

# Alkalna hidroliza poliesterske tkanine pri niženoj temperaturi

---

Šeparović, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*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:201:624726>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO

**ZAVRŠNI RAD**  
**Alkalna hidroliza poliesterske tkanine pri  
sniženoj temperaturi**

Nikolina Šeparović

Zagreb, rujan 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO  
PROJEKTIRANJE I MENADŽMENT TEKSTILA

**ZAVRŠNI RAD**  
**Alkalna hidroliza poliesterske tkanine pri  
sniženoj temperaturi**

Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk

Nikolina Šeparović

Zagreb, rujan 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

**Institucija:** Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

**Sveučilišni preddiplomski studij:** Tekstilna tehnologija i inženjerstvo

**Smjer:** Projektiranje i menadžment tekstila

**Rad je izrađen u:** Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju

**Student:** Nikolina Šeparović

**Matični broj (broj indeksa):**10560/TTI

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk

Broj stranica: 47

Broj tablica: 38

Broj slika : 19

Broj literaturnih referenci: 17

Jezik teksta: hrvatski

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. Izv. prof. dr. sc. Sandra Flinčec Grgac, predsjednica
2. Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk, mentorica, članica
3. Dr. sc. Snježana Brnada, znanstvena suradnica, članica
4. Doc. dr. sc. Tihana Dekanić, zamjenica članice

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



Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8780 *Bolničke zaštitne tekstilije*.

Istraživanje je u okviru znanstveno-istraživačkog projekta *Bio-inovirani poliesteri* u sklopu zajedničke hrvatsko-srpske suradnje u trajanju od 1. svibnja 2019. do 30. travnja 2021. godine.

## **ZAHVALE**

*Veliku zahvalnost upućujem svojoj mentorici prof.dr.sc. Aniti Trbuk. Iznimno Vas cijenim i veliko hvala na iskazanom povjerenju i vodstvu, hvala što ste mi omogućili svu potrebnu opremu, pomoć i savjetovanje pri izradi mog završnog rada. Hvala Vam što ste uvijek našli vremena i imali strpljenja za sva moja pitanja i pomoć koja mi je bila potrebna.*

*Hvala i asistentici Ivani Čorak na predanoj pomoći i asistenciji pri izradi rada.*

*Veliko hvala mojoj obitelji koja je uvijek bila uz mene i vjerovala u moj uspjeh, bez Vas, vaše podrške i ljubavi ništa nebi bilo moguće a ni potpuno.*

*Hvala ti Z., što si bio uz mene.*

*Hvala mojim prijateljima i kolegama bez kojih također ovo nebi bilo potpuno.*

## Sažetak

**Nikolina Šeparović:**

### **ALKALNA HIDROLIZA POLIESTERSKE TKANINE PRI SNIŽENOJ TEMPERATURI**

*Hidrolizu poliestera tradicionalno se provodi pomoću lužine pri temperaturi višoj od 100°C. U svrhu ekonomičnosti i energetske uštede u završnom radu je istražena mogućnost hidrolize poliestera pri sniženoj temperaturi. U tu su svrhu dvije poliesterske tkanine – standardna i komercijalna hidrolizirane u rasponu temperature od 70 do 90 °C. Ispitano je djelovanje kationskog tenzida heksadeciltrimetil amonijevog klorida (HDTMAC) kao akceleratora reakcije. Na tako hidroliziranim tkaninama prema normiranim metodama ispitana je prekidna sila i istezanje, gubitak mase, bjelina, požućenje i sposobnost upravljanja vlagom. Rezultati su uspoređeni s neobrađenim uzorkom i referentnim uzorkom, alkalno hidroliziranim na 100 °C. Pokazalo se da je moguće provesti alkalnu hidrolizu pri nižoj temperaturi uz dodatak akceleratora. Obrada na 80 °C uz dodatak HDTMAC u vremenu 30 min za standardnu i 10 min za komercijalnu poliestersku tkaninu daju najbolje rezultate, a takav proces je energetski i ekonomski održiv.*

**Ključne riječi:** *hidroliza poliestera, heksadeciltrimetil amonijev klorid, prekidna sila, bjelina, sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom*

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Poliestersko vlakno .....	2
2.2. Poliesterska vlakna od poli(etilen-tereftalata), PET .....	5
2.3. Modifikacije poliesterskih vlakana alkalnom hidrolizom .....	6
2.4. Tenzidi .....	7
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	10
3.1. Zadatak rada.....	10
3.2. Materijal i postupci obrade.....	10
3.2.1. <i>Tkanine</i> .....	10
3.2.2. <i>Postupak obrade</i> .....	10
3.3. Mjerne metode .....	12
3.3.1. <i>Određivanje gubitka površinske mase uzorka</i> .....	12
3.3.2. <i>Određivanje mehaničkih karakteristika</i> .....	12
3.3.3. <i>Mjerenje bjeline</i> .....	13
3.3.4. <i>Sposobnost upravljanja vlagom</i> .....	14
4. REZULTATI S RASPRAVOM.....	16
4.1. Standardna poliesterska tkanina .....	16
4.2. Komercijalna PET tkanina.....	28
5. RASPRAVA .....	40
6. ZAKLJUČAK .....	45
7. LITERATURA.....	46

---



## 1. UVOD

Poliesterska vlakna (PES) su najzastupljenija umjetna vlakna na tržištu. Radi izrazite kristaličnosti standardni tipovi poliesterskih vlakana su skloni su pilingu, prljanju, nabijanju statičkim elektricitetom, teško se dorađuju iz vodenih kupelji jer slabo apsorbiraju vlagu što uzrokuje i neudobnost odjeće pri nošenju u vrućim ljetnim danima. Ciljanim modifikacijama se svi ti nedostaci mogu smanjiti ili ukloniti. Tradicionalno se površina poliestera modificirala alkalnom hidrolizom i aminolizom, no ovi postupci su ekološki i energetske neprihvatljivi. Alkalna hidroliza je ekološki prihvatljivija od aminolize, ali se provodi pri temperaturi višoj od 100 °C. Upravo iz razloga ekonomičnosti i energetske uštede u završnom radu je istražena mogućnost hidrolize poliestera pri sniženoj temperaturi.

## 2. TEORIJSKI DIO

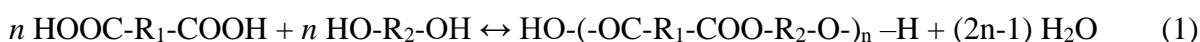
### 2.1. Poliestersko vlakno

Poliesterska vlakna (oznaka PES) skupni je naziv za najzastupljenija umjetna vlakna izgrađena od sintetskih polimera. Prema različitim procjenama, poliesterska vlakna čine oko 60% tržišta tekstila. Obuhvaćaju vlakna od poli(etilen-tereftalata), kratica PET, poli(butilen-tereftalata), kratica PBT i poli(1,4-dimetilencikloheksil-tereftalata), kratica PCDT. Izgrađena su od linalnih makromolekula koje sadržavaju najmanje 85% (po masi) estera tereftalne kiseline i nekog diola. Esterske (-CO-O-) veze povezuju konstrukcijske jedinice, po kojima je cijela skupina dobila ime. 1947. godine engleska tvrtka ICI proizvela je prvo poliestersko vlakno nazvano Terylene, a nešto kasnije pojavljuje se na američkom području poznato pod nazivom Dacron. Tijekom godina proizvodnja poliesterskih vlakana proširila se i diljem svijeta, također se neprestalno i intenzivno razvija i nastaju nizovi različitih tipova vlakana specifičnih svojstava za raznorazne namjene te vode prvo mjesto u skupini umjetnih vlakana. [1, 2]

Kondenzacijskom polimerizacijom iz dikarboksilne kiseline (ili njenog estera) i dialkohola (diola) dobivamo poliesterski polimer za proizvodnju vlakana, pri tom se najčešće koriste tereftalna kiselina (TPA), dimetiltereftalat (DMT), 1,2-etandiol, 1,4-butandiol, 1,4-cikloheksadimetilol. Poliester je termoplastičan pa se vlakna ispredaju iz taline i to na temperaturi u području 290-315°C. U primjeni su postupci različitog stupnja povezanosti pojedinih proizvodnih faza i procesa te različitih brzina ispredanja, koji se međusobno razlikuju i po brojem procesima i parametrima. Talina ekstrudira kroz mlaznicu, zatim se skrućuje hlađenjem zrakom, te se nakon nanošenja preparacija i vlaženja udružuju u filamentnu pređu uz lagano uvijanje. [1-4]

Sintetske metode dobivanja [3]:

A. Kondenzacija dikarboksilnih kiselina i diola



Za dobivanje poliestera velikih molekularnih masa kondenzacijom dikarboksilnih kiselina i diola, uz stehiometrijsku prisutnost funkcionalnih skupina potrebno je odstraniti vodu. Stehiometrijski omjeri reaktanata narušavaju se pri visokim temperaturama uz prisutnost kiselih katalizatora i dolazi do sporednih reakcija.

#### B. Reakcije kondenzacije anhidrida kiselina i dialkohola

Reakcije koje služe za dobivanje nezasićenih poliestera. Najčešće reakcija anhidrida maleinske kiseline s glikolima.

#### C. Alkoholiza ili transesterifikacija

Reakcija zamjene organske grupe estera R s organskom grupom alkohola R'. Ovom metodom sintetiziraju se aromatski poliesteri.



#### D. Kondenzacija kiselinskih klorida s dialkoholima (Schotten-Baumannova reakcija)



Reakcija za sintezu amida iz amina i kiseline klorida, vrlo brza reakcija, ne zahtjeva ekvimole koncentracije funkcionalnih skupina. [2]

#### E. Reakcija kopolimerizacije kiselinskih anhidrida s cikličkim eterima

Koriste se samo za proces molekularnog umrežavanja epoksidnih smola.

#### F. Polimerizacija laktona

Polimerizacija laktona koristi se za dobivanje poliestera najvećih molekularnih masa. Rijetko se komercijalno koristi.

Svojstva poliesterskih vlakana uvelike ovise o procesnim parametrima sinteze polimera, ispredanja i naknadne obrade vlakana. Također je važan čimbenik i kemijski sastav. Kod mehaničkih svojstava poliesterskih vlakana čvrstoća i produljenje vlakana ne ovisi samo o molekularnoj strukturi već i o procesu istezanja i termičke obrade tijekom procesa ispredanja. Nakon istezanja, poliesterski makromolekularni lanci mogu podnijeti vanjske sile ravnomjerno, tako da se snaga povećava čvrstoća. Vlačna svojstva poliesterskih vlakana variraju ovisno o parametrima proizvodnog procesa. Poliester se može proizvesti s različitim karakteristikama, na primjer, s visokom izdržljivošću i niskom rastezljivošću ili niskom izdržljivošću i velikom rastezljivošću. [1, 4, 5]

Vlasasta vlakna općenito imaju manju čvrstoću (25-40 cN/tex) i nešto veću prekidnu istezljivost (25-50%) s obzirom na filamentna vlakna (40-60 cN/tex, 20-30%). Poliesterska vlakna imaju vrlo dobru otpornost na savijanje, a na habanje su otpornija od većine drugih prirodnih i kemijskih vlakana. [1, 4, 5]

Kemijska svojstva poliesterskih vlakana povezana su sa njihovom molekularnom strukturom. Poliesterska vlakna imaju dobru otpornost na kiseline i dobru stabilnost na neorganske i organske kiseline, međutim otpornost vlakana na alkalije vrlo je slaba. Makromolekule na površini vlakana hidroliziraju pod djelovanjem koncentrirane alkalije ili vruće razrijeđene alkalne otopine. Na taj način postiže se mekoća i finoća poliesterskih vlakana. [1, 4, 5]

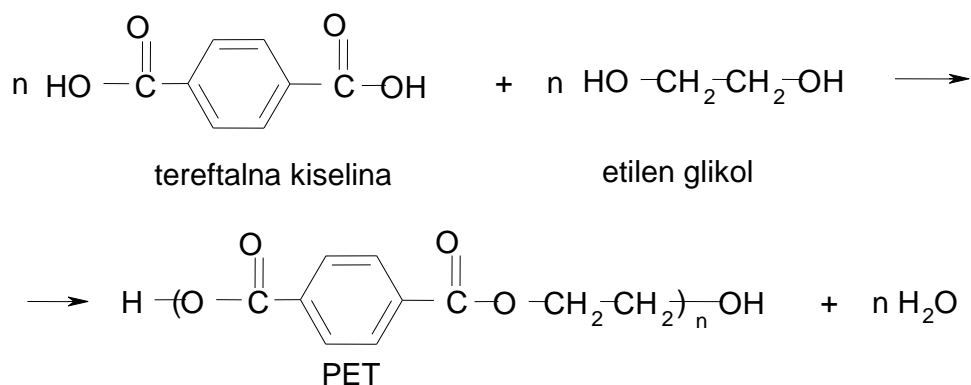
Poliesterska vlakna vrlo slabo upijaju vodu i vlagu iz zraka, repriza iznosi 0,4% . Zbog toga se vlakna teško bojadišu. Za bojadisanje su razvijeni posebni postupci uz primjenu disperznih bojila, vlakna dobro podnose i uobičajena sredstva za bijeljenje što je važno ako želimo obrađivati mješavine koje sadrže PES, jer se materijali od čistog poliestera kemijski ne bijeli. [1, 5]

Poliester je termoplastično vlakno. Termička otpornost poliesterskih vlakana vrlo je dobra. Omekšava na temperaturi iznad 230°C te se tali u području od 250 do 260°C. Vlakna brzo gore u plamenu i nakon vađenja iz plamena, a ostatak nakon gorenja je tvrda kuglica. PES je relativno otporan na UV zračenje, međutim tijekom duljeg izlaganja Suncu u vlaknu može doći do degradacijskih procesa uz kemijske promjene pri čemu dolazi do cijepanja makromolekularnih lanaca te umreživanja strukture. [1, 4, 5]

Još jedno dobro svojstvo poliesterskih vlakana je otpornost na mikroorganizme te na djelovanje bakterija, vlakna ne napadaju kukci i ne stvaraju se gljivice i pljesni. [1]

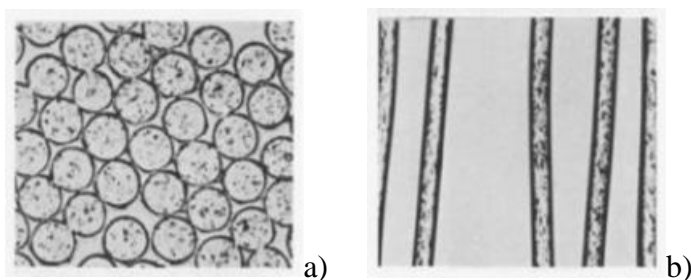
## 2.2. Poliesterska vlakna od poli(etilen-tereftalata), PET

Poli(etilen-tereftalat), oznaka PET, je jedno od najvažnijih vlakana za tekstilnu industriju. Dobiva reakcijom esterifikacije etilen glikola (EG) i tereftalne kiseline (TPA) ili iz etilenglikola i dimiltereftalata (DMT) reakcijom alkoholne transesterifikacije (sl.1). Polimerna molekula građena je od iste osnovne konstrukcijske jedinice neovisno od koje se reakcije (TPA ili DMT) PET dobiva. [1, 6-8]



Slika 1. Reakcija nastanka PET [8]

Prosječni stupanj polimerizacije, DP je 75 do 100, a relativna molekulska masa, Mr 20 000 do 30 000. Vlakna se ispredaju suhim postupkom iz taline PET-a uz istovremeno istežanje. To omogućuje bolju orijentaciju molekula unutar strukture vlakana, što pospješuje povezivanje susjednih molekula vodikovim i van der Waalsovima vezama. Vodikove veze nastaju između karbonilnih i metilenskih skupina polimernih molekula. Za poliesterska vlakna karakterističan je relativno veliki stupanj kristalnosti, osobito za vlakna od poli(etilen-tereftalata) koji ima udio kristalnih područja 65-85%. Kristalna građa vlakana pripada triklinskom sustavu s dimenzijama kristalne rešetke. Standardne tipove poliesterskih vlakana odlikuje glatka površina i kružan poprečni presjek (sl.2). [1, 7]



Slika 2. Poliestersko vlakno pod optičkim mikroskopom: a) poprečni b) uzdužni presjek [1]

Čvrstoća, otpornost na habanje, otpornost na djelovanje kemikalija, svjetlosti i mikroorganizama, otpornost na gužvanje, dimenzijska stabilnost, brzo sušenje, jednostavnost njege, jedno su od dobrih svojstava koje karakteriziraju PET vlakna, za jednostavan proces proizvodnje, široku primjenu i zastupljenost na tržištu. [1, 4-6]

Uz dobra svojstva PET vlakna imaju i ona nepovoljna. Nedostatak polarnih skupina u polimernom lancu veže za PET vlakna svojstvo hidrofobnosti koja uzrokuje sklonost prljanju. Također, vlakna karakterizira niska apsorpcija vlage, sposobnost akumuliranja elektrostatičkih naboja na površini i sklonost stvaranju isprepletenih snopova vlakana na površini tkanine (tzv. piling). [9]

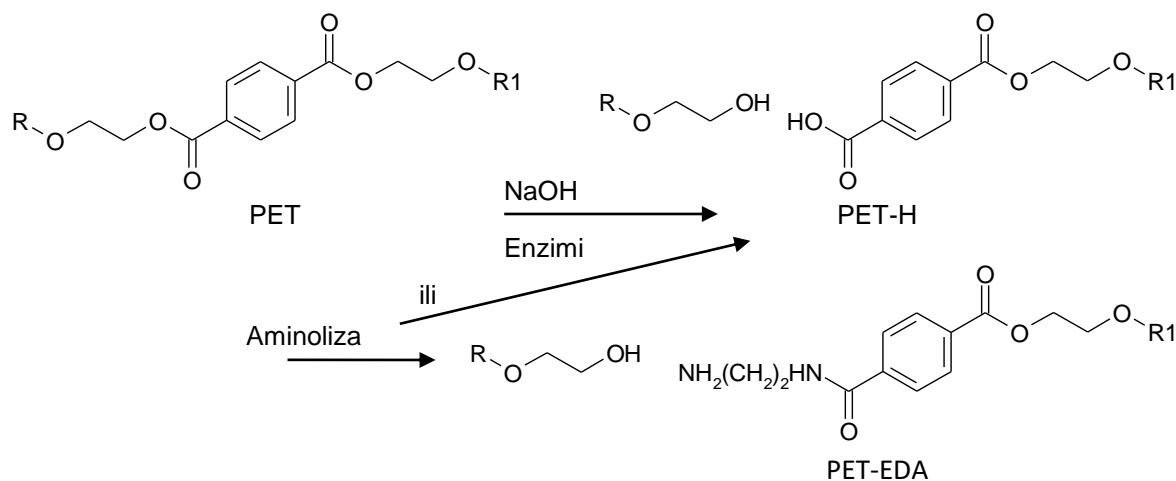
PET vlakna u tekstilnoj industriji proizvode se kao sjajna, poluzagasita i zagasita. Proizvode se u brojnim proizvodnim oblicima od glatkih i teksturiranih multifilamentnih pređa, vlasatih vlakana različitih duljina i finoća koje su namijenjene za mješavinu s prirodnim vlaknima, tipova vlakana za izradu tepiha i podnih obloga, raznih vrsta netkanog tekstila do monofilamenata i rovinga za primjenu u tehnološkom tekstilu. [1]

### **2.3. Modifikacije poliesterskih vlakana alkalnom hidrolizom**

Alkalna hidroliza tkanine iz poli(etilen-tereftalata) je površinska modifikacija koja se provodi s otopinom NaOH pri čemu dolazi do reakcije s polimerom, rezultat koje je tzv. ljuštenje površine (sl.3). Takva obrada donosi povećanu finoću, hidrofilnost, apsorptivnost, mekoću te lako održavanje. [7-13] Može se odvijati s NaOH i KOH koncentracije 4-20%. Kao takva, obrada je imala široku primjenu sve do pojave novih poliesterskih vlakana, mikrovlakana finoće manje od 1dtex. Sve više dolazi do primjene enzima u modifikaciji površine upravo zbog negativnog učinka hidrolize na čvrstoću PET materijala. Enzimaska modifikacija poboljšava hidrofilnost bez smanjenja čvrstoće materijala. [7]

U alkalnim uvjetima hidroksilni ion reagira s kisikom u karbonilnoj skupini estera dajući karboksilatnu i hidroksilnu skupinu. Visoko ionizirani anorganski spojevi (npr. NaOH) teško difundiraju u nepolarno PES vlakno, vlaknu se smanjuje promjer i gubi dio mase, a reakcija se zbiva na površini. [8] Reakcija započinje  $-OH$  ionom na djelomično pozitivno nabijenom C-atomu karbonilne skupine u lancu. Alkohol nastaje cijepanjem OR skupine vezanjem protonom iz vodene otopine, a vezanjem  $COO^-$  skupine s Na iz kupelji nastaje sol.

U kupelji za obradu dodaje se NaOH, sredstvo za kvašenje i ponekad kationaktivni tenzid kao akcelerator. [8] Postupak treba voditi tako da gubitak mase i pad prekidne sile budu minimalni. [7]



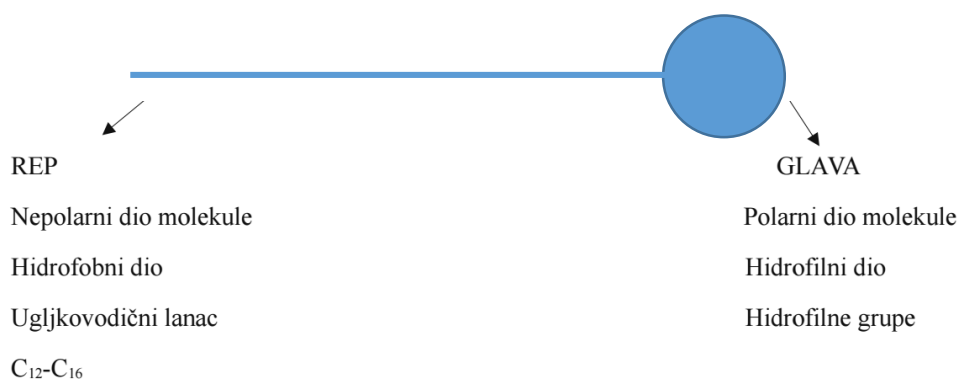
**Slika 3.** Strukturni prikaz aminolize i hidrolize PET-a [7]

Nedostaci alkalne hidrolize su visoke temperature za vrijeme postupka, također i upotreba jakih lužina koje uzrokuju nepovratna oštećenja, kao što su gubitak čvrstoće, požućenje tkanine, ako se postupak ne provodi pod strogo kontroliranim uvjetima te je visok i stupanj zagađenja okoliša. Optimalan gubitak mase iznosi između 10 i 20%, a pad prekidne sile (mehaničko oštećenje) do 35 %, [7-13]

## 2.4. Tenzidi

Tenzidi su površinske aktivne tvari, tvari koje smanjuju površinsku napetost kapljevine, smanjuju sile koje djeluju na graničnim plohama između dviju faza, čime se omogućuje nastajanje pjene, stvaranje vodene emulzije s kapljevina s kojima se voda inače ne mijena (npr. ulje) te vodene suspenzije s tvarima koje voda inače ne kvasi (npr. s masnoćom). Tenzidi su glavi sastojci deterdženata, koriste se kao emulgatori, omekšivači, za dezinfekciju, u kozmetici itd. [14-17]

Molekula tenzida sastoji se od dva dijela, jedan dio je hidrofoban, a drugi hidrofilan (sl.4).



**Slika 4.** Shematski prikaz molekule tenzida

Hidrofoban dio tenzida građen je od linearnog ili razgranatog ugljikovodičnog lanca koji je povezan s hidrofilnom grupom. [14, 15]

Zahvaljujući svojoj strukturi tenzidi imaju dvije važne osobine: adsorpciju i agregaciju (samoudruživanje). Adsorpcija je pojava da se na graničnoj površini između dviju faza sakupljaju molekule tenzida zbog suprotnih sila unutar iste molekule. Adsorpcija rezultira svojstvima kao što su topljivost, kvašenje, emulgiranje itd. Agregacija je druga važna osobina tenzida koja uzrokuje spontano i reverzibilno preslagivanje molekula tenzida u organizirane strukture. Povećanjem koncentracije tenzida u otopini, smanjuje se prostor na površini na kojoj se nalaze tenzidi te se monomerne jedinice počinjju nakupljati u većem broju. [16]

Prema hidrofilnim skupinama u strukturi molekula i njihovom elektrokemijskom ponašanju tenzidi se svrstavaju u četiri skupine:

- Anionski
- Kationski
- Neionski
- Amfoterni.

Anionski tenzid disocira u vodi tako što hidrofilni dio tenzida pokazuje anionske učinke, odnosno u vodenim otopinama daje negativno nabijene površinski aktivne organske ione. Ova vrsta tenzida čini 59% ukupne svjetske proizvodnje. [14, 16]

Samo 5-6% ukupno proizvedenih tenzida predstavljaju kationski tenzidi. Imaju jednu ili više funkcionalnih skupina koje u vodenim otopinama ioniziraju dajući pozitivno nabijene površinski aktivne organske ione. Najpoznatiji su kvaterni amonijeve spojevi, koji sadrže



najmanje jedan ugljikovodični lanac povezan sa pozitivno nabijenim dušikovim atomom, dok se druge alkilne skupine, kao metil ili benzil grupe, ponašaju kao supstituenti. Dobro podnose promjene pH, a u anaerobnim uvjetima su biorazgradivi. [16, 17]

Površinska aktivnost neionskih tenzida potječe iz njihove specifične strukture u kojoj se hidrofobni i hidrofilni dio molekule nalazi u ravnoteži. Kako nemaju nikakav naboj kompatibilni su i s anionskim i kationskim tenzidima. [17]

Amfoterni tenzidi ponašaju se kao kationski ili anionski tenzidi ovisno o uvjetima medija u kojem se nalaze, prvenstveno od pH vrijednosti otopine. Ako se nalaze u kiselom, prelaze u kationski oblik, dok u lužnatim otopinama prelaze u anionski oblik. [16]

Vežano uz hidrolizu poliestera, pokazalo se da neki kationski tenzidi djeluju kao dobri akceleratori ili katalizatori alkalne hidrolize [7, 12, 13].

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Zadatak rada

Zadatak ovog završnog rada je istražiti mogućnost alkalne hidrolize poliestera pri sniženoj temperaturi jer se tradicionalno provodi pri temperaturi višoj od 100°C. U svrhu ekonomičnosti i energetske uštede, u ovom radu istražena hidroliza dvije poliesterske tkanine - standardne i komercijalne, u rasponu temperature 70-90 °C. Istraživano je i djelovanje kationskog tenzida HDTMAC (heksdecil triametil amonijeva klorida) kao akceleratora reakcija, a rezultati su uspoređeni s neobrađenim uzorcima.

Nakon modifikacije alkalnom hidrolizom istražena su sljedeća svojstva PET tkanina:

- Gubitak mase
- Prekidna sila i produljenje
- Bjelina i indeks požućenja
- Sposobnost upravljanja vlagom.

#### 3.2. Materijal i postupci obrade

##### 3.2.1. Tkanine

U radu su modificirane standardna poliesterska tkanina te komercijalna tkanina izrađena od poliesterskih vlakana dobivenih od poli(etilen- tereftalata).

Komercijalna poliesterska tkanina tvrtke Belira, Banja Luka, BiH. Tkanina je proizvedena od 100 % poli(etilen-tereftalnog) vlakna (PET), površinske mase 60 g/m<sup>2</sup>.

Standardna poliesterska tkanina nabavljena je od WFK (30A, šifra 30000) površinske mase 170 g/m<sup>2</sup>.

##### 3.2.2. Postupak obrade

Alkalna hidroliza provedena je u kupelji u aparaturu za obradu Linitest (Original Hanau) (sl. 5). Linitest je univerzalan aparat za pranje, bojadisanje, valjkanje, piling, ispitivanje postojanosti na kemijsko čišćenje i dr.

U glikolnoj kupelji za zagrijavanje nalazi se nosač za 8 kružno poredanih hermetički zatvorenih kiveta od nehrđajućeg čelika u ležištima. Elektromotor s 40 o/min pokreće nosač uz mogućnost variranja temperature pomoću tri grijača snage 1,2 i 3 kW. U svaku kivetu Linitesta otpipetira se zadani volumen kupelji, uroni se uzorak te se obrađuje na zadanoj temperaturi u zadanom vremenu.



**Slika 5.** Linitest, Original Hanau

Standardna i komercijalna poliesterska tkanina modificirane su alkalnom hidrolizom u 1,5 mol/l NaOH bez i uz dodatak kationskog tenzida HDTMAC kao akceleratora u aparatu za obradu Linitest (Original Hanau) uz omjer kupelji OK 1:50.

Uvjeti obrade bez akceleratora:

- $T = 70, 80, 90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $t = 30\text{ i }60\text{ min}$

Uvjeti obrade uz akcelerator:

- 1 g/l HDTMAC
- $T = 70, 80, 90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $t = 5, 10, 15, 30, 45\text{ i }60\text{ min}$

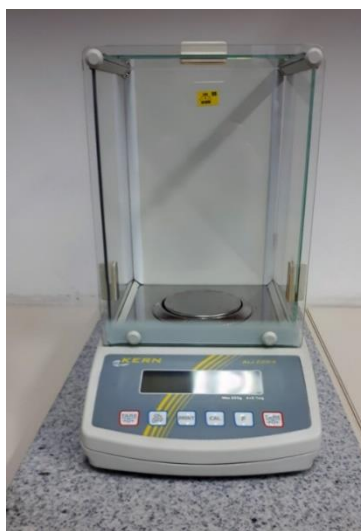
Obrada tkanina na temperaturi od  $100^{\circ}\text{C}$  provodila se u vremenu od 5, 10 i 15 min.

Nakon obrada provedeno je ispiranje u vrućoj, toploj pa zatim u hladnoj destiliranoj vodi; neutralizacija s 1% HCl, te ispiranje destiliranom vodom do pH 7.

### 3.3. Mjerne metode

#### 3.3.1. Određivanje gubitka površinske mase uzorka

Gubitak površinske mase ( $m$ ) [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] određen je vaganjem na digitalnoj vazi KERN, model ALJ 220-5DNM (sl.6) s točnošću mjerenja 0,0001 g prema HRN ISO 3801:2003 *Tekstil - Tkanine - Određivanje mase po jedinici duljine i mase po jedinici površine*, te je izračunat gubitak mase ( $\Delta m$ ).



Slika 6. Analitička vaga

Gubitak mase izračunat je prema formuli:

$$\Delta m = \frac{m_{\text{prije}} - m_{\text{poslije}}}{m_{\text{prije}}} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

gdje je  $m_{\text{prije}}$  - površinska masa uzorka prije obrade [g], a  $m_{\text{poslije}}$  – površinska masa poslije obrade [g].

#### 3.3.2. Određivanje mehaničkih karakteristika

Prekidna sila ( $F$ ) i prekidno istezanje ( $\epsilon$ ) izmjereni su prema HRN EN ISO 13934-1:2008 *Tekstilije – Vlačna svojstva plošnih tekstilija - 1. dio: Određivanje maksimalne sile i istezanja pri maksimalnoj sili metodom trake* na dinamometru Tensolab, MESDAN-LAB (sl.7).

Duljina uzorka iznosi 100 mm, a uzorci su mjereni samo po osnovi. Mjerenje je izvršeno pri brzini 100 mm/min. Prednapetost iznosi 2 N. Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost dva mjerenja.



**Slika 7.** Dinamometar MESDAN-LAB

### **3.3.3. Mjerenje bjeline**

Spektralna remisija poliesterskih tkanina prije i nakon hidrolize izmjerena je na remisijском spektrofotometru Spectraflash SF 300 tvrtke Datacolor (sl.8).



**Slika 8.** Remisijски spektrofotometar Spectraflash SF 300 PLUS-CT

Stupanj bjeline, W (eng. Whiteness) prema CIE je automatski izračunat:

$$W = Y + 800 (x_n - x) - 1700 (y_n - y) \quad (2)$$

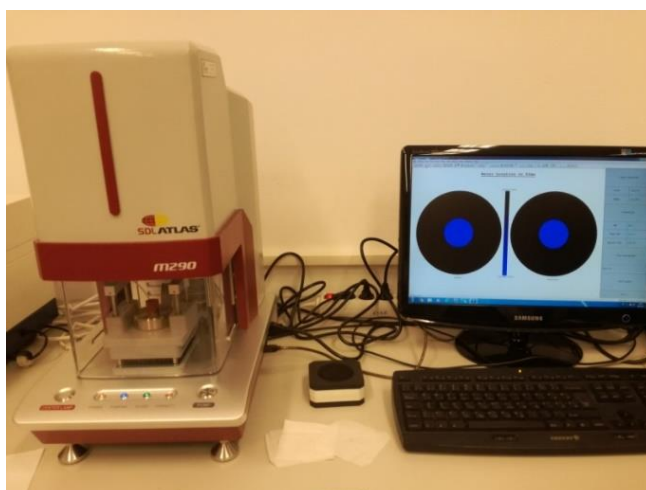
gdje x, y i Y predstavljaju koordinate boje za izvor svjetla D<sub>65</sub> standardnog promatrača, a x<sub>n</sub> i y<sub>n</sub> predstavljaju koordinate kromatičnosti za izvor svjetla, u skladu s HRN EN ISO 105-J02:2003 *Tekstil – Ispitivanje postojanosti obojenja – Dio J02: Instrumentalno određivanje relativne bjeline*.

Indeks požućenja, YI (eng. Yellowness Index), automatski se izračunava prema DIN 6167:1980-01 *Description of yellowness of near-white or near-colourless materials* pomoću sljedeće formule:

$$YI = \frac{x-y}{y} \cdot 100 \quad (3)$$

### 3.3.4. Sposobnost upravljanja vlagom

Evaluacija i klasifikacija sposobnosti prijenosa vlage, odnosno upravljanja kapljevitom vlagom, nakon obrade PET tkanina i ciklusa održavanja provedena je prema AATCC 195-2017 *Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics* na **Uređaju za ispitivanje sposobnosti prijenosa vlage** (Moisture management tester, MMT) tvrtke SDL Atlas (sl.9).



**Slika 9.** Uređaj za ispitivanje sposobnosti prijenosa vlage (Moisture management tester, MMT)

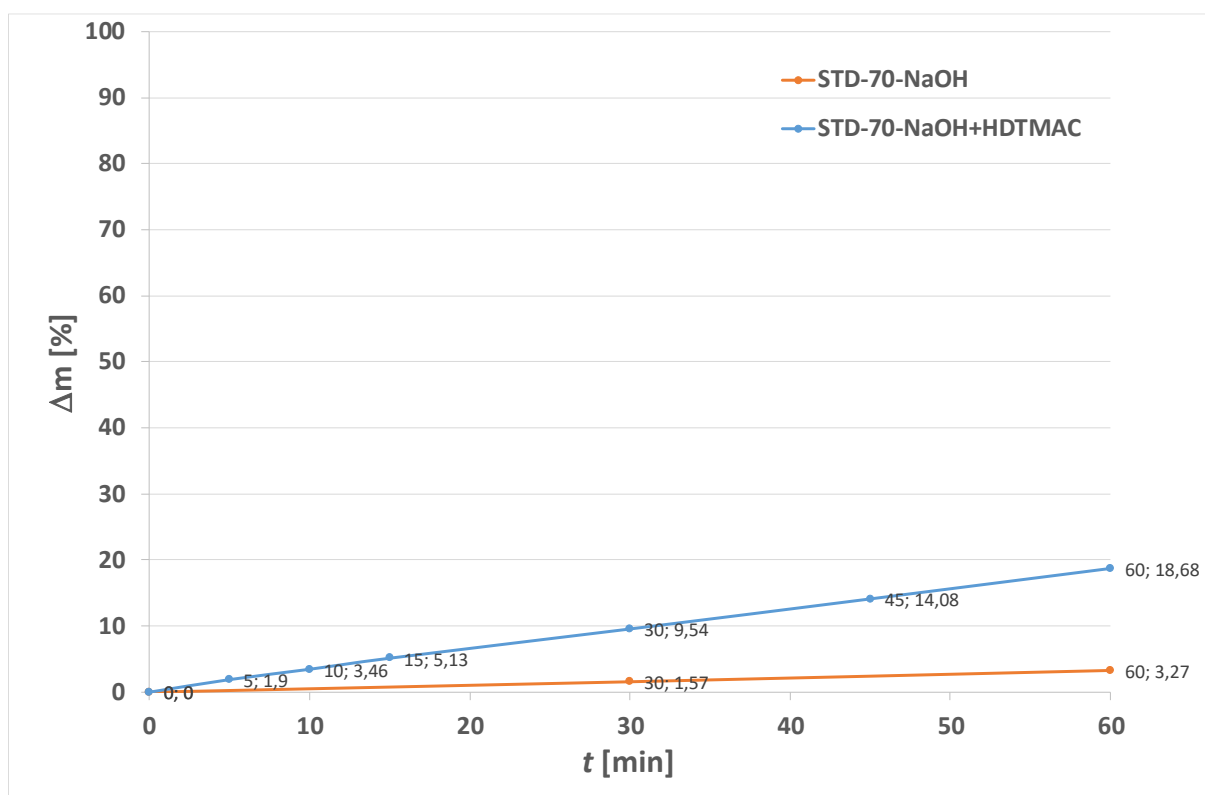
Rezultati su prikazani prosječnim vrijednostima uz koeficijent varijacije (CV) za svako mjereno svojstvo: vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT (s) ), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR (%/s) ); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR (mm) ), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS (mm/2) ), sve za gornju (top surface, T) i donju (bottom surface, B) površinu; akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R (%) ) i ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

## 4. REZULTATI S RASPRAVOM

U ovom radu istražena je modifikacija površine standardne i komercijalne poliesterske tkanine alkalnom hidrolizom uz djelovanje akceleratora pri sniženim temperaturama, u svrhu postizanja bolje ekonomičnosti i energetske uštede. Učinci su uspoređeni s neobrađenim uzorcima tkanina.

Rezultati gubitka površinske mase, prekidne sile i produljenja, pada prekidne sile nakon alkalne hidrolize na različitim temperaturama, stupanj bjeline i indeks požućenja te sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom prikazani su tablično i grafički. Rezultati za standardnu poliestersku tkaninu prikazani su na slikama 10.-14., te u tablicama 1-19. Rezultati za komercijalnu PET tkaninu prikazani su na slikama 15.-19., te u tablicama 20-38.

### 4.1. Standardna poliesterska tkanina

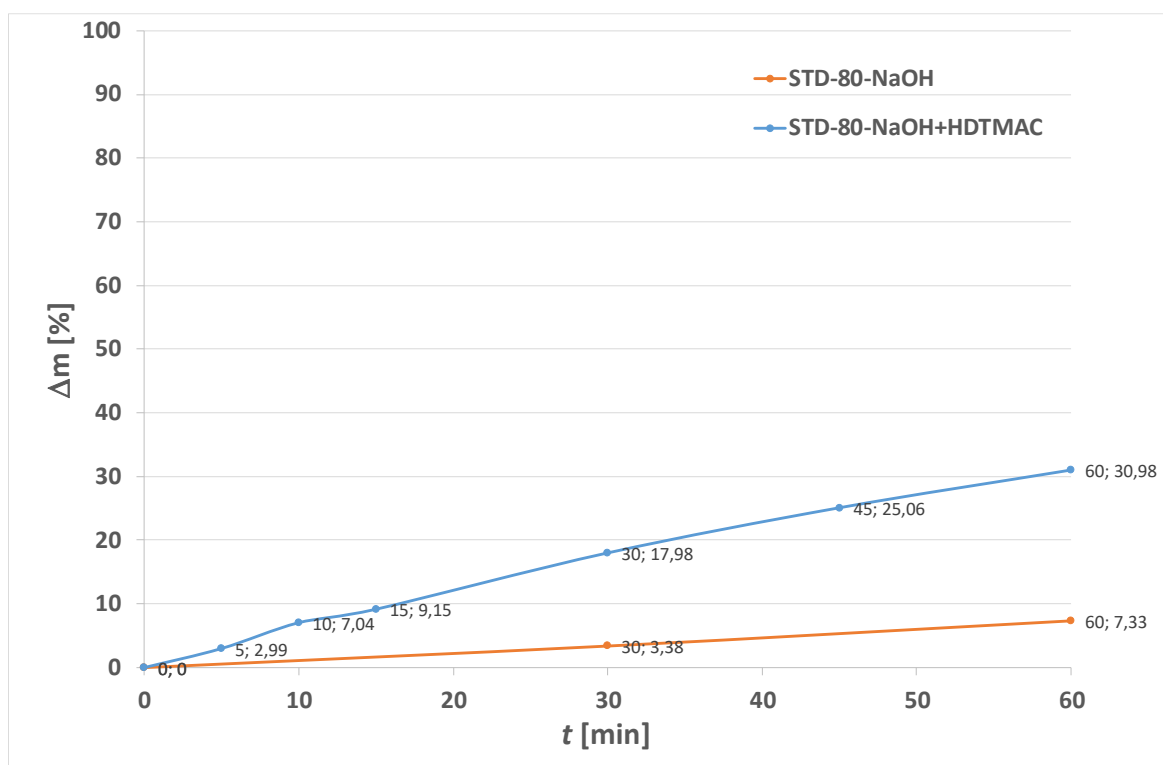


Slika 10. Gubitak površinske mase standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 70 °C

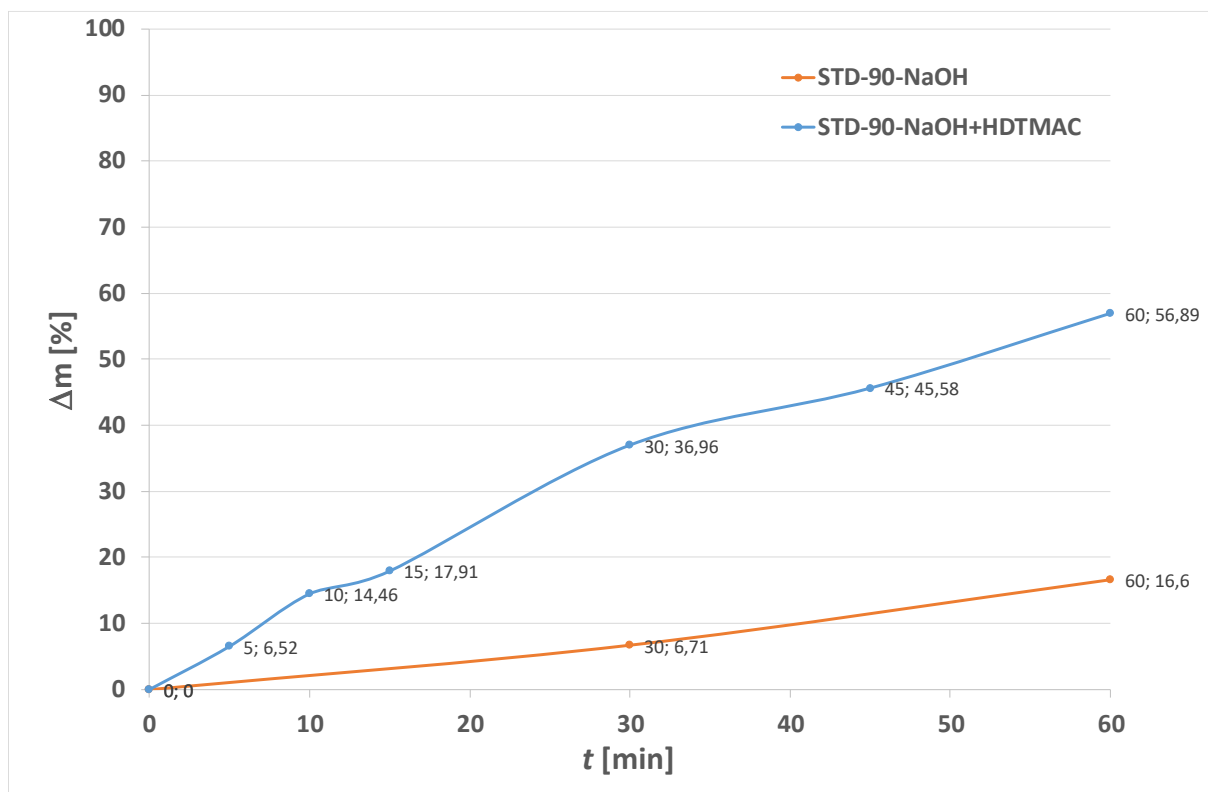


**Tablica 1.** Prekidna sila i produljenje standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 70 °C

Uzorak, 70°C	Vrijeme obrade	F [N]	$\epsilon$ [%]	t (s)
STD	0	1589,00	21,293	12,5
STD-NaOH	30	1503,5	20,243	12,2
	60	1439,0	19,656	11,9
STD-NaOH+HDTMAC	5	1547,5	21,252	12,9
	10	1399,0	23,350	14,2
	15	1353,0	19,831	12,0
	30	1247,5	17,908	10,9
	45	1227,0	17,936	10,9
	60	1160,5	19,022	11,4

**Slika 11.** Gubitak površinske mase standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 80 °C**Tablica 2.** Prekidna sila i produljenje standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 80 °C

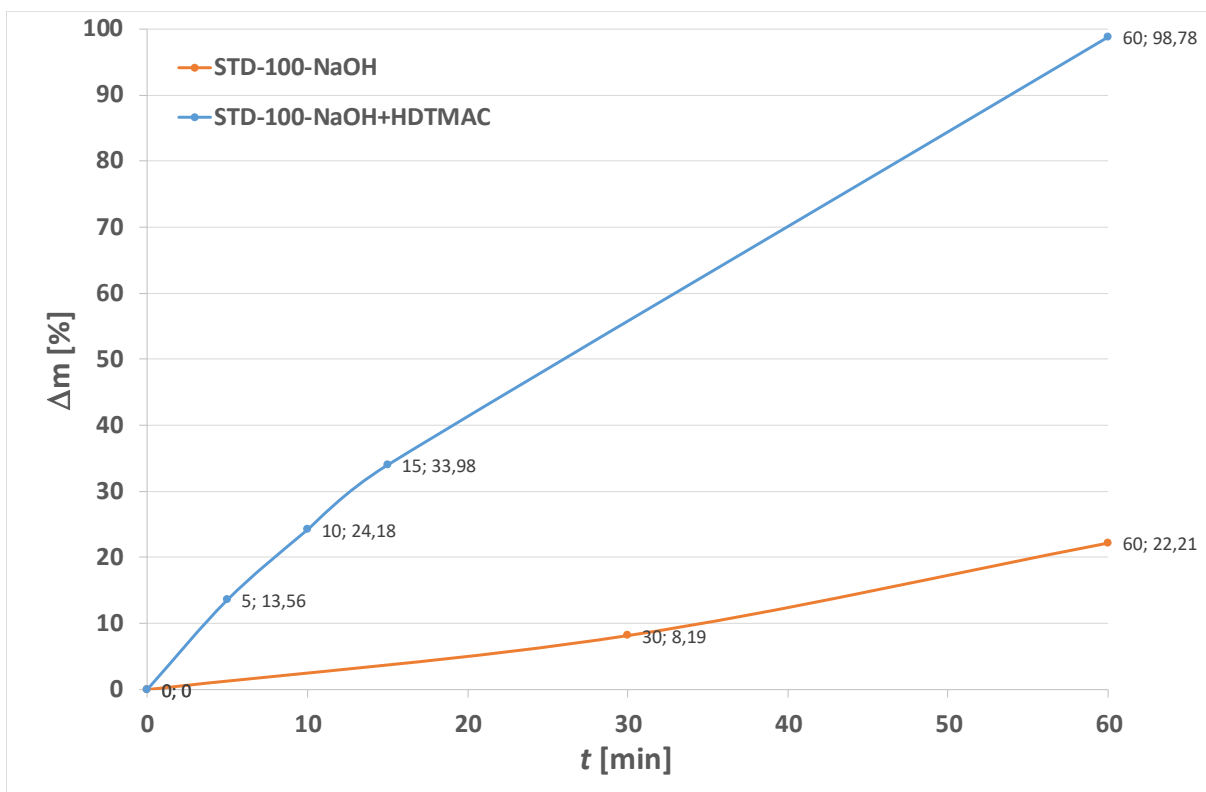
Uzorak, 80°C	Vrijeme obrade	F [N]	$\epsilon$ [%]	t (s)
STD	0	1589,00	21,293	12,5
STD-NaOH	30	1460,50	19,980	12,2
	60	1327,00	18,796	11,4
STD-NaOH+HDTMAC	5	1508,50	20,757	12,5
	10	1351,00	18,972	11,5
	15	1335,50	18,676	11,3
	30	1175,00	17,788	10,8
	45	972,50	15,813	9,6
	60	919,00	16,108	9,8



Slika 12. Gubitak površinske mase standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 90 °C

Tablica 3. Prekidna sila i produljenje standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 90 °C

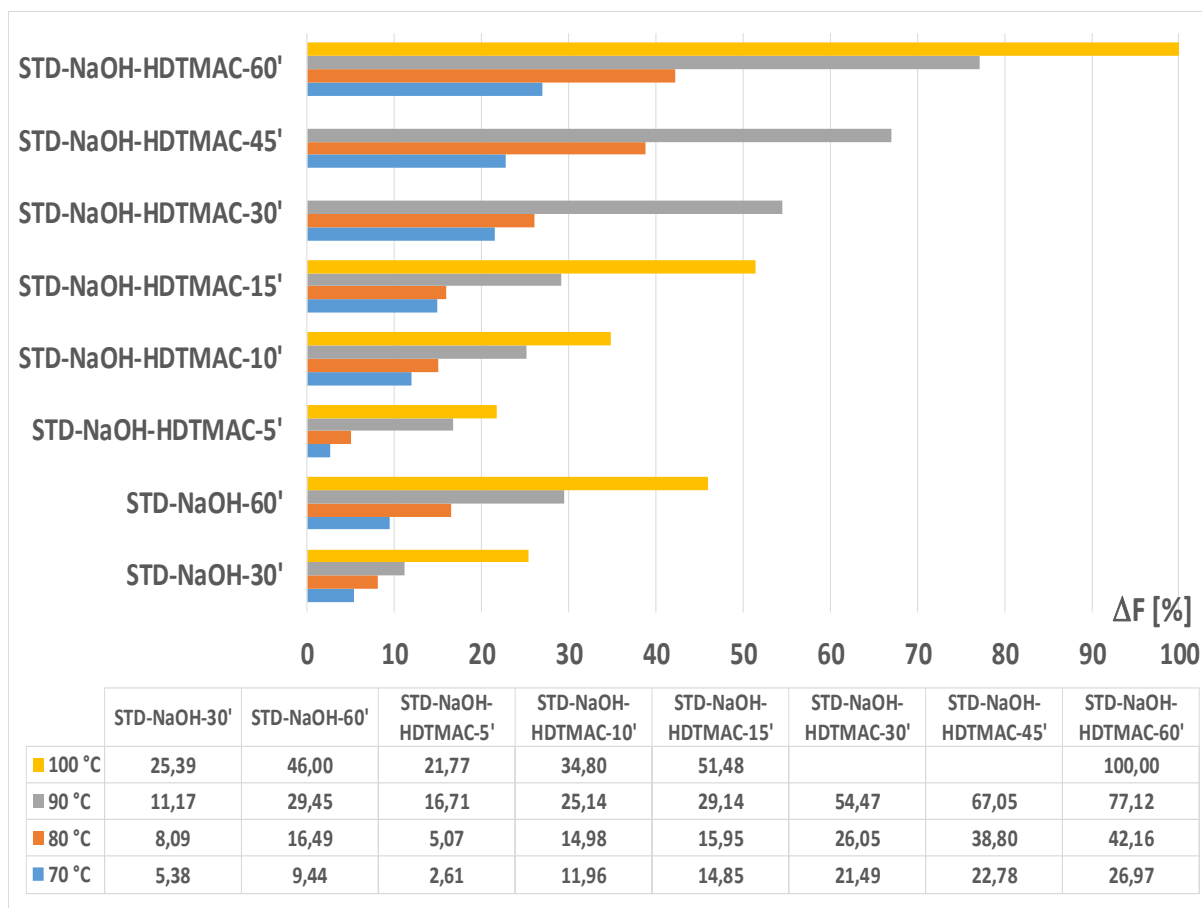
Uzorak, 90°C	Vrijeme obrade	F [N]	ε [%]	t (s)
STD	0	1589,00	21,293	12,5
STD-NaOH	30	1411,50	19,800	11,9
	60	1121,00	18,843	11,3
STD-NaOH+HDTMAC	5	1323,50	19,050	11,4
	10	1189,50	18,293	11,0
	15	1126,00	17,250	10,3
	30	723,50	14,953	9,0
	45	523,50	13,011	7,8
	60	363,50	11,516	6,9



Slika 13. Gubitak površinske mase standardne polieterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 100 °C

Tablica 4. Prekidna sila i produljenje standardne polieterske tkanine nakon alkalne hidrolize 100 °C

Uzorak, 100°C	Vrijeme obrade	F [N]	ε [%]	t (s)
STD	0	1589,00	21,293	12,5
STD-NaOH	30	1185,50	19,000	11,4
	60	858,00	18,300	10,3
STD-NaOH+HDTMAC	5	1243,00	18,750	11,2
	10	1036,00	16,899	10,2
	15	771,00	15,300	9,2
	60	-	-	-



**Slika 14.** Pad prekidne sile standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na temperaturama 70, 80, 90 i 100 °C

**Tablica 5.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 70 °C

Uzorak, 70°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
STD	0	79,5	2,04
STD-NaOH	30	78,9	2,00
	60	80,0	1,75
STD-NaOH+HDTMAC	5	78,0	2,37
	10	79,1	2,02
	15	78,7	2,17
	30	78,9	1,95
	45	79,1	1,76
	60	78,4	1,86

**Tablica 6.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 80 °C

Uzorak, 80°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
STD	0	79,5	2,04
STD-NaOH	30	79,4	1,83
	60	79,6	1,72
STD-NaOH+HDTMAC	5	78,9	2,09
	10	78,6	1,94
	15	79,3	1,85
	30	79,6	1,65
	45	78,3	1,82
	60	78,4	1,61

**Tablica 7.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 90 °C

Uzorak, 90°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
STD	0	79,5	2,04
STD-NaOH	30	79,3	1,87
	60	78,7	1,78
STD-NaOH+HDTMAC	5	79,5	1,58
	10	78,7	1,99
	15	79,5	1,74
	30	79,2	1,45
	45	78,7	1,47
	60	77,3	1,60

**Tablica 8.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) standardne poliesterske tkanine nakon alkalne hidrolize na 100 °C

Uzorak, 100°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
STD	0	79,5	2,04
STD-NaOH	30	78,6	1,69
	60	78,3	1,83
STD-NaOH+HDTMAC	5	80,5	1,46
	10	78,4	1,86
	15	78,5	1,78
	60	-	-

**Tablica 9.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) prije i nakon alkalne hidrolize na 70 °C

STD – 70 °C		STD		STD-NaOH-30'		STD-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	4,828	0,6585	120	0	80,0273	0,1173
	B	4,9453	0,6556	10,1017	0,5892	7,289	0,0738
AR [%/s]	T	7,5027	0,3111	0	0	7,82	0,532
	B	51,6032	0,3478	74,24	0,691	67,76	0,046
MWR [mm]	T	6,25	0,4	0	0	5	0
	B	5	0	5	0	5	0
SS [mm/s]	T	5,0563	1,6796	0	0	0,0631	0,1316
	B	5,0124	1,7	0,5826	0,3895	0,6715	0,0748
R [%]		667,2798	0,3916	751,0838	0,2381	893,2962	0,0245
OMMC		0,6446	0,2113	0,65	0,13	0,66	0,01
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 10.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 70 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

STD – 70 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-5'		STD-NaOH+ HDTMAC-10'		STD-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	7,5703	0,4825	6,586	1,9431	6,3045	0,5606
	B	8,3203	0,3898	2,0625	1,4259	6,328	0,513
AR [%/s]	T	14,3938	0,288	9,2363	0,1139	11,2672	0,174
	B	50,4607	0,4938	23,622	0,1795	29,2354	0,1785
MWR [mm]	T	16,25	0,2946	12,5	0,2309	12,5	0,4
	B	20	0,3536	15	0,2722	13,75	0,3482
SS [mm/s]	T	1,5128	0,4746	13,6325	0,6391	1,487	0,6293
	B	1,5369	0,5108	10,1094	0,9169	1,4666	0,5925
R [%]		376,9114	0,2709	483,8409	0,1419	433,5102	0,1271
OMMC		0,6103	0,1193	0,7092	0,1696	0,5904	0,0865
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom		Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevito) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 11.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 70 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 30, 45 i 60 min

STD – 70 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-30'		STD-NaOH+ HDTMAC-45'		STD-NaOH+ HDTMAC-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	2,3907	0,743	9,7267	0,2744	8,2965	0,3278
	B	3,3988	0,441	9,3517	0,2045	7,945	0,1276
AR [%/s]	T	6,6088	0,5068	4,9569	0,1445	7,5361	0,4228
	B	51,3189	0,2263	85,247	0,2754	63,3775	0,3038
MWR [mm]	T	7,5	0,3849	6,25	0,4	6,25	0,4
	B	10	1	7,5	0,3849	8,75	0,5471
SS [mm/s]	T	3,1293	0,7727	0,5648	0,2809	0,7149	0,3324
	B	1,95	0,7677	0,6149	0,313	0,81	0,3439
R [%]		638,8335	0,2324	796,7886	0,0923	681,7574	0,2066
OMMC		0,6909	0,1229	0,6973	0,0652	0,6525	0,0693
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 12.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) prije i nakon alkalne hidrolize na 80 °C

STD – 80 °C		STD		STD-NaOH-30'		STD-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	4,828	0,6585	78,8948	0,6705	27,5857	0,6098
	B	4,9453	0,6556	9,75	0,4022	9,75	0,2111
AR [%/s]	T	7,5027	0,3111	40,19	1,81	6,685	0,086
	B	51,6032	0,3478	79,39	0,295	72,31	0,609
MWR [mm]	T	6,25	0,4	2,5	1,1547	10	0
	B	5	0	5	0	11,25	0,2222
SS [mm/s]	T	5,0563	1,6796	0,1521	1,687	0,3514	0,6576
	B	5,0124	1,7	0,5683	0,4017	0,6025	0,2196
R [%]		667,2798	0,3916	764,7619	0,2381	634,3167	0,0922
OMMC		0,6446	0,2113	0,69	0,08	0,66	0,17
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevito) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 13.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 80 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

STD – 80 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-5'		STD-NaOH+ HDTMAC-10'		STD-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	11,414	0,6486	10,9925	0,033	19,8675	0,3985
	B	8,4843	0,5450	11,2733	0,141	7,6918	0,2792
AR [%/s]	T	8,5677	0,1329	4,8647	0,2795	5,2718	0,3615
	B	19,0297	0,1567	90,7299	0,1218	54,3303	0,428
MWR [mm]	T	10	0	6,25	0,4	6,25	0,4
	B	11,25	0,2222	7,5	0,3849	6,25	0,4
SS [mm/s]	T	0,8196	0,5616	0,4906	0,2032	0,3234	0,5433
	B	0,877	0,4362	0,5079	0,1959	0,7256	0,2957
R [%]		487,5932	0,1049	706,3481	0,0779	715,1951	0,1646
OMMC		0,5337	0,0265	0,722	0,0379	0,6233	0,1037
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 14.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 80 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 30, 45 i 60 min

STD – 80 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-30'		STD-NaOH+ HDTMAC-45'		STD-NaOH+ HDTMAC-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	11,5077	0,23	6,2815	0,2518	22,6992	0,7864
	B	8,5548	0,1543	6,0468	0,1888	6,9612	0,3354
AR [%/s]	T	5,3712	0,1705	6,8358	0,2128	5,3584	0,2479
	B	74,4569	0,1534	47,3655	0,2494	32,6614	0,4429
MWR [mm]	T	6,25	0,4	7,5	0,3849	5	0
	B	6,25	0,4	8,75	0,2857	5	0
SS [mm/s]	T	0,4982	0,2364	0,9517	0,37	0,2985	0,4775
	B	0,58	0,1657	1,0087	0,3431	0,7551	0,3048
R [%]		758,6497	0,0665	588,0833	0,0744	602,3135	0,0894
OMMC		0,679	0,0467	0,6145	0,0357	0,5629	0,0714
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).



**Tablica 15.** Spособnosti upravljanja vlagom standardne polieterske tkanine (STD) prije i nakon alkalne hidrolize na 90 °C

STD – 90 °C		STD		STD-NaOH-30'		STD-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	4,828	0,6585	99,9883	0,1369	5,5547	1,1486
	B	4,9453	0,6556	9,285	0,2122	6,0703	1,1248
AR [%/s]	T	7,5027	0,3111	6,502	0,988	9,602	0,1
	B	51,6032	0,3478	82,3	0,187	23,26	0,148
MWR [mm]	T	6,25	0,4	3,75	0,6667	12,5	0,2309
	B	5	0	5	0	15	0
SS [mm/s]	T	5,0563	1,6796	0,0401	0,6682	6,0604	1,3619
	B	5,0124	1,7	0,5441	0,1934	5,9225	1,3987
R [%]		667,2798	0,3916	939,5214	0,0289	491,7441	0,0974
OMMC		0,6446	0,2113	0,7	0,05	0,66	0,22
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom	

**Tablica 16.** Spособnosti upravljanja vlagom standardne polieterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 90 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

STD – 90 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-5'		STD-NaOH+ HDTMAC-10'		STD-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	19,5745	1,6233	3,0940	0,8744	2,3907	0,743
	B	5,0860	0,7531	3,7265	1,1024	3,3988	0,441
AR [%/s]	T	9,6934	0,3805	16,084	0,2782	6,6088	0,5068
	B	38,905	0,5834	41,1061	0,1755	51,3189	0,2263
MWR [mm]	T	12,5	0,5164	11,25	0,2222	7,5	0,3849
	B	16,25	0,4615	15	0,3849	10	1
SS [mm/s]	T	5,2636	1,6433	7,6387	1,0611	3,1293	0,7727
	B	5,501	1,5599	7,8378	1,0449	1,95	0,7677
R [%]		498,3605	0,5534	374,2257	0,1949	638,8335	0,2324
OMMC		0,6296	0,2144	0,6749	0,2108	0,6909	0,1229
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom		Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevito) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 17.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 90 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 30, 45 i 60 min

STD – 90 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-30'		STD-NaOH+ HDTMAC-45'		STD-NaOH+ HDTMAC-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	8,6952	1,364	2,6328	1,0276	4,238	0,8542
	B	4,992	0,6417	3,242	1,0177	5,175	0,5751
AR [%/s]	T	5,5501	0,1743	7,2695	0,2393	8,0572	0,4726
	B	61,5459	0,1997	57,7569	0,1899	57,1916	0,3285
MWR [mm]	T	6,25	0,4	6,25	0,4	8	0,559
	B	6,25	0,4	6,25	0,4	9	0,7244
SS [mm/s]	T	1,8081	0,9811	5,9943	1,3587	4,7549	1,6135
	B	1,709	1,0241	5,6093	1,454	1,564	0,8676
R [%]		746,3141	0,1565	601,0225	0,1211	561,0546	0,2882
OMMC		0,7113	0,1291	0,7374	0,1164	0,6654	0,0183
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 18.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) prije i nakon alkalne hidrolize na 100 °C

STD – 100 °C		STD		STD-NaOH-30'		STD-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	4,828	0,6585	16,8983	1,5263	35,8285	0,5857
	B	4,9453	0,6556	4,406	0,4134	10,594	0,578
AR [%/s]	T	7,5027	0,3111	9,7693	0,2052	6,3261	0,3171
	B	51,6032	0,3478	61,0481	0,075	93,516	0,5299
MWR [mm]	T	6,25	0,4	8,75	0,2857	7,5	0,3849
	B	5	0	12,5	0,2309	7,5	0,3849
SS [mm/s]	T	5,0563	1,6796	5,6454	1,7512	0,2208	0,6036
	B	5,0124	1,7	1,5227	0,6806	0,5948	0,3323
R [%]		667,2798	0,3916	592,5342	0,3113	603,3936	0,3158
OMMC		0,6446	0,2113	0,6865	0,107	0,6751	0,0381
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

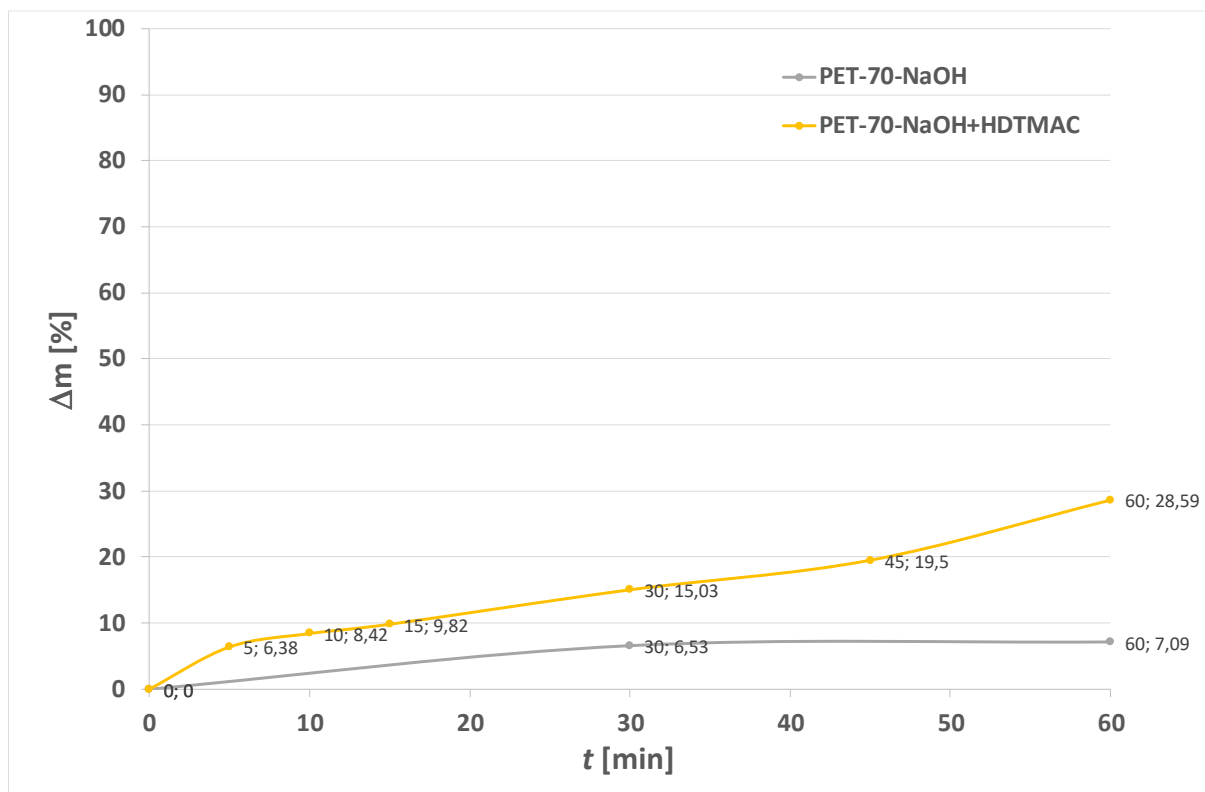
Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevito) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 19.** Sposobnosti upravljanja vlagom standardne poliesterske tkanine (STD) nakon alkalne hidrolize na 100 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

STD – 100 °C		STD-NaOH+ HDTMAC-5'		STD-NaOH+ HDTMAC-10'		STD-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	1,3825	1,1553	6,164	0,9878	5,2028	0,6336
	B	1,1715	0,9899	7,242	0,6041	6,0935	0,5509
AR [%/s]	T	10,744	0,0788	6,8173	0,1397	6,8589	0,1431
	B	28,6382	0,059	49,2844	0,5637	57,8015	0,375
MWR [mm]	T	10	0	6,25	0,4	7,5	0,3849
	B	11,25	0,2222	6,25	0,4	8,75	0,5471
SS [mm/s]	T	10,1751	0,8944	2,6849	1,1002	1,4225	0,7065
	B	10,2497	0,8813	0,9781	0,6875	1,1661	0,6134
R [%]		487,3843	0,0272	672,8701	0,0933	642,1618	0,0505
OMMC		0,7364	0,1053	0,6302	0,1248	0,6655	0,039
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

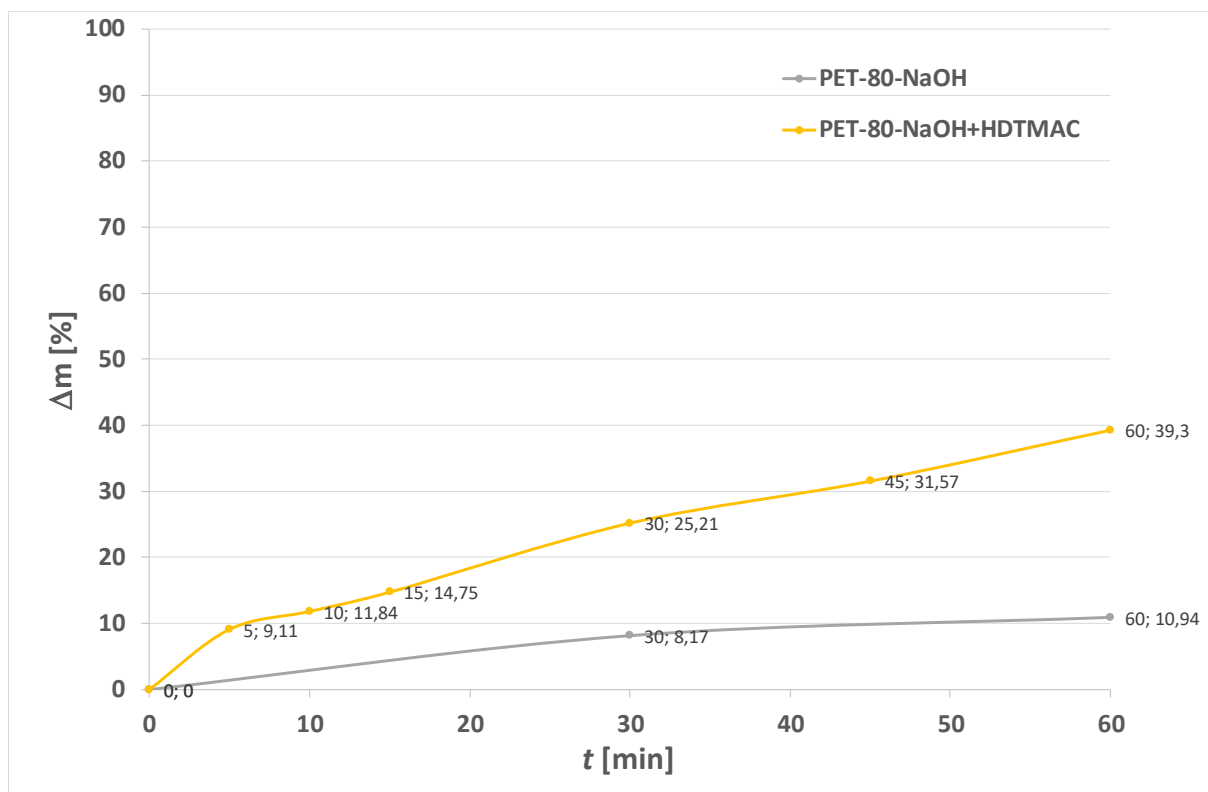
## 4.2. Komerrijalna PET tkanina



Slika 15. Gubitak površinske mase komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 70 °C

Tablica 20. Prekidna sila i produljenje komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 70 °C

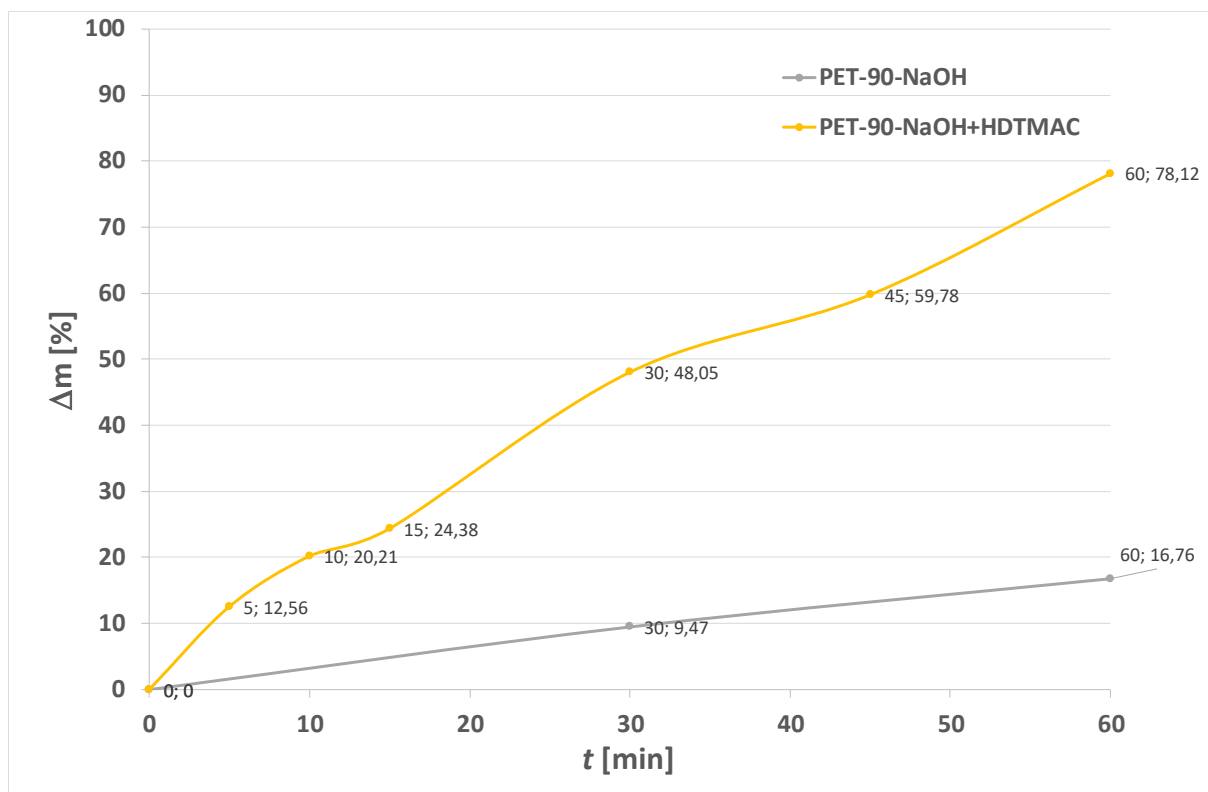
Uzorak, 70°C	Vrijeme obrade	F [N]	ε [%]	t (s)
PET	0	638,50	34,200	19,0
PET-NaOH	30	605,00	29,910	18,0
	60	571,00	29,367	17,7
PET-NaOH+HDTMAC	5	589,00	31,926	19,2
	10	581,00	29,163	17,6
	15	452,00	25,087	15,1
	30	274,00	18,750	11,2
	45	166,50	13,180	7,9
	60	33,00	12,095	7,3



Slika 16. Gubitak površinske mase komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 80 °C

Tablica 21. Prekidna sila i produljenje komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 80 °C

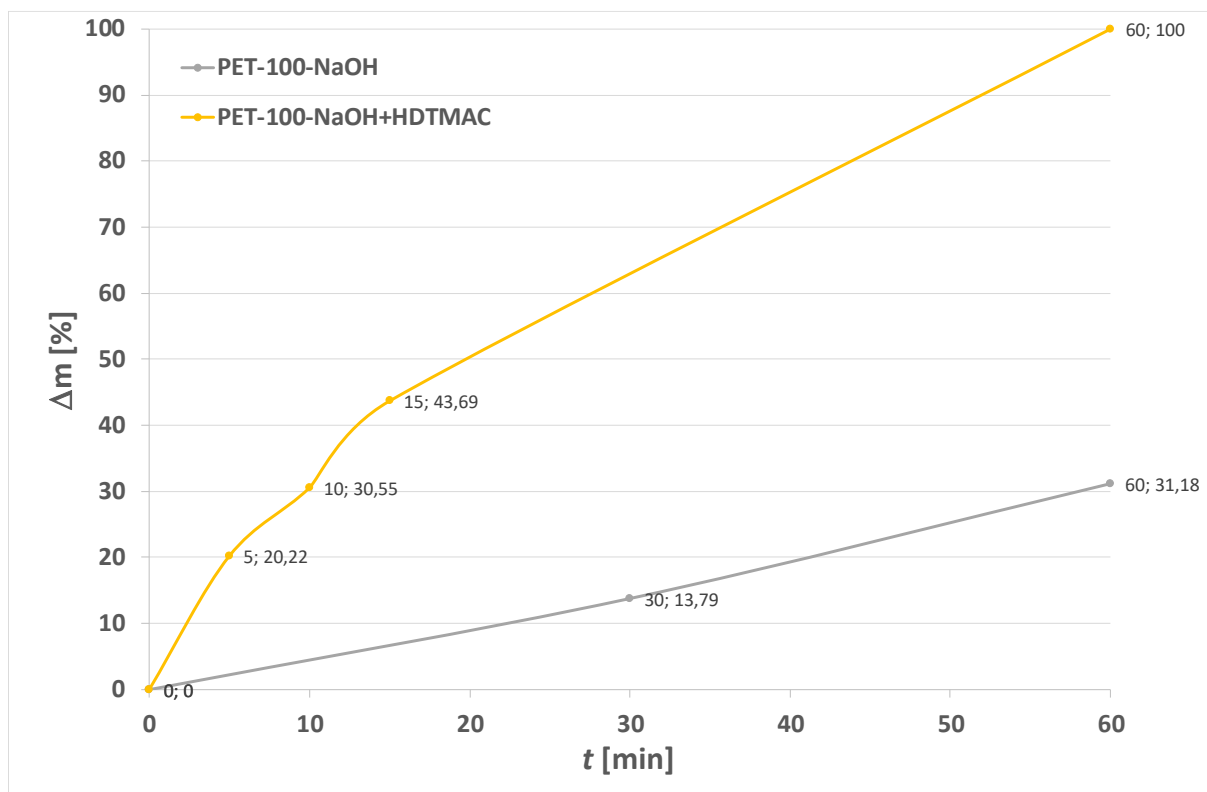
Uzorak, 80°C	Vrijeme obrade	F [N]	ε [%]	t (s)
PET	0	638,50	34,200	19,0
PET-NaOH	30	572,00	30,000	18,0
	60	503,50	26,280	15,8
PET-NaOH+HDTMAC	5	514,50	26,132	15,8
	10	426,50	23,145	13,9
	15	350,50	23,189	14,0
	30	108,00	12,242	7,5
	45	35,00	10,376	6,3
	60	10,00	8,045	5,0



Slika 17. Gubitak površinske mase komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 90 °C

Tablica 22. Prekidna sila i produljenje komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 90 °C

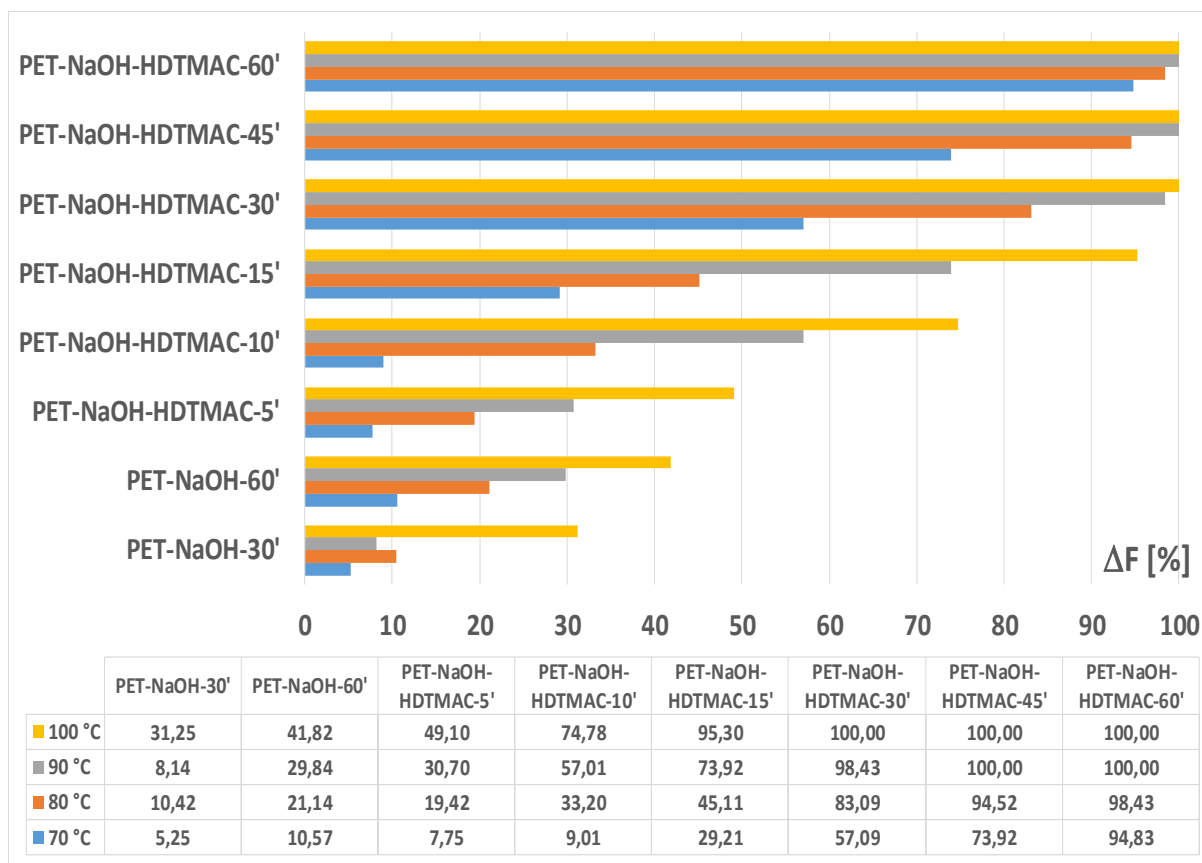
Uzorak, 90°C	Vrijeme obrade	F [N]	ε [%]	t (s)
PET	0	638,50	34,200	19,0
PET-NaOH	30	586,50	36,924	22,5
	60	448,00	32,400	19,4
PET-NaOH+HDTMAC	5	442,50	29,050	17,6
	10	274,50	24,238	14,7
	15	166,50	18,741	11,4
	30	10,00	10,420	6,5
	45	-	-	-
	60	-	-	-



Slika 18. Gubitak površinske mase komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 100 °C

Tablica 23. Prekidna sila i produljenje komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 100 °C

Uzorak, 100°C	Vrijeme obrade	F [N]	ε [%]	t (s)
PET	0	638,50	34,200	19,0
PET-NaOH	30	439,00	32,700	17,4
	60	371,50	31,891	16,3
PET-NaOH+HDTMAC	5	325,00	25,781	15,8
	10	161,00	22,224	13,7
	15	30,00	18,030	11,0
	60	-	-	-



**Slika 19.** Pad prekidne sile komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na temperaturama 70, 80, 90 i 100 °C

**Tablica 24.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 70 °C

Uzorak, 70°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
PET	0	71,2	3,16
PET-NaOH	30	74,2	2,13
	60	74,5	2,09
PET-NaOH+HDTMAC	5	74,0	2,30
	10	74,3	2,11
	15	74,1	2,20
	30	75,6	1,89
	45	76,2	1,69
	60	76,5	1,47



**Tablica 25.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 80 °C

Uzorak, 80°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
PET	0	71,2	3,16
PET-NaOH	30	74,1	2,12
	60	73,8	2,10
PET-NaOH+HDTMAC	5	74,0	2,28
	10	75,2	1,83
	15	75,1	2,10
	30	76,0	1,74
	45	75,5	1,90
	60	75,1	1,86

**Tablica 26.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 90 °C

Uzorak, 90°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
PET	0	71,2	3,16
PET-NaOH	30	73,8	2,08
	60	74,2	2,09
PET-NaOH+HDTMAC	5	74,9	1,98
	10	76,1	1,76
	15	75,9	1,71
	30	73,9	2,17
	45	/	/
	60	/	/

**Tablica 27.** Stupanj bjeline prema CIE ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) komercijalne PET tkanine nakon alkalne hidrolize na 100 °C

Uzorak, 100°C	Vrijeme obrade	$W_{CIE}$	YI
PET	0	71,2	3,16
PET-NaOH	30	72,9	2,35
	60	79,1	1,49
PET-NaOH+HDTMAC	5	75,6	1,78
	10	73,7	2,60
	15	75,1	1,83
	60	-	-

**Tablica 28.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) prije i nakon alkalne hidrolize na 70 °C

PET – 70 °C		PET		PET-NaOH-30'		PET-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	2,086	0,0927	80,2441	0,6087	102,4688	0,3422
	B	2,0858	0,0768	7,996	0,2324	9,707	0,193
AR [%/s]	T	47,1381	0,1222	14,0097	1,7304	3,9771	2
	B	59,8385	0,2299	72,0129	0,2804	85,4143	0,1686
MWR [mm]	T	30	0	5	1,3093	1,25	2
	B	30	0	6,875	0,7714	5	0
SS [mm/s]	T	9,5188	0,0731	0,2329	1,8524	0,025	2
	B	9,1428	0,0545	0,7058	0,3462	0,5192	0,1913
R [%]		63,0338	0,1157	826,5911	0,2796	887,9481	0,1374
OMMC		0,514	0,0835	0,6702	0,0855	0,7059	0,0476
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću brze apsorpcije i brzog sušenja		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 29.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 70 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

PET – 70 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-5'		PET-NaOH+ HDTMAC-10'		PET-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	120	0	120	0	67,3125	0,9046
	B	8,9063	0,286	8,578	0,1858	8,8595	0,2718
AR [%/s]	T	0	0	0	0	16,6361	1,5905
	B	80,6367	0,1768	76,2998	0,1065	63,6433	0,3746
MWR [mm]	T	0	0	0	0	7,5	1,587
	B	5	0	5	0	11,25	1,1111
SS [mm/s]	T	0	0	0	0	0,4558	1,445
	B	0,5953	0,3674	0,585	0,1837	0,8709	0,5903
R [%]		939,3535	0,0192	944,2806	0,0191	783,4062	0,2777
OMMC		0,6962	0,0569	0,6842	0,033	0,6617	0,0698
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevito) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 30.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 70 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 30, 45 i 60 min

PET – 70 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-30'		PET-NaOH+ HDTMAC-45'		PET-NaOH+ HDTMAC-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	111,9415	0,144	80,2441	0,6087	92,578	0,5924
	B	9,891	0,2814	7,996	0,2324	6,6328	0,6039
AR [%/s]	T	3,8194	2	14,0097	1,7304	3,4249	2
	B	89,7202	0,2313	72,0129	0,2804	68,7136	0,2925
MWR [mm]	T	1,25	2	5	1,3093	1,25	2
	B	5	0	6,875	0,7714	5	0
SS [mm/s]	T	0,0142	2	0,2329	1,8524	0,119	2
	B	0,5371	0,3701	0,7058	0,3462	1,0345	0,7095
R [%]		934,687	0,0382	826,5911	0,2796	893,4371	0,1023
OMMC		0,7119	0,0626	0,6702	0,0855	0,6868	0,0628
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 31.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) prije i nakon alkalne hidrolize na 80 °C

PET – 80 °C		PET		PET-NaOH-30'		PET-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	2,086	0,0927	110,461	0,1727	105,4922	0,257
	B	2,0858	0,0768	7,8085	0,2807	7,4767	0,3169
AR [%/s]	T	47,1381	0,1222	1,4693	2	1,069	2
	B	59,8385	0,2299	72,0217	0,1687	72,7916	0,1658
MWR [mm]	T	30	0	1,25	2	1,25	2
	B	30	0	5	0	5	0
SS [mm/s]	T	9,5188	0,0731	0,0152	2	0,0201	2
	B	9,1428	0,0545	0,6647	0,2905	0,7021	0,3089
R [%]		63,0338	0,1157	951,3344	0,0108	937,8978	0,0458
OMMC		0,514	0,0835	0,6723	0,0502	0,6744	0,0497
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću brze apsorpcije i brzog sušenja		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 32.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 80 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

PET – 80 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-5'		PET-NaOH+ HDTMAC-10'		PET-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	120	0	78,953	0,6722	120	0
	B	5,8125	0,1575	34,9688	1,6217	7,9688	0,1841
AR [%/s]	T	0	0	27,8302	0,8904	0	0
	B	65,0707	0,0936	50,4378	0,6775	73,7101	0,1592
MWR [mm]	T	0	0	5	0,8165	0	0
	B	5	0	5	0,8165	5	0
SS [mm/s]	T	0	0	0,2388	1,5115	0	0
	B	0,8493	0,1657	0,589	0,7357	0,6306	0,2078
R [%]		10002,181	0,0231	495,4293	1,8377	979,4929	0,0072
OMMC		0,6539	0,0242	0,4946	0,6675	0,677	0,0482
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 33.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 80 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 30, 45 i 60 min

PET – 80 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-30'		PET-NaOH+ HDTMAC-45'		PET-NaOH+ HDTMAC-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	120	0	120	0	120	0
	B	6,516	0,2291	6,1638	0,1513	6,8282	0,1187
AR [%/s]	T	0	0	0	0	0	0
	B	66,998	0,0902	64,8722	0,0388	62,0521	0,0656
MWR [mm]	T	0	0	0	0	0	0
	B	5	0	5	0	5	0
SS [mm/s]	T	0	0	0	0	0	0
	B	0,7699	0,1873	0,8006	0,1524	0,7204	0,1243
R [%]		969,8824	0,0148	991,8385	0,0183	910,4498	0,0401
OMMC		0,6583	0,0255	0,6524	0,0107	0,6446	0,0175
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 34.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) prije i nakon alkalne hidrolize na 90 °C

PET – 90 °C		PET		PET-NaOH-30'		PET-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	2,086	0,0927	49,664	0,9913	120	0
	B	2,0858	0,0768	7,0547	0,1862	9,469	0,21
AR [%/s]	T	47,1381	0,1222	21,9555	1,3656	0	0
	B	59,8385	0,2299	55,8161	0,4359	81,8341	0,2355
MWR [mm]	T	30	0	6,25	1,0066	0	0
	B	30	0	7,5	0,6667	5	0
SS [mm/s]	T	9,5188	0,0731	0,3367	0,9904	0	0
	B	9,1428	0,0545	0,7656	0,1794	0,529	0,2059
R [%]		63,0338	0,1157	714,5358	0,2527	954,8927	0,0129
OMMC		0,514	0,0835	0,6273	0,1078	0,6995	0,0765
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću brze apsorpcije i brzog sušenja		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

**Tablica 35.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 90 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

PET – 90 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-5'		PET-NaOH+ HDTMAC-10'		PET-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	120	0	69,961	0,8574	64,6212	0,9898
	B	8,2265	0,6174	6,2112	0,7482	7,7578	0,4325
AR [%/s]	T	0	0	22,7892	1,276	42,7955	1,7202
	B	71,9984	0,5747	67,2971	0,353	71,7251	0,2297
MWR [mm]	T	0	0	8,75	1,6413	2,5	1,1547
	B	5	0	11,25	1,1111	5	0
SS [mm/s]	T	0	0	5,0422	1,9834	0,2765	1,2013
	B	1,4608	1,3622	5,4647	1,7628	0,7487	0,523
R [%]		993,2077	0,1096	690,4644	0,6513	804,5229	0,2614
OMMC		0,7323	0,04	0,6161	0,2404	0,6777	0,0542
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevatom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 36.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 90 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 30, 45 i 60 min

PET – 90 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-30'		PET-NaOH+ HDTMAC-45'		PET-NaOH+ HDTMAC-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	70,359	0,9978	-	-	-	-
	B	11,9995	0,2762	-	-	-	-
AR [%/s]	T	18,4144	1,4142	-	-	-	-
	B	53,2143	0,8019	-	-	-	-
MWR [mm]	T	2,5	1,4142	-	-	-	-
	B	5	0	-	-	-	-
SS [mm/s]	T	0,1196	1,4142	-	-	-	-
	B	0,426	0,2719	-	-	-	-
R [%]		771,0486	0,3492	-	-	-	-
OMMC		0,62	0,1912	-	-	-	-
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		-		-	

**Tablica 37.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) prije i nakon alkalne hidrolize na 100 °C

PET – 100 °C		PET		PET-NaOH-30'		PET-NaOH-60'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	2,086	0,0927	5,2968	0,3996	91,9922	0,6089
	B	2,0858	0,0768	5,2965	0,3933	7,125	0,0241
AR [%/s]	T	47,1381	0,1222	37,0431	0,4543	2,5435	2,0
	B	59,8385	0,2299	44,8782	0,3998	68,6808	0,0192
MWR [mm]	T	30	0	30,0	0,0	1,25	2,0
	B	30	0	30,0	0,0	5,0	0,0
SS [mm/s]	T	9,5188	0,0731	2,9291	0,2091	0,1532	2,0
	B	9,1428	0,0545	2,9085	0,1991	0,684	0,0234
R [%]		63,0338	0,1157	32,6476	4,3055	951,8956	0,0688
OMMC		0,514	0,0835	0,365	0,1448	0,663	0,0055
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću brze apsorpcije i brzog sušenja		Tkanina sa sposobnošću brze apsorpcije i brzog sušenja		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

**Tablica 38.** Sposobnosti upravljanja vlagom komercijalne poliesterske tkanine (PET) nakon alkalne hidrolize na 100 °C uz dodatak akceleratora HDTMAC u vremenu 5, 10 i 15 min

PET – 100 °C		PET-NaOH+ HDTMAC-5'		PET-NaOH+ HDTMAC-10'		PET-NaOH+ HDTMAC-15'	
		Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
WT [s]	T	120	0	43,6642	1,2018	120	0
	B	7,594	0,035	9,7735	0,172	7,172	0,3605
AR [%/s]	T	0	0	43,2221	1,0683	0	0
	B	71,275	0,0336	83,6083	0,1372	72,184	0,1544
MWR [mm]	T	0	0	5	0,8165	0	0
	B	5	0	6,25	0,4	5	0
SS [mm/s]	T	0	0	0,3464	0,8009	0	0
	B	0,6429	0,0341	0,5359	0,1963	0,724	0,3512
R [%]		957,6417	0,0197	762,6353	0,1752	968,4827	0,0117
OMMC		0,6702	0,0099	0,7045	0,0452	0,6727	0,046
Tip tkanine		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode		Tkanina sa sposobnošću prodiranja vode	

Oznake u tablicama su: koeficijent varijacije (CV); gornja (top surface, T) i donja (bottom surface, B) površina; vrijeme vlaženja (Wetting Time, WT), prirast apsorpcije (Absorption rate, AR); maksimalni promjer vlaženja (Maximum wetted radius, MWR), brzina razlijevanja (Spreading speed, SS), akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa (Accumulative One-way Transport Capability, R), ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom (Overall (liquid) Moisture Management Capability, OMMC).

## 5. RASPRAVA

U ovom radu istražena je modifikacija površine standardne i komercijalne poliesterske tkanine alkalnom hidrolizom uz djelovanje akceleratora pri sniženim temperaturama, u svrhu postizanja bolje ekonomičnosti i energetske uštede. Učinci su uspoređeni s neobrađenim uzorcima tkanina. Optimalan gubitak mase iznosi 10 - 20 % uz pad prekidne sile 30-45 %.

### Standardna poliesterska tkanina.

Iz rezultata gubitka mase, prekidne sile i produljenja te pada prekidne sile prikazanih na sl. 10-14. i u tab.1-4 vidljivo je da se alkalnom hidrolizom standardne poliesterske tkanine (STD) pri 100 °C bez dodatka akceleratora postiže željeni gubitak mase u vremenu obrade od 60 min s nešto višim gubitkom od željenog, 22,21 %, dok je obradom 30 min gubitak niži od 10%. Istovremeno s gubitkom na masi, dolazi do pada prekidne sile uslijed nagrizanja poliesterskih vlakana lužinom. Pad prekidne sile nakon 30 min obrade lužinom iznosi 25,39% a nakon 60 min je nešto viši od granice tolerancije, 46 %.

Dodatkom kationskog tenzida heksadeciltrimetil amonijevog klorida (HDTMAC) postiže se željeni gubitak mase u znatno kraćem vremenu pri 100 °C. Već nakon 5 min je gubitak 13,56 % a nakon 10 min dolazi do gubitka mase od 24,18 %, što je nešto iznad granice. Povećanjem vremena obrade dolazi do značajnijih gubitaka mase, pri čemu se tkanina gotovo u potpunosti razgradi nakon 60 min pa je gubitak mase 98,78 %. Pad prekidne sile je značajniji u odnosu na alkalnu hidrolizu bez dodatka tenzida. Nakon 5 min iznosi 21,77 %, nakon 10 min je 34,80 % a nakon 15 min 51,48 % što ukazuje na značajno oštećenje a tkanina je neuporabljiva. Rezultati jasno ukazuju da je HDTMAC odličan akcelerator ove reakcije i za pretpostaviti je kako bi vrijeme obrade od 5 min bilo optimalno.

Obzirom na kratko vrijeme obrade od samo 5 min, sa svrhom energetske učinkovitosti, istraženi su učinci alkalne hidrolize uz dodatak HDTMAC kao akceleratora nakon obrada pri sniženoj temperaturi od 70, 80 i 90°C.

Iz rezultata gubitka površinske mase i pada prekidne sile vidljivo je da alkalna hidroliza na 90 °C bez dodatka akceleratora za 60 min dovodi do gubitka mase tkanine od 16,6 % uz pad prekidne sile od 29,45 % i to je optimalno vrijeme reakcije. Dodatkom HDTMAC se već na 10 min očituje gubitak mase od 14,46 % uz pad prekidne sile 25,14 %. Povećanjem vremena



obrade dolazi do znatnijeg povećanja gubitka mase i oštećenja tkanine. Tkanina obrađivana 60 min ima gubitak mase 56,89 % i gubi 77 % čvrstoće te ne neuporabljiva.

Smanjenjem temperature na 80 °C tkanina obrađena lužinom bez dodatka akceleratora za 60 min obrade ima gubitak mase 7,33 % što je premalo, te bi se trebalo produžiti vrijeme obrade. Uz dodatak akceleratora gotovo isti gubitak mase od 7,04 % postiže se za 10 min, a optimalni gubitak od 17,98 % postiže se nakon 30 min uz pad prekidne sile od 26 %. Nakon 60 min gubitak mase je 30 %. Ovi rezultati pokazuju da je moguće provesti hidrolizu na energetski povoljniji način.

Smanjenjem temperature na 70 °C obradom tkanine lužinom bez dodatka akceleratora nije moguće postići željeni učinak niti nakon 60 min obrade; gubitak mase svega 3,27 %. Dodatkom akceleratora željeni učinak postiže se nakon 45 min obrade, uz gubitak mase 14,1 % i pad prekidne sile 22,78%. Nakon 60 min gubitak mase je 18,68 % što je također u granicama tolerancije.

Nakon obrada na svim uzorcima određen je stupanj bjeline prema CIE i indeks požućenja. Iz rezultata stupnja bjeline ( $W_{CIE}$ ) i indeks požućenja (YI) prikazanih u tab. 5-8, svih standardnih poliesterskih tkanina vidljivo je da obradom nije došlo do značajnije promjene bjeline, niti je tkanina uslijed luženja požutjela.

Sposobnost upravljanja vlagom određena je prema AATCC TM 195-2017 pomoću uređaja za ispitivanje sposobnosti prijenosa vlage, eng. *Moisture Management Tester (MMT)*. Rezultati su prikazani u tablicama 9-19, prosječnim vrijednostima uz koeficijent varijacije (CV) za svako mjereno svojstvo za gornju površinu, eng. *Top surface (T)*, i za donju površinu, eng. *Bottom surface (B)*. Dobiveni rezultati su: vrijeme vlaženja, eng. *Wetting Time (WT)*, prirast apsorpcije, eng. *Absorption rate (AR)*, maksimalan promjer vlaženja, eng. *Maximum wetted radius (MWR)*, brzina razlijevanja, eng. *Spreading speed (SS)*, akumulativna sposobnost jednosmjernog prijenosa, eng. *Accumulative One-way Transport Capability (R)* te ukupna sposobnost upravljanja (kapljevitom) vlagom, eng. *Overall (liquid) Moisture Management Capability (OMMC)*.

Vrijeme vlaženja izmjereno na MMT-u je vremensko razdoblje u kojem se gornja i donja površina tkanine tek počinju vlažiti. Rezultati sposobnosti upravljanja vlagom neobrađene standardne tkanine ukazuju na kratko vrijeme vlaženja i mali radijus vlaženja što ukazuje na hidrofobnu površinu.

U slučaju hidroliziranih standardnih tkanina, ocjena je slična, ali ipak je vidljivo da dolazi do promjene parametara sposobnosti upravljanja vlagom. Razlog tomu je promjena površine i bolja apsorpcija, tako da se mala količina vode veže za nove površinske skupine vlakna.

Ukupna sposobnost (kapljevite) upravljanja vlagom (OMMC) izračunava se kombiniranjem tri mjerena svojstva: brzina apsorpcije kapljevine na donjoj površini, jednosmjerna sposobnost prijenosa kapljevine i najveća brzina širenja vlage na donjoj površini. Predstavlja indeks ukupne sposobnosti tkanine za transport kapljevite vlage. Na temelju rezultata MMT razvrstava tkanine. Za neobrađenu standardnu poliestersku tkaninu OMMC je sugerira „Tkaninu sa sposobnošću prodiranja vode“, što znači da ipak „diše“. Kod alkalno hidroliziranih oznaka je slična, no u slučaju obrade samo lužinom na 90 °C 60 min, te uz dodatak tenzida u vremenu 5 i 10 min postignut je bolji transport i „Tkanina sa sposobnošću upravljanja vlagom“.

#### Komercijalna tkanina.

Iz rezultata gubitka mase, prekidne sile i produljenja te pada prekidne sile prikazanih na sl. 15-19 i u tab. 20-23, vidljivo je da se alkalnom hidrolizom komercijalne poliesterske tkanine (PET) pri 100 °C bez dodatka akceleratora postiže željeni gubitak mase od 13,79 % u vremenu obrade od 30 min. Produljenjem vremena obrade na 60 min gubitak mase se povećava, pa rezultira nešto višim gubitkom od željenog, 31,18 %. Istovremeno s gubitkom na masi, dolazi do pada prekidne sile uslijed nagrizanja PET vlakana lužinom. Nakon 30 min obrade lužinom dolazi do graničnog gubitka mase od 31,25 %.

Dodatkom HDTMAC kao akceleratora alkalne hidrolize dolazi do većih gubitaka mase u kraćem vremenu. Kod dodatka HDTMAC se već u vremenu od 5 min postiže gubitak mase od 20,22 %. Povećanjem vremena obrade dolazi do sve većih gubitaka mase, 43,69 % nakon 15 min, dok u vremenu od 60 min dolazi do potpune razgradnje uzorka. Upravo radi tako brze razgradnje, dodatak HDTMAC kao akceleratora uzrokuje najveći pad prekidne sile, za 5 min prekidna sila obrađene tkanine iznosi 49,1 %, a nakon 15 min gubitak je veći od 95 %. Pad prekidne sile praćen je smanjenjem prekidnog istezanja. Produljenje neobrađenog uzorka iznosi 34,20 % dok primjerice kod alkalne hidrolize u trajanju od 5 min s HDTMAC iznosi 25,78 %.

Budući da je vrijeme reakcije teško skratiti, učinci alkalne hidrolize uz dodatak HDTMAC kao akceleratora istraženi su nakon obrada pri sniženoj temperaturi od 70, 80 i 90°C. Obrade su provedene u vremenu 5, 15, 30 i 60 min, a za usporedbu je provedena obrada bez akceleratora u vremenu 30 i 60 min.

Iz rezultata gubitka površinske mase PET tkanina, prekidne sile i istezanja je vidljivo da alkalna hidroliza na 90°C bez dodatka akceleratora za 60 min dovodi do gubitka mase tkanine od 16,76 %. Dodatkom HDTMAC se već nakon 5 min gubi 12,56 % mase. Povećanjem vremena obrade dolazi do povećanja gubitka mase. Tkanina obrađivana 10 min ima gubitak mase 20,21 % i pad prekidne sile od 57,01 % što prelazi željeni učinak. Za pretpostaviti je da bi vrijeme između 5 i 10 min bilo optimalno. Daljnjim povećanjem vremena obrade dolazi do još većih gubitaka, 78,12 % za 60 min obrade.

Daljnjim sniženjem temperature na 80 °C tkanina obrađena lužinom bez dodatka akceleratora za 60 min obrade ima gubitak mase 10,94 %. Uz dodatak akceleratora gotovo isti gubitak mase 9,11 % postiže se za 5 min, a nakon 15 min gubitak mase je 14,75 %, što je unutar željenog gubitka mase (10-20 %). Pad prekidne sile iznosi 45,11 % te je ovo vrijeme optimalno. Nakon 30 min gubitak mase je 25,21 % a sile čak 83 % što tkaninu čini neuporabljivom.

Obradom na 70 °C razgradnja PET tkanine je mala, nakon 60 min bez akceleratora gubitak mase je 7,09 %, a pad prekidne sile svega 5,25 %. Željeni gubitak na masi uz dodatak HDTMAC postiže se u vremenu 30 do 45 min. Nakon 30 min iznosi 15,03% a nakon 45 min 19,5 %. Obzirom da je pad prekidne sile nakon 30 min već 57 % i ovo vrijeme je izvan granica tolerancije.

Rezultati stupnja bjeline ( $W_{CIE}$ ) i indeksa požućenja (YI) za komercijalnu tkaninu prikazani su u tablicama 24-27. Stupanj bjeline neobrađene PET tkanine je 71,2 dok indeks požućenja iznosi 3,16. Alkalnom hidrolizom nije došlo do požućenja tkanine, štoviše, došlo je do blagog porasta bjeline što ukazuje da je alkalnom hidrolizom došlo do čišćenja površine. Uspoređujući bjeline svih uzoraka, tkanine hidrolizirane s HDTMAC kao akceleratorom su postigle najveću bjelinu neovisno o temperaturi. Najveći stupanj bjeline postignut je na 80 °C u vremenu 30 min uz dodatak HDTMAC i iznosi 76,0. Izvrstan stupanj bjeline od 75,1 ima uzorak obrađivan na isti način 15 min uz indeks požućenja 2,10.

Rezultati sposobnosti upravljanja vlagom određeni prema AATCC TM 195-2017 na komercijalnoj poliesterskoj tkanini (PET) prikazani su u tablicama 28-38. Pokazalo se da neobrađena PET tkanina ima izuzetno kratko vrijeme vlaženja i velik radijus vlaženja koji ukazuje na hidrofobnu površinu velike kapilarnosti. Očekivalo bi se da hidrofobni PET nema vremena vlaženja. U slučaju hidroliziranih PET tkanina, vrijeme vlaženja se mijenja uslijed promjena površine i bolje apsorpcije. To potvrđuje brzina apsorpcije koja predstavlja prosječnu brzinu upijanja kapljevite vlage za gornju i donju površinu uzorka tijekom početne promjene sadržaja vode tijekom ispitivanja.

Brzina širenja, koja predstavlja akumuliranu brzinu površinskog vlaženja iz središta uzorka na kojem se ispusna otopina spusti do najvećeg vlažnog radijusa, na hidrofobnoj površini neobrađenog PET-a je brža nego na hidroliziranom PET-u što sugerira veću kapilarnost neobrađenog PET-a, ali istovremeno i bolju apsorpciju hidroliziranih PET tkanina. Akumulativna jednosmjerna transportna sposobnost (R) predstavlja razliku između područja krivulja sadržaja kapljevite vlage gornje i donje površine uzorka s obzirom na vrijeme. Ako je sadržaj vode na gornjoj površini mnogo veći nego na donjoj, apsorpcija je veća. Za neobrađenu PET tkaninu R iznosi 63 %, a za hidrolizirane > 500 %, što ukazuje da hidrolizirane PET tkanine imaju veći R i bolji apsorpcijski učinak od neobrađenog.

Dobivena ukupna sposobnost (kapljevite) upravljanja vlagom (OMMC) za neobrađenu PET tkaninu je izvrsna, što sugerira izrazitu kapilarnost i „Tkanina sa sposobnošću brze apsorpcije i brzog sušenja za upravljanje vlagom“, dok je za alkalno hidrolizirane vrlo dobar, što ukazuje na „Tkaninu sa sposobnošću prodiranja vode“. U slučaju alkalne hidrolize pri sniženim temperaturama sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom je slična kao pri 100 °C i niti jedna obrada se ne izdvaja.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je istražena alkalna hidroliza poliesterske tkanine pri sniženoj temperaturi sa svrhom energetski i ekonomski povoljnijeg procesa. Kao akcelerator alkalnoj hidrolizi primijenjen je kationski tenzid heksadeciltrimetil amonijev klorid (HDTMAC).

Pokazalo se da je HDTMAC vrlo učinkovit bez obzira na koju tkaninu primijenjen. Na 100 °C u vremenu od 60 min uz dodatak HDTMAC dolazi do potpune razgradnje uzorka, a nakon 5 min je razgradnja dovoljna za tekstilnu primjenu.

Na sniženim temperaturama od 70, 80 i 90°C dolazi do manjeg gubitka mase a time i manjeg pada prekidne sile. Uzevši u obzir sve parametre: gubitak mase, pad prekidne sile, bjelinu i sposobnost upravljanja vlagom na 90 °C obrada se može provesti u vremenu od 10 min, na 80 °C 15-30 minuta, dok na 70 °C treba 45 minuta uz dodatak akceleratora.

Zaključno, obrada na 80 °C uz dodatak HDTMAC u vremenu 30 min za standardnu (STD) i 10 min za komercijalnu (PET) poliestersku tkaninu daju najbolje rezultate, čime se postiže ekonomski i energetski ušteda radi niže temperature i brže obrade.

## 7. LITERATURA

- [1] Čunko R., Andrassy M.: Vlakna, Zrinski d.d., Čakovec, 2005.
- [2] BISFA Terminology of man-made fibers, 2017. dostupno na: <https://www.bisfa.org/wp-content/uploads/2018/06/2017-BISFA-Terminology-final.pdf>, pristupljeno 2021
- [3] Janović, Z.: Polimerizacija i polimeri, HDKI-Kemija u industriji, Zagreb, 1997.
- [4] Polyester Properties, Production, Price; Market and Uses; dostupno na: <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyester/> pristupljeno: lipanj 2021.
- [5] YIZHENG PROSPERITY CHEMICAL FIBER CO., LTD: Properties of Polyester Fibers, dostupno na: <http://ba.yzfiber-factory.com/news/properties-of-polyester-fibers-24400843.html> pristupljeno: lipanj 2021.
- [6] IHS Markit: PET Polymer; dostupno na: <https://ihsmarkit.com/products/pet-polymer-chemicaleconomics-handbook.html> pristupljeno lipanj 2021
- [7] Čorak, Ivana; Pušić, Tanja; Tarbuk, Anita: Enzimi za hidrolizu poliestera, Tekstil 68 (2019) 7-9.
- [8] Grancarić, A.M.; Pušić, T.; Kallay, N.: Modifikacija poliesterskog vlakna alkalnom hidrolizom, Polimeri 12 (1991) 9-12, 141-146
- [9] Grishanov, S. 2 - Structure and properties of textile materials in Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes, Volume 1, Woodhead Publishing Series in Textiles (Ed. M. Clark) 2011, 28-63
- [10] Soljačić, I.; A. M. Grancarić: Vježbe iz procesa oplemenjivanja tekstila, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 1995.
- [11] Grancarić A. M. i sur.: Utjecaj obrade na efekte alkalne hidrolize poliestera, Tekstil 37 (1988.) 12, 689-694
- [12] Grancarić A.M., N. Kallay: Kinetics of polyester fiber alkaline hydrolysis: Effect of temperature and cationic surfactants, Journal of Applied Polymer Science 49 (1993) 1, 175-181

- [13] Grancarić A.M. et al.: Topochemical Modification of Poly (Ethylene Terephthalate) Fibers: Kinetic of Fiber Alkaline Hydrolysis, World Textile Conference 3rd AUTEX Conference Civiltex 2003, Gdansk, Poland, 25.-27.06.2003., Lodz: Technical University of Lodz, 2003, 29-33
- [14] Soljačić I., Pušić T.: Njega tekstila - Čišćenje u vodenim medijima, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb 2005.
- [15] Knepper T.P., J.L.Berna: Chapter 1 Surfactants: Properties, production, and environmental Aspects, Comprehensive Analytical Chemistry 40 (2003), 1-49.
- [16] Glumac N. ; N. Sakač; M. Remetović; M. Jozanović; N. Novotni-Horčička: Utjecaj površinskih aktivnih tvari na okoliš, Utjecaj površinski aktivnih tvari na okoliš, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, 11 (2020), 2; 7-14.
- [17] Marjanović, N: Određivanje koncentracije kationskih tenzida u komercijalnom dezinficijensu za rane, 2015., diplomski rad, Odjel za kemiju, Osijek