Po završetku definiranja postupaka nastajanja poliamida nastavnik pušta učenicima video zapis u kojem mogu vidjeti zapravo taj postupak. Na taj način im potiče načelo zornosti, a i učenicima se predočava zašto je bitno da oni to znaju te zašto oni to uče. Obradom poliamida PA 6 kreće se na obradu poliamida 6.6.

## POLIAMID 6.6

Poliamid 6.6 je druga podvrsta koja kao i PA 6 ima odlična svojstva te rasprostranjenu upotrebu. U mnogo čemu se može uspoređivati sa poliamidom PA 6 ali ima i znatno bolja mehanička svojstva poput tvrdoće te otpornosti na trošenje. Nastavnik metodom razgovora pokušava potaknuti učenike na sudjelovanje u radu te one koji daju odgovor pohvaljuje s namjerom motiviranja ostatka razreda. Pokušava ih uključiti s pitanjima poput koja svojstva su poželjna za uvijete gdje se događaju konstantna naprezanja, kada je prisutno trošenje. Nadalje se obrađuje kako nastaje PA 6.6 tj. koja je razlika u odnosu na PA 6. Nastavnik navodi da poliamid PA 6.6 nastaje postupkom polimerizacije adipinske kiseline te diaminoheksana tijekom kojih dolazi do stvaranja linearnih lanaca molekula.

## UPUTE ZA SEMINARSKI RAD

Nakon obrade cjeline nastavnik učenicima prezentira zadatak za seminarski rad kojeg moraju izraditi. Naglašava da će dobiti svatko materijal poliamid PA 6 te da će imati vremenski rok od mjesec dana da odrade eksperiment i da na osnovu toga naprave rad koji će se sastojati od dobivenih rješenja. Na taj način nastavnik uključuje učenike u rad kako bi stekli samostalnost te odgovornost prema radu. Nakon toga učenicima dijeli materijale potrebne za rad te dokumentaciju vezanu za izvođenje eksperimenta. Po završetku podjele započinje se pojašnjavanje dokumentacije. Eksperiment traje 28 dana te je vaš zadatak da prema navedenim vremenskim intervalima mjerite vrijednosti mase uzorka i da bilježite njegovu promjenu. Nakon što završite s eksperimentom zadatak vam je da nacrtate dijagrame apsorpcije te da na osnovu tog dijagrama donesete zaključak vezan za poliamid PA 6.

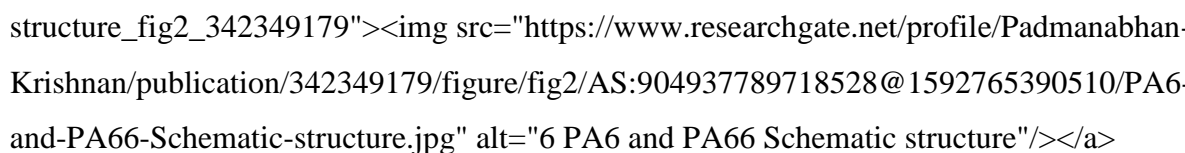
## ZAVRŠNI DIO

U završnom dijelu sata nastavnog sata koji traje oko 10 minuta odrađuje se refleksija obrađivanog sadržaja nastavnog sata. Kao refleksija učenicima se daju pitanja na koja odgovaraju.

### Pitanja:

1. Što su to poliamidi?
2. Koje dvije podvrste poliamida smo radili i što im znače oznake?
3. Usporedite oba poliamida.
4. Gdje se sve primjenjuju poliamidi?
5. Koje su prednosti, a koji nedostaci upijanja vlage kod poliamida?

## LITERATURA

- [1] Seminarski rad Poliamidi, Almedina Brajić, Midheta Đuvić, Tarik Sakić; Tuzla 2016  
<https://www.scribd.com/doc/314180318/POLIAMIDI-docx>
- [2] Modificiranje poliamida 6; Rakvin, Marko; Diplomski rad, 2009. Sveučilište u Zagrebu  
<https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A430/datastream/PDF/view>
- [3] Seminarski rad POLIAMDI; Hodžić Irma, Ahmentović Harun; Tuzla, 2021.
- [4] <https://www.scribd.com/doc/260400645/poliamidi>
- [5] Water absorption by polyamide (PA) 6 studied with two-trace two-dimensional (2T2D) near-infrared (NIR) correlation spectroscopy; Hideyuki Shinzawa; Junji Mizukado, AIST, Japan  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022286020307146>
- [6] PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SELF REINFORCED FIBRE POLYMER COMPOSITES WITH EMPHASIS ON THE FIBRE/MATRIX INTERFACE  
Doctor of Philosophy - Scientific Figure on ResearchGate. Available from:  
[https://www.researchgate.net/figure/PA6-and-PA66-Schematic-structure\\_fig2\\_342349179](https://www.researchgate.net/figure/PA6-and-PA66-Schematic-structure_fig2_342349179)  
[accessed 12 Dec, 2023]
- [https://www.researchgate.net/figure/PA6-and-PA66-Schematic-structure\\_fig2\\_342349179](https://www.researchgate.net/figure/PA6-and-PA66-Schematic-structure_fig2_342349179)  
The image is a schematic diagram showing the chemical structures of polyamide 6 (PA6) and polyamide 66 (PA66). It illustrates the repeating units of these polymers, highlighting the differences in their chain lengths and the presence of methylene groups in PA66 compared to PA6.
- [7] [https://si.openprof.com/wb/poliamidi\\_za\\_osnovno\\_%C5%A1olo\\_vaja\\_1?ch=2536](https://si.openprof.com/wb/poliamidi_za_osnovno_%C5%A1olo_vaja_1?ch=2536)