

Višenamjenska obrada pamučne tkanine u svrhu vodoobojnosti, uljeodbojnosti i zaštite od gorenja

M Omerović, Lejla

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:201:164302>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO

ZAVRŠNI RAD

**VIŠENAMJENSKA OBRADA PAMUČNE TKANINE U
SVRHU
VODOODBOJNOSTI, ULJEODBOJNOSTI I ZAŠTITE OD
GORENJA**

Lejla M Omerović

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Studij: Tekstilna tehnologija i inženjerstvo (TTI)
Smjer: Projektiranje i menadžment tekstila (PMT)

ZAVRŠNI RAD

**VIŠENAMJENSKA OBRADA PAMUČNE TKANINE U
SVRHU
VODOODBOJNOSTI, ULJEODBOJNOSTI I ZAŠTITE OD
GORENJA**

Mentor:
doc. dr. sc. Lea Botteri

Izradila:
Lejla M Omerović
0117228902 / TTI

Zagreb, rujan 2021.

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet,
Prilaz baruna Filipovića 28a, 10 000 Zagreb
Zavod za tekstilno-kemijsku tehnologiju i ekologiju

Broj stranica: 34

Broj tablica: 11

Broj slika: 13

Broj jednađbi: 3

Broj literaturnih izvora: 13

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk, predsjednica
2. Doc. dr. sc. Lea Botteri, članica
3. Dr. sc. Daniel Domović, član
4. Dr. sc. Zorana Kovačević, zamjenik člana/ice

Zahvala

Zahvaljujem se svojoj mentorici, profesorici Lei Botteri na svom pruženom znanju, stručnoj pomoći i strpljenju koje mi je pružila tijekom stvaranja ovog rada.

SAŽETAK

U ovom radu istražit će se različita kombinacija sredstava za vodoodbojnu, uljeodbojnu i obradu protiv gorenja s ciljem postizanja višenamjenske obrade. U tu svrhu fluorokarbonski spoj dodat će se u dvije obrade uz konvencionalne usporivače gorenja (Apyrol CEP, i Urea-amonij hidrogen fosfat). Ocjena učinkovitosti gorenja provest će se mjerenjem graničnog indeksa kisika (LOI) i horizontalnom komorom za ispitivanje gorivosti. Metodom okišnjavanja na uređaju po Bundesmannu, spray testom i 3M testom ispitat će se vodoodbojnost i uljeobojnost obrađenih pamučnih tkanina.

Ključne riječi: pamuk, vodoodbojnost, uljeodbojnost, zaštita protiv gorenja, granični indeks kisika.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1 Pamuk	2
2.1.1 Kemijska i morfološka građa pamuka	4
2.1.2 Svojstva i upotreba pamučnih vlakana	6
2.2 Vodoodbojna i ulje odbojna apretura	8
2.3. Ponašanje tekstilnih materijala u gorenju	9
2.3.1 Plinska i kondenzirana faza	10
2.4 Toplinska stabilnost celuloze	11
2.5 Uloga usporivača gorenja	12
2.5.1 Sredstva za obradu protiv gorenja	14
3. EKSPERIMENTALNI DIO	15
3.1 Zadatak rada.....	15
3.2 Materijal	15
3.3 Potupci obrade	16
3.4 Obrada na fularu	17
3.5 Horizontalni test na gorenje	18
3.6 Određivanje graničnog indeksa kisika (LOI)	19
3.7 Sprey test	21
3.8 Metoda okišnjavanja na uređaju po Bundesmannu	22
3.8 Postupak ispitivanja efekta uljeodbojnosti 3M testom	24
4. REZULTATI I RASPRAVA	26
5. ZAKLJUČAK	33
6. LITERATURA	34

1. UVOD

Zbog svojih karakteristika pamučne tkanine se najčešće koriste za izradu odjevnih predmeta. Kako bi poboljšale karakteristike pamučnih tkanina i učinili ih dovoljno jakim za industrijske namjere, pamučne tkanine možemo podvrgnuti raznim predobradama. S primjenom novih tehnoloških otkrića dobivamo proizvode unaprijeđene vrijednosti poput visoko apsorptivnih materijala, negorivih, uljeodbojnih, vodoodbojnih i funkcionalnih tekstilija.

Kako su celulozni materijali sklони gorenju, posebno pamučne tkanine koje gore i nastavljaju goriti i izvan direktnog plamena jedna od posebno važnih obrada je i obrada protiv gorenja koja će biti ispitana u ovom završnom radu. Nanošenjem apreture protiv gorenja sprečavamo stvaranje požara i ljudske živote. Postavljaju se sve veći zahtjevi na postojanu obradu protiv gorenja za tekstilije koje mogu doći u direktan kontakt s izvorom vatre. Upravo su iz tog razloga u mnogim zemljama i doneseni zahtjevi da su tekstilni materijali u interijeru koji su lako zapaljivi obrađeni apreturama protiv gorenja.

Cilj rada je da se tekstilnoj tkanini višenamjenskom obradom daju svojstva vodoodbojnosti, uljeodbojnosti i zaštita od gorenja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1 Pamuk

Pamuk predstavlja jednu od najvažnijih sirovina za izradu tekstilija te je najviše upotrebljavano tekstilno vlakno na svijetu. U ukupnoj svjetskoj proizvodnji se godišnje proizvede 19,32 milijuna t/god vlakana od kojih pamuk učestvuje s 36%, dok je unutar skupine prirodnih vlakana zastupljen sa 74,3%. Trenutno svjedočimo padajućem trendu udjela pamučnih vlakana u ukupnoj svjetskoj proizvodnji vlakana radi povećanja kapaciteta proizvodnje i potrošnje umjetnih vlakana zbog njihove jeftine masovne proizvodnje.

Prema povijesnim izvorima najstariji pamučni tekstil potječe iz 5800.g.pr.Kr. Na tlu današnjeg Meksika pronađeni su ostaci pamučnih čahura i tekstila. Također ostaci pamučnih tkanina pronađeni su i na području današnjem Perua i Pakistana koji se nalazi na potpuno drugoj strani svijeta, a datiraju iz vremena 3000 – 2800. g.pr.Kr. U Europi je pamuk poznat tek od srednjeg vijeka kad su ga iz sjeverne Afrike, preko Sicilije, donijeli Arapi u 10. st. Danas se pamuk uzgaja na svim kontinentima u oko 75 zemalja svijeta. Najveći proizvođači pamuka su: Kina, SAD, Indija, Pakistan, Uzbekistan i Turska, koji proizvode $\frac{3}{4}$ ukupne količine pamuka u svijetu [1].

Monokulturni uzgoj na velikim površinama uz primjenu mnogih agrotehničkih mjera karakterističan je za suvremenu proizvodnju pamuka. Biljka pamuka ima cvjetice bijele, žućkaste ili ružičaste boje (ovisno o vrsti pamuka i podneblju) i listove slične listovima vinove loze. Nakon otpadanja cvjetića razvijaju se čahure veličine oraha s pregradama u kojima se razvijaju sjemenke. U jednoj pregradi nalazi se 3-5 sjemenki, a iz tih sjemenki izrastaju vlakna. Iz jedne sjemenke izrasta 2000 do 7000 vlakana, a svako vlakno predstavlja jednu stanicu, zbog čega se pamuk ubraja u jednostanična vlakna. Vlakna u jednoj čahuri ne narastu do jednake duljine niti imaju isti stupanj zrelosti. Nakon sazrijevanja i pucanja čahure dolazi do berbe pamuka. Često se ubiru biljke na kojima su u isto vrijeme prisutne zrele i nezrele čahure i cvjetovi. Razlog tome jeste upravo ta činjenica da sve čahure ne sazrijevaju u isto vrijeme. Berba pamuka može se obavljati strojno i ručno. Ručnim branjem odabiru se samo zrele čahure te se tako dobivaju

kvalitetnija vlakna s manje nečistoća (do 1,5%). Strojnim branjem pamuka postotak nečistoća je dosta veći (13 do 15%) pa se u novije vrijeme prije strojne berbe pamuk prska sredstvima za opadanje lišća (tzv. defolijanti) kako bi bilo manje nečistoća, što je na kraju veoma ekološki nepovoljno. S jedne stabljike pamuka dobiva se od 130 do 1000 g pamučnog vlakna. Nakon berbe pamuka se na strojevima pod nazivom egrenaljke odvaja vlakno pamuka od sjemenki, a sam postupak toga se naziva egreniranje. Zaostala vlakna koja su manja od 3 mm se nazivaju linters i ona se odbacuju kako su nedovoljno duga za preradbu u pređu, no svoju svrhu nađu u izradi netkanog tekstila, za industrijske i medicinske vate i slično. Prilikom postupka egreniranja sirovog pamuka dobiva se 33% vlakana za tekstilne svrhe, 2% otpadnih vlakana, a ostatak od 65% otpada na sjemenke. Te sjemenke također pronalaze svoju primjenu i koriste se za proizvodnju ulja, stočne hrane i slično. Nakon egreniranja slijedi postupak čišćenja pamuka, a zatim njegovo pakiranje u bale. Radi velikog volumena pamučnih vlakana u rastresitom stanju, određena masa vlakana se oblikuje u balu postupkom prešanja, a bale se zaštićuju jutenom tkaninom i stežu čeličnim trakama [1].

Danas je identificirano oko 40 vrsta pamučnih biljaka, a sve pripadaju rodu *Gossypium*, porodici Malvaceae. Samo su 4 vrste kultivirane vrste (koje imaju svoje podvrste) za uzgoj s ciljem dobivanja vlakana, a to su:

- *Gossypium hirsutum* (zastupljen u oko 85%)
- *Gossypium barbadense*
- *Gossypium herbaceum*
- *Gossypium arboreum*.

Trenutno u svijetu veliki trend predstavlja ekološki uzgoj pamuka što podrazumijeva uzgoj pamuka u strogo kontroliranim uvjetima, zabranu primjene sintetskih pesticida, izbjegavanje korištenja umjetnih gnojiva, čišćenje i bogaćenje tla ugljikom i davanje prednosti ručnoj berbi. Ekološki uzgoj biljke rezultira vlaknom koje nije potencijalno štetno za ljudsko zdravlje i ne sadrži opasne kemikalije. Ako se pamuk uzgoji po navedenim mjerama, proizvođač to ima pravo istaknuti deklaracijom o ekološkom uzgoju. Neke od popularnih deklaracija vezane za ekološko vrednovanje tekstila su: EU eco-label, öko-Tex Standard 100 i slične. Kako bi i tijekom dalje preradbe vlakana u

složenije tekstilne proizvode izbjegli ekološki neprihvatljive kemijske postupke poput: bijeljenja, bojenja i tiska, proizvedeni su pamuci koji ne daju bijela nego obojena vlakna. To se radi uz pomoć metoda razvoja starih biljnih kultura Indijanaca, ali i uz pomoć primjene genetskog inženjerstva [1].



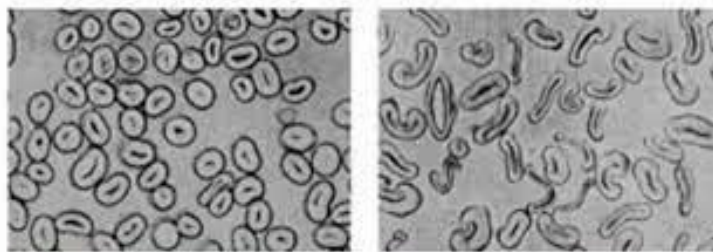
Slika 1 – Plantaža pamuka [2]

2.1.1 Kemijska i morfološka građa pamuka

Pamučno vlakno je kemijsko pretežito građeno od celuloze. Pored celuloze se u vlaknu u manjoj mjeri nalaze i razne tvari poput pektina, voskova, organske kiseline, proteini i minerali. Postotni udio navedenih tvari različit je u pojedinim vrstama pamuka, što ovisi o genetskim i klimatskim čimbenicima, sastavu tla i sl. Pektini se sastoje od poligalakturonske kiseline i njezinih Ca-, Fe- ili Mg-soli. Voskovi sadrže masne kiseline i estere ugljikovodika s 24 do 30 C-atoma, od mineralnih tvari radi se o spojevima Ca, Mg, K i Na. Pored svega navedenog vlakno sadrži i određenu količinu upijene vlage [1].

Pamučno vlakno je veoma specifično i prepoznatljivo po svojim morfološkim karakteristikama. Razvoj pamučnog vlakna odvija se u par faza. U prvoj fazi se izdužuju stanice epiderme na sjemenici i nastaje mlado vlakno. Tad je vlakno cjevastog oblika i sastoji se od samo jezgre s citoplazmom i tanke primarne stjenke na čijoj je vanjskoj strani kutikula. Primarna stjenka se sastoji od termootpornih voskova (u vanjskom sloju), te hemiceluloze, pektina i drugih neceluloznih tvari koje biljka tijekom rasta skladišti u

primarnu stjenku (ostatci pesticida, metalne soli i dr.). Druga faza nastaje kada stanice dosegnu punu duljinu. To je faza kad započinje razvoj sekundarne stjenke slaganjem slojeva celuloze s unutrašnje strane primarne stjenke, debljajući se u pravcu središnje šupljine. Dokazano je da svaki dan nastaju po dva sloja. Navedeno debljanje stjenke naziva se zrenje vlakna. Slojevi celuloze koji nastaju u sekundarnoj stijenci sastoje se od spiralno posloženih, finih, nitastih fibrila građeni od još finijih nitastih tvorevina koje se nazivaju mikrofibrili, koji nastaju poprečnim međumolekulnim povezivanjem celuloznih makromolekula. U svakom sloju je drugačiji smjer fibrila, a upravo to čini umreženu strukturu vlakna. To rezultira dobrom čvrstoćom vlakna. Razvoj i rast sekundarne stjenke ovisi o vrsti pamuka, klimatskim uvjetima, agrotehničkim mjerama, stanju biljke, a većinom se dešava u razdoblju od 30 do 50 dana. Kad se rast završi ili prekine čahura puca i otvara se te poprimi izgled bijele loptice iz koje su vidljiva vlakna koja izrastaju iz sjemenki. Tad se vlakna kužnog presjeka suše zajedno s protoplazmom u središnjoj šupljini. Ostaci protoplazme nakupe se na graničnom sloju između sekundarne stijenke i lumena tvoreći terciarnu stijenku. Ovo sušenje uzrokuje promjenu oblika vlakna iz cilindričnog (cjevastog) u spljošteni oblik vrpce. Nastaje podtlak u lumenu i nastaju razne akumulirane napetosti u sekundarnoj stijenci vlakno se spiralno počinje uvijati. Broj uvoja ovisi o razvijenosti sekundarne stijenke. Kod mrtvih vlakana (vlakna koja prilikom pucanja čahure nisu razvila sekundarnu stijenku) uvoja gotovo ni nema, a vlakno pod mikroskopom izgledaju kao tanka i prozirna vrpčica. Također ni prezrela vlakna nemaju uvoje jer njihova sekundarna stijenka gotovo ispunjava lumen pa se nakon isušivanja oblik vlakna bitno ne mijenja. Najveći broj uvoja imaju vlakna čija je zrelost u nekom srednjem području razvijenosti sekundarne stijenke. Iz navedenog možemo zaključiti da se pamučna vlakna prema stupnju zrelosti tj. razvijenosti sekundarne stijenke svrstavaju u 3 skupine: mrtva vlakna, nezrela vlakna i zrela vlakna. Karakterističan izgled vlakna vidljiv je i pod optičkim mikroskopom, a još više na slici dobivenoj primjenom elektronskog mikroskopa. Na uzdužnoj slici i poprečnom presjeku vlakna očigledan je karakterističan vrpčasti oblik vlakna po kojem je vlakno prepoznatljivo i po čemu se može identificirati [1].



Slika 2 – Poprečni presjek pamuka pod mikroskopom [3]

2.1.2 Svojstva i upotreba pamučnih vlakana

Čistoća je karakteristika koja se odnosi na količinu raznih primjesa poput ostataka sjemenki, lišća i drugih biljnih primjesa, zemlje u sirovom pamuku. Poželjna je što veća čistoća pamučnih vlakana. Pamučna vlakna su pretežito bijele do blijedo žućkaste **boje**. Zdravi i zreli pamuk je bijele boje, a odstupanja od bijelog mu i smanjuju kvalitetu. [1]

Duljina pamučnih vlakana je relativno mala, a unutar jedne vrste pamuka pojedina vlakna se mogu razlikovati po duljini, a ta se karakteristika označava kao polidisperznost vlakana. Uzorak vlakna u kojem su sva vlakna razvrstana prema duljini, počevši od najduljih pa do najkraćih, naziva se vlasak. Poželjno je da nejednolikost duljine vlakana bude što manja jer se tako vlakna lakše prerađuju u pređu. Prosječna duljina pamučnog vlakna je oko 2,5 cm.

Finoća pamučnog vlakna nalazi se u području od 1,5 do 2 dtex, ali mogući su i širi rasponi od 2,5 do 8 dtex-a. Samim tim možemo zaključiti da su pamučna vlakna općenito fina vlakna.

Čvrstoća pamučnih vlakana je također općenito dobra, jer su dovoljno čvrsta za raznovrsne tekstilne primjene. Čvrstoća također ovisi o vrsti pamuka i nalazi se u području od 20 do 50 cN/tex. Prema ovim vrijednostima pamučna vlakna se svrstavaju u vlakna srednje čvrstoće. Zanimljiva je činjenica ta da su pamučna vlakna čvršća u mokrom stanju nego u suhom. Vlakno je samo po sebi otporno i na deformaciju, a prekidno istezanje iznosi 5-10 %. Elastični oporavak kod 2% istezanja iznosi 75%, a kod 5% istezanja 45%. U praksi se čvrstoća vlakana najčešće izražava tzv. presli indeksom

(PI) koji se određuje dinamometrom kojim se mjeri sila u librama pri kojoj dolazi do prekida snopića vlakana određene mase.

Upijanje vlage pamučnog vlakna je relativno dobro pa možemo reći da je vlakno prilično higroskopno, repriza iznosi 8,5%, ali stvarna sposobnost upijanja vlage pri standardnoj atmosferi ovisi o porijeklu pamuka i kreće se u rasponu od 6 do 9,5 %. Hidrofilnost pamuka se povećava bijeljenjem i iskuhavanjem. **Gustoća** vlakana iznosi 1,53 do 1,55 g/cm³ i pamuk se po toj vrijednosti ubraja u vlakna srednjih gustoća.

Otpornost na toplinu je relativno mala jer pamučno vlakno lako gori i održava gorenje izvan plamena. Do staklastog prijelaza prilikom zagrijavanja suhom toplinom dolazi na temperaturi od 50 °C, dok je promjena boje moguća pri temperaturama od 120 do 150 °C, a do oštećenja dolazi pri izlaganju vlakna na temperaturama iznad 200 °C. Do samozapaljenja vlakna može doći na temperaturi od 400 °C.

Sirovi pamuk je posebno **osjetljiv na mikroorganizme**, te se u određenim uvjetima poput vlažnih skladišta i slično mogu razvijati gljivice, plijesni i bakterije koje ga pritom oštećuju. Na tako oštećenom pamuku vidljive su mrlje hrđave boje i točkice.

Izlaganjem UV zrakama vlakna vremenom gube čvrstoću.

Otpornost pamučnih vlakana prema alkalijama i organskim otapalima je relativno dobra, a nešto manje dobra prema anorganskim kiselinama. Pamučne tekstilije se bojadišu i bijele dosta lako, međutim su sklone gužvanju, a taj se nedostatak može popraviti dodavanjem raznih apretura. Dodavanjem raznih apretura mogu se postići i razna druga svojstva poput vodoodbojnosti, smanjenja gorivosti i slično.

Pamučna vlakna se koriste za izradu raznovrsnih tekstilija i pletiva. Razlog tome je relativno niska cijena, izvrsna svojstva, udobnost pri nošenju i lakoća higijenskog održavanja. Od pamučnih materijala najčešće se izrađuju gornja i donja periva odjeća, odjeća za djecu, pidžame, stolno i posteljno rublje, ručnici, konci i slično. U tekstilnoj izradi pamuk se često upotrebljava i u mješavini s poliesterskim i viskoznim vlaknima. Manji dio pamuka koristi se za izradu tehničkog tekstila jer se u ovom području sve više koriste umjetna vlakna [1].

2.2 Vodoodbojna i uljeodbojna apretura

Apreturom nazivamo kemijske spojeve koje nanosimo na tekstilije kako bi im dali određena svojstva. Apretirani materijal ima svoja specifična svojstva, sjaj, opip, masu i širinu. Kako bi se pamučna tkanina mogla koristiti i u tehničke svrhe potrebno je povećati njenu izdržljivost i poboljšati njena svojstva i sposobnosti [4].

Vodoodbojna apretura je nanošenje nepropusnog sloja na cijelu površinu tkanine koji tkanini daje sposobnost potpune nepropusnosti vode. Ovakva tkanina je teška i neugodna za nošenje jer ne propušta zrak. Moguće je impregnirati tkaninu te tako omogućiti prolaz zraka i vodene pare kroz tkaninu te je tako učiniti ugodnijom za nošenje, ali takva tkanina više nije potpuno nepropusna jer pod pritiskom većeg stupca vode počinje propuštati vodu [5].

Danas se na tržištu mogu naći razne skupine sredstava za hidrofobiranje a najčešće su: parafinske emulzije koje sadrže soli metala, polisiloksane i fluorkarbonski polimeri [5].

Parafinske emulzije koje sadrže soli metala se nanose postupkom impregniranja adsorptivnim taloženjem čestica na površini tekstilnog materijala. Postupak se provodi jednokupeljno uz dodatak aluminijeve ili cirkonijeve soli koja daje otpornost na alkalije i karbonate. Vodoodbojnost dobivena ovim putem je dugotrajna i visoka, ali nepostojana na kemijsko čišćenje i pranje [5].

Polisiloksani s organskim supstituentima $-CH_3$, $-X$, $-Y$, $-Z$ mogući su za tri osnovne modifikacije: dijela kopolimera, krajnjih skupina i bočnih skupina. Za postizanje dobrih rezultata vodoodbojnosti potrebno je postići pravilno orjentiranje polisiloksanskih lanaca. Do usmjeravanja vlakna dolazi jer se elektronegativan kisik iz polisiloksana okreće prema vlaknu na koje je nanešena cirkonijeva sol, a hidrofobne metilne grupe se okreću prema van. Prednost ovakve obrade je jako fin opip i povećana otpornost na gužvanje. Površinska napetost je nedovoljna za sprečavanje prodora ulja u površinu tekstilnog materijala. Polisiloksani su se često primjenjivali krajem prošlog stoljeća zbog relativno niske cijene i jednostavne primjene [5].

Fluorokarbonski polimeri se osim za obradu odjeće koriste i za obradu tekstilija za industrijske namjere. Zbog svoje površinske napetosti omogućavaju dobivanje dobrih svojstava vodoodbojnosti i uljeodbojnosti. Površinska napetost tekstila se smanjuje

stvaranjem filma koji sprečava prodor ulja i nečistoća. Tkanine s manjom površinskom napetošću se teže kvase jer nastaje barijera prilikom prodiranja tekućine. I kod ovih spojeva je veoma bitna orijentacija hidrofobnih atoma koji za dobivanje dobrih rezultata za uljeodbojnost moraju biti okrenuti prema van [5].

Od svih navedenih sredstava najbolji rezultat daju fluorkarbonski spojevi koji osim hidrofobnih pokazuju i oleofobna svojstva, a postojani su i na sve vanjske utjecaje [5].

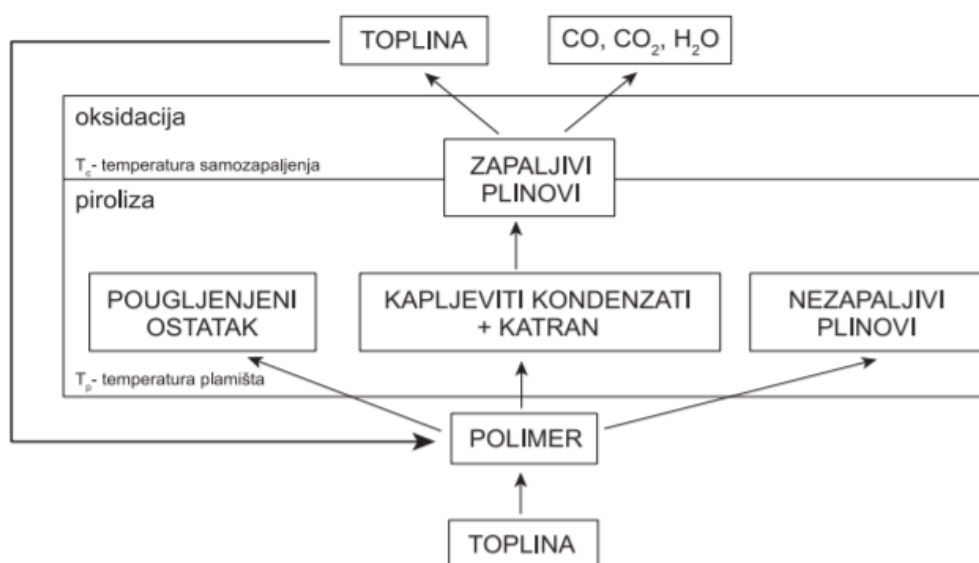
Uljeodbojna apretura se koristi zbog olakšanog skidanja zaprljanja koje je uzrokovano uljima i tekućinama koje sadrže ulje. Istovremeno prilikom nanošenja uljeodbojne apreture materijal poprima i vodoodbojne sposobnosti, pri čemu i dalje propušta vodenu paru i zrak. Najčešće korištena uljeodbojna apretura je Teflonom koja se nanosi iz vodene kupelji, ne sadrži formaldehid i zadovoljava sve ekološke standarde i principe [4].

2.3 Ponašanje tekstilnih materijala u gorenju

Gorenje je brza kemijska reakcija praćena pojavom topline i svjetlosti, a najčešće se s njom susrećemo u obliku plamena. Najprije je to proces spajanja neke gorive tvari s kisikom u procesu oksidacije, uz stvaranje različitih reakcijskih produkata. Sposobnost tekstilnog materijala da se suprotstavi širenju plamena unatoč sposobnosti da može gorjeti predstavlja postojanost tekstilnog materijala prema zapaljivosti. Tekstilni materijal može biti otporan na širenje plamena, ali može doći i do širenja plamena i nakon odmicanja od izvora plamena i njegovog sagorijevanja. Na gorenje tekstilnih materijala utječu razni fizikalni i kemijski čimbenici, okoliš, struktura i sastav kemijskog materijala. Ponašanje vlakna prilikom gorenja ovisi o temperaturama toplinskih prijelaza i termodinamičkim parametrima poput: temperature staklastog prijelaza (T_g), temperature mekšanja (T_m), temperature plemišta (T_p), temperature samozapaljenja (T_c), graničnog indeksa kisika (LOI) i topline izgaranja (ΔH_c) [6].

2.3.1 Plinska i kondenzirana faza

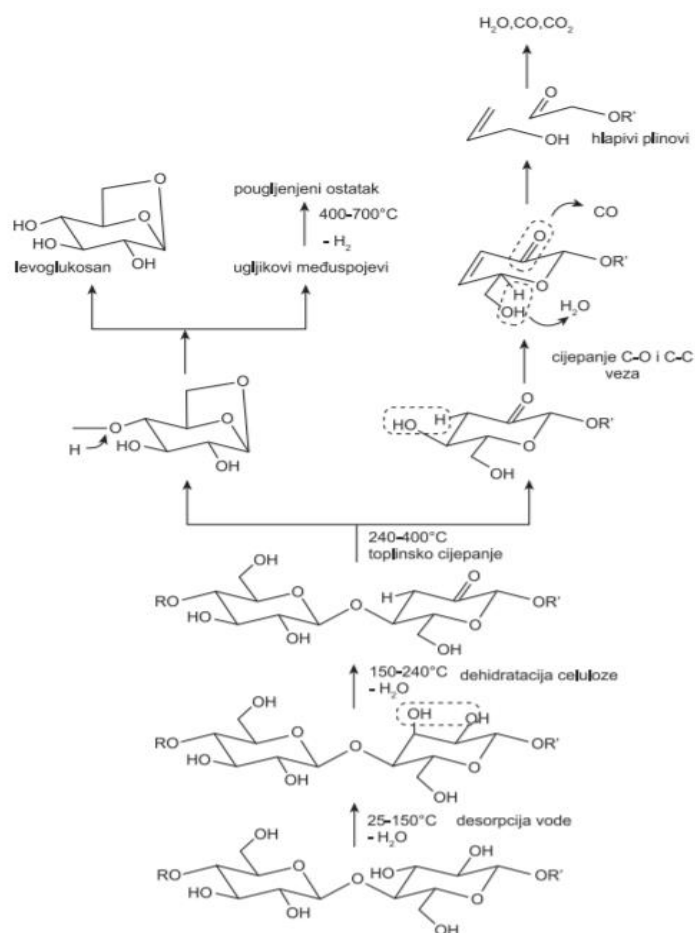
Toplina koja se prenosi od izvora gorenja prema polimeru, odnosno vlaknu uzrokuje pirolizu, gdje je T_p karakteristična za svako vlakno. U tom se trenutku dugolančane polimerne molekule razgrađuju u niskomolekularne kapljevite kondenzate i katran, uz stvaranje pougljenjenog ostatka i nezapaljivih plinova. Kapljeviti kondenzati i katran (kondenzirana faza) se dalje razgrađuju u male molekule zapaljivih plinova. Plinovi u plinovitoj fazi sa zrakom tvore zapaljivu smjesu u kojoj zapaljivi plinovi oksidiraju uz prisustvo kisika iz zraka na temperaturi samozapaljenja (T_c) koja je karakteristična za svako vlakno. Dio topline koji se oslobađa prilikom oksidacije se vraća na polimer i izaziva proces pirolize. Oksidacija se odvija na višim temperaturama od pirolize. Materijal gori samo ako tijekom pirolize nastaju zapaljivi plinovi. Oksidacijom nastaju slobodni radikali visoke energije (R, O, H, OH) koji potiču daljnju reakciju gorenja plinova[6].



Slika 3 – Mehanizam gorenja tekstilnog vlakna [6]

2.4 Toplinska stabilnost celuloze

Zagrijavanjem celuloze na temperaturama između 25 i 150 °C dolazi do desorpcije vode. Na temperaturama između 150 i 240 °C započinju dvije paralelne kemijske reakcije. Prva je dehidracija celuloze, koja dovodi do stvaranja primarnog pougljenjenog ostatka koji je stabilan na temperaturama između 400 i 600 °C uz stvaranje nezapaljivih plinova (voda, ugljični monoksid, ugljični dioksid), a druga je depolimerizacija na temperaturama između 240 i 400 °C i tu se cijepaju acetilne veze glukozidnih jedinica primarnog pougljenjenog ostatka uz stvaranje levoglukozana koji na temperaturama između 400 i 700 °C daje zapaljive plinove i potiče stvaranje sekundarnog pougljenjenog ostatka stabilnog na temperaturama od otprilike 800 °C. Idealno gorenje celuloze bi kao produkt trebalo dati vodu i ugljični dioksid, no u stvarnosti nastaju i ugljični monoksid, policiklički aromatski ugljikovodici, cijanovodik i slično[6].

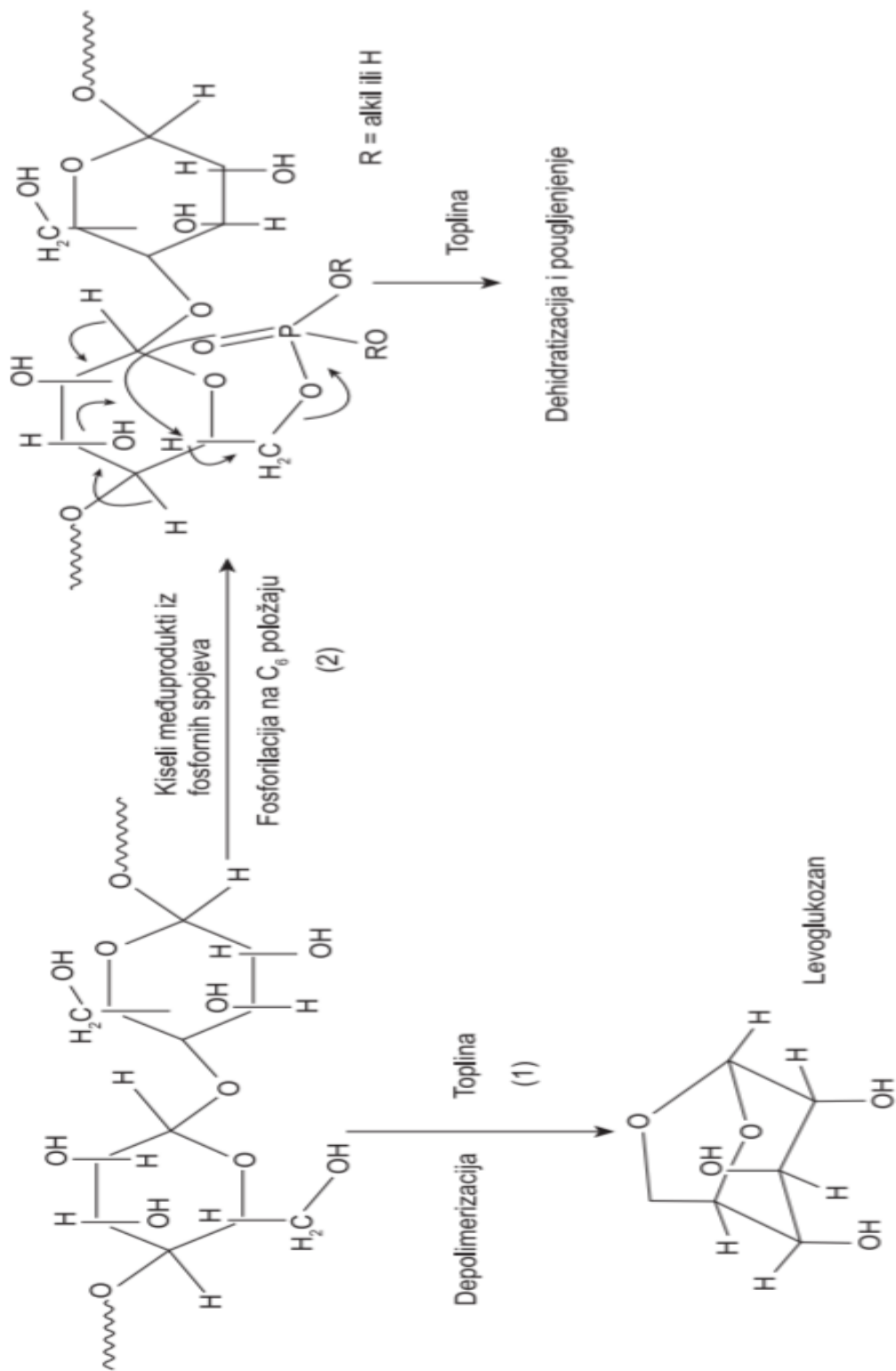


Slika 4 – Toplinska razgradnja celuloze [6]

2.5 Uloga usporivača gorenja

Sredstva za obrade protiv gorenja odnosno usporivači gorenja kao što sam naziv kaže usporavaju ili blokiraju proces gorenja za vrijeme pojedinih faza gorenja na način da uklanjaju dovod topline na polimer, blokiraju pristup kisiku, povećavaju stvaranje nezapaljivih plinova ili smanjuju stvaranje zapaljivih plinova i povećavaju stvaranje pougljenjenog ostatka djelujući u plinovitoj i kondenziranoj fazi. Često se ti mehanizmi djelovanja međusobno isprepliću.

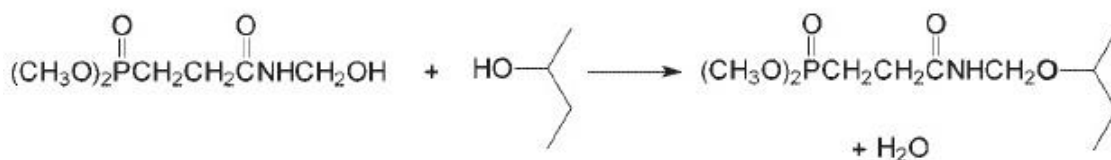
U kondenziranoj fazi mehanizam usporavanja gorenja očituje se djelovanjem polimera i usporivača gorenja na temperaturama nižim od temperature pirolize i odvija se u dvije faze. Prva faza je dehidracija, a druga umrežavanje, odnosno stvaranje pougljenjenog ostatka pri čemu se smanjuje nastanak zapaljivih plinova i ograničava se pristup kisiku. Na ovaj princip djeluju usporivači gorenja na bazi fosfora, silikatni i silikonski usporivači gorenja. Prilikom obrade celuloze usporivačima gorenja na bazi fosfora tijekom razgradnje na temperaturi nižoj od temperature T_c dolazi do fosforilacije hidroksilne skupine na C_6 atomu koja uzrokuje dehidraciju i pojačava pougljenjenje, čime se smanjuje ukupna količina zapaljivih plinova. Usparivači gorenja koji djeluju fizikalnim putem dijele se na: anorganske soli, toplinski nestabilne anorganske karbonate i hidrate i tvari dobre toplinske vrijednosti. Osim primarnog mehanizma usporavanja gorivosti primjenom različitih sredstava važno je sagledati i njihov utjecaj na okoliš odnosno cjeloživotni ciklus proizvoda, moraju jamčiti ugodan opip i zadovoljavajuću čvrstoću, moraju biti otporni na ciklus od 50 pranja u alkalnom mediju na visokim temperaturama i obrađena tkanina ne smije izgubiti svojstvo propusnosti zraka zbog nanešenog usporivača gorenja [6-9].



Slika 5 - Toplinska razgradnja celuloze bez i s usporivačem gorenja [6]

2.5.1 Sredstva za obradu protiv gorenja

U periodu od 1950 do 1980 godine komercijalizirani su već postojani usporivači gorenja celuloznih materijala na bazi derivata a N-alkil supstituiranih fosfonopropionamida (npr. MDPA - N-metiloldimetilfosfonopropionamid), odnosno reaktivni spojevi trgovačkog naziva Pyrovatex CP. Usporivači gorenja na bazi MDPA su i danas u upotrebi bez značajnije alternative, a na tekstilni se materijal nanose impregnacijom. Glavni nedostatak im je otpuštanje slobodnog formaldehida tijekom procesa kondenzacije i tijekom upotrebe. Anorganski usporivači gorenja također spadaju u komercijalna sredstva protiv gorenja i najčešće se kombiniraju s halogenim usporivačima gorenja, te onim na bazi fosfora i dušika [6].



Slika 6 - Reakcija N-metiloldiakilfosfonopropionamida sa celulozom [8]

Usporivači napravljeni na bazi fosfora su najučinkovitiji ukoliko se kombiniraju s dušikovim spojevima, tzv. N-P sinergizam. Dušikovi spojevi (melamin, urea i njihovi derivati) otpuštaju dušik koji se veže za slobodne radikale visoke energije nastale oksidacijom, stvarajući tako stabilne nezapaljive plinove (NO – dušikov monoksid i NO_2 – dušikov dioksid) koji guše plamen. Dušikovi spojevi olakšavaju reakciju fosfornih usporivača gorenja jer se vežu za fosforne usporivače gorenja tvoreći vezu između fosfora i dušika bolje toplinske stabilnosti i tako povećavaju zadržavanje fosfora i dušika u pougljenjenom ostatku [6].

Najpoznatija sredstva za obrade protiv gorenja koja su razvijena u periodu od 1980 godine do danas su: MDPA i limunska kiselina, hidroksialkilorganofosforni oligomer (Fyroltex), trimetilamin, dimetiloldihidroksietilen urea (DMDHEU), BTCA fosforilirana hidroksialkil organofosfornim oligomerom (Fyroltex), TBT - spojevi na bazi dušika (urea, guanidinkarbonat i trietilfosfat (TEP) -dietilfosforamidat, -fosforamidna kiselina, N(2-hidroksietil) dietilester, -dietiletilfosforamidat ili -dietil 2-metoksietilfosforamidat [6].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Zadatak rada

Pamučnu tkaninu obradili smo sredstvima za obradu protiv gorenja uz dodatak sredstava za vodoodbojnu i uljeodbojnu apreturu. Na obrađenim tkaninama ispitani su:

- Horizontalni test na gorenje
- LOI
- Spray test
- Metoda okišnjavanja na uređaju po Bundesmannu
- 3M test

3.2 Materijal

U radu je korištena 100% kemijski bijeljena pamučna tkanina površinske mase 190 g/m² u platnenom vezu.

Tablica 1 – Legenda uzoraka

UZORAK	Obrade
UN	Neobrađena
U_AHF	Pamučna tkanina obrađena protiv gorenja (apretura I)
APY	Pamučna tkanina obrađena protiv gorenja (apretura II)
O_H	Pamučna tkanina obrađena vodoodbojnom i uljeodbojnom apreturom (apretura III)
U_AHF_ O_H	Pamučna tkanina obrađena protiv gorenja uz dodatak sredstava za vodoodbojnu i uljeodbojnu apreturu (apretura IV)
APY_ O_H	Pamučna tkanina obrađena protiv gorenja uz dodatak sredstava za vodoodbojnu i uljeodbojnu apreturu (apretura V)

3.3 Postupci obrade

I Apretura:

urea (NH ₂) ₂ CO	240 g/l
(NH ₄) ₂ HPO ₄	115 g/l
Felosan RG-N (sredstvo za kvašenje)	1 g/l

E.C.= 80 - 100 %

T_S (sušenja)= 110°C, t_S = 2 min.;

T_K (kondenzacije)= 150 °C, t_K = 5 min.

II Apretura

Apyrol CEP (Bezema) - organofosforni spoj	400 g / l
KNITEX 7464 (melaminska smola-umreživač)	20 g / l
H ₃ PO ₄ (80 %)	10 g / l
Felosan RG-N (sredstvo za kvašenje)	1 g / l

T_S (sušenja)= 110°C, t_S = 2 min.;

T_K (kondenzacije)= 150 °C, t_K = 5 min.

III Apretura

OLEOPHOBOL C (fluorokarbonski spoj)	50 g / l
HYDROPHOBOL XAN (extender)	10 g / l
Felosan RG-N (sredstvo za kvašenje)	1 g/l

T_S (sušenja)= 110°C, t_S = 2 min.;

T_K (kondenzacije)= 150 °C, t_K = 5 min.

IV Apetura

urea (NH ₂) ₂ CO	240 g/l
(NH ₄) ₂ HPO ₄	115 g/l
OLEOPHOBOL C (fluorokarbonski spoj)	50 g / l
HYDROPHOBOL XAN (extender)	10 g / l
Felosan RG-N (sredstvo za kvašenje)	1 g/l

T (sušenja) = 110 °C, t_s = 2 min.;

T (kondenzacije) = 150 °C, t_k = 5 min

V Apetura

Apyrol CEP (Bezema) - organofosforni spoj	400 g / l
KNITEX 7464 (melaminska smola-umreživač)	20 g / l
H ₃ PO ₄ (80 %)	10 g / l
OLEOPHOBOL (fluorokarbonski spoj)	50 g / l
HYDROPHOBOL XAN (extender)	10 g / l
Felosan RG-N (sredstvo za kvašenje)	1 g/l

T_s (sušenja)= 110°C, t_s = 2 min.;

T_k (kondenzacije)= 150 °C, t_k = 5 min.

3.4 Obrada na fularu

Fular je diskontinuirani stroj koji se koristi u procesima oplemenjivanja i bojadisanja za impregnaciju i cijedenje. Rašireni materijal se prevodi kroz kupelj preko valjaka stroja, a višak nanasene kupelji se istiskuje podešavanjem opterećenja i brzine valjka.

Nakon ovog koraka slijedi sušenje i termokondenzacija obrađenih uzoraka na rasteznom sušioniku [10].



Slika 7 - Rastezni sušionik i foulard tt. Benz

3.5 Horizontalni test na gorenje

Horizontalni test na gorenje proveden je prema HRN ISO 3795:2001 *Cestovna vozila, traktori i mehanizacija za poljoprivredu i šumarstvo -- Ispitivanje zapaljivosti gradiva od kojih je izrađena unutrašnjost kabine (ISO 3795:1989)* Test promatra da li materijal nastavlja gorjeti nakon uklanjanja ispitnog plamena, a zatim se izračunava brzina gorenja uzorka. Kod ovog testiranja ispitivani uzorak se zapali na jednom kraju pri čemu se postavlja u horizontalni položaj. Brzina sagorijevanja ne smije prijeći brzinu od 76 mm/min, dok kod materijala debljine do 3 mm brzina sagorijevanja ne smije biti veća od 38 mm/min [11]. Brzina sagorijevanja izračunava se prema formuli:

$$B = S/t \cdot 60 \text{ [mm/min]} \quad (1)$$



Slika 8 – Horizontalna komora za ispitivanje gorivosti (Concept Equipment)

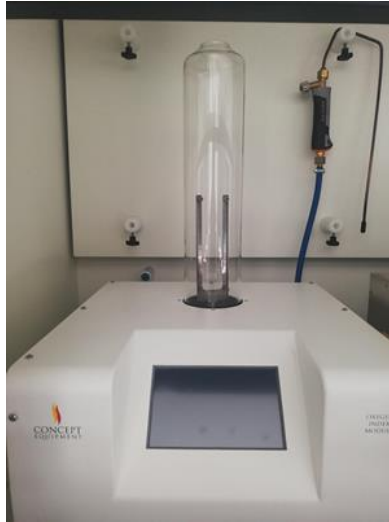
3.6 Određivanje graničnog indeksa kisika (LOI)

Određivanje graničnog indeksa kisika - LOI (eng. Limited Oxygen Index) provedene je prema HRN EN ISO 4589-2:2017 *Plastika – Ponašanje pri gorenju određivanjem indeksa kisika – 2. dio*: Ispitivanje pri sobnoj temperaturi (ISO 4589-2:1017; EN ISO 4589-2:2017), a definira se kao udio kisika u smjesi kisika i dušika, koji je potreban da se određeni materijal zapali. Ovom se metodom brzo i lako može odrediti zapaljivost materijala. Kao granica za skupinu lako zapaljivih i teže zapaljivih materijal uzima se vrijednost $LOI \approx 20$.

Iz navedenog možemo zaključiti da su materijali čiji je $LOI < 20$ lako zapaljiv $20 < LOI < 40$ teško goriv materijal i $LOI > 40$ gotovo negoriva (samogaseća) materijal.

Sustav za mjerenje (slika 3.6) sastoji se od boca s kisikom i dušikom te vatrostalnog cilindra u kojem je vertikalni postavljen uzorak koji se odozgo zapali laboratorijskim plamenikom. Poznata mješavina prolazi vatrostalnim cilindrom, a uzorak se zapali samo u toj smjesi odgovarajućih plinova. Ako uzorak tinja odabrana koncentracija plinova u smjesi je dobivena i na taj se način može očitati granični indeks kisika. Ako je plamen preslab, odnosno ugasi se prije nego dođe do linije mjerenja, granični indeks kisika se

povećava, a što je granični indeks veći to je materijal otporniji na zapaljenje. Ako uzorak prebrzo izgori i plamen bude prejak potrebno je smanjiti koncentraciju kisika [12].



Slika 9 - Uređaj za mjerenje graničnog indeksa kisika, LOI Chamber (Concept Equipment)

Granični indeks kisika izračunava se po formuli:

$$OI = cf + (k \cdot d) \quad (2)$$

gdje je:

cf – posljednja vrijednost koncentracije kisika u postocima volumen.

k – vrijednosti k za izračunatu koncentraciju indeksa kisika za određivanje izrađena Dixonovom metodom "gore-dolje"

d - interval podizanja i spuštanja koncentracije kisika pri finom mjerenju (najčešće 0,2)

Oznake za gorivost materijala:

o – materijal gori

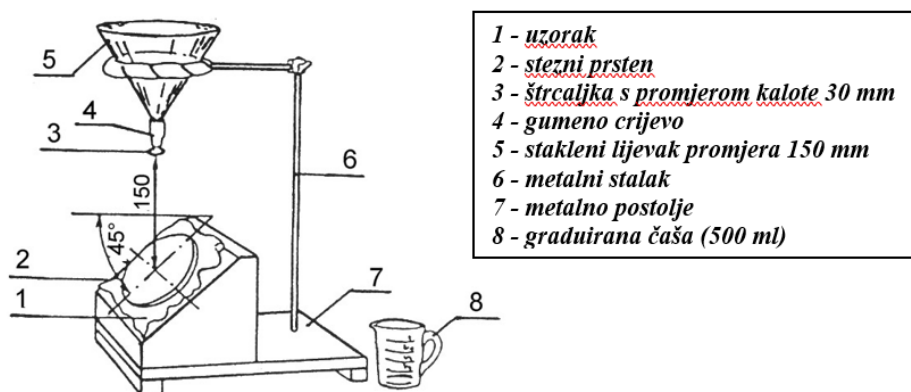
x – materijal ne gori

NL- serija „o“ ili „x“

NT- serija „o“ ili „x“ zajedno sa zadnjih 5 mjerenja ($NT = NL + 5$) [13]

3.7 Spray test

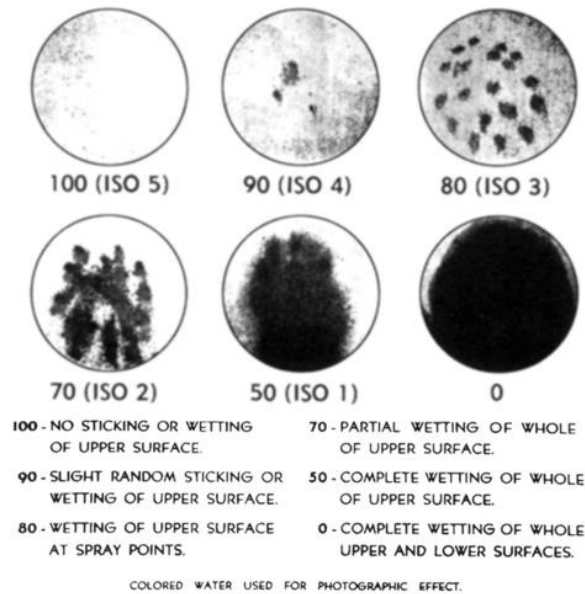
Ispitivanje efekta vodoodbojnosti vrši se metodom Spray testa prema HRN EN ISO 4920:2012 - *Tkanine - Određivanje otpornosti na površinsko vlaženje (ispitivanje raspršivanjem)*. Po standardu se izreže 5 uzoraka dimenzija 220 x 220 mm i uzorak se postavi na stezni prsten licem okrenutim prema gore, tako da površina bude glatka i bez nabora. Prsten s uzorkom se stavi na postolje pod kutem od 45 ° i na način da se centar uzorka i prstena poklapaju. Iznad uzorka nalazi se štrcaljka s gumenom cijevi koja je spojena na lijevak promjera 150 mm. Štrcaljka ima kalotu promjera 30 mm sa 20 pravilno raspoređenih rupica promjera 0,8 mm. U lijevak uređaja lijeva se 250 ml destilirane vode temperature $23 \pm 2^\circ\text{C}$ i pusti da isteče u vremenu 25 do 30 sekundi.



Slika 10 – Aparatura za spray test

Nakon toga se za jedan kraj uzme prsten i drugim krajem udari od neki čvrsti predmet tako da prskana strana bude okrenuta prema predmetu. Nakon toga se prsten okrene za 180 ° i ponovno udari od čvrsti predmet, a potom ocjenjuje razina kvalitete vodoodbojnosti na osnovu izgleda površine uzorka prema etalonima okišnjavanja. Uzorak je vodoodbojan ako zadovoljava minimalni uvjet kvalitete vodoodbojnosti 80.

STANDARD SPRAY TEST RATINGS



Slika 11 – Oznake vodoodbojnosti po spray testu

- "vodoodbojnost 100" - uzorak je potpuno vodoodbojan
- "vodoodbojnost 90" - površina uzorka vrlo slabo pokvašena
- "vodoodbojnost 80" - površina uzorka na točkama okišnjavanja pokvašena
- "vodoodbojnost 70" - cijela površina uzorka mjestimično pokvašena
- "vodoodbojnost 50" - cijela površina uzorka pokvašena
- "vodoodbojnost 0" - potpuno pokvašena gornja i donja površina uzorka

3.8 Metoda okišnjavanja na uređaju po Bundesmannu

Ovo je metoda ispitivanja vodoodbojnosti koja je najsličnija stvarnim uvjetima u usporedbi s ostalim metodama i specifična je po svojoj preciznosti. Provodi se prema HRN EN 29865:2008 - *Tekstilije – Određivanje vodoodbojnosti tkanina ispitivanje pomoću okišnjavanja po Bundesmannu*. Kod ove se metode istovremeno promatra slika okišnjavanja, određuje prodor kapi vode kroz materijal i određuje se adsorpcija vode nakon okišnjavanja.

Za ispitivanje se prvo odrežu uzorci na posebnom rezaču, koji su kružnog oblika i promjera 14 cm, nakon čega se dovedu u standardno stanje i izvažuju. Nakon toga se jednoliko poslože i učvrste na 4 posebne čašice na stroju koje služe za prihvatanje uzoraka. Čašice su položene u krug i za vrijeme ispitivanja rotiraju oko zajedničkog središta. Istovremeno s visine od 1500 mm štrca voda iz posude sa 300 simetrično i ravnomjerno raspoređenih rupica. Protok vode se podešava preko raspršivača, a treba iznositi 100 ± 5 ml/min po površini okišnjavanja od 100 cm^2 .



Slika 12 - Okišnjavanje prema Bundesmmanu

Za vrijeme prskanja vodom posebni otirači trljaju unutarnju stranu uzorka i tako simuliraju trljanje koje se dešava za vrijeme nošenja odjeće. Uređaj se zaustavlja nakon 10 min nakon čega se promatraju slike uzoraka, upoređuju se s test slikama i daje oznaka vodoodbojnosti prema etalonima okišnjavanja površine. Nakon toga se mjeri količina vode koja je prodrla u čašice i to predstavlja ukupni volumen vode koja je penetrirala kroz materijal. Na kraju se izračuna i količina adsorbirane vode i izrazi u postocima s obzirom na masu početnog uzorka, pomoću formule:

$$M = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100 \quad (3)$$

gdje je: M-masa adsorbirane vode (%)

m_1 - masa uzorka nakon okišnjavanja (g)

m- početna masa uzorka (g)

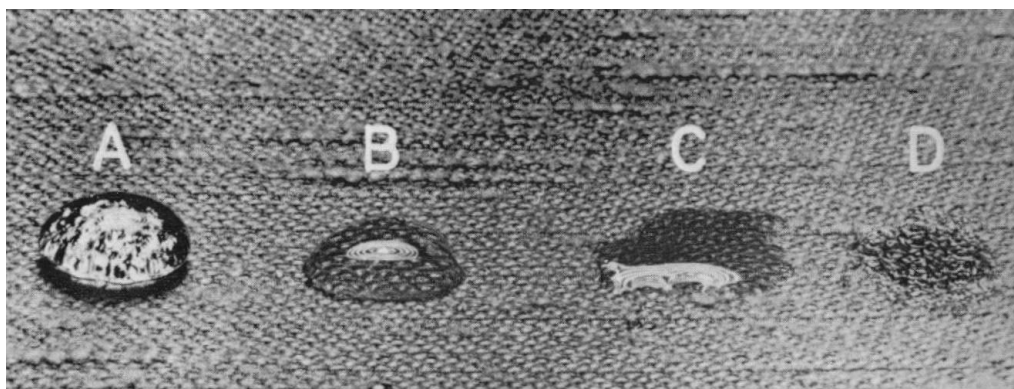
Nakon okišnjavanja je potrebno centrifugirati i izvagati uzorke. Uzorak se pričvrsti na ploču centrifuge pomoću četiri igle na ploči, a zatim se centrifuga uključi. U centrifugiranju se ploča s uzorkom okreće brzinom 700 o/min. u vremenu 15 s.

3.9 Postupak ispitivanja efekta uljeodbojnosti 3M testom

Uljeodbojnost je određena prema AATCC TM 118-2013 *Oil Repellency: Hydrocarbon Resistance Test primjenom sljedećih kapljevina: 1 – parafinsko ulje, 2 – 65:35 parafinsko ulje: n-heksadekan, 3–n-heksadekan, 4–n-tetradekan, 5 n-dodekan, 6– n-dekan, 7 – n-oktan, te 8 – n-heptan.* Princip ispitivanja temelji se na promatranju kapi ugljikovodika, n - heptana ili mješavine n - heptana i parafinskog ulja položene na ispitanu tkaninu. Položene kapi promatraju se u vremenu od 3 minute pod kutem od 45. Promatra se granični rub dodira kapi i uzorka te prati eventualno razlijevanje kapi. Ocjena uljeodbojnosti daje se na temelju usporedbe ponašanja kapi test tekućine nakon 3 minute sa slikom 3M testa uljeodbojnosti koja opisuje 4 slučaja ponašanja kapi.

Tablica 2 – Ocjena kvalitete i označavanje kvalitete ovisno o vrsti kemikalije s kojom se ispituje

<i>Odnos volumnih dijelova parafinskog ulja i n-heptana u mješavini</i>		Ocjena kvalitete	<i>Označavanje razine kvalitete</i>
<i>Parafinsko ulje dijelovi</i>	<i>n-heptan dijelovi</i>		
100	-	50	Loš
90	10	60	
80	20	70	
70	30	80	zadovoljavajući
60	40	90	
50	50	100	vrlo dobar
40	60	110	
30	70	120	Vrhunski
20	80	130	
10	90	140	
-	100	150	



Slika 13 – Ispitivanje uljeodbojnosti 3M testom

- A - test ispunjen
- B - granična vrijednost, kap se razlijeva ali ne kvasi tekstil
- C - test nije ispunjen, kap kvasi tekstil
- D - test nije ispunjen, kap je prokvasila tekstil

4. REZULTATI I RASPRAVA

Tablica 3 – Prikaz rezultata horizontalnog testa gorenja

Uzorak	O/P	t [s]	s [mm]	B [mm/min]
UN	O	90	254	169,33
UN	P	103	254	147,96
U_AHF	O	0	254	0
U_AHF	P	0	254	0
APY	O	0	254	0
APY	P	0	254	0
O_H	O	75	254	203,20
O_H	P	84	254	181,43
U_AHF_O_H	O	0	254	0
U_AHF_O_H	P	0	254	0
APY_O_H	O	0	254	0
APY_O_H	P	0	254	0

U tablici 3. prikazani su rezultati horizontalnog testa na gorenje. Mjerenja su provedna po osnovi i potki. Neobrađeni uzorak (UN) i uzorak obrađen samo sredstvima za vodoodbojnu i uljeodbojnu obradu (O_H) zapalio se u horizontalnoj komori za ispitivanje gorivosti. To je bilo za očekivati jer je neobrađena pamučna tkanina (UN) lako zapaljiva, a (O_H) u svojoj obradi nije imao sredstvo za zaštitu od gorenja. Uzorak UN po osnovi gori 169,33 mm/min, dok po potki 147,96 mm/min. Uzorak O_H po osnovi gori 203,20 mm/min, dok po potki gori 181,43 mm/min. Uzorci koji su obrađeni usporivačima gorenja nisu se zapalili u horizontalnoj komori za ispitivanje gorivosti, što je i očekivano.

Tablica 4 – Prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika (LOI) za uzorak UN

Uzorak	Ocjena	LOI [%]	t ₈₀ [s]	Izračun
UN	o	17		$OI = c_f + (k \cdot d)$ $OI = 17,4 - (0,14 \cdot 0,2)$ $OI = 17,37 \approx 17,4$
	x	18	71	
	o	17,0		
	o	17,2		
	x ₁	17,4	75	
	o ₂	17,2		
	o ₃	17,4		
	x ₄	17,6	80	
	x ₅	17,4		

Tablica 5 – Prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika (LOI) za uzorak U_AHF

Uzorak	Ocjena	LOI [%]	t ₈₀ [s]	Izračun
U_AHF	o	44		$OI = c_f + (k \cdot d)$ $OI = 46,6 + (-0,26 \cdot 0,2)$ $OI = 46,55 \approx 46,6$
	o	45		
	o	46		
	x	47	109	
	o	46,0		
	o	46,2		
	o	46,4		
	x ₁	46,6	119	
	x ₂	46,4	126	
	o ₃	46,2		
	o ₄	46,4		
	o ₅	46,6		

Tablica 6 – Prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika (LOI) za uzorak APY

Uzorak	Ocjena	LOI [%]	t ₈₀ [s]	Izračun
APY	o	31		$OI = c_f + (k \cdot d)$ $OI = 35,4 + (-0,55 \cdot 0,2)$ $OI = 35,29 \approx 35,3$
	o	32		
	o	33		
	o	34		
	x	35	46	
	o	34,0		
	o	34,2		
	o	34,4		
	o	34,6		
	o	34,8		
	x ₁	35,0	34	
	o ₂	34,8		
	o ₃	35,0		
	o ₄	35,2		
	o ₅	35,4		

Tablica 7 – Prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika (LOI) za uzorak OH

Uzorak	Ocjena	LOI [%]	t ₈₀ [s]	Izračun
O_H	o	17		$OI = c_f + (k \cdot d)$ $OI = 17,4 + (-0,95 \cdot 0,2)$ $OI = 17,59 \approx 17,6$
	x	18	42	
	o	17,0		
	o	17,2		
	o	17,4		
	o	17,6		
	x ₁	17,8	26	
	x ₂	17,6		
	o ₃	17,4		
	x ₄	17,6		
	o ₅	17,4	32	

Tablica 8 – Prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika (LOI) za uzorak U_AHF_O_H

Uzorak	Ocjena	LOI [%]	t ₈₀ [s]	Izračun
U_AHF_O_H	o	44		$OI = c_f + (k \cdot d)$ $OI = 47,2 - (0,50 \cdot 0,2)$ $OI = 47,10 \approx 47,1$
	o	45		
	o	46		
	o	47		
	x	48	120	
	x	47,0	152	
	o ₁	46,8		
	o ₂	47,0		
	o ₃	47,2		
	x ₄	47,4	152	
	x ₅	47,2	150	

Tablica 9 – Prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika (LOI) za uzorak APY_O_H

Uzorak	Ocjena	LOI [%]	t ₅₀ [s]	Izračun
APY_O_H	o	30		$OI = c_f + (k \cdot d)$ $OI = 37,2 + (-0,83 \cdot 0,2)$ $OI = 37,03 \approx 37,0$
	o	35	42	
	o	36		
	o	37		
	x	38		
	o	37		
	x ₁	37,2	26	
	x ₂	37,0		
	o ₃	36,8		
	o ₄	37,0		
	x ₅	37,2	32	

U tablicama 4-9 dan je prikaz rezultata određivanja graničnog indeksa kisika prema HRN EN ISO 4589-2:2017 [13]. Najnižu vrijednost LOI indeksa imaju UN i O_H uzorci i s tom vrijednosti spadaju u skupinu lako zapaljivih materijala (LOI <20). Ovi uzorci nisu obrađeni sredstvima za obradu protiv gorenja, te je takav rezultat očekivan. Uzorci obrađeni organofosforom spojem, ureom i amonij-hidrogen fosfatom imaju visoki LOI (LOI_(APY) = 35,3, LOI_(U_AHF) = 46,6). Dodatkom fluorkarbonskog spoja u kupelj s organofosforom spojem ili ureom i amonij-hidrogen fosfatom, vrijednosti LOI nisu se bitno promijenile (LOI_(APY_O_H) = 37,0, LOI_(U_AHF_O_H) = 47,1), čak su malo i porasle. Iz toga proizlazi da dodatkom fluorkarbonskog spoja u kupelj sa sredstvima za obradu protiv gorenja ne dolazi do smanjenja učinkovitosti apretura protiv gorenja.

Tablica 10 – Rezultati vodoodbojnosti Spray testom i okišnjavanjem prema Bundesmannu

Uzorak	Spray test	Okišnjanje prema Bundesmannu		
	Ocjena	Ocjena	M[%] Adsorbirana voda	Volumen vode (ml)
UN	0	1	59,61	28
U_AHF	0	1	65,12	17,5
APY	0	1	44,52	41,5
O_H	100	5	23,99	62
U_AHF_O_H	80	1	48,77	34
APY_O_H	90	1	28,15	45

Rezultati vodoodbojnosti Spray testom i okišnjavanje prema Bundesmannu prikazani su u tablici 10. Iz dobivenih vrijednosti Spray testa možemo vidjeti da je uzorak O_H potpuno vodoodbojan. S obzirom da je na taj uzorak obrađen sredstvom na bazi fluorokarbonskog spoja, koji daje vodoodbojnu zaštitu, izvrstan rezultat je očekivan. Dodatkom usprivača gorenja u kupelj sa fluorkarbonskim spojem ocjena vodoodbojnosti se smanjila za ocjenu ili dvije. Uzorak APY_O_H je vodoodbojan s vrlo slabo pokvašenom površinom, dok je uzorku U_AHF_O_H površina prokvašena na točkama okišnjavanja Uzorci UN i U_AHF nemaju svojstvo vodoodbojnosti s potpunom pokvašenom gornjom i donjom površinom.

Rezultati okišnjavanja po Bundesmannu pokazuju da je jedino uzorak O_H vodoodbojan jer ima maksimalnu ocjenu i najmanju količinu adsorbirane vode. Ostali uzorci nisu vodoodbojni.

Prema rezultatima vidimo da uzorci: O_H i APY_O_H imaju najbolje rezultate vodoodbojnosti s najmanjom količinom adsorbirane vode, dok uzorci: UN i U_AHF nisu vodoodbojni i imaju najveću količinu adsorbirane vode.

Rezultati obrade koja je nanešena za svojstvo vodoodbojnosti su zadovoljavajući.

Tablica 11 – Rezultati mjerenja uljeodbojnosti 3M testom

Uzorak	Ocjena
UN	50
U_AHF	50
APY	50
O_H	140
U_AHF_O_H	140
APY_O_H	140

Rezultati mjerenja uljeodbojnosti 3M testom prikazani su tablici 11. Prema ocjenama kvalitete za uljeodbojnost, uzorci: O_H, U_AHF_O_H i APY_O_H su vrhunski. Dodatkom usporivaća gorenja u kupelj s fluorkarbonskih spojeva nije došlo do smanjenja uljeodbojnosti, Uzorci UN, APY i U_AHF imaju lošu uljeodbojnost što je bilo i za očekivati, jer u svojoj kupelji nisu imali sredstva za uljeodbojnost.

5. ZAKLJUČAK

Pamučna tkanina obrađena je sredstvima za poboljšanje svojstava vodoodbojnosti, uljeodbojnosti i zaštitom protiv gorenja. Iz rezultata dobivenih na horizontalnom testu gorenja možemo vidjeti kako neobrađeni uzorak (UN) i uzorak obrađen vodoodbojnom i uljeodbojnom apreturom (O_H) lako gori što je i bilo za očekivati kako spadaju u jedina dva uzorka koja nemaju nanešenu apreturu protiv gorenja. Najveću vrijednost LOI indeksa imaju uzorci koji su obrađeni samo s apreturom protiv gorenja (U_AHF i APY) i uzorci obrađeni apreturom protiv gorenja i apreturom za poboljšanje svojstava vodoodbojnosti i uljeodbojnosti (APY_O_H, U_AHF_O_H). Dodavanje apreture za vodoodbojnost i uljeodbojnost u apreturu protiv gorenja nije značajno smanjilo učinak apreture protiv gorenja, te su rezultati bili zadovoljavajući.

Rezultati koje smo dobili na testovima za vodoodbojnost pokazali su da neobrađeni (UN) uzorak i uzorak obrađen samo s apreturom protiv gorenja nemaju svojstvo vodoodbojnosti. Najveću ocjenu vodoodbojnosti imao je uzorak obrađen samo s apreturom za vodoodbojnost i uljeodbojnost (O_H), a nakon njega uzorak obrađen apreturom protiv gorenja i apreturom za poboljšanje svojstava vodoodbojnosti i uljeodbojnosti (APY_O_H). Također vidimo da se kombinacijom apretura nije značajno smanjilo svojstvo vodoodbojnosti koja je ispitivana Spray testom.. Međutim, ispitivanje okišnjavanja po Bundesmannu dalo je vrhunske rezultate samo na uzorku obrađenom aperturom za vodoodbojnost i uljeodbojnost (O_H).

Vrhunske rezultate uljeodbojnosti imaju uzorci obrađeni apreturom za vodoodbojnost i uljeodbojnost (O_H) i uzorci obrađeni apreturama za vodoodbojnost i uljeodbojnost i apreturom protiv gorenja (U_AHF_O_H, APY_O_H). Neobrađeni uzorak i uzorci obrađeni samo s apreturom protiv gorenja nemaju svojstva uljeodbojnosti. Dodavanje usporivača gorenja u kupelj za vodoodbojnu i uljeodbojnu obradu nije smanjilo svojstvo uljeodbojnosti.

6. LITERATURA

- [1] Čunko, R., Andrassy, M.: *Vlakna*, Zrinski d.d., ISBN 953-155-089-1, Čakovec, 2005.
- [2] [https://narodni.net/pam\[1luk-prirodna-obrada-i-koristenje-pamuka/](https://narodni.net/pam[1luk-prirodna-obrada-i-koristenje-pamuka/) ,01.09.2021
- [3] <http://www.asiantextilestudies.com/cotton.html>, 01.09.2021
- [4] Grancarić, A.M., Soljačić, I., Katović, D.: *Osnovne oplemenjivanja tekstila Knjiga II Procesi mokre aperture, bojadisanja i tiska*, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb 1995.
- [5] Bischof Vukušić, S.; Katović, D.; Schramm, C.: Utjecaj fluorkarbonskih polimera u kombiniranim obradama pamuka s polikarboksilnim kiselinama, *Tekstil*, 53 (2004), 3; 103-109, ISSN 0492-5882
- [6] Magovac, E; Bischof, S.: Nehalogeni obrada protiv gorenja celuloznih tekstilnih materijala, *Tekstil* 64 (9-10) (2015), 285-297, ISSN 0492-5882
- [7] Đorđević, D; Urošević, S; Miljković, M; Stamenković, M.: Zaštita pamučnih tkanina protiv zapaljivosti, *Zaštita materijala*, 53 (2012) 2, ISSN, 0351-9465
- [8] Weil, E. D.: Phosphorus-based flame retardants, In: Engel R, editor. *Handbook of organophosphorus chemistry*, New York, Marcel Dekker, (1992) 683.
- [9] Grancarić, A. M., Botteri, L., Alongi J., Malucelli, G.: Synergistic effects occurring between water-glasses and urea/ammonium dihydrogenphosphate pair for enhancing the flame retardancy of cotton, *Cellulose*, 22 (2015) 4 2825-2835, DOI 10.1007/s10570-015-0671-6, ISSN 0969-0239
- [10] http://www.tsrc.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=113%3Aparameter&catid=45%3Aequipment&Itemid=76&lang=hr , 22.08.2021
- [11] Apte, V.: *Flammability testing of materials used in construction, transport and mining*, Woodhead Publishing Limited; 2006. ISBN: 9780081028018
- [12] Čunko R. : *Kemijska vlakna smanjene gorivosti – dobivanje i ispitivanje*, *Tekstil* 39 (1990) 11, 668-677
- [13] HRN EN ISO 4589-2:2017 *Plastika – Ponašanje pri gorenju određivanjem indeksa kisika – 2. dio: Ispitivanje pri sobnoj temperaturi (ISO 4589-2:1017; EN ISO 4589-2:2017)*