

Pamučni materijali unaprijeđene vrijednosti za posebne namjene

Kovačević, Zorana

Master's thesis / Diplomski rad

2009

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:201:703832>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

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



**Sveučilište u Zagrebu
Tekstilno-tehnološki fakultet**

**Pamučni materijali unaprijeđene vrijednosti
za posebne namjene**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Edita VUJASINOVIĆ, doc.

Zorana KOVAČEVIĆ

Zagreb, lipanj 2009.

Najiskrenija zahvala mojim roditeljima i sestrama za njihovu podršku i odricanje tijekom mog školovanja. Hvala

*Posebno zahvaljujem mojoj mentorici doc. dr. sc. Editi Vujasinović te svim profesorima i asistentima na korisnim savjetima i pomoći koju su mi pružili pri izradi ovog rada .
Hvala*

Zorana

Sažetak:

Dizajneri odjeće pored nadahnuća prirodom i stvarima koje nas okružuju često posežu u znanost ne bi li dobili inspiraciju za nove modele i kolekcije. Sa željom da se izradi materijal unaprijeđene vrijednosti u ovom je radu istražen mikronizirani prirodni zeolit (klinoptilolit) i njegova sorpcijska svojstva kao i njegova primjena za funkcionalizaciju pamučnog pletiva. Na temelju provedenih istraživanja izrađena je idejna kreacija i dizajn potencijalno novih tekstilnih proizvoda unaprijeđene vrijednosti za posebne namjene.

Ključne riječi: zeolit, klinoptilolit, pamučni materijal, funkcionalizirano pletivo, dizajn odjeće

UDK: 677 + 687(05)

ZNANSTVENO PODRUČJE: Tehničke znanosti

ZNANSTVENO POLJE: Tekstilna tehnologija

ZAVODI U KOJIMA JE RAD
IZRAĐEN:

Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila,
Tekstilno-tehnološki fakultet Zagreb

MENTOR:

Dr. sc. Edita Vujasinović, doc.

BROJ STRANICA: 87

BROJ SLIKA: 50

BROJ TABLICA: 24

BROJ FORMULA: 13

BROJ LITERATURNIH

NAVODA: 64

POVJERENSTVO ZA OBRANU: Dr. sc. Edita Vujasinović, doc.

Prof.dr.sc. Maja Andrassy

Prof. Ratko Janjić

Prof. dr. sc. Emira Pezelj

DATUM OBRANE:

SADRŽAJ

<u>1</u>	<u>UVOD</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>TEORETSKI DIO</u>	<u>2</u>
2.1	Pamuk – celuložno vlakno koje govori sve svjetske jezike	2
2.1.1	Svojstva pamučnog vlakna.....	4
2.1.2	Suvremeni pamučni materijali i mogućnosti njihovog unaprijeđenja	10
2.1.3	Ekološka dorada pamuka	16
2.1.4	Udobnost tekstilija	18
2.2	Zeoliti	21
2.2.1	Podjela zeolita.....	21
2.2.2	Struktura zeolita	23
2.2.3	Svojstva zeolita	28
2.2.4	Primjena zeolita	31
<u>3</u>	<u>EKSPERIMENTALNI DIO.....</u>	<u>32</u>
3.1	Zadatak rada.....	32
3.2	Metodika rada.....	32
3.2.1	Metode i postupci istraživanja	33
3.3	Uzorci za ispitivanje.....	48
<u>4</u>	<u>REZULTATI I DISKUSIJA</u>	<u>49</u>
4.1	Karakterizacija pamučnog materijala	49
4.2	Karakterizacija sorpcijskih svojstava zeolita	55
4.3	Karakterizacija funkcionaliziranog pletiva	66
4.4	Projektiranje i dizajn funkcionalnih tekstilija	70
<u>5</u>	<u>ZAKLJUČAK.....</u>	<u>79</u>

<u>Literatura</u>	<u>80</u>
--------------------------------	------------------

<u>Popis oznaka.....</u>	<u>86</u>
---------------------------------	------------------

1 UVOD

Pamučni materijali iako su poznati od davnina, danas u 2009. godini ponovo doživljavaju svoj procvat [1, 2]. Naime, s primjenom novih tehnoloških otkrića dobivamo proizvode unaprijeđene vrijednosti poput visoko apsorptivnih materijala, udobnih i funkcionalnih tekstilija što je naročito važno npr. za sportsku odjeću.

U vrijeme antičke Grčke, na Olimpijskim igrama, natjecatelji nisu nosili odjeću. Vrlo zanimljiv je nastanak tradicije nastupanja bez ijednog dijela odjeće jer isprva to nije bilo tako sve dok 720. g. pr. Kr. dvojica trkača *Orsippos* i *Megara* nisu pobijedili potpuno goli. Naime tijekom utrke su im pale hlače, a nova moda je brzo prihvaćena jer su mnogi smatrali da su bez odjeće puno brži [3].

Za modernih Olimpijskih igara natjecatelji nose "Hi-Tech" odjeću koja istovremeno pruža zaštitu i udobnost te omogućuje natjecateljima da postignu vrhunske rezultate.

Cilj ovog diplomskog rada bi bio da se pokušaju primijeniti prirodni materijali dodane vrijednosti koji bi sportašima olakšali put do zlatnih medalja, a znanstvenicima dali dobru podlogu za neka nova otkrića. Za potrebe ovog rada osmišljen je i izrađen jedan novi materijal unaprijeđene vrijednosti – pamučno pletivo s klinoptilolitom točnije tribomehaničko mikroniziranim nanočesticama prirodnog zeolita koje se danas između ostalog koriste i u prehrambenoj industriji jer između ostalog omogućuju zdrav život [4].

Prvi dio diplomskog rada posvećen je pamuku i pamučnim materijalima. U drugom dijelu ovog rada dan je prikaz osnovne strukture i svojstava zeolita općenito s posebnim naglaskom na prirodne zeolite. Eksperimentalni dio daje sustavni prikaz rezultata (sorpcije, promjena mase, učinkovitosti i sl.) na temelju kojih će biti moguće donijeti zaključke o uspješnosti ideje – pamuk, visokoučinkoviti materijal za sportsku odjeću.

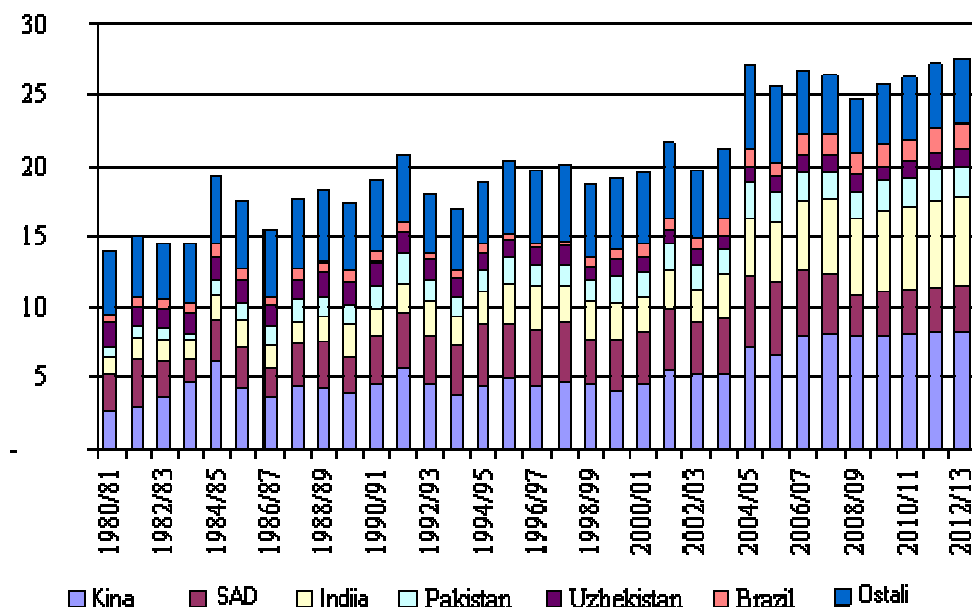
2 TEORETSKI DIO

2.1 Pamuk – celulozno vlakno koje govori sve svjetske jezike

Povijesni izvori nam govore da je pamuk star oko 7000 godina. U jednom nalazištu na tlu današnjeg Meksika pronađen je najstariji pamučni tekstil, za koji se smatra da potječe iz vremena oko 5800. g. pr. Kr. Vrlo stari nalazi vezani uz korištenje pamuka pronađeni su na području današnjeg Pakistana, a pripadaju vremenu oko 3000. g. pr. Kr. U to isto vrijeme pamuk se koristio u Egiptu i u Južnoj Americi na području današnjeg Perua. Arapi su u X. st. donijeli pamuk iz sjeverne Afrike na područje Europe.

Danas je pamuk najviše upotrebljavano tekstilno vlakno te jedna od najvažnijih sirovina za izradu tekstilija [2].

Pamuk se također uzgaja u oko 75 zemalja svijeta na svim kontinentima, a najveći proizvođači su Kina, SAD, Indija, Pakistan, Uzbekistan i Turska (sl. 1.) [5].

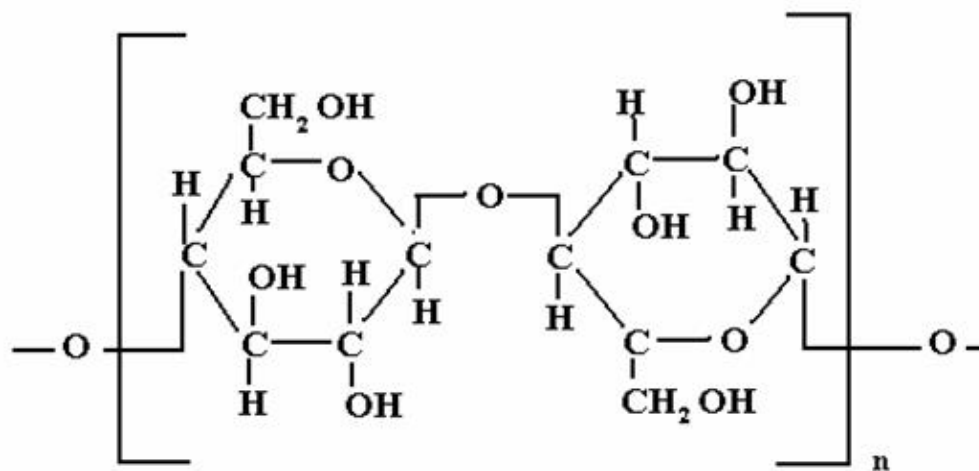


Sl. 1. Svjetska proizvodnja pamuka (milijune tona) od 1980/81 – 2012/13 [6]

Pamučno vlakno je pretežito građeno od celuloze (sl. 2.), ali pored celuloze u vlaknu su u manjoj količini prisutne i druge popratne tvari (tab. 1.) [2, 7].

Tab. 1. Kemijski sastav pamučnog vlakna

Tvar	Udio [%]
celuloza	82 do 89
apsorbirana vlaga	7 do 10
pektini	0,6 do 1,1
proteini	1,0 do 1,8
organske kiseline	0,5 do 0,9
voskovi	0,4 do 0,9
ostalo	1,0
mineralne tvari i pepeo	0,6 do 1,5



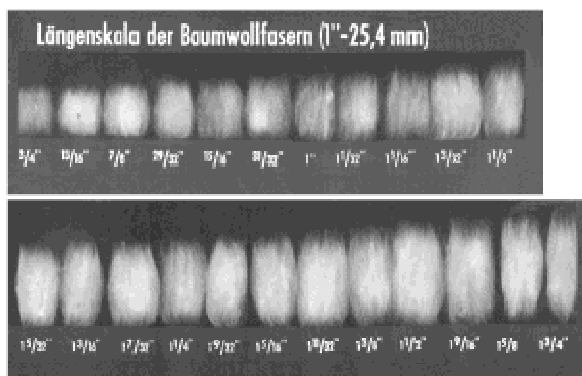
Sl. 2. Strukturna formula celulozne makromolekule

2.1.1 Svojstva pamučnog vlakna

Unatoč razvitku brojnih novih vrsta vlakana izvrsnih svojstava, milijuni ljudi diljem svijeta oblače se u pamučnu odjeću i svakodnevno koriste ugodne pamučne tekstilije. Pamučna vlakna imaju dobra svojstva koja ih čine korisnim u različitim granama industrije [2]. U ovom radu prikazati će se samo neka od bitnijih svojstava pamučnih vlakana.

➤ Duljina

Za pamučna vlakna je karakteristična polidisperznost duljine. To znači da se vlakna unutar jedne vrste pamuka razlikuju po svojoj duljini. Uzorak vlakana u



Sl. 3. Pamučna vlakna sređena u vlasak

kojem su sva vlakna razvrstana po duljini, počevši od najduljih pa do najkraćih, naziva se vlasak (sl. 3.) [2].

Duljina je bitno svojstvo pamučnih vlakana jer o njoj ovisi daljnja kvaliteta pamučnog proizvoda. Ako je nejednolikost duljine vlakana manja to se vlakna lakše prerađuju u pređu, a iz istog je

razloga poželjno da su vlakna što dulja.

Pamučna vlakna se na temelju srednje duljine vlaska mogu svrstati u pet skupina (tab.2.).

Tab. 2. Duljina pamučnih vlakana

Vrsta pamuka	Srednja duljina vlaska [mm]
Kratkovlasi (short staple)	< 20,6
Srednjevlasli (medium staple)	20,6 - 25,4
Srednje dugi vlasak (medium long staple)	26,2 – 27,8
Dugovlasli (long staple)	28,6 – 33,3
Ekstra dugi vlasak (extra long staple)	> 34,9

Samo četiri vrste pamuka su kultivirane za dobivanje vlakana, a svaka od tih vrsta sadrži više varijeteta i međusobno se razlikuju po duljini (tab. 3.) [2, 5].

Tab. 3. Duljine varijeteta

Vrsta pamuka	Srednja duljina vlaska [mm]
Gossypium hirsutum (Upland)	19 - 32
Gossypium barbadense (Maco, Giza, Sea Island, Pima)	34 - 38
Gossypium herbaceum	< 27
Gossypium arboreum	< 23

➤ Finoća

Finoća je primarno svojstvo vlakana. Kod većine prirodnih vlakana se prema finoći određuje njihova cijena. Ona također utječe na neka druga svojstva pamučnih vlakana kao što su: opip, voluminoznost, sposobnost pokrivanja, gužvanje i izgled (tab.4) [2].

Tab. 4. Utjecaj finoće na neka svojstva vlakana

Svojstvo	Finoća vlakana	
	gruba	fina
opip	krut	mekan
voluminoznost	manja	veća
sposobnost pokrivanja	manja	veća
gužvanje	veća	manja
izgled (optika)	sjajniji	ugašen sjaj
izgled boje	jači	slabiji

Pamučna vlakna su fina vlakna. Uobičajeno se finoća nalazi u području od 1,5 do 2 dtex, ali su mogući i širi rasponi vrijednosti (2,5 do 8 dtex) [2, 5].

➤ Čvrstoća

Pamučna vlakna se svrstavaju u skupinu srednje čvrstih vlakana. Što su vlakna čvršća, to veća opterećenja mogu podnijeti a da se ne oštete. Pamučna vlakna su u mokrom stanju čvršća nego u suhom ako su neoštećena. Zbog toga pamučna odjeća jako dobro podnosi mnogobrojna pranja tijekom uporabe. Pamučno vlakno je dobro otporno i na deformaciju npr. elastični oporavak kod 5 % istezanja iznosi 45 %. Što veću deformaciju vlakno može podnijeti, to će proizvod biti trajniji u primjeni [2, 9].

Čvrstoća pamučnih vlakana varira ovisno o vrsti pamuka te se nalazi u području 20 do 50 cNtex⁻¹. Za pamučna vlakna se može reći da su dovoljno čvrsta za vrlo raznovrsne tekstilne primjene (tab. 5.) [2].

Tab. 5. Klasiranje pamuka prema čvrstoći izraženoj kao PI (lb = 0,454 kg)

Oznaka pamuka	Presli indeks [lb/mg]
slabi	manje od 6,5
umjereno čvrsti	6,5 do 6,9
prosječno čvrsti	6,95 do 7,4
čvrsti	7,5 do 8,0
vrlo čvrsti	8,1 do 8,5
odlični	iznad 8,6

➤ Upijanje vlage

Upijanje vlage pripada skupini sekundarnih svojstava vlakana. Ona je bitno svojstvo koje utječe na termofiziološku udobnost odjeće pri nošenju te nam govori koliko vlakno može upiti plinovite vode iz prostora u kojem se nalazi. Količina vlage u materijalu se može iskazati grafički, sorpcijskim krivuljama ili računski pomoću reprize. Repriza je ravnotežna vlaga u vlaknu, označava se slovom "R" i različita je kod različitih vlakana. Pamučno vlakno je higroskopno vlakno što znači da ima veliku sposobnost upijanja vlage. Repriza mu iznosi 8,5 % (tab. 6.), ali mu se stvarna sposobnost upijanja vlage u standardnoj atmosferi nalazi u rasponu 6 do 9,5 % [2, 8].

Tab. 6. Ravnotežne količine vlage u standardnoj atmosferi i reprize pojedinih vrsta vlakana

Vlakno	Ravnotežna vlaga [%]	HRN F.S3.101
Pamuk -sirovi - mercerizirani	7 – 11	8,5
Laneno	8 – 10	12
Konopljino	8 – 10	12
Juta	8,5 – 11	13,75
Vuna	14 – 18	14,5
Svila (degumirana)	9 – 11	11
Viskozno	12 – 14	11
Bakarno	12 - 14	11
Acetatno	6 - 7	6,5
Triacetatno	2 - 5	3,5
Elastansko	0,5 – 1,5	-
Poliamidno		
PA 6 i PA 6.6	3,5 – 4,5	4,5
Poliestersko (PET)	0,2 – 0,5	0,5
Akrilno	1 – 1,5	1,5
Modakrilno	0,5	0,5
Aramidno (Nomex)	4,5 – 5	4,5
Aramidno (Kevlar)	2 – 3	
Polivinilalkoholno	3,5 - 5	5
Polipropilensko	0	0
Polietilensko	0	0
Politetrafluoretilensko	0	0
Staklena vlakna	0,1	
Ugljikova vlakna	< 1	

U prostoru 100%-tne relativne vlažnosti zraka pamučno vlakno apsorbira 25 do 27% vlage. Pamuk je također i hidrofilno vlakno, a zbog ove dvije važne karakteristike higroskopnosti i hidrofilnosti pamučno vlakno nije sklono nabijanju statičkim elektricitetom. Zbog toga je pamučna odjeća vrlo ugodna za nošenje, lako se održava pranjem na povišenoj temperaturi pa i iskuhavanjem [10].

➤ **Toplinska svojstva**

Pamučno vlakno je lako zapaljivo i lako gorivo vlakno. Promjena boje vlakna moguća je na temperaturama 120 do 150 °C, a do oštećenja vlakna dolazi na temperaturama iznad 200 °C. Zbog toga se odjevni predmeti od pamučnih vlakana mogu glačati na temperaturama koje se nalaze u području 180 do 210 °C. Vlakno se može samozapaliti na temperaturi od 400 °C, a do pougljenja dolazi pri temperaturi od 430 °C (tab. 7.) [2, 11].

Tab. 7. Karakteristični pokazatelji zapaljivosti i gorivosti vlakana

Vlakno	Plamište [°C]	Temperatura samozapaljenja [°C]	LOI [%]	Ocjena
Pamuk	288	350	18 – 20	Lako zapaljiva, lako goriva
Lan	-	320	19	
Polipropilensko	242	420	18 – 20	
Akrilno	245	465	17 – 18	
Vuna	224	570	24 – 25	Teže zapaljiva, goriva
Svila	-	580	23	
Poliamidno, PA 6	354	425	20	
Poliamidno, PA 6.6	360	430	20 – 22	
Poliestersko	372	485	21 – 22	
Nomex (AR)	> 500	> 600	42 – 52	Vrlo teško goriva
Poli(vinil-kloridno)	-	-	50 – 60	
Ugljikovo	-	-	60	
Teflon (PTFE)	-	600	95	Negoriva

➤ **Otpornost na kemikalije i utjecaje okoline**

Ova svojstva također pripadaju skupini sekundarnih svojstava vlakana i jako su bitna jer ukazuju na mogućnosti bojenja, tiskanja ili oplemenjivanja pamučnih vlakana. Pamučna vlakna su osjetljiva na kiseline, ali su jako otporna na alkalije i organska otapala. Pri povećanoj vlažnosti i temperaturi vrlo su podložna djelovanju mikroorganizama, a ako se izlažu UV zrakama nakon nekog vremena izgube čvrstoću. Postojanost pamučnih vlakana na starenje je vrlo dobra (ako se čuva na suhom i od sunca zaklonjenom mjestu gubitak čvrstoće kroz 50 godina je minimalan) [2, 12].

Pamučne tekstilije lako se bijele i bojadišu, međutim sklone su gužvanju što se može ispraviti odgovarajućim apreturama. Pamučni tekstil može se oplemenjivati i raznim drugim apreturnim procesima pri čemu se postižu dodatna svojstva (npr. vodoodbojnost, vodonepropusnost, otpornost na truljenje mikroorganizama, smanjena gorivost), kojima se proširuju područja primjene [9, 13, 14].

2.1.2 Suvremeni pamučni materijali i mogućnosti njihovog unaprijeđenja

Ne tako davno žene su odbijale nositi odjeću izrađenu od sintetičkih materijala. Donje rublje moralo je biti svileno ili pamučno, čarape svilene, pamučne ili vunene. Tada su umjetni materijali imali jako loša svojstva i zaslužio ih je pratio loš glas [15].

U današnje vrijeme na kvalitetu sintetičkih materijala uvelike utječu laboratoriji kroz inženjering materijala. Na taj način kao krajnji rezultat dobivaju se visokotehnološki materijali koji se dalje oplemenjuju, jačaju i poboljšavaju do željenih svojstava i kvalitete. Ovakve nove višenamjenske sintetske materijale i tekstilije prvo su počeli primjenjivati proizvođači odjeće i obuće za sport, a kasnije su ih prihvatili proizvođači torbica i galanterije, te naposljetku modni kreatori koji su takvu odjeću prikazali dopadljivom, modernom i ekonomičnom (sl. 4.) [10, 15].



Sl. 4. Haljina napravljena od "high-tech" materijala

Iako smo se uvjerali kako danas više nije štetno nositi umjetne materijale i dalje kao ljudska bića koja su djela prirode želimo na našoj koži osjetiti dah prirode. Zbog toga se uvijek vraćamo jednom od najudobnijih omotača našeg tijela, a to je pamučni materijal.

U poglavlju 2.1.1. opisana su neka od najvažnijih svojstava pamučnog vlakna, pa se tako može reći da pamučne tekstilije imaju mekani opip, higroskopne su i hidrofilne te se ne nabijaju statičkim električitetom, a time su i udobne za nošenje. Pamučno vlakno pripada skupini srednje čvrstih vlakana i poprilično je

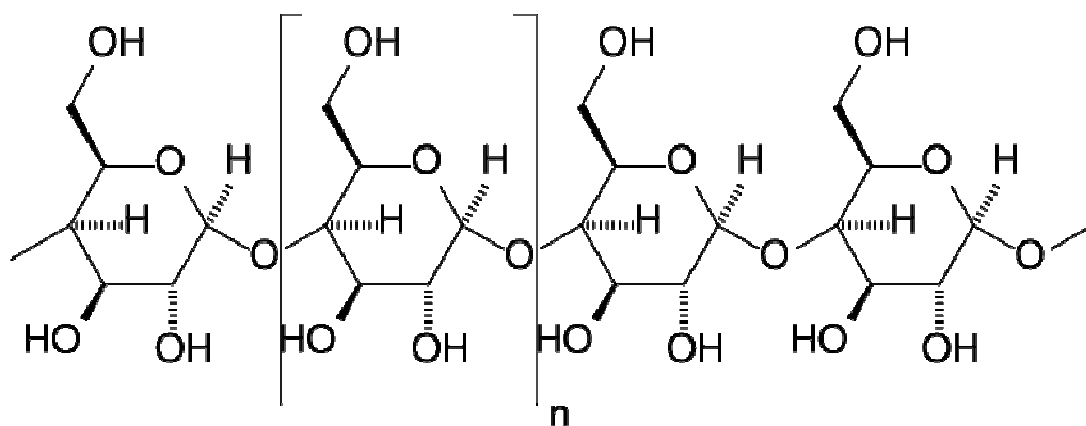
otporno na utjecaje okoline. Unatoč svim navedenim dobrim svojstvima pamučnih materijala razvitak tehnologije nam omogućuje da još više poboljšamo ta svojstva i time odgovorimo na neke specifične i neobične zahtjeve kao npr. povećanu udobnost, smanjenu gorivost, gužvanje itd. tj. da unaprijedimo pamučne materijale i izjednačimo ih sa ostalim suvremenim materijalima.

Uz pomoć znanstvenika i tehnologije razvijene su različite predapreturane i apreturane metode s ciljem uklanjanja nedostataka koji se nalaze na pamučnom materijalu davajući mu izgled i svojstva koja će zadovoljiti potrošača.

U *predapreturane* metode ubraja se škrobljenje, iskuhavanje i bijeljenje. Napredak tehnologije kod predapreturnih metoda može se pokazati na primjeru iskuhavanja.

Iskuhavanje uzrokuje uklanjanje popratnih primjesa u pamučnom vlaknu, bolji efekt bijeljenja, bolju hidrofilnost i sl. tj. glavni zadatak iskuhavanja je dobivanje celuloze visoke čistoće i hidrofilnosti [9, 13].

Iskuhavanje pamučnih materijala se najčešće provodi alkalnim načinom iskuhavanja, tj. iskuhavanjem u otopinama s NaOH, ali u današnje vrijeme enzimatsko iskuhavanje je skoro potpuno istisnulo alkalno iskuhavanje pamučnih materijala [13]. **Enzimi** koji se najčešće koriste u tekstilnoj industriji su: amilaza (sl. 5.), celulaza, proteaza, a u enzimatskom iskuhavanju koristimo pektinazu (enzim koji razgrađuje pektine, koji su popratne tvari unutar pamučnog vlakna, do topljivih segmenata) ili koristimo kombinaciju enzima. Enzimatsko iskuhavanje ili obrada pamučnog vlakna s enzimima svojim specifičnim djelovanjem uklanja određene primjese iz pamuka, a da se pri tome ne oštećuje vlakno.



Sl. 5. Strukturna formula enzima amilaza

Enzimatsko iskuhavanje je ekološki povoljnije jer štedi energiju i kompatibilno je s drugim procesima [13, 16, 17].

Apertura pamučnih materijala je najčešće nanosna, gdje se različitim postupcima na materijal nanose tvari koje mu trebaju dati određena svojstva. Dorada pamučnih materijala osim nanošenjem može se obavljati lijepljenjem,

naslojavanjem, laminiranjem itd. Apretirani materijal ima svoj konačni sjaj, opip, masu, širinu, a mogu mu se dati i neka specifična svojstva, npr. otpornost protiv gorenja, protiv mikroorganizama, protiv statičkog elektriciteta itd. [9].

➤ **Apretura protiv gorenja**

Kada bismo analizirali požare koji su se dogodili posljednjih desetljeća uvidjeli bismo da materijali itekako mogu prouzročiti požar, utjecati na njegovo širenje, a kao odjeća mogu neposredno ugroziti čovjeka. NBS (The National Bureau of Standards, USA) svake godine daje listu tekstilnih proizvoda koji su u određenoj godini u požarima bili uzrok najvećeg broja ljudskih žrtava. Nakon objavljivanja ovakve liste poduzimaju se konstruktivne mjere zaštite. U tu svrhu izdaju se novi standardi, pa njihov broj iz godine u godinu raste, a obrada tekstilnih materijala protiv gorenja postaje sve značajnija. To prvenstveno vrijedi za vlakna od celuloze koja su lako zapaljiva (pamuk, lan, celulozni regenerati i sl.) [9, 14].

Zbog toga je važno pamučne materijale obraditi protiv gorenja.

Sredstva za obradu protiv gorenja dijelimo u dvije skupine: u prvoj su ona koja daju nepostojane obrade (topljive i netopljive soli), a u drugoj ona sredstva koja daju postojane obrade (kondenzacioni proizvodi topljivih soli i organofosfornih spojeva). Svim ovim spojevima je zajedničko da imaju nisku temperaturu taljenja i da na temperaturi plamene tvore film koji je nepropustan za zrak. Time se ograniči pristup kisika i donekle se smanji proces gorenja [18].

Noviji spojevi koji se primjenjuju za apreturu protiv gorenja vežu se za molekule celuloze u pamučnom materijalu, daju visoke postojanosti na pranje i kemijsko čišćenje i mogu se primjenjivati u kupeljima sa određenim sredstvima za visoko oplemenjivanje. Ispitivanje efekta negorivosti ovisi o uvjetima u kojima se nalazi gorući materijal, o položaju materijala i o vremenu izlaganja materijala plamenu.

➤ **Apretura protiv gužvanja**



Sl. 6. Usporedba muške košulje prije i nakon apreturnog nanosa protiv gužvanja

Pamučna vlakna jako bubre u vodi i zbog toga imaju nestabilne oblike i dimenzije, gužvaju se u mokrom i nakon sušenja se jako skupljaju. Zbog prodora vode u unutrašnjost vlakna smanjuje se i čvrstoća materijala [9].

Kako ljudi žele izbjeći nabore na svojoj koži također ih ne žele niti na svojoj odjeći. Da bi se smanjili ovi nedostaci, a zadržala pozitivna svojstva pamučnih vlakana (sposobnost upijanja vlage i samim time odstranjivanje znoja s površine tijela te dobra toplinska izolacija) pokušalo se materijale obraditi

tvarima koje će smanjiti bubrenje vlakana (sl. 6.) [9, 14, 17].

➤ **Vodoodbojna i uljeodbojna obrada**

Suvremeni pamučni materijali se mogu koristiti za odjevne predmete ali i kao tehnički tekstil. Pod pojmom tehnički tekstil smatraju se oni tekstilni proizvodi koji se ne upotrebljavaju za klasičnu odjeću u modnom smislu tj. to su oni materijali koji nemaju modno već funkcionalno značenje. Takvi materijali su iznimno čvrsti, imaju veliku vlačnu čvrstoću, a ujedno su elastični i lagani. Možemo ih naći u sportskoj odjeći, profesionalnoj odjeći, zaštitnoj odjeći, u graditeljstvu, u medicini, itd. [19 - 21].

Pamučni materijali koji se koriste u tehničkom tekstilu moraju biti impregnirani sa različitim polimerima da bi povećali svoju izdržljivost te da bi odgovarali

definiciji tehničkog tekstila [22]. Osim već gore navedenih apretura za ovakve tekstile su jako bitne i vodoodbojne i uljeodbojne apreture.

Vodoodbojna obrada nanošenjem nepropusnog sloja na cijelu površinu tkanine daje tkaninu potpuno nepropusnu za vodu. Takva tkanina ima nedostatak da ne propušta zrak, pa time onemogućuje normalnu transpiraciju zraka i vodenih para s površine tijela, teška je i neugodna za nošenje. Impregniranjem tkanine dobiva se tkanina koja je ugodna za nošenje, omogućen je prolaz zraka i vodene pare kroz materijal, ali ovakva tkanina nije potpuno nepropusna jer pod pritiskom većeg stupca vode propušta vodu [9, 19, 23].

Uljeodbojna obrada se koristi zbog olakšanog skidanja zaprljanja koje je uzrokovano s uljima ili s tekućinama koje sadrže ulje. Sredstva za uljeodbojnu obradu su kemijski spojevi koji materijalu omogućuju uljeodbojna svojstva, pri čemu materijal i dalje propušta vodenu paru i zrak. Istovremeno su takvom metodom materijali i vodoodbojni. Jedna od čestih apretura je apretura s Teflonom, koji se smatra djelotvornom zaštitom tkanina, nanosi se iz vodenih kupelji, ne sadrži formaldehid, te udovolja svim zahtjevima zaštite okoline [14].

➤ **Obrada protiv bakterija i mikroba**

Bakterije i gljivice postoje svugdje oko nas. U toplim i vlažnim uvjetima se jako brzo razmnožavaju. Ovakvi mikroorganizmi napadaju prirodna vlakna više nego sintetička zbog njihove porozne i hidrofilne strukture koja sadrži vodu, kisik i hranjive tvari te time stvara savršen okoliš za razvoj bakterija. Ovi mikroorganizmi uzrokuju truljenje i oštećenje pamučnih vlakana. Da bi se spriječila ovakva degradacija pamučnih tekstilija koristi se antibakterijska apretura koja je djelotvorna u sprječavanju razmnožavanja bakterija i gljivica. Sredstva koja se koriste za antibakterijsku ili antimikrobnu apreturu su: kvaterni amonijevi spojevi, metalni kompleksi, kaitosan (prirodno antimikrobno sredstvo, a nalazi se u oklopu rakova) itd. [17, 24, 25].

Svjetski trendovi idu k tome da zahtijevaju ekološke proizvode, ekološke procese i ekološke uvjete rada jer omogućuju zdraviji život i očuvanje prirode. Stoga se zadnjih godina velika pažnja posvećuje ekološkom postupku dorade pamuka [28].

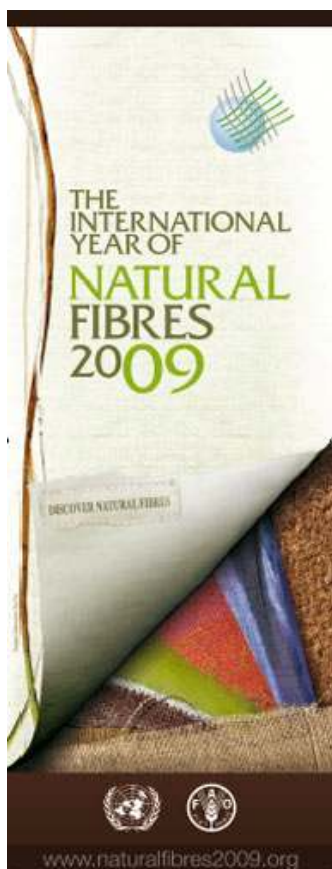
2.1.3 Ekološka dorada pamuka

Pojam ekologija prvi put je uporabio njemački zoolog Ernest Haeckel koji je pod pojmom *oekologie* smatrao "odnos živih organizama u dva pravca: prema njihovom organskom i neorganskom okolišu". Sama riječ dolazi iz grčkog *oikos* koji znači okućnica, dom, mjesto za život.

Nije slučajno zašto se pojam koji je prvotno značio "mjesto za život" pretvorio u pojam koji znači zaštitu okoliša, ili još šire - zaštitu Zemlje koja je naše zajedničko mjesto za život. Kraj XX. stoljeća je pored svih izuma i tehničkih pomagala koje svakodnevno koristimo donio i tamnu stranu tehničkog napretka - poremećaj odnosa čovjeka s prirodom i narušavanje nečega što se zove ekosistem planeta Zemlja [26, 27].

Ljudi još uvijek usprkos primjetnom povećanju ekološke svijesti ne vide da su sami odgovorni za očuvanje planeta Zemlje jer je očito jako teško priznati vlastite greške i nastojati ih ispraviti. No nešto se mora poduzeti da se sačuva planet te su se počeli osjećati i neki pomaci na tom polju tako da situacija nije sasvim bezizlazna.

U tekstilnoj tehnologiji se jako puno pažnje usmjerava na povećanje ekološke svijesti. Pokušava se riješiti problem buke, prašine, emisije štetnih tvari, zatim problem štetnih kemikalija u procesima bojadisanja, tiska, njege i oplemenjivanja tekstila te problem otpadnih voda tekstilne industrije i njihovog zbrinjavanja [29].



Sl. 7. Službeni poster UN organizacije za međunarodnu godinu

Važno je napomenuti da je UN proglasio 2009. godinom prirodnih vlakana (sl. 7.). Tom inicijativom želi se promaknuti upotreba prirodnih materijala za proizvodnju tkanina kao i potaknuti vlade na poticanje tekstilnih industrija koje upotrebljavaju prirodna vlakna kako bi se zaposlilo više milijuna osoba, posebno u zemljama u razvoju, na proizvodnji tih sirovina [30].

U skladu sa svim ovim gore napisanim, poželjno je da ljudi nose odjeću od prirodnih materijala koja je pri tome i pogodna. Primjer takve odjeće je odjeća izrađena od organskog pamuka koja je još k tome obrađena apreturama koje su ekološki povoljne.

Organski pamuk je pamuk koji se uzgaja bez dodavanja pesticida, herbicida ili nekih drugih kemikalija. Ova vrsta pamuka se također ne miješa sa genetski modificiranim pamukom, a branje se obavlja ručno, tj. bez upotrebe sredstava za odstranjivanje lišća [2, 31].

Organska odjeća se u procesu proizvodnje ne izlaže djelovanju po okoliš opasnih kemikalija kao neki drugi materijali, ali i dalje prihvaća razne apreturane nanose za poboljšanje svojih svojstava s tim da se danas vodi računa o tome da apreturani nanosi nisu štetni ni za okoliš ni za čovjeka [32].

Kao primjer možemo spomenuti antibakterijsku obradu pamučnih materijala gdje se kao antibakterijsko sredstvo koristi zeolit koji je prirodan mineral jako dobrih svojstava, a ekološki je vrlo povoljan [4, 33].

Zeolit se u tekstilstvu naročito koristi kao sredstvo u obradi otpadnih voda [34].

Nadalje, možemo navesti i nekoliko vrsta suvremenih ekoloških pamučnih materijala koji su nastali u poznatim svjetskim modnim i odjevno-tehnološkim središtima:

- pamuk koji ima svojstvo potpune suhoće proizvod tvrtki Antex i NanoTex – 100% pamučna tkanina koja ima nevjerojatno svojstvo brzine prijenosa vlage iz unutrašnjih u vanjske dijelove tkanine tako da je materijal uvijek suh u bilo kakvim aktivnostima [35].
- Vital eco odjeća proizvod istoimene tvrtke – organska odjeća načinjena od tkanine koja se zove ecoDEOSOFT i ima osim udobnosti jako dobra antibakterijska svojstva koja čine odjevni predmet prirodno svježim i deodoriranim [36].
- Yatra – Adidasova linija ženske sportske odjeće gdje je pamučna tkanina obrađena Clima Light tehnologijom koja pomaže da tijelo ostane suho i uslijed teških sportskih napora [37].

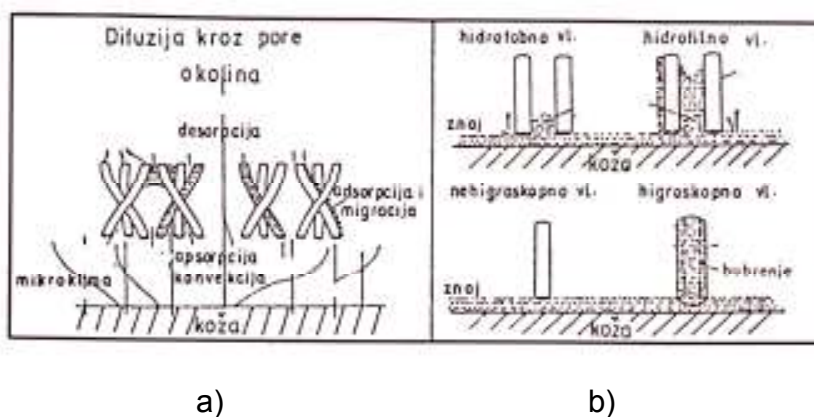
Ekološka odjeća se najviše primjenjuje kao dio sportske odjeće. Ova činjenica je nešto što nas ne bi trebalo iznenaditi jer sportska odjeća ipak zahtjeva najkvalitetniju i najudobniju odjeću. Kad se već spominje udobnost sportske odjeće onda bi trebalo objasniti svojstvo koje najviše utječe na udobnost odjeće, a to je upijanje vodene pare i propuštanje zraka kroz tekstilni materijal [10].

2.1.4 Udobnost tekstilija

Sportska odjeća ima dvostruku funkciju, pruža tjelesnu zaštitu, a istovremeno je i sredstvo komunikacije. Osim ovoga bitna stavka sportske odjeće je njezina udobnost pri nošenju. Tu udobnost određuju dvije komponente: udobnost kontakta i termofiziološka udobnost. Udobnost kontakta tekstila i kože određuju površinska svojstva tekstilije te sposobnost upijanja i prenošenja vlage. Termofiziološka udobnost tekstilija određena je sposobnošću prenošenja vlage i

topline u i kroz sloj tekstila. Obje pojave služe tome da se izjednači bilanca između topline koju tijelo stvara i topline koja prelazi u okolinu. Čovjek se osjeća udobno samo onda ako su ovi prijenosi izjednačeni [10, 38].

Tekstilija mora imati dobru poroznost, kako bi se prilikom pokretanja tijela mogla odvijati difuzija vodene pare kroz pore u tekstilu prema okolini. Međutim u praksi često (naročito kod sportske odjeće i aktivnosti), toplina isparavanja ne uspijeva izjednačiti bilancu topline. U tom slučaju tijelo izlučuje veću količinu znoja, koja se ne može ispariti sa površine tijela pa se kondenzira. Da bi udobnost kontakta bila zadovoljavajuća, mora se ova tekuća komponenta, što je moguće brže, s površine kože odvesti u udaljenije slojeve odjeće. U tekstilu se to događa adsorpcijom vlage na površinu tekstila i migracijom u daljnje slojeve te kapilarnim transportom kroz kapilare vlakana i pređa (sl. 8.). Oba mehanizma određena su svojstvima vlakana, finoćom vlakana i pređe, njihovim površinskim karakteristikama te konstrukcijskim karakteristikama pređe i plošnog proizvoda [19, 38, 39]. Pritom je utjecaj hidrofilnosti (odn. hidrofobnosti) značajan.

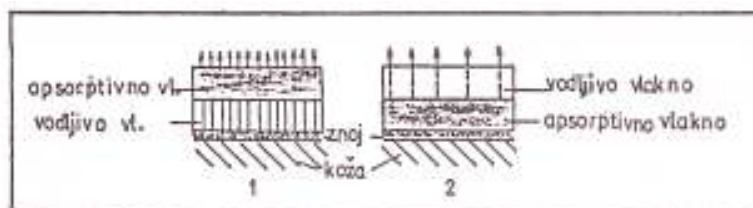


Sl. 8. Mehanizam transporta vlage kroz tekstiliju; (a) općenito prijenos kroz kapilare, pore i vlakno (b) prijenos s obzirom na tip vlakana

Tekstilija može apsorbirati vlagu sa svoje površine ili iz okoline samo onda ako je tekstilni materijal higroskopian. Isto tako prilikom apsorpcije može doći i do bubrenja vlakna što vodi do suženja pora u tekstiliji, što nadalje sprečava

difuziju vodene pare. Ovaj slučaj možemo protumačiti kao fiziološki nedostatak. Naravno maksimalna termofiziološka udobnost pri nošenju tekstilije postići će se kad su svi ovi mehanizmi transporta u optimalnom odnosu. Kod tekstilnih proizvoda koji su jednokomponentni (sastavljeni od jedne vrste vlakana) istovremeni optimum svih ovih faktora nije moguće postići jer su pojedini procesi suprotni.

Pamuk i viskoza su dobro higroskopni, imaju hidrofilnu površinu, tako da je moguća i dobra adsorpcija i dobra apsorpcija vlage, međutim proces desorpcije vlage je vrlo spor. Zbog tih različitih sorpcijskih karakteristika vlakana optimalna svojstva mogu se postići kombinacijom različitih vrsta vlakana a najbolje u tom pogledu su se pokazale tzv. dvoslojne tekstilije (sl. 9.).



Sl. 9. Shematski prikaz transporta vlage u dvoslojnim tekstilijama

Npr. vodljivo, ali slabo higroskopno vlakno koje je s unutarnje strane, brzo odvodi znoj s kože na vanjski sloj tekstilije koji ima dobru mogućnost apsorpcije, te djeluje kao međusloj za daljnje isparavanje u okolinu. Pri tako dobrom odvođenju vlage unutarnji sloj tekstila ostane suh, što pridonosi i dobroj toplinskoj izolaciji [38].

2.2 Zeoliti

Švedski mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt otkrio je prvi zeolitni mineral stilbit 1756. godine. Uočio je kako mineral zagrijavanjem gubi vodu i nazvao ga je zeolit, što dolazi od grčkih riječi *zeo* i *lithos* koje znače kipjeti i kamen.

Kasnijim ispitivanjima ustanovljeno je da zeoliti obuhvaćaju čitav niz minerala koji usprkos svom različitom kemijskom sastavu pokazuju niz zajedničkih osobina tako da čine jednu zasebnu grupu minerala. Zeoliti su nađeni u prirodi. Nastaju kondenzacijom plinova i para nakon vulkanskih erupcija i talože se kao vulkanske nakupine i stijene. U velikim zalihama se nalaze u oceanima. U svijetu je njihova proizvodnja i upotreba započela 60-ih godina XX. stoljeća, osim u Turskoj gdje su prvi put otkriveni 1971. godine. Tek pronalaskom X-zraka (Röntgen, 1895.) omogućeno je istraživanje zeolita u pogledu njihove konstitucije [4, 34, 40].

2.2.1 Podjela zeolita

Zeolite dijelimo u dvije skupine [41] : prirodni zeoliti i sintetički zeoliti.

Prirodni zeoliti: U prirodi je pronađeno otprilike 50 vrsta zeolitnih minerala, ali se samo njih 6 nalazi u znatnim količinama u sedimentnim naslagama, a to su habazit, klinoptilolit, mordenit, erionit, hojlandit i filipsit.

Klinoptilolit (sl.10.) $/(Na, K, Ca)_{2-3}Al_3(Al, Si)_2Si_{13}O_{36} \times 12 (H_2O)/$ je najrasprostranjeniji zeolit u svijetu, a pronalazi se uglavnom u sedimentnim stijenama vulkanskog porijekla [42, 43]. Glavna nalazišta klinoptilolita nalaze se po cijelom svijetu, a naročito u Europi i to većinom u istočnoj Europi (Bugarska, Grčka, Mađarska, Italija, Rumunjska, Slovenija, Slovačka, Hrvatska, Turska i

Srbija). U Hrvatskoj se klinoptilolit nalazi u poroznim stijenama u Donjem Jesenju [4].



Sl. 10. Klinoptilolit

Sintetički zeoliti: S ciljem smanjenja nečistoća koje su prisutne u prirodnim zeolitima došlo je do razvoja sintetičkih zeolita u prvoj polovici XX. st. 1930. R. Barrer i J. Sameshima su obavili važna istraživanja u području sinteze zeolita. 1948. Richard Barrer prvi je proizveo zeolit koji unutar sebe nije sadržavao nikakve sastojke koji bi mogli biti kopija onih iz prirodnih zeolita. Danas se sintetički zeoliti koriste za sofisticiraniju primjenu npr. kao katalizatori , ionski izmjenjivači ili kod odijeljivanja plinova [44, 45].

2.2.2 Struktura zeolita

Prirodni zeoliti su hidratizirani, mikroporozni (pore imaju promjer ispod 2 nm) aluminosilikati. Sastoje se od trodimenzionalne rešetkaste strukture i od opsežne mreže kanala koja se proteže kroz nju. Ta mreža kanala je uzrok mikroporoznosti koja je bitno svojstvo ovih materijala [34].

Općenita formula za zeolit je (1) [44 – 49].



Gdje je: M promjenjivi kation koji pripada skupini alkalijskih metala, zemno alkalijskih metala, prijelaznih metala ili je to kvaterni amonijev ion, n je valencija, w je broj molekula vode, a omjer y/x obično ima vrijednost od 1 do 5, ovisno o strukturi rešetke zeolita. Što je taj omjer veći to je veća hidrotermalna stabilnost i hidrofobnost.

Kompoziciju zeolita najbolje možemo opisati kao skup od 3 komponente: vodena faza, tetraedarska rešetka i naknadno dodani kationi [50].

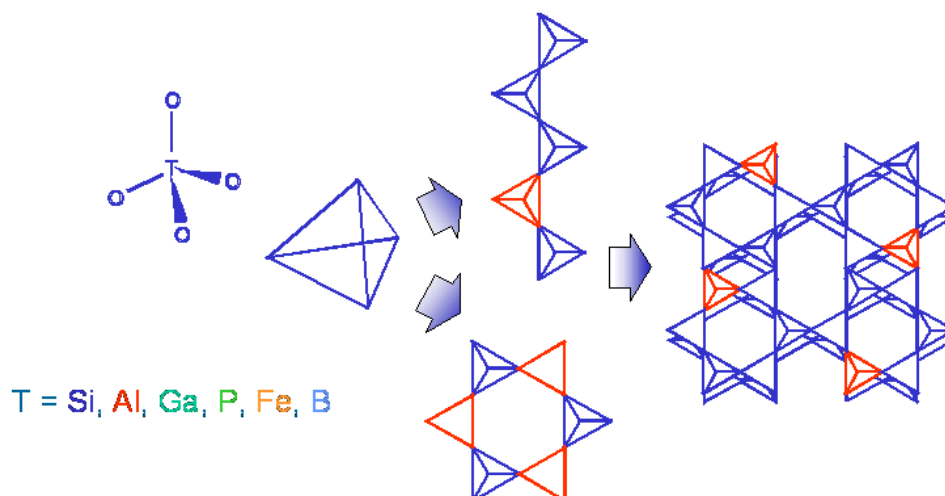
- **Vodena faza**

Svaki zeolit unutar svoje strukture ima vodu. Ta je voda s obzirom na zeolitnu poroznu rešetku veoma slabo vezana za strukturu i time se omogućava reverzibilna dehidracija.

- **Tetraedarska rešetka**

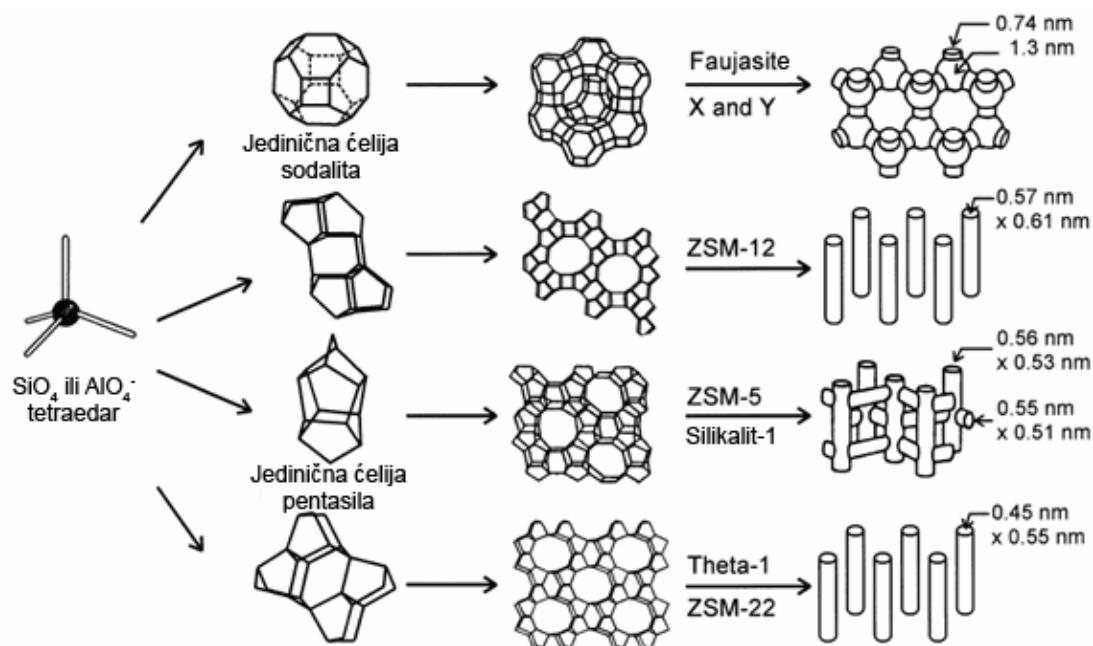
Temeljna strukturna jedinica zeolita je tetraedar.

Atom silicija ili aluminija, koji se naziva još i T atomom, nalazi se u centru tetraedra, a okružen je sa četiri aniona kisika (sl. 11.).

**Sl. 11. Tetraedarska rešetka zeolita**

Temeljne strukturne jedinice su SiO_4 i AlO_4 tetraedri, koji konačnu strukturu tvore povezivanjem u tzv. sekundarnu strukturnu jedinicu. Silicijevi i/ili aluminijevi ioni mogu biti izomorfno zamijenjeni mrežom izmjenjivača kao što su: P, Ge, Ga, B, Fe, Co, Ti, As, Zn [50].

Da bi se izgradila kompletna zeolitna struktura tetraedri se međusobno povezuju preko kisikovog atoma tvoreći (T-O-T) vezu. Fleksibilnost T-O-T veze (kuta) je vrlo važna zato što dopušta formiranje raznolikih zeolitnih struktura bez puno termodinamičkih gubitaka. Fleksibilnost T-O-T kuta dopušta formiranje prstenova i ostalih složenih strukturnih jedinica od kojih zeolitni materijali mogu biti izgrađeni (sl.12.).

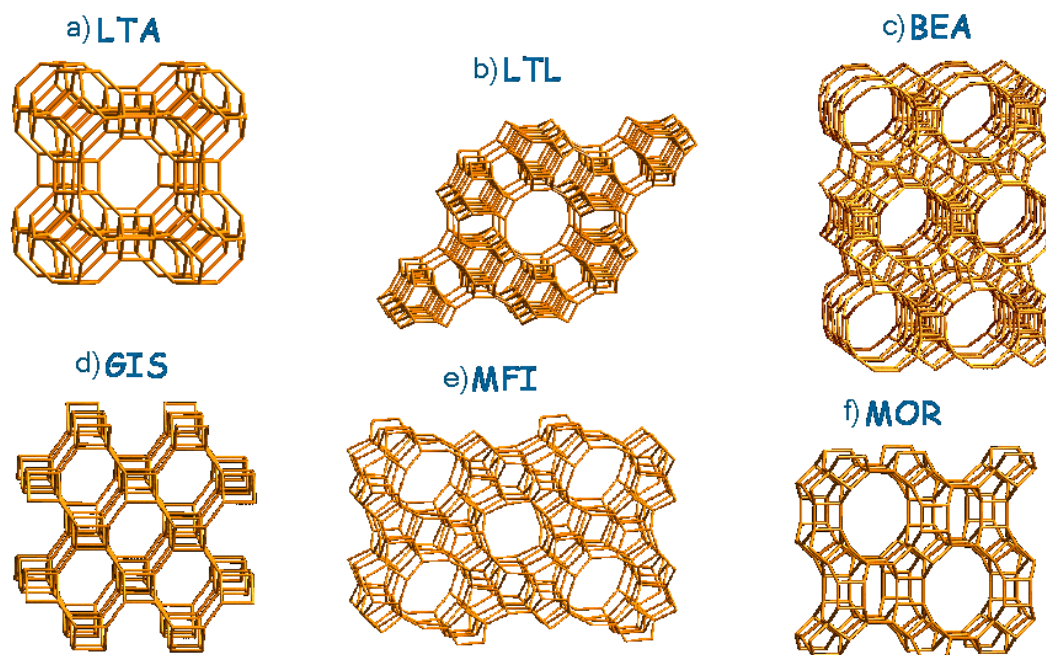


Sl. 12. Prikaz povezivanja tetraedara u složene strukture i veličina pora kod pojedinih struktura

Najjednostavniji primjer složenih strukturnih jedinica su **prstenovi**.

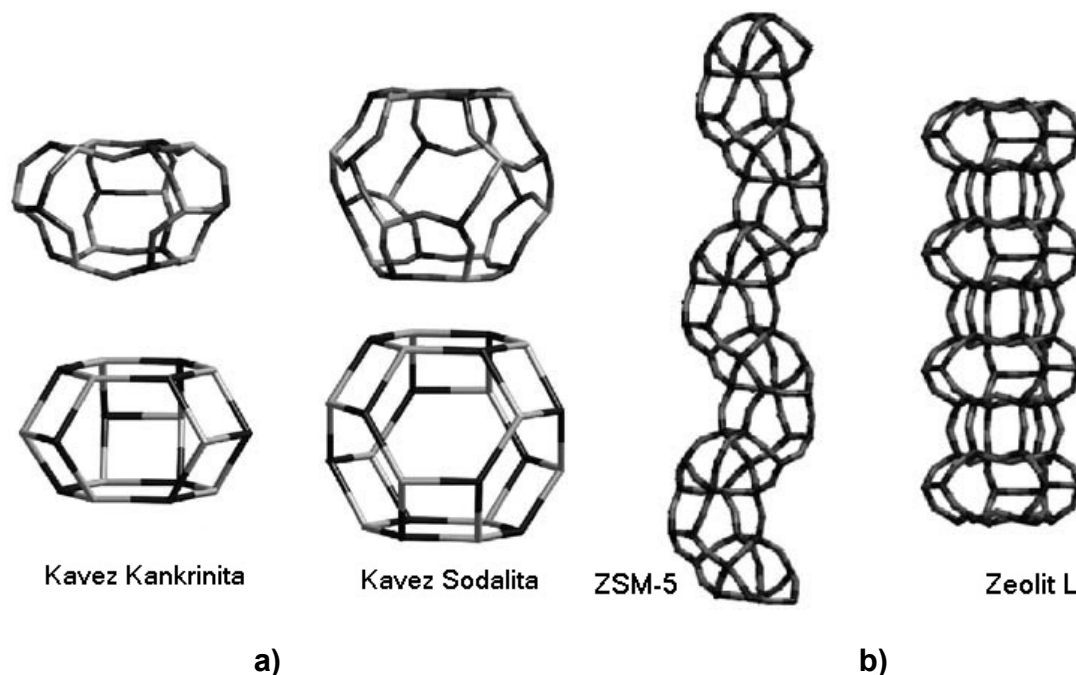
Sve zeolitne strukture mogu biti promatrane kao skup prstena načinjenih od tetraedara različitih veličina. Uobičajeno prsteni sadrže 4, 5, 6, 8, 10 ili 12 tetraedara, a oni materijali s prstenima koji sadrže 14, 18 ili više od 20 tetraedara uglavnom se dobiju sintetskim putem. Materijali sa 3, 7 ili 9 prstena su jako rijetki.

Iako su prsteni ponekad povezani u ravnini, najčešće imaju komplicirani oblik i geometriju, tvoreći poroznu strukturu (sl. 13.) [48].



Sl. 13. Porozne zeolitne strukture; a) Zeolit A; b) Zeolit L; c) Zeolit Beta; d) Gismondin; e) ZSM-5; f) Mordenit

Sljedeći stupanj složenosti je nastao konstruiranjem veće složene strukturne jedinice iz n-prstena što je dovelo do povećanja različitosti i interesantnosti struktura, poput npr. tzv. kaveza (sl. 14. a) ili lanaca (sl. 14. b).



Sl. 14. Prikaz složenije strukture kaveza i lanaca; a) Kavezi su npr. poliedri čiji su najveći prsteni jedva dovoljni da omoguće prolazak molekula koje su veće od molekule vode. Obično se smatra da je granična veličina prstena za formiranje kaveza šesterokutni prsten. Kavezi različite veličine i geometrije mogu se izgraditi povezivanjem prstenja različitih veličina. b) Lanci su jednodimenzionalne poliedarske strukturne jedinice koje su često nađene unutar zeolitne strukture

Unutar zeolita nalaze se brojne šupljine u kojima se veliki ioni i molekule vode mogu prilično slobodno kretati i na taj način dopuštaju ionsku izmjenu i reverzibilnu dehidrataciju koja ne uzrokuje značajne promjene. Pore unutar zeolita su reda veličine molekula, a kanalići su raspoređeni jednoliko kroz čitavu strukturu. Stoga je očito zašto se ovi materijali vrlo često nazivaju i molekularnim sitima (pore su im reda veličine molekula, a selektivni su prema veličini i obliku molekula) [48].

- **Naknadno dodani kationi**

Mnoga ključna svojstva zeolita ovise o lokaciji i prirodi naknadno uvedenih kationa unutar strukture.

Prilikom dehidratacije kationi se često pomiču da bi se uskladili sa što više kisikovih atoma iz strukture, što rezultira deformiranjem strukture uslijed djelovanja takvih sila. Često su takve deformacije male, ali mogu biti i vrlo značajne te čak mogu dovesti do loma strukture. Nakon dehidratacije kationi su često poprilično neusklađeni i mogu postati jake Lewisove kiseline. Dehidratacija može promijeniti smještaj kationa, adsorpciju jakih baza (amonijak, piridin, fluorkarbon, itd.), ali može promijeniti i međusobni položaj kationa unutar strukture. Izmjena iona također vodi do deformacije strukture koja se naizmjenice mijenja kao odgovor na veličinu kationa i broj kationa po jedinici ćelije. Pripadajući kationi imaju značajan utjecaj na veličinu pora anionske rešetke. Njihov smještaj u rešetki, veličina i naboj (dakle i dimenzija hidratiziranog omotača) određuju promjer pora. Općenito, tip i smještaj kationa utječe na raspodjelu naboja u zeolitu i zbog toga na sorpcijska ion-izmjenjivačka svojstva i u velikoj mjeri na njegovu katalitičku aktivnost [48, 51].

2.2.3 Svojstva zeolita

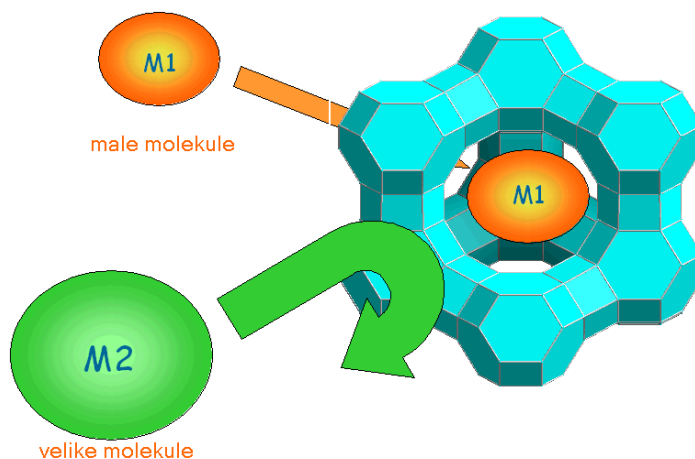
- **Sorpcija i separacija**

Primjena zeolita kod adsorpcije molekula se bazira na jednom od temeljnih svojstava zeolita, a to je selektivnost temeljena na obliku. Mogućnost primanja određenih molekula, a isključivanje nekih drugih molekula (molekularno sito) omogućila je široko područje primjene zeolita.

Mogućnost primanja i otpuštanja molekula samo je pitanje veličine i oblika pora, ali nekada to svojstvo ovisi i o brzini molekula (neke molekule prolaze kroz kanale brže od drugih).

Zeoliti koji sadrže katione često se upotrebljavaju kao apsorberi vlage, što je očekivano s obzirom na njihov veliki afinitet prema vodi, također mogu naći primjenu kod separacije plinova, gdje su molekule rasčlanjene (diferencirane) na bazi elektrostatskog međuođnosa sa metalnim ionima [49].

Prema tome zeoliti mogu razdvajati (selektirati) molekule na osnovi njihove veličine, oblika i polarnosti (sl. 15.).

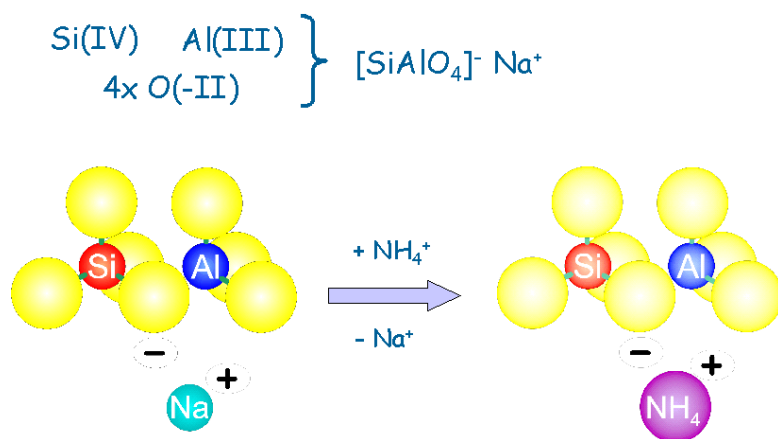


Sl. 15. Selektivnost molekula

• Ionska izmjena

Pomoću zeolita možemo čistiti otpadne vode koje sadrže teške metale, kao i rijeke pored nuklearnih elektrana koje sadrže radioaktivne izotope.

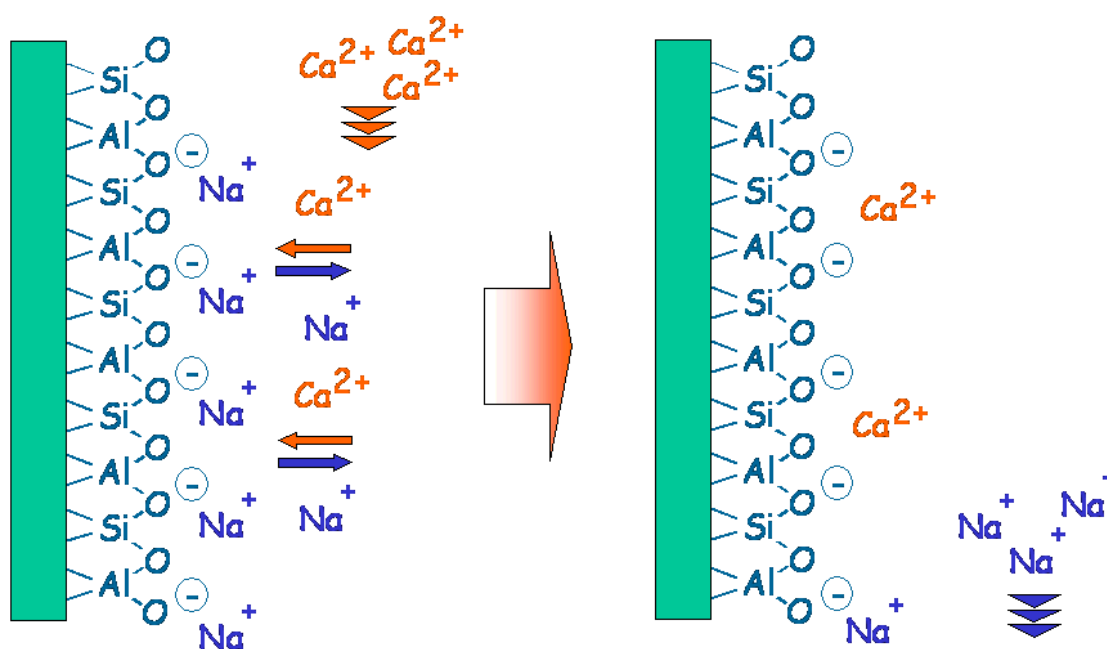
Zeoliti obično sadrže katione (Na^+ , K^+ , ili NH_4^+). Ovi kationi su potrebni da bi uravnotežili negativno nabijenu rešetku koja je uzrokovana trovalentnim aluminijevim kationima koji su s anionima kisika povezani u oblik tetraedra.



Sl. 16. Zamjena iona natrija s kationom približne veličine

Izlažući zeolit koji sadrži natrij otopini koja sadrži druge katione, ioni natrija se zamijene s tim drugim kationima koji su približno iste veličine kao i ion natrija (sl. 16.).

Za mnoge zeolite (posebice one sa niskim omjerom Si/Al), lokacija kationa unutar kanala je dobro poznata. Prema tome zeoliti se najčešće koriste kao ionski izmjenjivači da bi uklonili katione iz vodenih otopina zamjenjujući ih s kationima natrija. Ovaj princip se koristi za omekšavanje vode gdje se Ca^{2+} i Mg^{2+} uklanjaju iz vode (sl. 17.) [34, 44, 48].



Sl. 17. Prikaz mehanizma zamjene kalcijevih kationa s kationima natrija

- **Kataliza**

Zeoliti imaju svojstvo da se ponašaju kao katalizatori kemijskih reakcija.

Ovo svojstvo korišteno je u mnogim organskim reakcijama uključujući kreiranje sirove nafte, izomerizaciju i kod sinteze goriva [49].

Zeoliti se mogu ponašati kao oksidacijski ili redukcijski katalizatori, nakon ulaska metala unutar njihove strukture. Osnova svih ovih reakcija je jedinstvena mikroporozna priroda zeolita, gdje oblik i veličina pojedinih pora unutar sustava utječe na reakciju kontrolirajući pristup reaktanata i produkata.

Zbog toga se za zeolite često kaže da se ponašaju kao katalizatori koji vrše selekciju na temelju oblika.

2.2.4 Primjena zeolita

Zeoliti su korišteni u mnogim područjima, na što najviše utječu specifična svojstva zeolita [44].

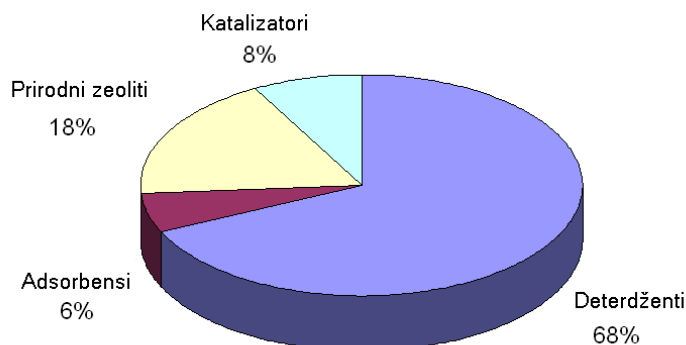
Prirodni zeoliti se uglavnom koriste u gradnji (cement) ili u industriji papira (aparati za punjenje papira). Druge primjene ovih materijala su kod higijenskog pijeska za mačke, kod tretiranja otpadnih voda i u agrikulturi [52].

Namjena sintetičkih zeolita je u omekšavanju vode (ionska izmjena), a koriste se i kao bilderi u deterdžentima [45].

Tijekom posljednjih 30 godina zeoliti su zamijenili većinu fosfata i kompleksnih tvari iz deterdženata. Bilderi iz deterdženata su visoko učinkoviti materijali koji sadrže oko 15 – 25 % zeolita. Povećanje proizvodnje Zeolita A je posljedica ekoloških kretanja.

Nadalje, zeolite koristimo kao apsorbense npr. za uklanjanje molekula vode iz organskih otopina ili za sprječavanje kondenzacije vode na staklenim površinama (unutar površina) između prozora. Osim molekula vode zeoliti mogu uklanjati i organske molekule iz otopina ili iz plinova. Ovo svojstvo omogućava zeolitu čišćenje plina unutar proizvodnih linija u industriji.

Kataliza nije najveće tržišno područje zeolita (sl. 18.) ali je najvrjednije. Zeoliti su jako učinkoviti i selektivni katalizatori za mnoge reakcije, osobito u petrokemijskoj industriji.



Sl. 18. Prikaz pokrivenosti tržišnog područja s zeolitima

3 EKSPERIMENTALNI DIO

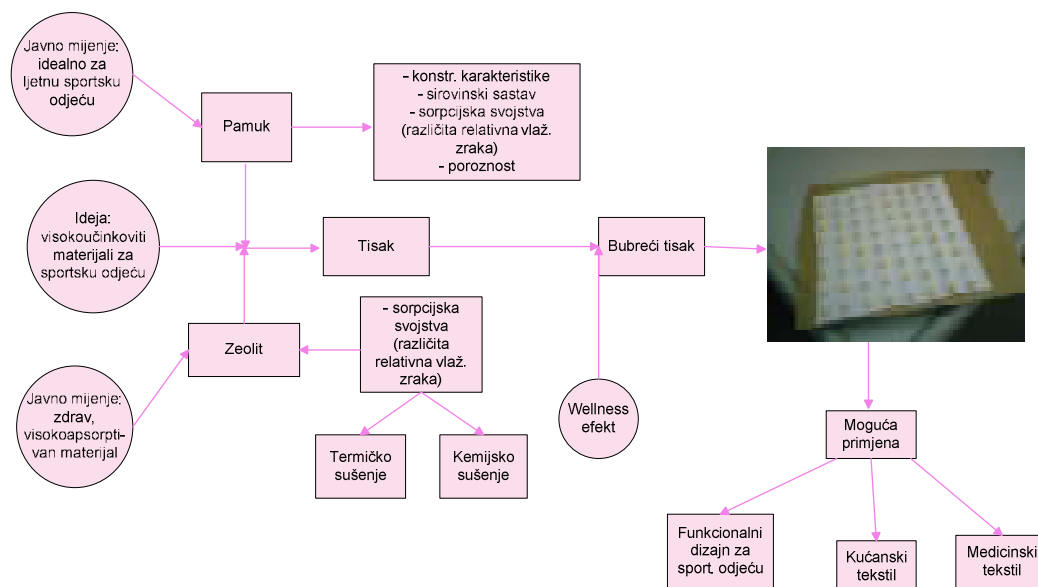
3.1 Zadatak rada

Sve veća težnja za životom u skladu s prirodom te racionalnim korištenjem prirodnih resursa (nafta, plina i sl.) dovela je do brojnih istraživanja na području tekstila (organski uzgoj vlakana, ekološki povoljne apreture, racionalizacija potrošnje vode i energija, pročišćavanje otpadnih voda, recikliranje tekstila i dr.) a sve u cilju održivog razvoja. U skladu s tim Ujedinjeni Narodi proglasili su 2009. god. godinom prirodnih vlakana. Brojnim događanjima (kongresi, izložbe, modne revije...) želi se promaknuti upotreba prirodnih vlakana u proizvodnji tekstilija (namijenjenih odjeći ali i visoko zahtjevnom tržištu kompozitnih materijala) kao i potaknuti svjetske lidere na poticanje tekstilnih industrija koje upotrebljavaju prirodna vlakna kako bi se zaposlilo više milijuna osoba, posebno u zemljama u razvoju [30].

Jedan od mogućih doprinosa promociji prirodnih vlakana poput npr. pamuka bilo bi njegovo korištenje ne samo u izradi svakodnevne odjeće već u izradi visokoučinkovite ili funkcionalne odjeće veće dodane vrijednosti. Stoga je cilj ovog diplomskog rada bio istražiti mogućnost funkcionalizacije pamučnog pletiva za izradu sportske odjeće koja će osim termofiziološke udobnosti pružati nosiocu određeni vid zaštite i "wellness efekt".

3.2 Metodika rada

U svrhu funkcionalizacije pamučnih materijala (sl. 19.), pamučno pletivo podvrgnuto je različitim obradama (tisak, apreture, ultrazvuk, zeolit) tijekom kojih se iskristaliziralo da je tisak mogući i efektivni način vezivanja nanočestica zeolita na pamučni materijal koji tako dizajniran omogućava projektiranje tekstilija različite namjene (sportska odjeća, kućanski i medicinski tekstil).



SI. 19. Plan istraživanja

3.2.1 Metode i postupci istraživanja

Dizajnirati i projektirati funkcionalnu odjeću znači da osim kreativno – modne komponente treba zadovoljiti i niz drugih često ciljanih zahtjeva koji se na takvu odjeću postavljaju. Npr. u slučaju sportske odjeće to su: udobnost, pristajalost, zaštita i sl. Stoga su za potrebe ovog rada istraživanja podijeljena u nekoliko skupina:

- ❖ Karakterizacija pamučnih materijala
- ❖ Karakterizacija sorpcijskih svojstava zeolita
- ❖ Moguće tehnike aplikacije zeolita
- ❖ Projektiranje gotovih odjevnih predmeta

➤ KARAKTERIZACIJA TEKSTILNIH- PLOŠNIH PROIZVODA

Pri utvrđivanju konstrukcijskih karakteristika plošnih proizvoda osnovno je odrediti slijedeće [38, 53]:

- **pripadnost** jednoj od osnovnih vrsta plošnih proizvoda (tkanina, pletivo, netkana tekstilija)
- način povezivanja niti pređe u plošni proizvod, tj. vez ili preplet

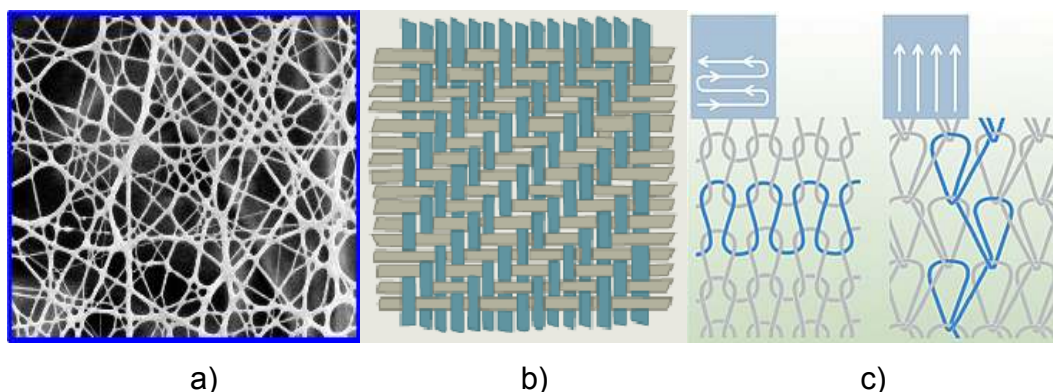
Za objektivno opisivanje kvalitete tekstilnog plošnog proizvoda potrebno je odrediti:

- **površinsku i duljinsku masu** plošnog proizvoda
- **finoću** pređe od kojih je plošni proizvod načinjen
- **gustoću** niti u tkanini, odnosno očica u pletivu tj. broj niti osnove i potke na jediničnoj dužini tkanine ili broj očica na jediničnoj površini pletiva
- **utkanje osnove i potke**/ duljina niti potrošena za tvorbu jedne očice u pletivu, tzv. **duljinu očice**
- **debljinu** plošnog proizvoda

U novije doba zbog potreba istraživanja i vrednovanja udobnosti odjeće nužno je odrediti i **propusnost** (zraka ili vodene pare) odnosno **poroznost** tekstilne plošne tvorevine, kao i njezina sorpcijska svojstva.

Vrsta plošnog proizvoda

Na osnovi vizualnog pregleda utvrđuje se način povezivanja strukturnih elemenata u plošni proizvod čime se ujedno definira i pripadnost materijala jednoj od osnovnih vrsta plošnog proizvoda (sl. 20.) [38].



Sl. 20. Različite vrste tekstilno plošnih proizvoda; a) netkani tekstil b) tkanina c) pletivo

Određivanje površinske mase

Površinska masa je obavezan parametar koji se ispituje u redovnoj kontroli kvalitete plošnih proizvoda. Ona je također vrlo bitna jer služi kao pomoćna veličina pri mjerenju i izračunavanju mnogih drugih kvalitetnih karakteristika plošnih proizvoda, kao što su npr. prekidna duljina, volumna masa, poroznost i sl.

Po definiciji predstavlja masu kvadratnog metra plošnog proizvoda izraženu u gramima (2).

$$m_A = \frac{m}{A} \quad (2)$$

Gdje je:

m_A – površinska masa [gm^{-2}]

m – masa kondicioniranog uzorka u [g]

A – površina uzorka u [m^2]

Prema HRN F.S2.016 [54] date su dvije mogućnosti ispitivanja:

- na kondicioniranim uzorcima
- na apsolutno suhim uzorcima

Za potrebe ovog rada korištene su i modifikacije s obzirom na različite relativne vlažnost zraka i to: 20, 65 i 90 %. Mjerenje se provodi na minimalno 2 uzorka površine 100 cm² (sl. 21.).



Sl. 21. Specijalni rezač za uzorke

Određivanje finoće pređe

Finoća pređe se, kao i finoća vlakana izražava duljinskom masom. Za predene pređe koristi se jedinica tex, a kod glatkih filamentnih pređa koristimo jedinicu dtex.

Finoća pređe se uglavnom određuje samo primjenom metode vitice (HRN F. S2. 050) [55]. Iznimku čine slučajevi kada su za ispitivanje raspoloživi manji komadi pređe pa nije moguće prirediti viticu. Određivanje duljinske mase za ocjenu finoće tada se provodi u skladu sa standardima ASTM D 1059 ili DIN 53830/3 [56, 57]. U Hrvatskim normama nije propisan način ispitivanja finoće pređe na komadima ili odsječcima.

Prilikom ispitivanja finoće pređe utvrđuje se kolika je masa sadržana u određenoj duljini pređe (3).

$$Tt = \frac{m}{l} \times 10^3 \quad (3)$$

Gdje je:

Tt – finoća pređe u [tex]

m – masa pređe u [g]

l – jedinična duljina pređe u [m]



**Sl. 22. Analitička vaga marke Mettler
Toledo**

Prilikom određivanja finoće pređe u pletivu isparaju se niti pređe na duljini 10 cm iz uzorka. Izmjeri se njihova duljina uz pomoć mjerila s baršunastom podlogom i pincete. Uzorci se stave u sušionik na $105 \pm 5^\circ \text{C}$ i nakon 24 h sušenja dobije se masa apsolutno suhih pređa. Smatra se da je uzorak apsolutno suh onda kada razlika u odvagi između dva uzastopna vaganja u intervalu od 1 sata ne iznosi više od 0,1 %. Za mjerenje mase korištena je analitička vaga Mettler Toledo (sl. 22.) (točnost $\pm 0,0001 \text{ g}$).

Masa kondicioniranog uzorka računa se prema (4):

$$m_k = m.a.s. + m.a.s. \times \frac{R}{100} \quad (4)$$

Gdje je:

m_k – masa kondicioniranog uzorka u [g]

$m.a.s.$ – masa apsolutno suhog uzorka u [g]

R – repriza za pamuk u [%], prema (ASTM D 629 - 72) [58].

Finoća pređe određena je prema izrazu (5):

$$Tt = \frac{m_k}{l} \times 10^3 \quad (5)$$

Gdje je:

Tt – finoća pređe u [tex]

m_k – masa kondicioniranog uzorka pređe u [g]

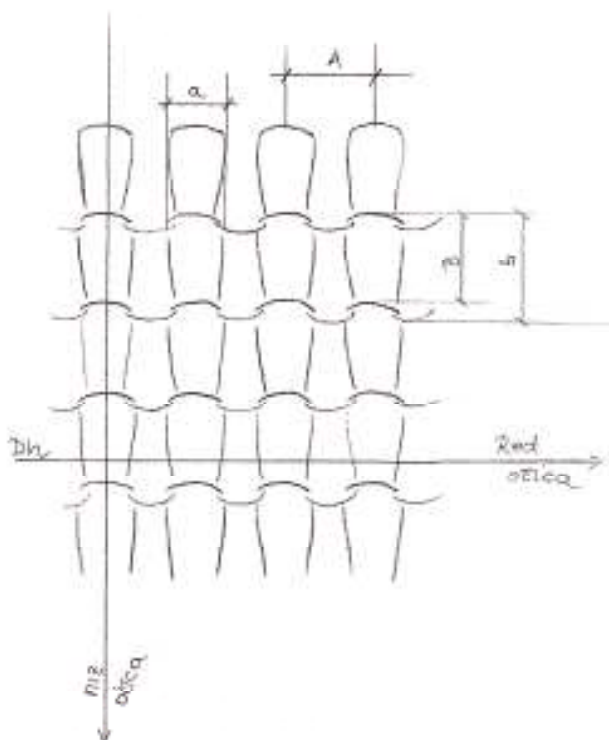
l – jedinična duljina pređe u [m]

Određivanje gustoće pletiva

Gustoća očica u pletivu izražava se kao broj očica prisutan na pletivu površine 1 cm^2 , odnosno kao broj nizova i redova na duljini od 1 cm pletiva [38, 59].

Potrebna su najmanje 3 paralelna mjerenja, a srednja vrijednost se zaokružuje na cijelu očicu. Mjerenje se provodi pomoću tekstilne lupe ili stereo-mikroskopa.

Određivanje geometrije očica [60]



Sl. 23. Prikaz širine i visine očica unutar desno-desnog pletiva

A ili korak očice (6) je razmak između središta dviju susjednih očica u jednom redu pletiva (sl. 23).

$$A = \frac{M_j}{Dh} \quad (6)$$

B ili visina reda očice (7) je udaljenost dviju glava očica.

$$B = \frac{Mj}{Dv} \quad (7)$$

Gdje je:

A – razmak između središta očica (korak očica) u [mm]

Mj – duljina u [mm] na kojoj smo određivali Dh i Dv

Dh – horizontalna gustoća pletiva [oč cm⁻¹]

B – visina reda očice u [mm]

Dv – vertikalna gustoća pletiva [oč cm⁻¹]

a – širina kostura očice u [mm]

b – razmak između iglenog i platinskog zaobljenja očice u [mm]

Određivanje broja očica u jediničnoj površini pletiva

Za desno-desna pletiva vrijedi (8):

$$Noč = Dh \times 100 \times Dv \times 100 \times 2 \quad (8)$$

Gdje je:

Noč – broj očica u 1 m² pletiva [oč m⁻²]

Dh - horizontalna gustoća pletiva [oč cm⁻¹]

Dv – vertikalna gustoća pletiva [oč cm⁻¹]

2 – faktor za DD pletiva

Određivanje debljine pletiva



Sl. 24. Debljinomjer

Prema HRN F.S2.021 [61] debljina plošnog proizvoda se definira kao razmak između dvije ravne, metalne, paralelne ploče razdvojene tkaninom koja se nalazi pod određenim pritiskom. Mjerenje se provodi pomoću debljinomjera (sl. 24.) koji osigurava točnost rezultata na $\pm 0,01$ mm, a broj paralelnih proba je 10.

Određivanje propusnosti zraka pletiva

Propusnost zraka je svojstvo koje neposredno utječe na udobnost nošenja odjevnog predmeta. To svojstvo je jako bitno jer svaki plošni proizvod treba imati mogućnost izmjene zraka kroz svoje pore. Rezultati ispitivanja najvećim dijelom ovise o poroznosti ispitivanog plošnog proizvoda, tj. o njegovim strukturnim karakteristikama, finoći vlakana i pređe, ali i o doradi [38, 59].

Za ispitivanje propusnosti zraka kod pamučnog pletiva koristili smo MO21S uređaj (sl. 25.) za određivanje propusnosti zraka u skladu s normom ISO 9237 [62].



Sl. 25. Uređaj za ispitivanje propusnosti zraka tt. SDL Atlas

Ispitivani materijal se stavlja na mjernu glavu te učvrsti. Mjerna površina je definirana standardom, ali se može smanjiti kod vrlo propusnih tekstilija, odnosno povećati u obrnutom slučaju. Razlika tlakova uz koji se radi pri ispitivanju tekstilnih plošnih proizvoda je različita ovisno o njihovoj namjeni. Za potrebe ovog rada odabrana je razlika tlakova od 100 Pa, mjerna glava površine 5 cm², a samo mjerenje provedeno je na 10 paralelnih proba s lica i naličja.

Rezultat se iskazuje kao količina zraka koja u jedinici vremena prođe kroz uzorak (9).

$$R = \frac{qv}{A} \times 167 \quad (9)$$

Gdje je:

qv – srednja vrijednost protoka zraka [$\text{dm}^3 \text{ min}^{-1}$]

A – mjerna površina izražena u [cm^2]

167 – faktor za pretvorbu [$\text{dm}^3 \text{ min}^{-1} \text{ cm}^2$] u [mms^{-1}]

Određivanje poroznosti

Poroznost je mjera za volumni udio šupljina u plošnom proizvodu. Može se izračunati jednostavnim matematičkim računom tako da se odredi tzv. faktor pokrivanja [38, 59]. Za potrebe ovog rada faktor pokrivanja se određivao na 2 načina:

- Računski
- Mikroskopski

Računski

- površinska popunjenost (Z_{pl}) (10)
- Poroznost (P_{pl}) (11,12) predstavlja postotno učešće zraka u jediničnom volumenu tekstilije.



(10)

Gdje je:

Z_{pl} – površinska popunjenost pletiva u [%]

d – debljina pređe u [mm]

l – duljina niti utrošene za izradu jedne očice u [mm]

A – razmak između središta očica (korak očica) u [mm]

B – visina reda očice u [mm]

$$P_{pl} = \frac{\rho_v - \rho_{RX}}{\rho_v} \times 100 \quad (11)$$

$$\rho_{RX} = \frac{m_A}{1000 \times d_x} \quad (12)$$

Gdje su:

P_{pl} – poroznost pletiva u [%]

ρ_v – gustoća vlakana u [g m^{-3}]

ρ_{RX} – volumna masa uzorka u [g m^{-3}]

m_A – površinska masa uzorka u [g m^{-2}]

d_x – debljina materijala u [mm]

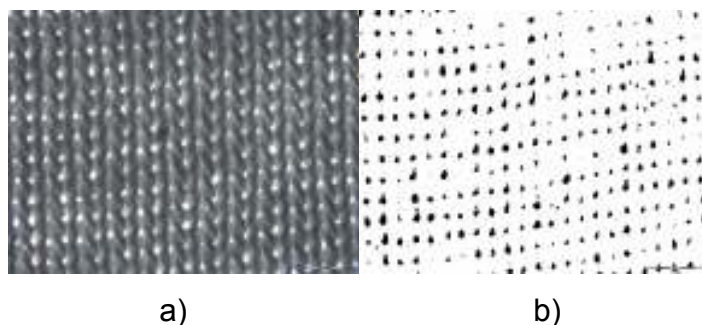
Mikroskopski

Za mikroskopsko određivanje faktora pokrivanja koristila se metoda IA mikroskopije. Ta metoda se osniva na istovremenoj mikrofotometriji i mikromorfometriji tj. pretvorbom mikroskopske slike u digitalni oblik omogućava se kvantifikacija mikroskopske slike i provođenje mjerenja na ciljano selektiranim objektima slike.

Uređaj koji se koristio je univerzalni svjetlosni mikroskop s reflektiranim i prolaznim svjetlom Olympus BX51 koji je preko digitalne kamere DP 12 povezan s računalom koje je opremljeno software programom analySIS za digitalnu analizu mikroskopskih slika i mikrofotometriju.

Provedeni postupak se sastoji od pretraživanja preparata, pohranjivanja karakterističnih mikroskopskih slika, digitalizacije slika, analize slike automatskim postupkom koji je predviđen programskim paketom ili posebno izrađenim makro-ima te binarizacija slike i mjerenje.

Rezultat se iskaže kroz U_t [%] – površinski udio vlaknate komponente ili U_s [%] – površinski udio nevlaknate komponente (šupljina).

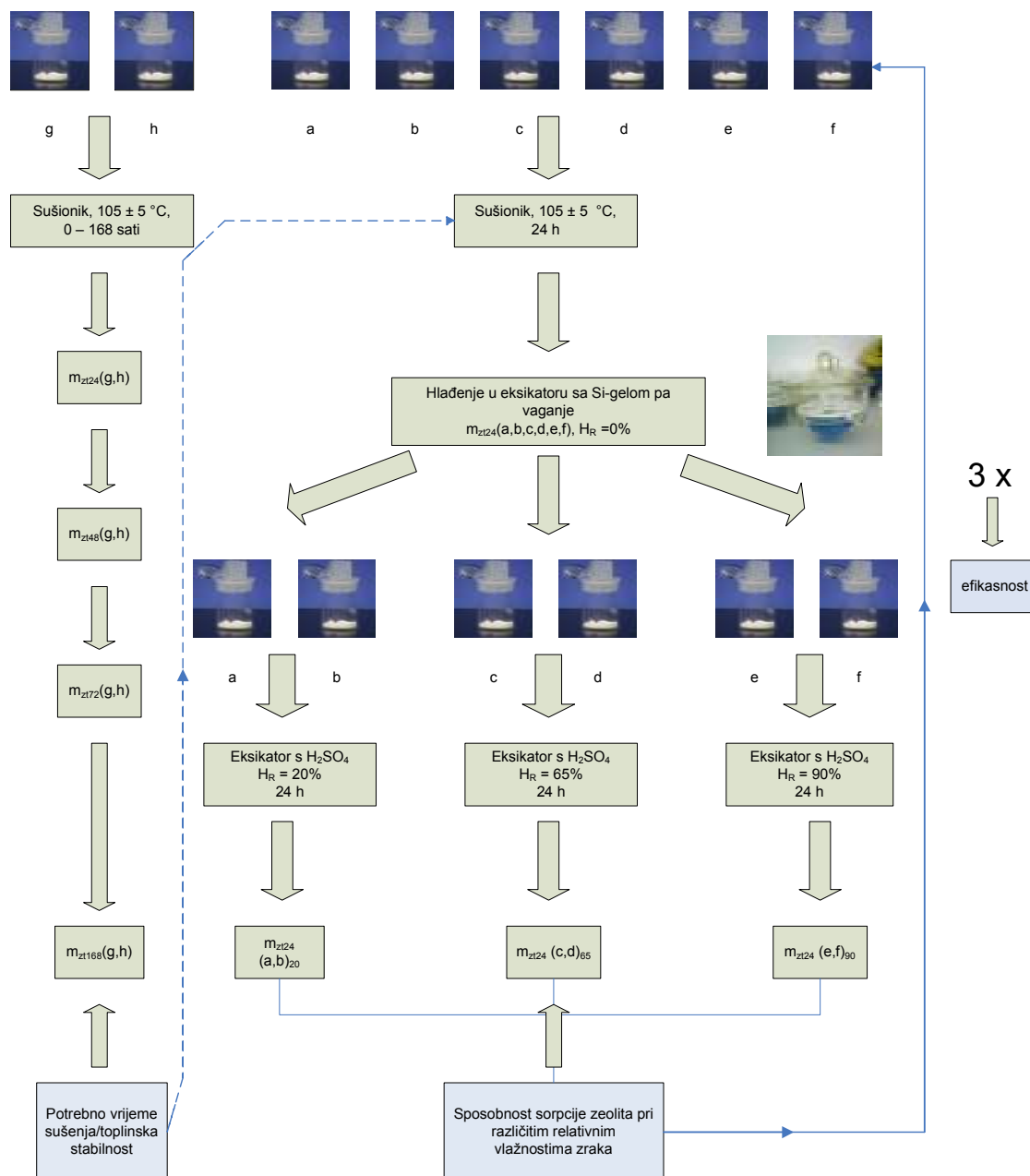


Sl. 26. Mikroskopski obrađeno pamučno pletivo; a) originalna slika b) binarna slika

➤ KARAKTERIZACIJA SORPCIJSKIH SVOJSTAVA ZEOLITA

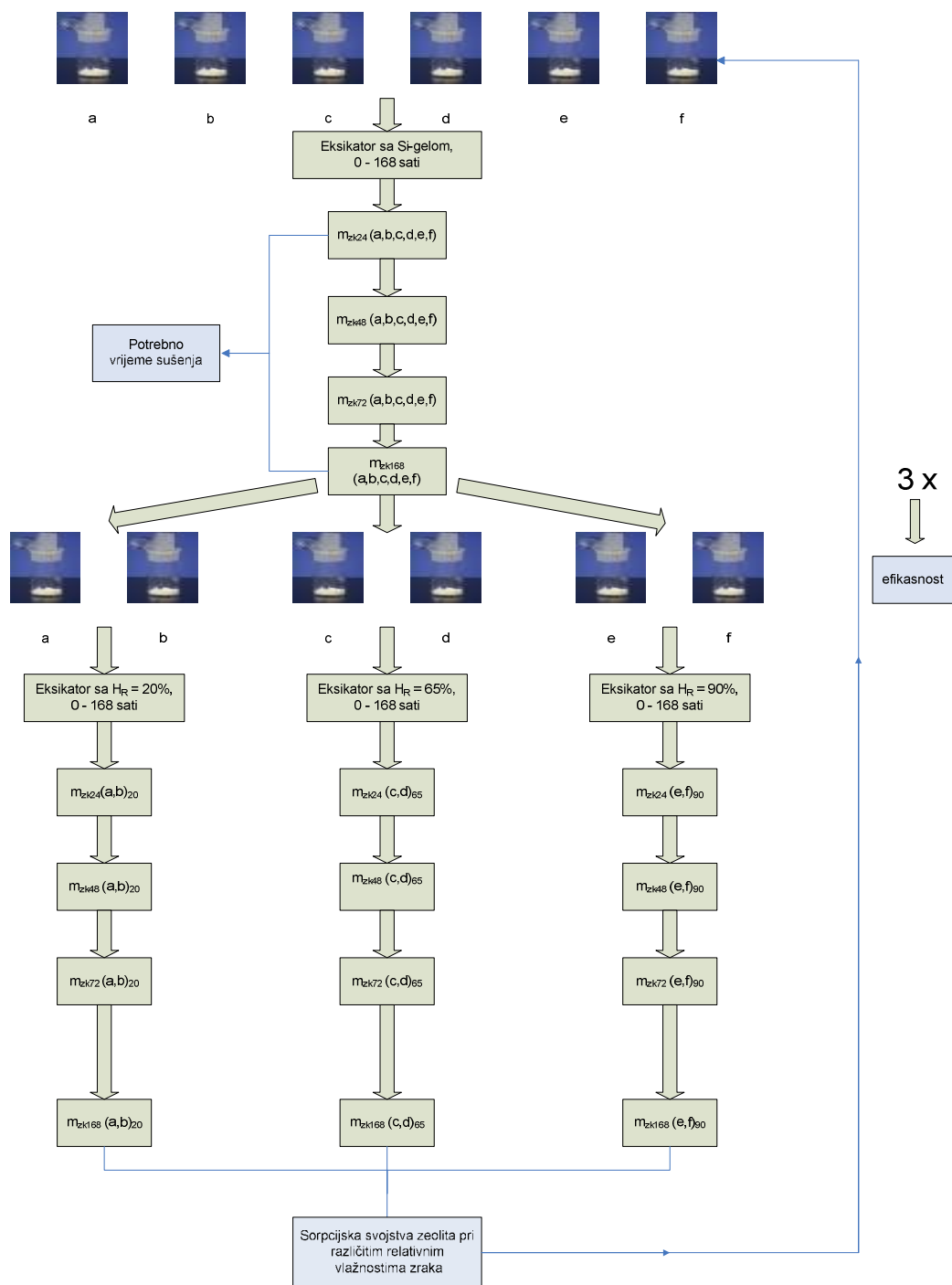
Sposobnost zeolita da apsorbira vlagu i/ili druge tvari velika je i poznata. Međutim kinetika sorpcije i desorpcije vlage kao moguća mjera udobnosti zeolitom obrađene odjeće nije poznata. Stoga je za potrebe ovog rada provedeno ispitivanje promjene masa uzorka zeolita tijekom vremena od 0 do 7 dana pri njegovom izlaganju različitim uvjetima vlažnosti zraka ($H_R = 0$ do 90 %) i uz različite postupke sušenja (termičko i/ili kemijsko sušenje). Tijek ovih ispitivanja prikazan je na slikama 27. i 28. Efikasnost zeolita utvrđena je ponavljanjem prethodno navedenih postupaka 3 puta, Sva mjerenja napravljena su na 2 paralelna uzorka mase ~10,0000 g.

TERMIČKO SUŠENJE



Sl. 27. Plan termičkog sušenja zeolita

KEMIJSKO SUŠENJE



Sl. 28. Plan kemijskog sušenja zeolita

➤ APLIKACIJA ZEOLITA NA PAMUČNI MATERIJAL

Dosadašnja istraživanja mogućnosti vezanja zeolita na tekstilno plošni proizvod rezultirala su s nekoliko uspješnih metoda npr. impregnacija materijala vodenom otopinom zeolita na foulardu (fularu) tzv. termosol postupak [4], bojadisanje, tisak, razne aperture, ultrazvuk i sl. Stoga je za potrebe ovog rada pretpostavljeno da je tisak mogući način vezanja veće količine zeolita na pamučni materijal, a s obzirom na željeni "wellness" efekt umjesto klasične tiskarske paste uzet je bubreći tisak.

Tiskarska pasta izrađena je prema slijedećoj recepturi:

- 203,4543 g već pripremljene bubreće paste tvrtke Bezema PRINTPERFEKT EX-TS
- 4,1521 g TUBASSIST FIX 104 W – sredstvo za poboljšanje postojanosti (2%)
- 23,0674 g mikroniziranog zeolita (10%)

Da bi efekt bubrenja bio što veći, za šablonu su korištene, posebno izrađene čelične ploče sa otvorima čiji razmak odgovara mjestima živčanih završetaka na koži, pa će stoga tiskani materijal imati i masažni efekt.

Izrađene su 3 ploče A4 formata različitih gustoća otvora. Udaljenost otvora se kreće (od najgušće prema najrjeđoj) od 5, 8 do 11 mm. Veličina otvora je jednaka kod svih ploča i iznosi Φ 4 mm.

Otisnuta su 3 paralelna uzorka za svaku gustoću.

➤ PROJEKTIRANJE FUNKCIONALNIH TEKSTILIJA

Temeljem spoznaja sustavno vođenih eksperimenata [63] u projektiranju funkcionalnih tekstilija korištene su induktivna, deduktivna i "mozaik" metoda te likovno kreativna rješenja.

- ❖ Induktivna metoda – je sistematska i dosljedna primjena induktivnog načina zaključivanja u kojem se na temelju pojedinačnih ili posebnih činjenica dolazi do zaključka o općem sudu, od zapažanja konkretnih pojedinačnih slučajeva i činjenica dolazi se do općih zaključaka, od

poznatih pojedinačnih slučajeva polazi se nepoznatom općem, od izučenog neizučenom, od većeg broja pojava vrše se uopćavanja. Najvažniji elementi induktivne metode su: metoda analize, sinteze, apstrakcije, generalizacije i specijalizacije.

- ❖ Deduktivna metoda – je sustavna i dosljedna primjena deduktivnog načina razmišljanja, odnosno izvođenje pojedinačnih sudova iz općenitih. Iz općih postavki dolazi se do konkretnih pojedinačnih zaključaka, iz jedne ili više tvrdnji izvodi se neka nova tvrdnja koja proizlazi iz prethodnih tvrdnji. Dedukcija uvijek pretpostavlja poznavanje općih stavova, načela, posjedovanja općih znanja na temelju kojih se shvaća ono posebno ili pojedinačno. U dedukciji se obično najčešće polazi od općih istina i dolazi do posebnih i pojedinačnih spoznaja. Bitno obilježje dedukcije je u tome da rezultati uvijek imaju karakter vrijednih znanstvenih spoznaja.
- ❖ Metoda "mozaika" - iako se zapravo ne smatra pravom znanstvenom metodom, ova metoda je jedan od ustaljenih načina pripremanja znanstvenih i stručnih djela. Naime, ova metoda je slična umjetniku koji od mnogo raznovrsnih elemenata, npr. boja, kamenčića, stvara novo umjetničko djelo, pa je stoga pogodna za predlaganje tehnološkog rješenja dizajnerske ideje.

3.3 Uzorci za ispitivanje

Za potrebe ovog rada korišteni su slijedeći uzorci i sredstva (tab.8.):

Tab. 8. Uzorci i sredstva korišteni za ispitivanje

	- DD kulirno pletivo - bijele boje - proizvođač: Galeb d.d., Omiš
	- temeljna bubreća pasta PRINTPERFEKT EX TS - sredstvo za poboljšanje postojanosti TUBASSIST FIX 104 W - proizvođač: Bezema, Švicarska
	- mikronizirani zeolit KLINOPTILOLIT - IC – I – 2A - veličina čestica ~200 nm - gustoća 2,2 – 2,5 g cm³ - dobavljač: Novatech d.o.o.

Za potrebe lakšeg snalaženja u radu je korišten slijedeći način označavanja uzoraka:

$$m_{zt24}(a,b)_{90}$$

gdje je: m_z – masa zeolita

t – oznaka za termičko sušenje zeolita do apsolutno suhog uzorka u sušioniku na 105 ± 5 °C ili k – oznaka za kemijsko sušenje zeolita do konstantno suhog u eksikatoru sa Si-gelom

24 – vrijeme sušenja ili vlaženja u [h] od 0 do 168 h

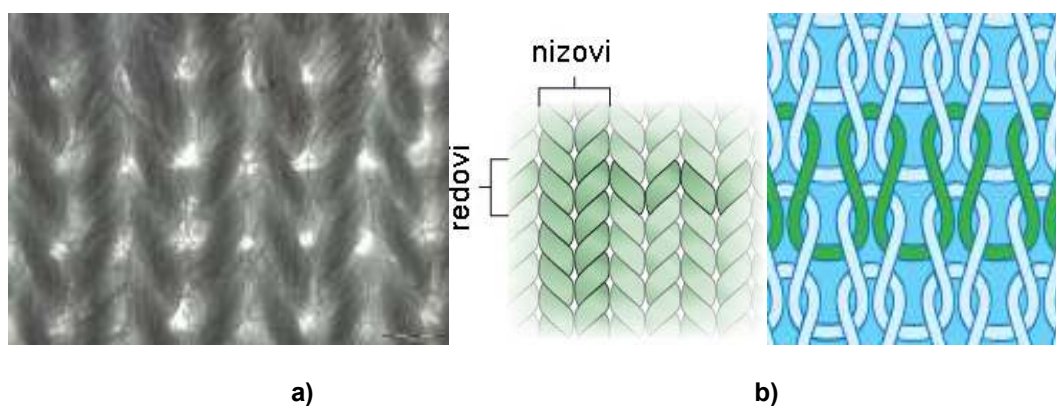
(a,b) – broj paralelnih proba od a do f

90 – relativna vlažnost zraka u eksikatoru za vlaženje tj. za sorpciju vlage od 20, 65 i 90%

4 REZULTATI I DISKUSIJA

4.1 Karakterizacija pamučnog materijala

U tablicama (9 - 12) i slici 29. prikazani su rezultati objektivnih mjerenja kvalitete korištenog pamučnog pletiva.



Sl. 29. Korišteno pletivo a) Mikroskopska slika pamučnog pletiva prolazno svjetlo X 40 b) grafički prikaz povezivanja desnih očica

Iz slike 29.a) vidljivo je da su lice i naličje uzorka isti i pokazuju tzv. izgled latinskog slova "v" što ukazuje da se radi o desno-desnom pletivu tj. načinu povezivanja očica kao što je prikazano na slici 29. b).

Takva konstrukcija osigurava veliku rastezljivost pletiva što omogućava njegovo korištenje u različitim vidovima tekstilija npr. za čarape, kućanski i medicinski tekstil.

Tab. 9. Površinska masa pletiva

	n		x_s [gm ⁻²]	s [gm ⁻²]	P _{gg} [gm ⁻²]
	1	2			
m_A [gm⁻²]	188,6273	182,6164	185,6218	4,25	± 5,89

Gdje je: m_A [gm⁻²] – površinska masa kondicioniranog pletiva; n – broj paralelnih proba; x_s – prosječna vrijednost ispitanog parametra; s – standardna devijacija; P_{gg} – praktična granica pogreške.

Tab. 10. Debljina pletiva

n	d	
	d ₁₀ [mm]	d ₂ [mm]
1	0,90	0,94
2	0,90	0,86
3	0,87	0,93
4	0,84	0,90
5	0,86	0,90
6	0,83	0,91
7	0,84	0,90
8	0,82	0,97
9	0,83	0,88
10	0,83	0,93
x_s [mm]	0,85	0,91
s [mm]	0,03	0,03
P _{gg} [mm]	± 0,02	± 0,02

Gdje je: d [mm] – debljina pletiva; n – broj paralelnih proba; d₁₀ – debljina ishodišnog pletiva izmjerena uz pritisak od 10 [cN cm⁻²] uz površinu pritiskivača od 5 cm²; d₂ – debljina ishodišnog pletiva izmjerena uz pritisak od 2 [cN cm⁻²] uz površinu pritiskivača od 5 cm².

Tab. 11. Gustoća pletiva

n	Dh [oč cm ⁻¹]	Dv [oč cm ⁻¹]	N _{oč} [oč m ⁻²]	c
1	11,0	15,0	3300000	0,73
2	11,0	16,0	3520000	0,69
3	11,0	16,0	3520000	0,69
4	11,0	16,0	3520000	0,69
5	11,0	15,0	3300000	0,73
x_s [oč cm⁻¹]	11,0	15,6	3432000	0,71
s [oč cm ⁻¹]	0,00	0,55	120498	0,03
P _{gg} [oč cm ⁻¹]	± 0,00	± 0,48	± 105622	± 0,02

Gdje je: Dh [oč cm⁻¹] – broj očica u redu pletiva, horizontalna gustoća pletiva; Dv [oč cm⁻¹] – broj očica u nizu pletiva, vertikalna gustoća pletiva; N_{oč} [oč m⁻²] – broj očica u kvadratnom metru pletiva; c – koeficijent zbijenosti očica, prema (13): $c = \frac{Dh}{Dv}$ (13)

Za desno-desna pletiva c se nalazi unutar intervala 0,7 – 0,9.

Tab. 12. Finoća pređe u pletivu

	n		
	1	2	3
m_{as} [g]	0,0122	0,0102	0,0088
m_k [g]	0,0132	0,0111	0,0095
l [m]	0,590	0,585	0,595
T_t [tex]	22,436	18,918	16,047
x_s [tex]	19,13		
s [tex]	3,20		
P_{gg} [tex]	± 3,62		

Gdje je: n – broj paralelnih proba; m_{as} [g] – masa apsolutno suhe pređe isparane iz pletiva duljine 10 cm; m_k [g] – masa kondicionirane pređe isparane iz pletiva duljine 10 cm; l [m] – stvarna duljina pređe utrošena za jedan red pletiva duljine 10 cm; T_t [tex] – finoća pređe prema (2, 4).

S obzirom na određenu vrstu izrade pletiva (desno-desno pletivo) i površinsku masu (manju od 200 gm^{-2}) ispitivano pletivo može se upotrijebiti za izradu čarapa, donjeg rublja ili lagane ljetne trikotaže. Debljina ispitivanog pletiva se kreće u granicama od 0,85 do 0,91 mm (tab. 10.) ovisno o pritisku koji je primijenjen pri određivanju debljine. Budući da je ispitivanje provedeno sa standardnim pritiskom i pritiskom koji je 5 puta veći moguće je odrediti stlačivost pletiva koja iznosi $\sim 6\%$.

Korištena finoća pređe, gustoća očica u redu i nizu, te koeficijent zbijenosti očica (tab. 11.) ukazuju na pletivo velike gustoće ($3,4 \times 10^6 \text{ oć m}^{-2}$) što za posljedicu može imati smanjenu propusnost zraka koja može biti ograničavajući faktor u projektiranju željenog odjevnog predmeta. Naime, propusnost se indirektno može odrediti preko c (koeficijent zbijenosti očica pletiva). U slučaju ovog pletiva koeficijent zbijenosti očica iznosi 0,71 što se nalazi unutar empirijski utvrđenih granica za desno-desna pletiva tj. od 0,7 do 0,9.

U tablici 13. prikazani su rezultati određivanja propusnosti zraka kroz uzorak pamučnog pletiva. Bez obzira na veliku zbijenost očica relativno velika propusnost zraka kroz dvoslojni i četveroslojni uzorak pamučnog pletiva posljedica je velike finoće pređe ($T_t = 19,13 \text{ tex}$; tab. 12.) koja je korištena za njegovu izradu. Budući da je propusnost zraka kroz dvoslojni uzorak dvostruko veća od propusnosti zraka kroz četveroslojni uzorak matematički se može predvidjeti da bi stvarna propusnost zraka kroz ispitivani uzorak pamučnog pletiva bila $1376,74 \text{ mms}^{-1}$ po jedinici površine što je iznad mjernog područja korištene aparature (sl. 25.).

Tab. 13. Propusnost zraka kroz pletivo

n	R_4 [mm s ⁻¹]	R_2 [mm s ⁻¹]	R [mm s ⁻¹]
1	310,62	581,16	
2	290,58	761,52	
3	310,62	761,52	
4	380,76	651,3	
5	322,64	661,32	
6	338,68	697,39	
7	430,86	631,26	
8	346,69	691,38	
9	320,64	705,41	
10	380,76	741,48	
x_s [mm s ⁻¹]	343,29	688,37	1376,74
s [mm s ⁻¹]	42,64	58,47	
P_{gg} [mm s ⁻¹]	± 26,43	± 36,24	

Gdje je: R_4 [mms⁻¹] – količina zraka koji u jednoj sekundi prođe kroz jedinicu površine uzorka pri razlici tlakova od 100 Pa, mjereno na četveroslojnom pamučnom pletivu; R_2 [mms⁻¹] – količina zraka koji u jednoj sekundi prođe kroz jedinicu površine uzorka pri razlici tlakova od 100 Pa, mjereno na dvoslojnom pamučnom pletivu; R [mms⁻¹] – projicirana propusnost zraka kroz jedan sloj pamučnog pletiva.

Tab. 14. Određivanje poroznosti (računska metoda)

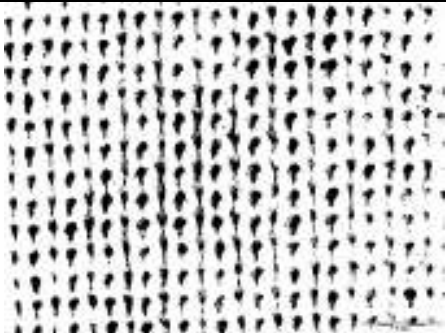
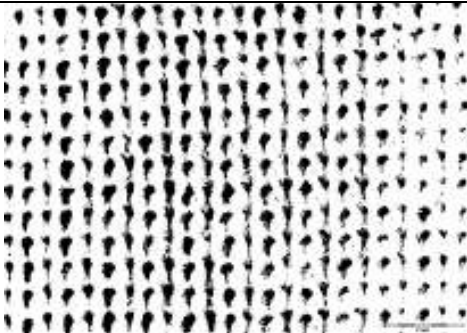
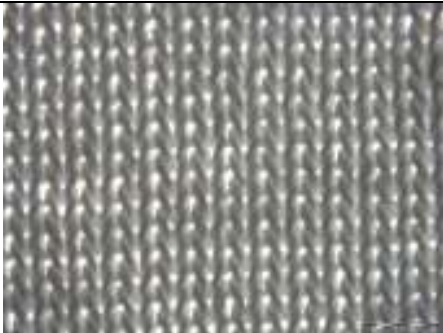
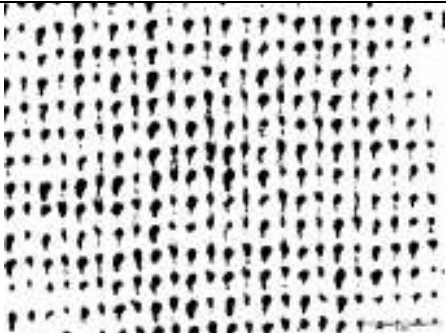
n	Z_{pl} [%]	P_{pl} [%]
1	94,10	
2	97,66	
3	97,66	
4	97,66	
5	94,10	
x_s [%]	96,24	86,64
s [%]	1,95	
P_{gg} [%]	± 1,71	

Gdje je: Z_{pl} [%] – površinska popunjenost pletiva (10); P_{pl} [%] – poroznost pletiva (11, 12).

U cilju što potpunijeg opisa propusnosti (poroznosti) pamučnog materijala provedena je digitalizacija, binarno procesiranje i analiza mikroskopskih slika čime je omogućeno kvantitativno određivanje šupljina prisutnih na materijalu

(tab. 15.) koje direktno utječu na njegovu propusnost (poroznost), budući da su prvenstveno posljedica geometrije samog materijala (gustoće i sl.)

Tab. 15. Određivanje poroznosti (mikroskopska metoda)

n	Originalna mikroskopska slika	Binarni zapis originalne mikroskopske slike
1		 $U_s = 19,18$
2		 $U_s = 20,96$
3		 $U_s = 18,45$

Gdje je: U_s [%] – udio šupljina u ukupnoj površini; bijela područja prikazuju tekstilnu komponentu; crna područja prikazuju šuplinu.

Udio vlaknate komponente u jediničnoj površini ispitanog materijala kreće se u granicama od 79 do 82%, odnosno šupljine su prisutne na površini od 18 do 21% (tab. 15.). Zabilježene niske vrijednosti šupljina na uzorcima posljedica su njihove konstrukcije odnosno velike gustoće i zbijenosti očica. Usporede li se vrijednosti površinske poroznosti određene različitim metodama (računska i mikroskopska metoda) može se reći da obje metode daju približno iste vrijednosti. Volumna poroznost pletiva iskazana preko (P_{pl}) nešto je manja budući da u sebi uključuje i šupljine unutar pređe, a ne samo šupljine unutar strukture pletiva.

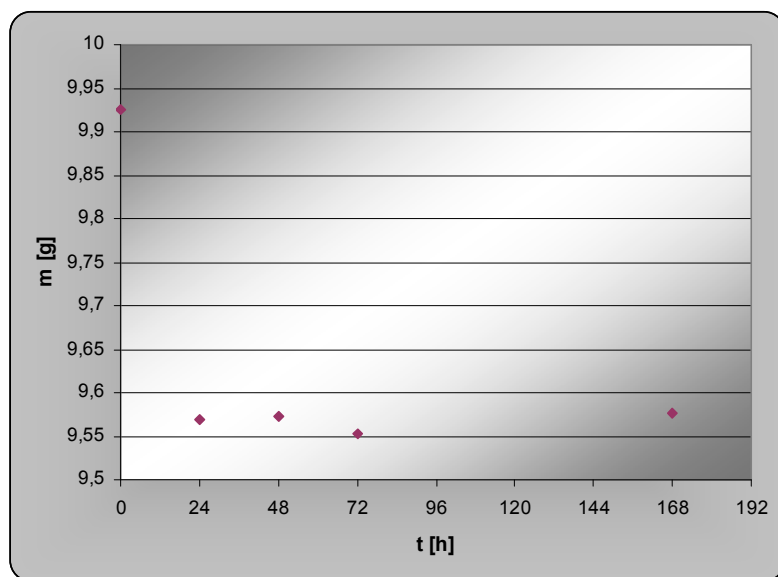
4.2 Karakterizacija sorpcijskih svojstava zeolita

U tablici 16. i slici 30. prikazana je kinetika otpuštanja vlage iz zeolita tijekom sušenja.

Tab. 16. Promjena mase zeolita tijekom sušenja (sušionik $105 \pm 5^\circ\text{C}$)

t [h]	m _{zt} [g]		x _s [g]	s [g]
	g	h		
0	9,9349	9,9175	9,9262	0,01
24	9,5758	9,5614	9,5686	0,01
48	9,5900	9,5560	9,5730	0,02
72	9,5580	9,5474	9,5527	0,01
168	9,5813	9,5700	9,5757	0,01

Oznake su objašnjene na stranici 48.



Sl. 30. Promjena mase zeolita tijekom sušenja (sušionik $105 \pm 5^\circ\text{C}$), gdje je: m [g] – masa uzorka tijekom 168 sati sušenja u sušioniku; t [h] – vrijeme potrebno za sušenje ispitivanog uzorka

Iz slike 30. je vidljivo da istraživani mikronizirani zeolit (klinoptilolit) nakon 24 sata sušenja na $105 \pm 5^\circ\text{C}$ gotovo u potpunosti izgubi površinsku vlagu koja se nalazi u uzorku. Budući da se produljenim sušenjem (7 dana) masa uzorka mijenja za manje od 0,3% može se zaključiti da je na temperaturi $105 \pm 5^\circ\text{C}$ zeolit stabilan te da je za njegovo sušenje do konstantne mase dovoljno vrijeme 24 sata.

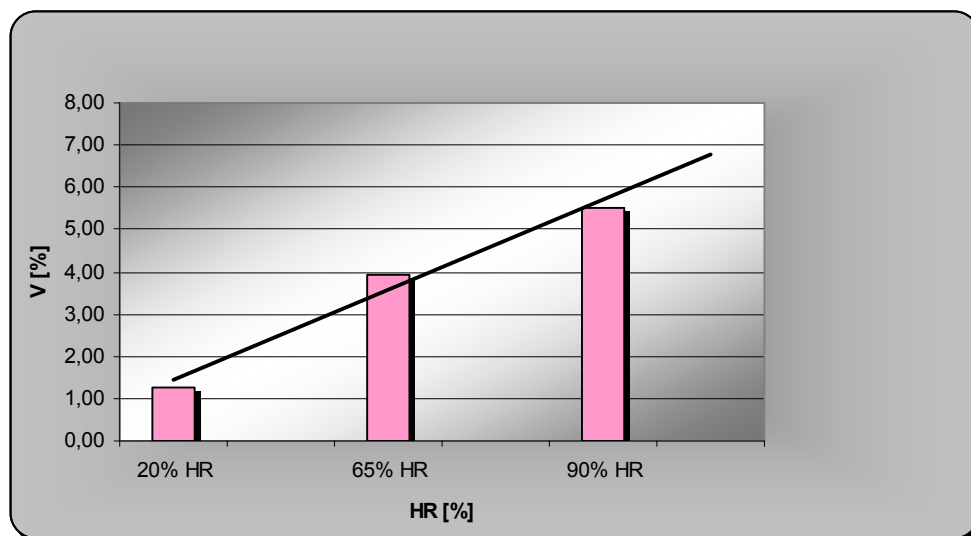
Iako je očekivana veća sposobnost zeolita za sorpciju vlage, vlažnost zeolita kreće se u granicama od 1,25 do 5,53% za relativnu vlažnost zraka od 20% do 90% (tab. 17.). Manja apsorptivnost ispitivanog zeolita može se objasniti primjesama koje su prisutne u prirodnom zeolitu (poput npr. montomorolonita, mordenita i sl.) te činjenicom da se zeolitna voda u potpunosti uklanja tek na višim temperaturama (nekoliko stotina $^\circ\text{C}$) [34].

U tablici 17.i na slici 31. prikazana je sposobnost zeolita za sorpciju vlage.

Tab. 17. Promjena mase zeolita ovisno o različitim relativnim vlažnostima zraka (H_R)

		20% H_R		65% H_R		90% H_R	
		a	b	c	d	e	f
1.ponavljjanje	m_{zt24} [g]	9,6594	9,5516	9,9568	9,9307	10,0700	10,1085
	m_{as} [g]	9,5390	9,4313	9,5664	9,5429	9,5169	9,5461
	V [%]	1,25	1,26	3,92	3,91	5,49	5,56
	x_s [%]	1,25		3,91		5,53	
	s [%]	0,01		0,01		0,05	
	P_{gg} [%]	$\pm 0,01$		$\pm 0,02$		$\pm 0,07$	
2.ponavljjanje	m_{zt24} [g]	9,6878	9,5637	9,9754	9,9641	10,0782	10,1048
	m_{as} [g]	9,5480	9,4241	9,5472	9,5461	9,5295	9,5418
	V [%]	1,44	1,46	4,29	4,20	5,44	5,57
	x_s [%]	1,45		4,24		5,51	
	s [%]	0,01		0,07		0,09	
	P_{gg} [%]	$\pm 0,02$		$\pm 0,10$		$\pm 0,12$	
3.ponavljjanje	m_{zt24} [g]	9,6454	9,5242	9,9349	9,9175	10,0152	10,0621
	m_{as} [g]	9,5191	9,3944	9,5412	9,5194	9,4843	9,5149
	V [%]	1,31	1,36	3,96	4,01	5,30	5,44
	x_s [%]	1,34		3,99		5,37	
	s [%]	0,04		0,04		0,10	
	P_{gg} [%]	$\pm 0,05$		$\pm 0,05$		$\pm 0,13$	

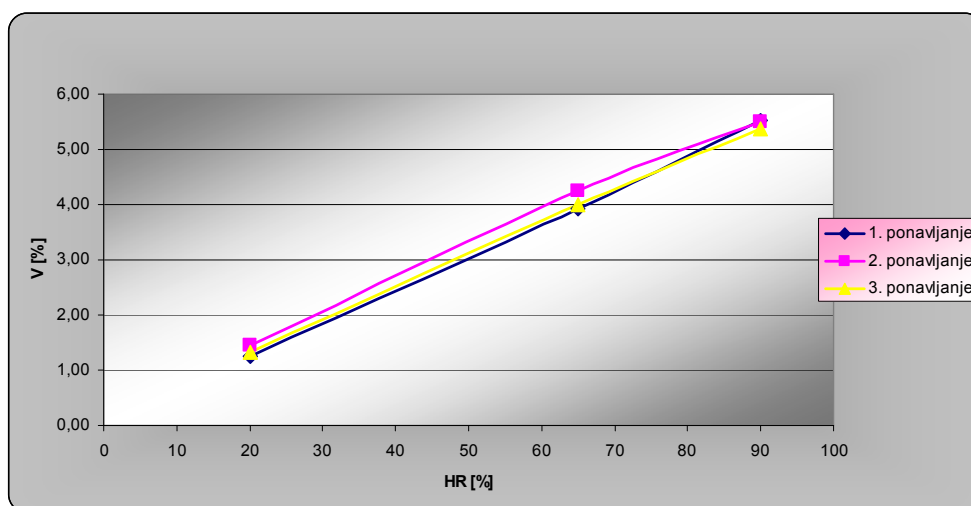
Oznake pogledati na stranici 48.



Sl. 31. Količina vlage u zeolitu s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka , gdje je: V [%] – količina vlage u uzorku koji je bio izložen različitim vlažnostima zraka; HR [%] – oznaka za relativnu vlažnost zraka

U istraživanom području relativne vlažnosti zraka postoji linearna ovisnost vlažnosti zeolita o relativnoj vlažnosti zraka (sl. 31.).

Iz tablice 17. i slike 32. vidljivo je da se efikasnost zeolita pri sorpciji vlage ne mijenja njegovim opetovanim korištenjem do 3 puta.



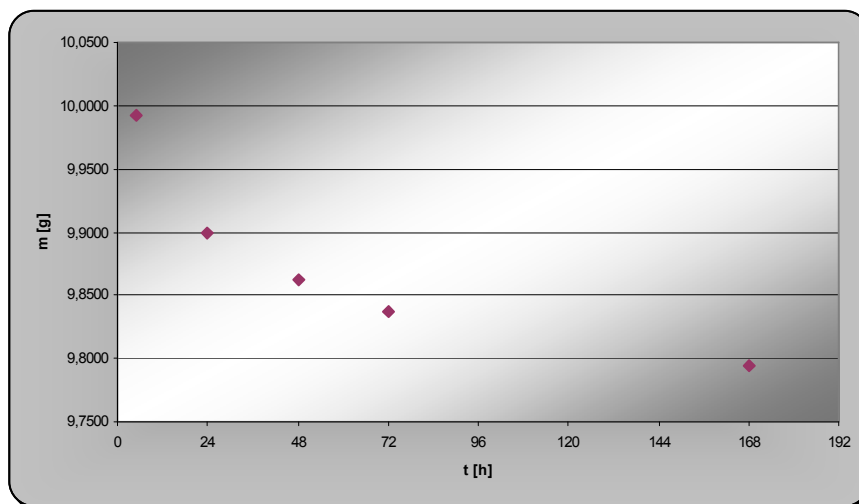
Sl. 32. Količina vlage u zeolitu tijekom višestruke upotrebe (3 puta)

U tablici 18. i slici 33. prikazana je kinetika desorpcije vlage iz zeolita tijekom višednevnog sušenja u eksikatoru sa Si-gelom.

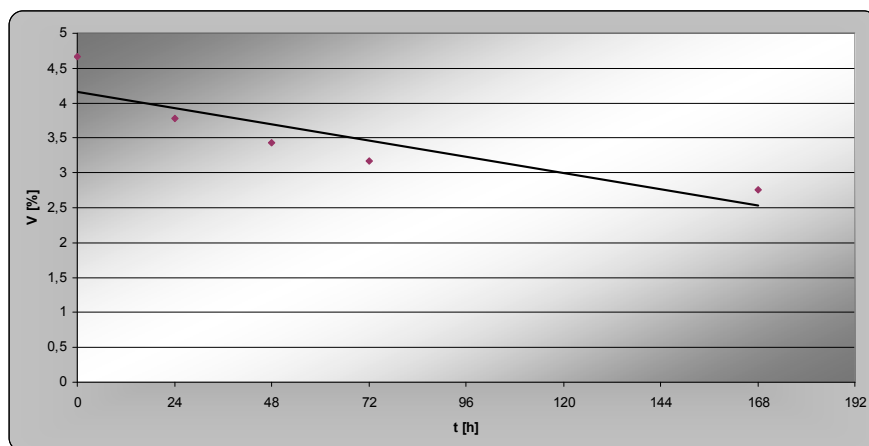
Tab. 18. Promjena mase zeolita tijekom sušenja (eksikator sa Si-gelom)

	m_{zsu0} [g]	m_{ksu} [g]	m_{zk24} [g]	m_{zk48} [g]	m_{zk72} [g]	m_{zk168} [g]
a	10,0030	9,5359	9,9096	9,8729	9,8486	9,8068
b	10,0127	9,5451	9,9200	9,8844	9,8584	9,8151
c	9,9739	9,5081	9,8774	9,8428	9,8182	9,7775
d	9,9726	9,5069	9,8811	9,8438	9,8185	9,7760
e	9,9658	9,5004	9,8760	9,8409	9,8135	9,7698
f	10,0221	9,5541	9,9283	9,8912	9,8668	9,8242
x_s [g]	9,9917	9,5251	9,8987	9,8627	9,8373	9,7949
s [g]	0,0239	0,0227	0,0234	0,0229	0,0234	0,0232
V [%]	4,67	0	3,77	3,42	3,17	2,75

Gdje je: m_{zsu0} [g] – masa zračno suhog uzorka; m_{ksu} [g] – masa konstantno suhog uzorka izračunata prema vlažnosti određenoj pri termičkom sušenju ; ostale oznake pogledati na stranici 48.



Sl. 33. Promjena mase zeolita tijekom sušenja (eksikator sa Si-gelom)



Sl. 34. Promjena količine vlage u zeolitu tijekom sušenja (eksikator sa Si-gelom)

Iz slike 33. se vidi da vrijednosti mase prirodnog zeolita tijekom sušenja u eksikatoru sa Si-gelom u vremenu od 168 sati opadaju, ali isto tako se može primjetiti da se vrijednosti masa ne stabiliziraju tj. u vremenu ispitivanja od 168 sati ne može se odrediti konstantno suha masa ispitivanog zeolita. Stoga se može zaključiti da čak ni sedmodnevno stajanje zeolita u eksikatoru sa Si-gelom nije dostatno da bi se zeolit osušio do apsolutno suhog.

Budući da se grafički može prikazati promjena količine vlage u zeolitu tijekom sušenja u eksikatoru sa Si-gelom (sl. 34.) također se može jednostavnim matematičkim proračunom (jednadžba pravca) izračunati potrebno vrijeme desorpcije (sušenja) u kojem zeolit ne bi sadržavao vlagu, a kao rezultat dobije se vrijeme od 425 sati, tj. zeolit bi se trebao nalaziti u eksikatoru sa Si-gelom bar 425 sati da bi postao apsolutno suh.

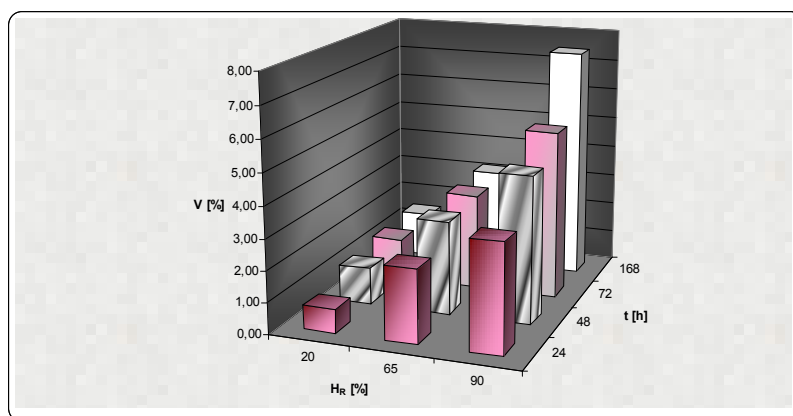
Usporedbom grafova termičkog i kemijskog sušenja (sl. 30, 33.) može se primjetiti da je kinetika otpuštanja vlage brža kod termičkog sušenja nego kod kemijskog sušenja, a isto tako je i sa postizanjem konstantne mase zeolita pri čemu se površinska zeolitna voda puno brže uklanja termičkim sušenjem.

Na tablicama 19 - 21 i slikama 35 - 37 prikazana je sposobnost sorpcije vlage kemijski sušenog zeolita u različitim uvjetima relativne vlažnosti zraka.

Tab. 19. Količina vlage zeolita s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka i na vrijeme sorpcije (1. ponavljanje)

1. ponavljanje			20% H _R		65% H _R		90% H _R	
			a	b	c	d	e	f
	24	m _{zk} [g]	9,8837	9,8898	10,005	10,019	10,1192	10,1775
		m _{as} [g]	9,8068	9,8151	9,7775	9,7760	9,7698	9,8242
		V [%]	0,78	0,76	2,27	2,43	3,45	3,47
		x _s [%]	0,77		2,35		3,46	
		s [%]	0,02		0,11		0,01	
		P _{gg} [%]	± 0,02		± 0,15		± 0,02	
	48	m _{zk} [g]	9,9249	9,9333	10,0775	10,0776	10,2486	10,3107
		m _{as} [g]	9,8068	9,8151	9,7775	9,7760	9,7698	9,8242
		V [%]	1,19	1,19	2,98	2,99	4,67	4,72
		x _s [%]	1,19		2,98		4,70	
		s [%]	0,00		0,01		0,03	
		P _{gg} [%]	± 0,00		± 0,02		± 0,05	
	72	m _{zk} [g]	9,9393	9,9479	10,0908	10,0887	10,3264	10,3861
		m _{as} [g]	9,8068	9,8151	9,7775	9,7760	9,7698	9,8242
		V [%]	1,33	1,33	3,10	3,10	5,39	5,41
		x _s [%]	1,33		3,10		5,40	
		s [%]	0,00		0,00		0,01	
		P _{gg} [%]	± 0,00		± 0,01		± 0,02	
	168	m _{zk} [g]	9,9531	9,9605	10,0978	10,0963	10,5515	10,6192
		m _{as} [g]	9,8068	9,8151	9,7775	9,7760	9,7698	9,8242
		V [%]	1,47	1,46	3,17	3,17	7,41	7,49
		x _s [%]	1,46		3,17		7,45	
		s [%]	0,00		0,00		0,06	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,00		± 0,08	

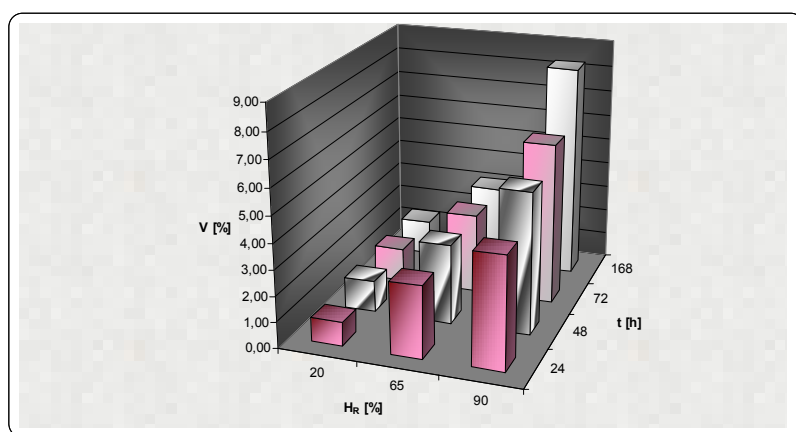
Gdje je: m_{as} [g] – početna masa (konstantna); ostale oznake pogledati na str. 48.



SI. 35. Količina vlage zeolita s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka i na vrijeme sorpcije (1. ponavljanje)

Tab 20. Količina vlage zeolita s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka i na vrijeme sorpcije (2. ponavljanje)

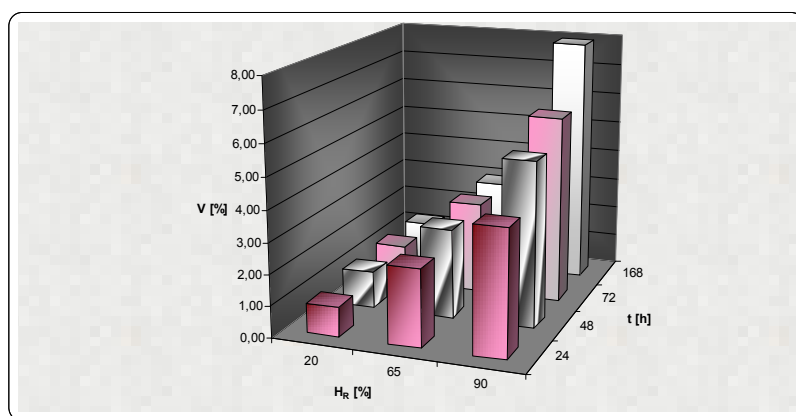
2. ponavljanje			20% H _R		65% H _R		90% H _R	
			a	b	c	d	e	f
	24	m _{zk} [g]	9,7966	9,9186	10,038	10,0261	10,1929	10,265
		m _{as} [g]	9,7070	9,8267	9,7606	9,7497	9,7522	9,8226
		V [%]	0,91	0,93	2,76	2,76	4,32	4,31
		x _s [%]	0,92		2,76		4,32	
		s [%]	0,01		0,00		0,01	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,01		± 0,01	
	48	m _{zk} [g]	9,8283	9,9503	10,0689	10,0575	10,3202	10,3861
		m _{as} [g]	9,7070	9,8267	9,7606	9,7497	9,7522	9,8226
		V [%]	1,23	1,24	3,06	3,06	5,50	5,43
		x _s [%]	1,24		3,06		5,46	
		s [%]	0,01		0,00		0,06	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,00		± 0,08	
	72	m _{zk} [g]	9,8364	9,959	10,0733	10,0616	10,4023	10,472
		m _{as} [g]	9,7070	9,8267	9,7606	9,7497	9,7522	9,8226
		V [%]	1,32	1,33	3,10	3,10	6,25	6,20
		x _s [%]	1,32		3,10		6,23	
		s [%]	0,01		0,00		0,03	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,00		± 0,05	
	168	m _{zk} [g]	9,8392	9,9615	10,0742	10,0633	10,6308	10,7122
		m _{as} [g]	9,7070	9,8267	9,7606	9,7497	9,7522	9,8226
		V [%]	1,34	1,35	3,11	3,12	8,26	8,30
		x _s [%]	1,35		3,11		8,28	
		s [%]	0,01		0,00		0,03	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,00		± 0,04	



Sl. 36. Količina vlage zeolita s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka i na vrijeme sorpcije (2. ponavljanje)

Tab. 21. Količina vlage zeolita s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka i na vrijeme sorpcije (3. ponavljanje)

3. ponavljanje			20% H _R		65% H _R		90% H _R	
			a	b	c	d	e	f
	24	m _{zk} [g]	9,8062	9,9277	10,0243	10,0124	10,1764	10,2477
		m _{as} [g]	9,7144	9,834	9,7754	9,7654	9,7683	9,8383
		V [%]	0,94	0,94	2,48	2,47	4,01	4,00
		x _s [%]	0,94		2,47		4,00	
		s [%]	0,01		0,01		0,01	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,02		± 0,01	
	48	m _{zk} [g]	9,8316	9,953	10,0644	10,0523	10,3124	10,3843
		m _{as} [g]	9,7144	9,834	9,7754	9,7654	9,7683	9,8383
		V [%]	1,19	1,20	2,87	2,85	5,28	5,26
		x _s [%]	1,19		2,86		5,27	
		s [%]	0,00		0,01		0,01	
		P _{gg} [%]	± 0,00		± 0,02		± 0,02	
	72	m _{zk} [g]	9,8353	9,9569	10,0739	10,0613	10,3920	10,4705
		m _{as} [g]	9,7144	9,834	9,7754	9,7654	9,7683	9,8383
		V [%]	1,23	1,23	2,96	2,94	6,00	6,04
		x _s [%]	1,23		2,95		6,02	
		s [%]	0,00		0,02		0,03	
		P _{gg} [%]	± 0,00		± 0,02		± 0,04	
	168	m _{zk} [g]	9,8354	9,9571	10,073	10,0606	10,6098	10,6831
		m _{as} [g]	9,7144	9,834	9,7754	9,7654	9,7683	9,8383
		V [%]	1,23	1,24	2,95	2,93	7,93	7,91
		x _s [%]	1,23		2,94		7,92	
		s [%]	0,00		0,01		0,02	
		P _{gg} [%]	± 0,01		± 0,02		± 0,02	

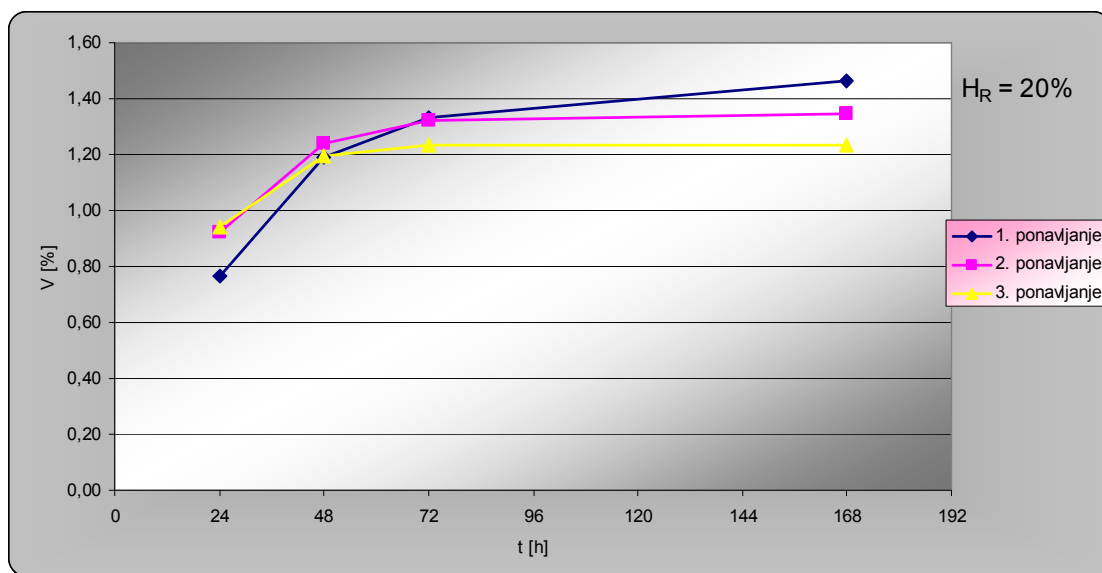


Sl. 37. Količina vlage zeolita s obzirom na različitu relativnu vlažnost zraka i na vrijeme sorpcije (3. ponavljanje)

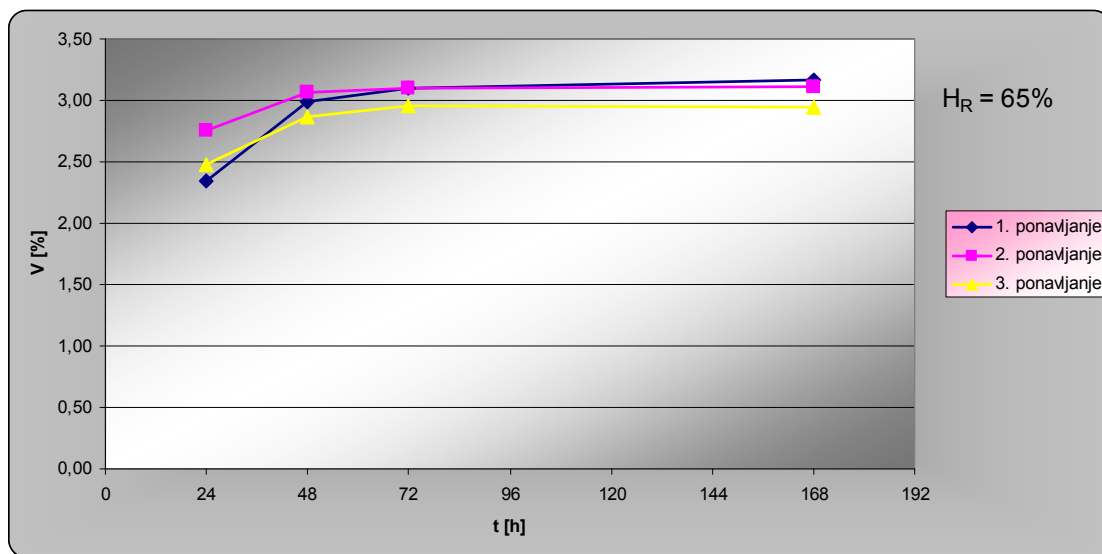
Iz tablica 19 – 21 i slika 35 – 37 promatrala se sposobnost sorpcije vlage zeolita u različitim uvjetima relativne vlažnosti zraka. Iz rezultata se može odrediti da zeolit u različitim relativnim vlažnostima zraka apsorbira i različitu količinu vlage tj. sorpcijska svojstva zeolita se povećavaju sukladno sa povećanjem relativne vlažnosti zraka. Naime, kod relativne vlažnosti zraka od 20% količina vlage unutar zeolita kreće se u granicama od 0,77 do 1,46%; kod relativne vlažnosti zraka od 65% količina vlage je u granicama od 2,35 do 3,17%, a u relativnoj vlažnosti zraka od 90% vlažnost je između 3,46 i 8,28%.

Također se može osvrnuti i na brzinu sorpcije vlage zeolita u različitim uvjetima relativne vlažnosti zraka pa se vidi (sl. 35 – 37) da je sorpcija vlage najbrža kad se zeolit nalazi u području relativne vlažnosti zraka 90%, a najsporija kad je zeolit unutar područja relativne vlažnosti zraka 20%.

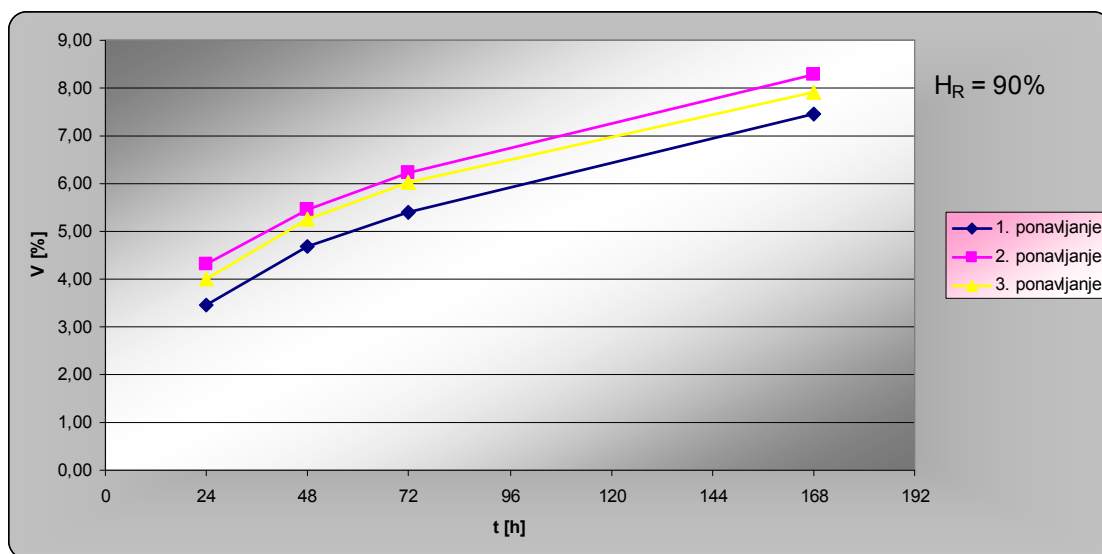
Slike 38. – 40. pokazuju efikasnost zeolita tijekom njegovog višestrukog ispitivanja u područjima različitih relativnih vlažnosti.



Sl. 38. Količina vlage u zeolitu tijekom višestruke upotrebe u području $H_R = 20\%$



SI. 39. Količina vlage u zeolitu tijekom višestruke upotrebe u području $H_R = 65\%$



SI. 40. Količina vlage u zeolitu tijekom višestruke upotrebe u području $H_R = 90\%$

Gledajući ove slike može se zaključiti da se efikasnost zeolita pri sorpciji vlage u područjima relativne vlažnosti zraka od 20, 65 i 90% ne mijenja značajno njegovim opetovanim korištenjem do 3 puta. Također se može primijetiti kako se zeolit u ispitivanim područjima relativne vlažnosti zraka (nakon

72 sata) stabilizira tj. dolazi se do saznanja da su mu dosta 3 dana u eksikatoru sa 20 i 65% da postigne ravnotežu, dok u području relativne vlažnosti zraka od 90% ravnoteža nije postignuta (sl. 40.) tj. potrebno mu je više od 7 dana boravljenja u eksikatoru sa 90% relativne vlažnosti zraka da bi se uspostavila ravnoteža.

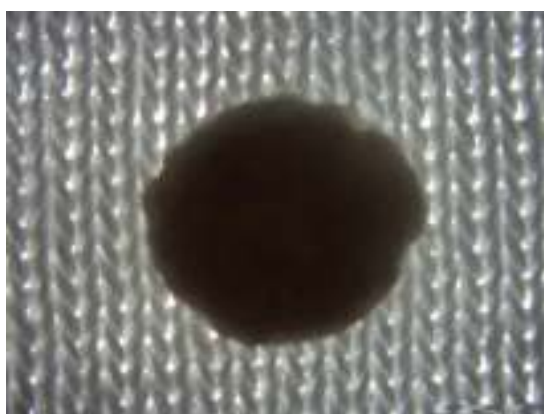
4.3 Karakterizacija funkcionaliziranog pletiva

Tab. 22. Promjena mase uzorka uslijed aplikacije zeolita i paste

		$m_{ot} [gm^{-2}]$									
	n	$m_A [gm^{-2}]$	$m_{fp} [gm^{-2}]$	$m_p [gm^{-2}]$	$m_z [gm^{-2}]$	$m_{z/k} [g]$	$m_{Aas} [gm^{-2}]$	$m_{pas} [gm^{-2}]$	$m_{zas} [gm^{-2}]$	$m_{fpas} [gm^{-2}]$	V [%]
Najgušći otisak	1	177,8534	260,9267	74,7660	8,3073	0,0007					
	2	176,9985	253,7342	69,0621	7,6736	0,0007					
	3	180,7839	259,0444	70,4344	7,8261	0,0007					
	$x_s [gm^{-2}]$	178,5453	257,9018	71,4208	7,9357	0,0007	163,3689	67,6855	7,5651	238,6195	7,4766
	$s [gm^{-2}]$	1,9853	3,7299	2,9771	0,3308	0,0000					
	$P_{gg} [gm^{-2}]$	$\pm 2,2466$	$\pm 4,2208$	$\pm 3,3690$	$\pm 0,3743$	$\pm 0,0000$					
Srednji otisak	1	176,8538	225,9852	44,2183	4,9131	0,0008					
	2	176,2817	213,7053	33,6812	3,7424	0,0006					
	3	179,5259	223,3782	39,4671	4,3852	0,0007					
	$x_s [gm^{-2}]$	177,5538	221,0229	39,1222	4,3469	0,0007	162,4617	37,0761	4,1439	203,6817	7,8459
	$s [gm^{-2}]$	1,7317	6,4699	5,2770	0,5863	0,0001					
	$P_{gg} [gm^{-2}]$	$\pm 1,9596$	$\pm 7,3214$	$\pm 5,9715$	$\pm 0,6634$	$\pm 0,0001$					
Najrjeđi otisak	1	182,0274	209,2384	24,4899	2,7211	0,0007					
	2	183,2188	213,9699	27,6760	3,0751	0,0008					
	3	181,2976	212,3810	27,9751	3,1083	0,0008					
	$x_s [gm^{-2}]$	182,1813	211,8631	26,7137	2,9682	0,0008	166,6959	25,3166	2,8296	194,8421	8,0340
	$s [gm^{-2}]$	0,9698	2,4079	1,9316	0,2146	0,0001					
	$P_{gg} [gm^{-2}]$	$\pm 1,0974$	$\pm 2,7248$	$\pm 2,1859$	$\pm 0,2429$	$\pm 0,0001$					

Gdje je: $m_A [gm^{-2}]$ – površinska masa kondicioniranog uzorka ($H_R = 65 \pm 4\%$, $t = 20 \pm 2^\circ C$; vrijeme 5 dana jer se iz sl. 39. jasno vidi kako zeolit postigne u standardnim uvjetima ravnotežu tek nakon 72 h); $m_{fp} [gm^{-2}]$ – površinska masa kondicioniranog funkcionaliziranog (otisnutog) pletiva; $m_{ot} [gm^{-2}]$ – masa otiska na kvadratnom metru pletiva; $m_p [gm^{-2}]$ – masa paste koju sadrži otisak; $m_z [gm^{-2}]$ – masa zeolita u otisku; $m_{z/k} [g]$ – masa zeolita u jednoj kuglici; $m_{Aas} [gm^{-2}]$ – površinska masa apsolutno suhog uzorka; $m_{fpas} [gm^{-2}]$ – masa apsolutno suhog funkcionaliziranog pletiva; $m_{pas} [gm^{-2}]$ – masa apsolutno suhog uzorka paste koja se nalazi u otisku; $m_{zas} [gm^{-2}]$ – masa apsolutno suhog zeolita; V [%] – količina vlage koja se nalazi u funkcionaliziranom pletivu u kondicioniranom stanju.

U tablici 22. prikazana je promjena masa uzorka uslijed aplikacije zeolita i paste zbog željenog "wellness" efekta (str. 46., *aplikacija zeolita na pamučni materijal*). Iz tablice se može primijetiti da se masa otisnutog materijala povećala za 14 do 30% ovisno o gustoći otvora na šablone. Masa zeolita po jedinici površine kreće se u granicama od 2,97 do 7,93 g i također ovisi o gustoći otvora, tj. što je gušća šablona to je i materijal tiskan tom šablonom teži i na sebi sadrži više zeolita nego što to sadrži materijal koji je tiskan rjeđom šablonom.



Sl. 41. Mikroskopska slika kuglice na pamučnom pletivu

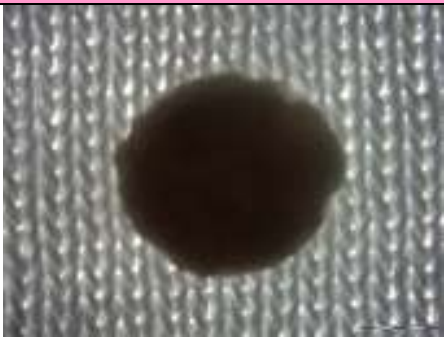
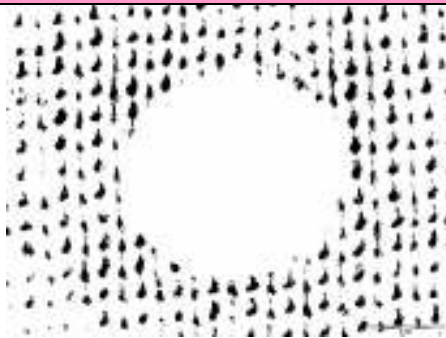
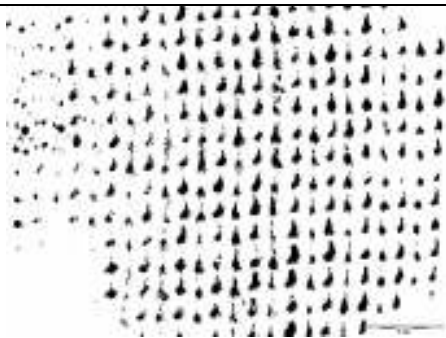
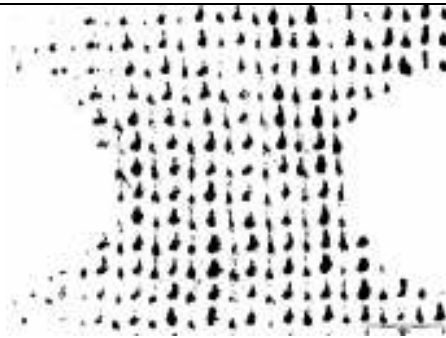
S obzirom na recepturu paste i geometriju otisnute kuglice moguće je izračunati količinu zeolita koji se nalazi u svakoj pojedinačnoj kuglici (sl. 41.).

Naime, promjenom broja kuglica (gustoća otiska) može se utjecati na sorpcijska svojstva pletiva, a vrlo vjerojatno i na bakteriološka svojstva [4].

U tablici se vidi da je količina zeolita jednaka u svakoj kuglici te da ne ovisi o gustoći šablone, a iznosi $7 \times 10^{-4} \text{ [gm}^{-2}\text{]}$.

S obzirom da su zeolit i pamuk apsorptivni materijali te da mnoga njihova svojstva ovise o vlazi, u ovom radu se ispitalo da li funkcionalizirano pamučno pletivo ima veću sposobnost sorpcije nego što je ima obično pamučno pletivo. Iz rezultata se može vidjeti da funkcionalizirano pletivo ima manju sposobnost sorpcije od običnog pamučnog pletiva ($< 8,5\%$) te da upravo navedeno svojstvo može utjecati na termofiziološku udobnost tekstilije, kao npr. na poroznost i sl. Zbog toga se mikroskopskom metodom odredila poroznost funkcionaliziranom pletivu da se utvrdi u kolikoj mjeri smanjena sposobnost sorpcije utječe na prozračnost tekstilije. Usporedbom rezultata poroznosti običnog pamučnog pletiva i funkcionaliziranog pletiva može se vidjeti da se poroznost kod funkcionaliziranog pletiva smanjuje za malo manje od 50% (tab. 15. i 23.).

Tab. 23. Određivanje poroznosti funkcionaliziranog pletiva mikroskopskom metodom

n	Originalna mikroskopska slika	Binarni zapis originalne mikroskopske slike
1		 $U_{\text{š}} = 7,80$
2		 $U_{\text{š}} = 12,25$
3		 $U_{\text{š}} = 11,88$

Gdje je: $U_{\text{š}}$ [%] – udio šupljina u ukupnoj površini; bijela područja prikazuju tekstilnu komponentu; crna područja prikazuju šuplinu.

Takva funkcionalizacija pletiva svakako doprinosi i povećanju debljine pletiva što je vidljivo iz tablica 10. i 24.

Tab. 24. Debljina funkcionaliziranog pletiva

	n	1		2		3	
		d ₁₀ [mm]	d ₂ [mm]	d ₁₀ [mm]	d ₂ [mm]	d ₁₀ [mm]	d ₂ [mm]
Najgušći otisak	1	2,79	3,34	3,52	3,47	3,24	3,05
	2	3,08	3,48	4,15	3,48	3,37	3,42
	3	3,36	3,24	3,66	3,32	3,16	3,17
	4	3,79	3,11	3,85	3,35	3,10	3,49
	5	3,39	2,92	3,98	3,84	2,97	3,38
	6	3,36	3,23	4,01	4,10	3,08	4,05
	7	2,88	3,17	3,99	4,17	4,05	3,17
	8	2,60	2,95	3,62	4,20	3,79	3,44
	9	3,05	3,65	3,81	3,60	3,88	3,27
	10	3,58	3,34	3,85	3,84	3,30	3,05
	x _s [mm]	3,19	3,24	3,84	3,74	3,39	3,35
	s [mm]	0,37	0,22	0,20	0,34	0,38	0,29
	P _{gg} [mm]	0,23	0,14	0,12	0,21	0,23	0,18
Srednji otisak	1	3,80	3,52	2,79	3,40	2,80	3,27
	2	3,47	4,02	3,07	3,25	2,64	3,01
	3	3,92	3,80	2,78	3,16	3,16	2,80
	4	3,87	3,55	2,88	2,35	3,18	2,99
	5	3,46	3,68	3,08	2,94	3,33	2,92
	6	3,62	3,56	2,65	3,26	3,07	3,25
	7	3,47	3,66	2,68	3,32	3,10	3,55
	8	3,90	3,79	3,58	3,30	3,24	4,05
	9	4,01	3,79	3,24	3,57	3,15	3,49
	10	3,88	3,54	2,43	3,80	2,89	3,32
	x _s [mm]	3,74	3,69	2,92	3,24	3,06	3,27
	s [mm]	0,21	0,16	0,33	0,39	0,21	0,37
	P _{gg} [mm]	0,13	0,10	0,21	0,24	0,13	0,23
Najrjeđi otisak	1	3,55	3,01	3,55	3,30	3,49	3,28
	2	3,49	3,12	3,21	3,17	3,38	3,53
	3	3,70	3,40	2,95	3,13	3,32	3,35
	4	3,39	3,18	3,28	3,50	3,41	3,04
	5	3,13	3,53	3,51	3,43	4,25	2,92
	6	2,74	3,49	2,62	3,58	3,17	2,82
	7	3,20	3,56	3,39	3,90	3,25	3,37
	8	3,42	3,35	3,30	3,29	4,08	2,65
	9	3,46	3,98	3,48	2,86	3,40	3,03
	10	3,25	3,77	3,31	3,35	3,36	3,47
	x _s [mm]	3,33	3,44	3,26	3,35	3,51	3,15
	s [mm]	0,27	0,30	0,28	0,28	0,36	0,30
	P _{gg} [mm]	0,17	0,18	0,18	0,17	0,22	0,18

Gdje je: n – broj paralelnih proba; d₁₀ [mm] – debljina funkcionaliziranog pletiva izmjerena uz pritisak od 10 [cNcm⁻²]; d₂ [mm] – debljina funkcionaliziranog pletiva izmjerena uz pritisak od 2 [cNcm⁻²]

Pažljivim projektiranjem slojevitih tekstilnih struktura moguće je ova negativna svojstva (smanjenje poroznosti, povećanje debljine i sl.) iskoristiti kao pozitivna u kompozitnim materijalima.

4.4 Projektiranje i dizajn funkcionalnih tekstilija

Koristeći pozitivna saznanja dobivena karakterizacijama, na slijedećim slikama prikazana su kreativna rješenja za neke od mogućih tekstilnih proizvoda s točno ciljanom namjenom. U skladu s teorijom refleksologije i pozitivnim svojstvima prirodnog mikroniziranog zeolita izrađeni su funkcionalizirani tekstilni proizvodi (sl. 42 – 45).

Refleksologija je drevna vještina liječenja koja se temelji na načelu refleksnih zona na stopalima i dlanovima, a koje odgovaraju svim dijelovima tijela, organima i žlijezdama [64]. Naime, stopala su izuzetno osjetljiva na dodir pa se direktnom stimulacijom refleksnih točaka mogu pokrenuti blokirani mehanizmi u tijelu. Stoga su kuglice sa zeolitom otisnute na područjima koja su definirana teorijom refleksologije (zona glave, pluća, srca, vrata i sl.) istovremeno pazeći na njihov prostorni razmještaj jer je i to bitna stavka za udobnost ovakvog tekstilnog proizvoda.

Osim za stimulaciju refleksnih točaka čarape mogu imati primjenu i kao proizvod protiv klizanja (sl. 46.)



Sl. 42. Čarape "wellness" efekta za stimulaciju srca



Sl. 43. Čarape "wellness" efekta za stimulaciju pluća i štitnjače



Sl. 44. Čarape "wellness" efekta za stimulaciju spolnih žlijezda i sjedalnog živca



Sl. 45. Čarape "wellness" efekta za stimulaciju probavnog trakta

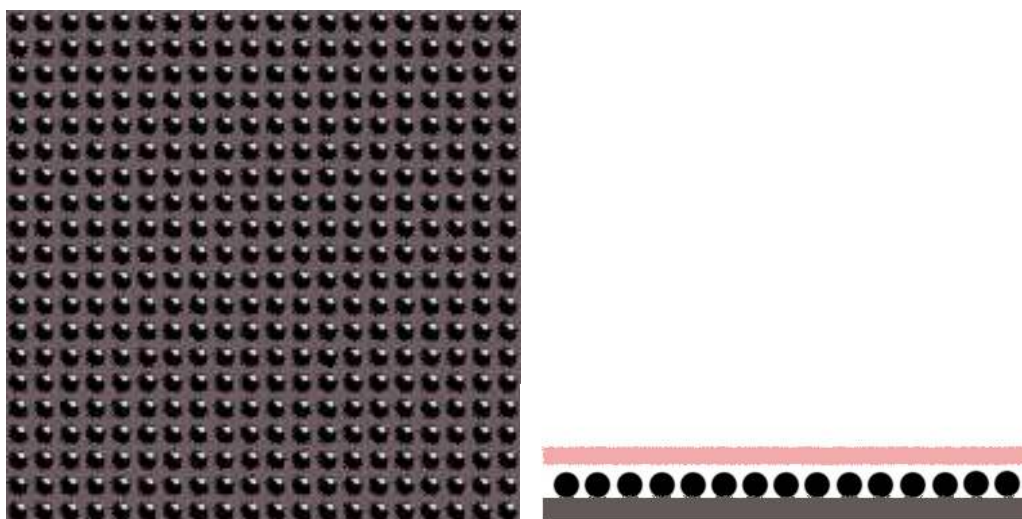


Sl. 46. Čarape koje imaju "ne - klizajući" i masažni efekt

Funkcionalizirano pletivo može se primijeniti u još mnogim drugim tekstilnim proizvodima koji se koriste npr. u medicini, graditeljstvu ili u svakodnevnim životnim situacijama (sl.47 - 49).



Sl. 47. Dekubitus deka sa "wellness" efektom



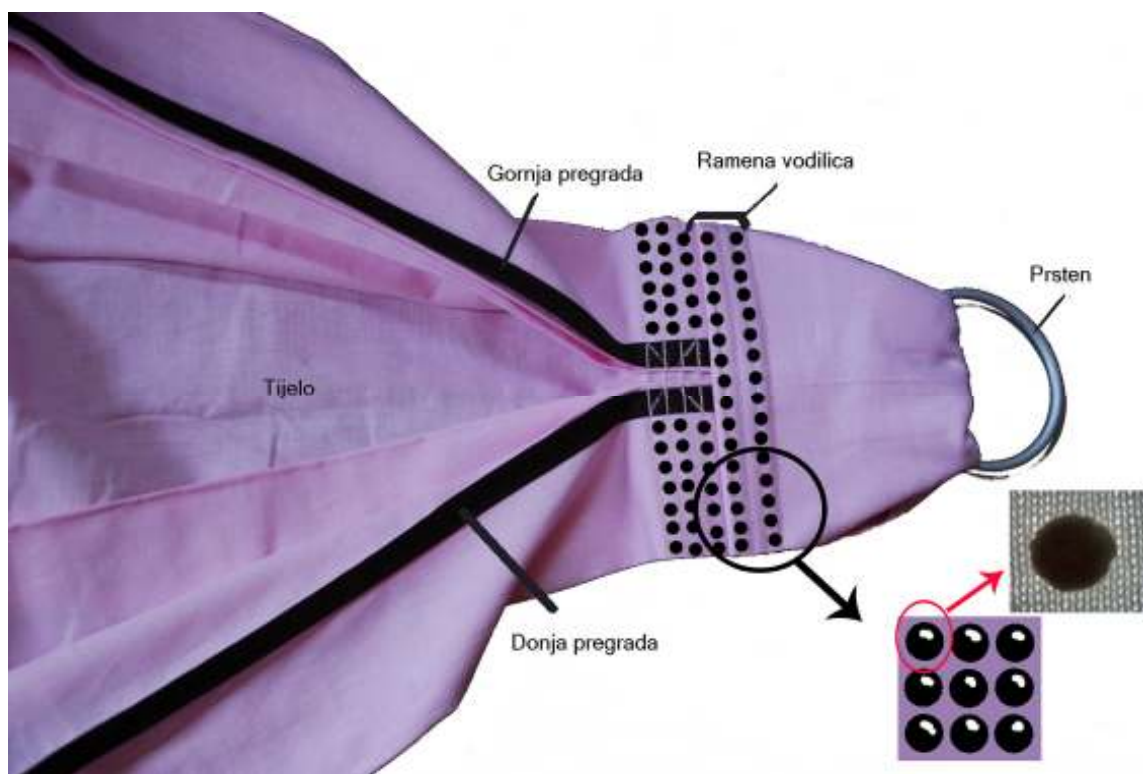
a)

b)

Sl. 48. Mogući kompozitni materijali (dvoslojne tekstilne tvorevine između čijih slojeva nalazimo zračni prostor koji povećava udobnost i izolaciju takve tvorevine, a istovremeno osigurava otpornost na kompresiju i sl.): a) unutrašnjost kompozitnog materijala b) presjek kompozitnog materijala u kojem se jasno vide slojevi materijala te zračni prostor između njih



Sl. 49. Sling marama



Sl. 50. Sling marama obrađena "wellness" efektom za veću udobnost nosioca

5 ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata istraživanja provedenih u okviru ovog rada može se zaključiti da funkcionalizirano pamučno pletivo ima manju sposobnost sorpcije vlage od pamučnog vlakna, što može negativno utjecati na udobnost takve tekstilije pri nošenju. Stoga je možda primjerenije zeolit aplicirati na materijal koji ima manju sposobnost sorpcije vlage od zeolita, npr. na polipropilensko pletivo. U tom slučaju potrebno je prilagoditi i način aplikacije novom materijalu tj. ako bi se koristio bubreći tisak kao mogući način aplikacije prirodnog zeolita onda bi se morala koristiti nova tiskarska pasta čija bi temperatura fiksiranja bila niža od 130 °C kako ne bi oštetila materijal na kojem se tiska.

Zeolit apliciran na pamučno pletivo kroz bubreći tisak predstavlja s jedne strane efikasan način vezivanja veće količine zeolita (10%) na pamučni materijal čime se povećava i mogućnost iskorištavanja dobrih svojstava zeolita dok je s druge strane kroz projektiranje i dizajn tekstilije moguće ostvarenje "wellness" efekta gotove odjeće. S tim u svezi potvrđuje se i činjenica o nužnosti dobrog poznavanja tekstilnog materijala od strane dizajnera kako bi se u konačnici izradio tekstilni proizvod što boljih karakteristika. Na taj način bi se smanjio vječni jaz između kreativnog izričaja i znanstvenog pristupa te bi se omogućilo nastajanje vrhunskih i unaprijeđenih tekstilnih proizvoda.

Promatrajući rezultate istraživanja u ovom diplomskom radu može se primijetiti kako je još mnogo toga ostalo neistraženo poput npr. stabilnosti zeolita pri sorpciji vlage uz relativnu vlažnost zraka 90%, antibakterijskih svojstava novog funkcionaliziranog pletiva i sl. Ipak, može se zaključiti kako su prirodni zeoliti vrlo interesantna skupina minerala čije bi daljnje istraživanje možda moglo proizvesti revolucionaran skok u unaprijeđenju tekstilnih proizvoda te nam osigurati oduvijek željenu prirodnu, zdravu, udobnu i modernu odjeću.

Literatura

- [1] Harris J.: Textiles 5000 Years, Abrams, New York 1993, ISBN 0-8109-3875-8
- [2] Čunko R., Andrassy M.: Vlakna, Zrinski d.d., Zagreb 2005.
- [3] Official Website of the Olympic Movement;
URL: <http://www.olympic.org> posjećeno 10.05.2009.
- [4] Grancarić A.M. i sur.: Aktivni multifunkcijski pamuk obrađen nanočesticama zeolita, Tekstil 56 (9) 543-553 (2007.)
- [5] Domes Z., Raffaelli D.: Obilježja pamuka na jugoslavenskom tržištu, Tekstil 39 (2) 87-96 (1990.)
- [6] UNCTAD Commodities Branch Documents;
URL: <http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/cotton/market.htm>
posjećeno: 27.04.2009.
- [7] The college of engineering, The University of Tennessee;
URL: <http://www.engr.utk.edu> posjećeno: 27.04.2009.
- [8] Morton W. E., Hearle J. W. S.: Physical Properties of Textile Fibres, Pub. The Textile Institute Manchester, England, 1997.
- [9] Soljačić I., Grancarić A.M.: Vježbe iz procesa oplemenjivanja tekstila,
Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb 1995.
- [10] O'Mahoney M., Braddock S.E.: SportsTech Revolutionary Fabrics, Fashion & Design, Thames & Hudson Ltd, UK 2002, ISBN 0-500-51086-5
- [11] Cotton Incorporated;
URL: <http://www.cottoninc.com> posjećeno: 27.04.2009.
- [12] Wulforth B., Külter H.: Cotton, Fibres tables according to P. –A. Koch, Chemiefasern/Textilindustrie, Vol. 39/91, October 1989.

- [13] Zulić D., Grancarić A.M.: Alkalne pektinaze za iskuhavanje pamuka, Tekstil 51 (3) 128-135 (2002.)
- [14] Čengić V. B.: Postupci oplemenjivanja tkanina za specijalne namjene na primjeru proizvodnje TKZ-a Zagreb, Tekstil 51 (6) 278-281 (2002.)
- [15] Suvremena.hr, portal za trgovinu;
URL: <http://www.suvremena.hr/1116.aspx> posjećeno: 27.04.2009.
- [16] Mangovska B. et al.: Structural characteristics of cotton knitted fabrics after enzymatic and alkaline scouring, Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia, Vol. 23, No. 1, pp. 19–28 (2004.)
- [17] Ellis J.: Scouring, enzymes and softners in Chemistry of the textiles industry, Chapman & Hall, GB 1995
- [18] Yang C. Q.: New development in functional finishing of cotton textiles, 4th INTERNATIONAL TEXTILE, CLOTHING & DESIGN CONFERENCE – Magic World of Textiles, October 05th to 08th 2008, Dubrovnik, Croatia
- [19] Koprivec L.J. et al.: Uporaba tehničkih tekstila u visokogradnji, Građevinar 58 (11) 899-907 (2006.)
- [20] Skenderi Z.: Neke tehnološke novosti i svojstva tehničkog netkanog tekstila, Tekstil 51 (1) 7-13 (2002.)
- [21] Horrocks A. R., Anand S. C.: Handbook of technical textiles, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd., UK 2000, ISBN 1-85573-385-4
- [22] Građevinski materijali;
URL: <http://www.gradimo.hr/g1299.aspx> posjećeno: 27.04.2009.
- [23] Sanjay S. Chaudhari S.S. et al.: Waterproof Breathable Active Sports Wear Fabrics, The Synthetic & Art Silk Mills Research Association, Mumbai
URL: <http://www.sasmira.org/sportwear.pdf> posjećeno: 27.04.2009.

- [24] Voice of America;
URL: <http://www.voanews.com/croatian/archive/2003-05/>
posjećeno: 27.04.2009.
- [25] The Institute of Engineers (India);
URL: <http://www.ieindia.org/publish/tx/0204/feb04tx4.pdf>
posjećeno: 05.05.2009.
- [26] Vojković G.: Ekologija danas i sutra, NET 33 (1998.)
- [27] Slater K.: Environmental impact of textiles, Production, processes and protection, CRC Press, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England 2003, ISBN 1 85573 541 5
- [28] Uddin F.: Cotton and Textile Vision 2025;
URL: <http://www.fibre2fashion.com> posjećeno: 27.04.2009.
- [29] Čunko R: Pamuk i ekologija, Tekstil 43 335-341 (1994.)
- [30] Book of abstracts, Conference of Natural fibres in Australiasia, UN Food and Agriculture Organization, International Year of natural fibres, Dunedin, New Zealand, April 2009.
- [31] Kruse L., Rüggeberg H.: Dokaz genetskih promjena na pamuku, Tekstil 57 (6) 314-316 (2008.)
- [32] World of Garment, Textile and Fashion;
URL: <http://www.fibre2fashion.com/> posjećeno: 27.04.2009.
- [33] World Intellectual Property Organization;
URL: <http://www.wipo.int/portal/index.html.en> posjećeno: 27.04.2009.
- [34] Rožić M. et al.: Prirodni zeoliti u kontroli grafičke industrije, Kem. Ind 53 (10) 449-458 (2004.)
- [35] The Educational Resource for Fabrics, Apparel and Care;
URL: <http://www.fabriclink.com> posjećeno: 27.04.2009.
- [36] Vital Eco Wear – The Mature Choice;
URL: <http://www.vitalecowear.com/> posjećeno: 27.04.2009.

- [37] Hrvatski modni portal;
URL: <http://www.cromoda.com> posjećeno: 27.04.2009.
- [38] Čunko R.: Ispitivanje tekstila, Sveučilište u Zagrebu/Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 1995.
- [39] Pan N., Gibson P.: Thermal and moisture transport in fibrous materials, CRC Press, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England 2006, ISBN – 13: 978-1-84569-057-1
- [40] Dragčević Z.: Magistarski rad: Sintaza i ispitivanje fizikalno-kemijskih svojstava NaP-zeolita, Zagreb 1976.
- [41] Tabatabaei S.H., liaghat A.: Using of natural zeolites as a heavy metals absorber for waste water reuse in irrigation, Ninth International water Technology Conference, IWTC9 Sharm El-Sheikh, Egypt 2005.
- [42] da Rosa Oliveira C., Rubio J.: Adsorption of Ions onto Treated Natural Zeolite, Material research, Vol. 10, No. 4, 407-412, 2007.
- [43] Polat E. et al.: Use of Natural Zeolite (Clinoptilolite) in Agriculture, Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, Vol. 12, 2004. Spec. ed.
- [44] Mülheimer Max-Planck-Institute;
URL: <http://www.mpi-muelheim.mpg.de/kofo/> posjećeno: 01.02.2009.
- [45] Schwuger M.J.: Detergents in the Environment, Marcel Dekker, Inc., USA 1997.
- [46] X-Ray Diffraction Zeolite Database;
URL: <http://chemmac1.usc.edu/bruno/zeodat/Intro.html> posjećeno: 27.04.2009.
- [47] Shariatmadari F.: The application of zeolite in poultry production, World's Poultry Science Journal, Vol. 64, March 2008.
- [48] Handbook of Zeolite Science and Technology, Marcel Dekker, Inc., USA 2003.

- [49] British Zeolite Association;
URL: <http://www.bza.org/zeolites.html> posjećeno 01.02.2009.
- [50] Tučan F.: Specijalna Mineralogija, Školska knjiga, Zagreb 1957.
- [51] Mumpton F.A.: La Roca Magica: Uses of Natural Zeolites in Agriculture and Industry, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96, pp. 3463-3470, March 1999.
- [52] Largest producer of natural Zeolite in the US;
URL: <http://www.stcloudmining.com/what-is-zeolite.html> posjećeno: 27.04.2009.
- [53] Bona M.: Textile Quality – Physical methods of product and process control, Nuova Oflito Torino, Italy 1994.
- [54] HRN F.S2.016: Određivanje mase po jedinici duljine i jedinici površine
- [55] HRN F.S2.050: Određivanje finoće (debljine) pređe
- [56] ASTM D 1059: Test Method for Yarn Number based on Shortlength Specimens
- [57] DIN 53830: Bestimmung der Feinheit von Garnen und Zwirnen.
- [58] ASTM D 629 – 72: Quantitative analysis of textiles
- [59] Simonović V.V.: Fizičko Ispitivanje Tekstila, Društvo inženjera i tehničara tekstilaca leskovačkog bazena i Nagradni fond tekstilaca "Vilem Pušman", Leskovac 1971.
- [60] Bajuk I., Srdjak M., Pavko-Čuden A.: Vzporedna analiza desno-levih pletiv različne surovinske sastave, Tekstilec, 38 (1995) 5, 109-120
- [61] HRN F.S2.021: Tekstil – Metražna roba – Određivanje debljine
- [62] EN ISO 9237: 2000: TEXTILES – Determination of the permeability of fabrics to air
- [63] Elazar S.: Planiranje eksperimenta, Skripta, Postdiplomski studij Mašinskog fakulteta (Organizacijski smjer), Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo 1979.

- [64] Kunz B., Kunz K.: Reflexology: health at your fingertips, DK Publishing, Inc., New York 2003, ISBN – 13: 978-0-7894-9353-8

Popis oznaka

A: - površina uzorka u $[m^2]$

- razmak između središta očica (korak očica) u $[mm]$

a: - širina kostura očice u $[mm]$

B: - visina reda očica u $[mm]$

b: - razmak između iglenog i platinskog zaobljenja očice u $[mm]$

c: - koeficijent zbijenosti očica

Dh: - horizontalna gustoća pletiva u $[oč\ cm^{-1}]$

Dv: - vertikalna gustoća pletiva u $[oč\ cm^{-1}]$

d: - debljina (pređe, pletiva) u $[mm]$

d₂: - debljina pletiva (ishodišnog ili funkcionaliziranog) izmjerena uz pritisak od $2\ cNcm^{-2}$ i površinu pritiskivača $5\ cm^2$ u $[mm]$

d₁₀: - debljina pletiva (ishodišnog ili funkcionaliziranog) izmjerena uz pritisak od $10\ cNcm^{-2}$ i površinu pritiskivača $5\ cm^2$ u $[mm]$

d_x: - debljina materijala u $[mm]$

H_R: - relativna vlažnost zraka u $[%]$

l: - duljina niti utrošene za izradu jedne očice u $[mm]$

Mj: - duljina na kojoj se određivao Dh i Dv u $[mm]$

m: - masa uzorka pletiva ili pređe u $[g]$

m_A: - površinska masa kondicioniranog uzorka u $[gm^{-2}]$

m_{Aas}: - površinska masa apsolutno suhog uzorka u $[gm^{-2}]$

m_{as}: - početna (konstantna) masa zeolita u $[g]$

m_{fp}: - površinska masa kondicioniranog funkcionaliziranog pletiva u $[gm^{-2}]$

m_{fpas}: - masa apsolutno suhog funkcionaliziranog pletiva u $[gm^{-2}]$

m_k: - masa kondicioniranog uzorka (pređe ili pletiva) u $[g]$

m_{ksu}: - masa konstantno suhog uzorka zeolita izračunata prema vlažnosti određenoj pri termičkom sušenju u $[g]$

m_{ot}: - kondicionirana masa otiska na pamučnom pletivu u $[gm^{-2}]$

m_p: - kondicionirana masa paste u $[gm^{-2}]$

m_{pas}: - masa apsolutno suhe paste u $[gm^{-2}]$

- m_z : - masa zeolita u $[gm^{-2}]$
 m_{zas} : - masa apsolutno suhog zeolita u $[gm^{-2}]$
 m_{zk} : - masa kemijski sušenog zeolita u $[g]$
 $m_{z/k}$: - kondicionirana masa zeolita u jednoj kuglici u $[g]$
 m_{zt} : - masa termički sušenog zeolita u $[g]$
 m_{zsu} : - masa zračno suhog uzorka u $[g]$
 $N_{oč}$: - broj očica u kvadratnom metru pletiva u $[oč\ m^{-2}]$
 n : - broj paralelnih proba
 P_{gg} : - praktična granica pogreške
 P_{pl} : - poroznost pletiva u $[\%]$
 R : - propusnost zraka u $[mms^{-1}]$
 R_2 : - propusnost zraka kroz dvoslojni pamučni materijal u $[mms^{-1}]$
 R_4 : - propusnost zraka kroz četveroslojni pamučni materijal u $[mms^{-1}]$
 s : - standardna devijacija
 T_t : - finoća pređe u $[tex]$
 t : - vrijeme ispitivanja u $[h]$
 U_t : - površinski udio vlaknate komponente u $[\%]$
 U_s : - površinski udio nevlaknate komponente (šupljina) u $[\%]$
 V : - količina vlage u uzorku (zeolitu, pletivu) u $[\%]$
 Z_{pl} : - površinska popunjenost pletiva u $[\%]$
 x_s : - prosječna vrijednost ispitanog parametra
 qv : - srednja vrijednost protoka zraka u $[dm^3min^{-1}]$
 ρ_{RX} : - volumna masa uzorka u $[gm^{-3}]$
 ρ_v : - gustoća vlakna u $[gm^{-3}]$