

Urška Vrabič Brodnjak in Diana Gregor Svetec
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo

Vpliv vlage na natezne lastnosti encimatsko obdelanih vlaken Crabyon®

Humidity Impact on Tensile Properties of Enzymatically Treated Crabyon® Fibres

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Paper

Prispelo/Received 07-2012 • Sprejeto/Accepted 08-2012

Izvleček

Vlakna Crabyon® so tržno uveljavljena vlakna, ki vsebujejo poleg celuloze še hitozan. Zaradi njegove prisotnosti imajo izdelki antibakterijski učinek in so koži prijazni na otip, zato so primerni tudi za uporabo v higienskih izdelkih. Namen raziskave je bil proučiti strukturne spremembe in natezne lastnosti encimatsko obdelanih vlaken Crabyon®, izpostavljenih različnim pogojem vlage pri stalni temperaturi. Vlakna so bila obdelana z encimi celulazami, obdelava je trajala od 30 do 60 minut. Določile so se natezne lastnosti in narejena je bila analiza krivulje specifična napetost/raztezek in analiza podatkov. Encimatsko obdelana vlakna so bila izpostavljena štirim različnim pogojem vlage, in sicer 30-%, 45-%, 65-% in 80-% pri stalni temperaturi 20 °C. Z encimatsko obdelavo se zniža stopnja kristalinnosti vzorcev, obdelanih s 30- in 60-minutno encimatsko obdelavo, medtem ko se orientacija zmanjša pri vzorcih, obdelovanih 30 minut z encimi. To vpliva na nižjo pretržno napetost in večji raztezek kot z neobdelanimi vlakni. Po 60 minutah obdelave se specifična pretržna napetost nekoliko zmanjša, medtem ko je pri pretržnem raztezu zaznati povečanje v primerjavi z vlakni, ki so bila z encimi obdelovana 30 minut. Encimatsko obdelana vlakna so tako manj trdna, vendar bolj fina kot neobdelana. Prav tako se pri encimatsko obdelanih vlaknih z večanjem vlage zmanjša specifična pretržna napetost, medtem ko se pretržni raztezek poveča.

Ključne besede: vlakna Crabyon®, encimi, natezne lastnosti, vlaga

Abstract

Crabyon® fibres are among the first fibres on the market which have apart from cellulose also chitosan in their structure. Due to chitosan, the fibres have antibacterial properties and are used in many fields as hygienic products. The aim of the research was to determine the structural changes and the changes in the tensile properties of the fibres which were treated with enzymes cellulase. The analyses of tensile properties were performed on enzymatic fibres treated for 30 and 60 minutes, and tested at four different levels of humidity (30%, 45%, 65%, 80%) at constant temperature 20 °C. The tensile properties were determined and the analysis of the curve specific stress/extension was done. The research showed that an enzymatic treatment causes in fibres a lower degree of crystallinity at both treatment times. Orientation is lower at the fibres treated for 30 minutes, lower is also specific stress, while extension is higher, compared to the untreated fibres. After 60 minutes of enzymatic treatment, specific stress is

slightly lower, whereas breaking extension is much higher in comparison with the fibres treated with enzymes for 30 minutes. The results showed that the enzymatically treated fibres are more pronounced and fine when relative humidity is higher than in the standard testing atmosphere.

Keywords: Crabyon® fibres, enzymes, tensile properties, relative humidity

1 Uvod

Vlakna Crabyon® so ena prvih tržno uveljavljenih vlaken, ki jih je patentiralo japonsko podjetje Omikenshi Company Ltd., Osaka, Japonska in ki imajo v svoji strukturi poleg celuloze še hitozan. Za dosego homogenih vlaken zahteva postopek izdelave natančno določeno razmerje med hitozanom in regenerirano celulozo. Vlakna Crabyon® imajo tako v svoji strukturi 10 % hitozana. Pri izdelavi, kjer gre za klasično predenje, so uporabili hitozan, ki je vseboval še 0,2 % sulfatnega pepela. Vlakna imajo tako odlične antimikrobne lastnosti, dobro obarvljivost, povečane absorpcijske lastnosti, dobro navzemanje vlage in so biorazgradljiva. Njihove mehanske lastnosti so podobne kot pri regularnih viskoznih vlaknih [1]. Zaradi naraščajočega svetovnega trenda uporabe čim bolj prijaznih in antibakterijskih izdelkov so vlakna Crabyon® primerna za izdelavo različnih materialov. Uporabljajo jih za izdelavo spodnjega perila, športnih oblačil, nogavic, brisač itd. [1, 2]. Zaradi vsebnosti hitozana imajo izdelki dobre antibakterijske lastnosti, njihovo delovanje pa ostane nespremenjeno ter tako odporno na pranje in drgnjenje [2]. Tovrstni izdelki so primerni predvsem za ljudi z občutljivejšo kožo in otroke. Vlakna, ki imajo v svoji strukturi vezan hitozan, se lahko uporabljajo v kombinaciji z različnimi vlakni, kot so: svila, bombaž, lan, volna, druga regenerirana celulozna vlakna, kemična vlakna, kot so poliestri, poliamidi itd. Na vlaknih Crabyon® je bilo predstavljenih samo nekaj raziskav, ki pa so bile osredinjene zgolj na predstavitev osnovnih lastnosti, aplikacij kovinskih ionov in obarvljivosti. Encimatska obdelava ali različni vplivi vlage do zdaj niso bili predstavljeni in raziskani. Glede na to, da se vlakna Crabyon® uporabljajo pri športnih oblačilih in spodnjem perilu, je ta raziskava ena prvih, ki določa te spremembe v vlaknih. Yoshikava je prvi predstavil nova vlakna Crabyon® podjetja Omikenshi Ltd [1]. Predstavil je osnovne značilnosti in možnosti uporabe novih vlaken z vsebnostjo hitina in hitozana. Izumi je s sodelavci

analiziral absorpcijo kovinskih ionov na vlakna Crabyon® in vlakna Chitopoly® ter predlagal možnosti njihove uporabe [2]. Yoshiaki pa je raziskal vpliv kislih barvil na obarvljivost vlaken Crabyon® [3].

V preteklih desetletjih je bilo veliko raziskav o različnih obdelavah, tudi o encimatskih obdelavah na regeneriranih celuloznih vlaknih [4, 5]. Obdelava vlaken z encimi celulazami na regeneriranih celuloznih vlaknih omogočajo mehkost, lesketajoč videz in preprečevanje piling učinka na tekstilijah [6]. Z uporabo encimov celulaz se stopnja kristalinitosti celuloznih vlaken zmanjša, kar vpliva na povečanje dostopnosti reaktivnih mest ter s tem na povečanje absorpcije. Pri obdelavah s celulazami se prav tako zmanjša stopnja polimerizacije in zniža temperatura razgradnje, posledično pa je manjša tudi dolžinska masa vlaken [7, 8, 9].

Ker so encimi celulaze, ki se uporabljajo v industriji, sestavljene iz več komponent, le-te med seboj delujejo sinergistično. Posamezne komponente hidrolizirajo celulozne makromolekule, razgradijo manj kristalina področja, medtem ko druge komponente cepijo konce makromolekul [10, 11]. Pri tem nastaja celobioza, ki pa jo glukozidaze razgradijo in končni produkt je glukoza. Degradacija celobiozne enote je pod vplivom stopnje nabrekanja, orientacije in stopnje kristalinitosti [12, 13].

Encimatska obdelava vpliva na strukturne spremembe v vlaknih, med drugim tudi na natezne lastnosti [14]. Pričakovano je, da encimatska obdelava zmanjša natezne lastnosti, hkrati pa poveča absorpcijske. Podatkov o vplivu encimatske obdelave na natezne lastnosti pri različnih pogojih vlage hitozan/celuloznih vlaken v literaturi nismo zasledili. Zato je bil namen raziskave proučiti spremembe nateznih lastnosti encimatsko obdelanih vlaken Crabyon®, ki so bila izpostavljena štirim različnim pogojem vlage pri stalni temperaturi in bi bila primerna za uporabo v higienskih izdelkih. Pri tem smo predvidevali, da daljši čas encimatske obdelave zmanjša specifično pretržno napetost, medtem ko se pretržni raztezek poveča.

2 Eksperimentalni del

2.1 Podatki o vlaknih

V raziskavi so bila uporabljena regenerirano celulozno-hitozanska vlakna, znana pod tržnim imenom Crabyon®, italijanskega izdelovalca Swicofil. Postopek izdelave je zaščitilo in patentiralo japonsko podjetje Omikenshi Ltd. Za raziskovalne namene smo vlakna dobili od slovenskega podjetja Tosama, d. d. Vlakna imajo klasičen, regularni prerez; njihova deklarirana vrednost dolžine je 28 mm in dolžinska masa 2,8 dtex.

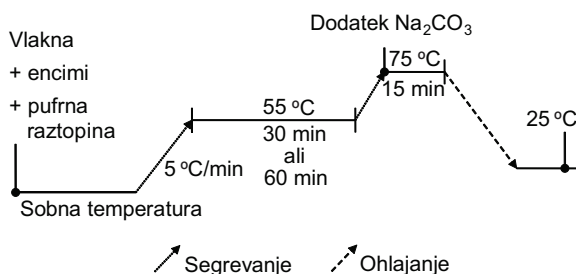
Pred obdelavami so se z vlaken odstranile vse nečistoče, ki se vežejo med postopkom izdelave vlaken. Vzorec je bil opran z neionogenim, pralnim sredstvom, v destilirani vodi, 30 minut pri 60 °C (KR=1 : 20). Pranju je sledilo spiranje do nevtralnega z destilirano vodo in sušenje do konstantne mase v sušilniku štiri ure pri 105 °C.

2.2 Encimatska obdelava

Pri obdelavi vlaken z encimi so bile uporabljene celulaze pod trgovskim imenom Primafast® 100, izdelek danskega podjetja Genencor®, Danisco Devision. So visoko koncentrirana oblika encimov celulaz v raztopini, ki se uporabljajo pri tekstilnih obdelavah, predvsem za doseganje sprememb na površini tekstilij, povečanju mehkosti ...

Pri obdelavi sta bila uporabljena dva časa obdelave: 30 in 60 minut, in sicer pri enaki koncentraciji encimov. Pri obdelavi vlaken z encimi Primafast® 100 je bila uporabljena naslednja receptura:

- kopelno razmerje: 1 : 20
- čas obdelave: 30 in 60 minut
- temperatura: 55 °C
- pH pufrne raztopine: 4,8
- količina encima: 1 % na maso vzorca (g)



Slika 1: Diagram obdelave z encimi pri različnih časih obdelave

Pufurna raztopina je bila pripravljena po recepturi:

- 0,05 M CH₃COONa
- 0,05 M CH₃COOH

Uporabljenih je bilo 15 gramov vlaken. Obdelava je potekala v aparatu Launder – Ometer, v katerem so bile posodice s 300 ml pufrne raztopine (pH = 4,8) z encimi in 15 gramov klimatiziranih vlaken. Vzorci so bili obdelovani 30 in 60 minut pri temperaturi 55 °C. Po določenem času obdelave je sledil dvig temperature na 75 °C za 15 minut, dodanega je bilo tudi 35 ml 1g/l Na₂CO₃, da se je prekinilo delovanje encimov. Sledilo je še ohlajanje do sobne temperature, spiranje z vročo in hladno destilirano vodo. Po končani obdelavi so bili vzorci sprani vse do nevtralnega. Sledilo je sušenje vzorcev do konstantne mase v sušilniku, in sicer štiri ure pri 105 °C.

2.3 Določitev strukturnih lastnosti

Pri določanju strukturnih lastnosti in sprememb zaradi vpliva encimatske obdelave so se proučile dolžinska masa, dvolomnost, orientacija vlaken in stopnja polimerizacije.

2.3.1 Določitev dolžinske mase

Dolžinska masa se je določila po standardu SIST EN ISO 1973, in sicer po gravimetrični metodi, na 25 paralelakah.

Izračun:

$$T_t = \frac{m_{sn} \cdot 10^4}{l_{sn} \cdot N_{vl}} \quad (1)$$

m_{sn} masa snopa vlaken [mg]

l_{sn} dolžina snopa vlaken [cm]

T_t dolžinska masa vlakna [dtex]

N_{vl} število vlaken v snopu

2.3.2 Določitev dvolomnosti

Metoda določanja dvolomnosti je kompenzacijska metoda. Pri tem so se določile fazne razlike med dvema medsebojno pravokotnima ravninsko polariziranimi svetlobnim valoma, ki izstopata iz vlakna, in debeline vlakna na istem mestu. Gre za izenačevanje fazne razlike vzorca z enako, vendar nasprotno fazno razliko umerjenega dvolomnega kristala, ki se v Ehringhausovem kompenzatorju določi s kotom nagiba kombinirane kvarčne ploščice. Dvolomnost se je merila na polarizacijskem mikroskopu Meopta (CZ) z Ehringhausovim kompenzatorjem Opton. Merjenju je sledila računalniška analiza v programu Meritve® [15].

2.3.3 Določitev stopnje polimerizacije – DP

Z določitvijo stopnje polimerizacije (DP) se ugotovi velikost molekul in stopnja poškodb vlaken. Stopnjo polimerizacije lahko ugotovimo s kemijskimi ali fizikalnimi metodami. Pri raziskavi je bila uporabljena fizikalna, viskozimetrična metoda. Pri tem je bilo uporabljeno topilo Cuoxam ($\text{Cu}(\text{NH}_3)/(\text{OH})_2$), ki je kompleks kovinskega hidroksida. Meritev stopnje polimerizacije je razdeljena na naslednje faze:

- pranje vzorcev
- priprava topila cuoxam
- klimatiziranje vzorcev
- določitev odstotka vlage vzorcev
- določitev zatehte
- raztapljanje vlaken v Cuoxamu (štiri ure)
- merjenje viskoznosti na viskozimetru oziroma merjenje iztočnih časov topila

Za izračun specifične viskoznosti in stopnje polimerizacije je treba izmeriti:

- iztočni čas cuoxama [t_0]
- iztočni čas raztopine celuloze v cuoxamu [t]

Iz iztočnih časov cuoxama in raztopine se je tako izračunala specifična viskoznost, lastna viskoznost oziroma $Z\eta$ pa iz enačbe Schulz-Blaschke [16]:

$$Z\eta = \frac{\eta_{sp}}{c(1 + k_{SB} \cdot \eta_{sp})} \quad (2)$$

($k_{SB} = 0,28$ za raztopino celuloze v Cuoxamu;
 c – koncentracija absolutno suhe celuloze v g/l)

Povprečna stopnja polimerizacije DP se izračuna iz enačbe, ki pa velja za območje DP od 250 do 1500.

$$Z\eta = 5 \cdot 10^{-4} \cdot DP \quad (3)$$

2.2.4 Določitev stopnje kristalnosti

Z metodo kislinske hidrolize se je določil odstotek stopnje kristalnosti [17]. Na podlagi razlik mase neobdelanih vzorcev in v vroči HCl obdelanih vlaken se je določil odstotek kristalinega dela v vlaknih. HCl se segreje do vrenja in nato vanjo potopi 2 g vlaken ter takoj odstrani z grelne plošče. Vsebinsko smo mešali tako, da se je v petih minutah ohladila na 70 °C. Nato se je v hladni vodi v 20 minutah shladila na 20 °C. Vsebina se je nevtralizirala skozi posušen lonček Gooch, dokler ni postal filtrat popolnoma nevtralen. Sledili sta sušenje lončka Gooch z

vlakni do konstantne mase in tehtanje. Iz razlike mas se izračuna masa kristaliziranega dela vlaken.

Izračun:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100 \quad (4)$$

X – odstotek kristalinega dela vlakna [%]

m_1 – masa lončka Gooch z ostanki vlaken [g]

m_2 – masa lončka Gooch brez vlaken [g]

m_3 – masa neobdelanih vlaken

2.4 Določitev mehansko-fizikalnih lastnosti

2.4.1 Natezne lastnosti

Pretržna sila, specifična pretržna napetost in pretržni raztezek so se izmerili na dinamometru Instron 6022, in sicer pri različnih pogojih merjenja (sprememba vlage). Pri tem se je spreminjal odstotek vlage, in sicer pri 30 %, 45 %, 65 % in 80 % pri stalni temperaturi 20 °C v klimatizirani komori, ki je bila pritrjena ob prižemah dinamometra. Pri merjenju se je upoštevala izmerjena vrednost dolžinske mase glede na vzorec oziroma obdelavo.

Pogoji merjenja na dinamometru so bili:

- vpeta dolžina 2,5 cm
- predobremenitev 0,5 cN/tex
- hitrost raztezanja: 0,15 mm/s
- število meritev: 50

S pomočjo računalniškega programa Dinara® [15] se je analizirala krivulja specifična napetost/raztezek ter določil in analiziral prirastek sile in podaljška v celotnem deformacijskem območju, vse do pretrga vlakna v nateznem poizkusu. Viskoelastični parametri, ki označujejo lastnosti in stanje vlaken, so se prav tako analizirali iz krivulje napetost-raztezek, tj. iz poteka prvega odvoda (elastični modul), drugega odvoda (hitrost spremembe elastičnega modula), tretjega odvoda in njihovih ekstremnih vrednosti. Integral funkcije napetost-raztezek je enak opravljenemu delu za vsako točko raztezka.

3 Rezultati z razpravo

Na strukturo vlaken vplivajo postopek izdelave in različne naknadne obdelave. Delovanje encimov na vlakna je enakomerno in intenzivno, kar vpliva na strukturne spremembe vlaken.

3.1 Strukturne spremembe neobdelanih in encimatsko obdelanih vlaken

Iz preglednice 1 je razvidno, da sta se pri obdelavah vlaken z encimi Primafast® 100 zmanjšala dolžinska masa in stopnja polimerizacije ter povečala orientacija makromolekul. Pri daljšem času obdelave (60 minut) se vrednosti še znižujejo, poveča pa se orientacija. Vzrok za to je v strukturnih spremembah, ki jih povzročijo celulaze v makromolekulah celuloze, ki najprej razgradijo krajše in manjše molekule v amorfem delu ter omogočijo urejanje daljših molekul. S tem se poveča tudi povprečni faktor orientacije. Prav tako se z obdelavo zmanjša stopnja kristalinitosti, ki je najnižja pri 60 minutah obdelave z encimi.

Preglednica 1: Izmerjene vrednosti dolžinske mase (T_t), dvolomnosti (Δn), povprečnega faktorja orientacije (f_d), stopnje polimerizacije (DP) in kristalinitosti (X_k) neobdelanih (C) in z encimi obdelanih vzorcev (C_{30} – 30 minut obdelave; C_{60} – 60 minut obdelave).

Oznaka vzorca	T_t [dtex]	Δn [/]	f_d [/]	DP [/]	X_k [%]
C	2,78	0,0341	0,4603	458,40	74,00
C_{30}	2,70	0,0314	0,4246	405,66	73,53
C_{60}	2,62	0,0368	0,4979	402,04	72,62

Neobdelana vlakna Crabyon® so tako manj orientirana, imajo pa višjo stopnjo polimerizacije in kristalinitosti kot vlakna, ki so se 60 minut obdelovala z encimi. Strukturni gradniki so med seboj bolj povezani, zato je tudi oteženo vezanje vode na makromolekule. Prisotne so daljše molekule in v vlaknih je več kristalinega dela.

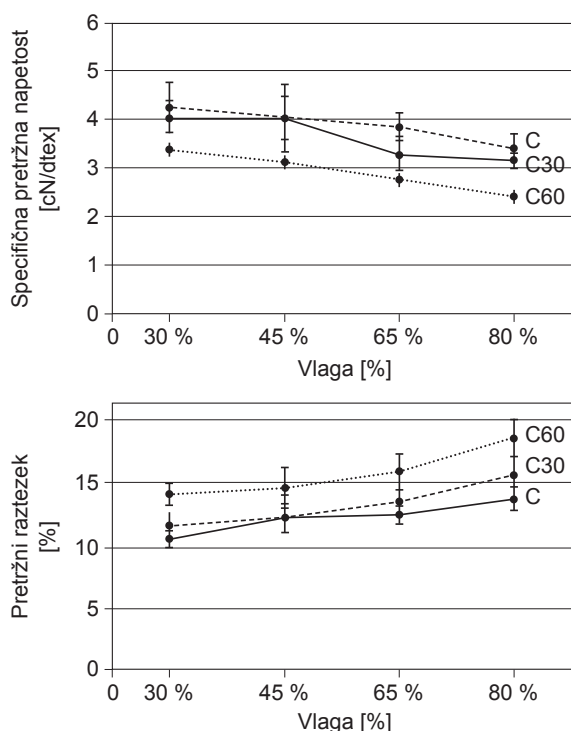
3.2 Spremembe mehanskih lastnosti pri različnih pogojih vlage

Neobdelana vlakna Crabyon® imajo glede na obdelana vlakna višjo stopnjo kristalinitosti, so manj fina, vpojna in trdnjša. Od sprememb tekstilno-tehnoloških in morfološko-strukturnih lastnosti so odvisne tudi natezne lastnosti. Nižja stopnja kristalinitosti, povečan delež amorfnosti in višja orientacija vplivajo na manjšo pretržno napetost in večji raztezek.

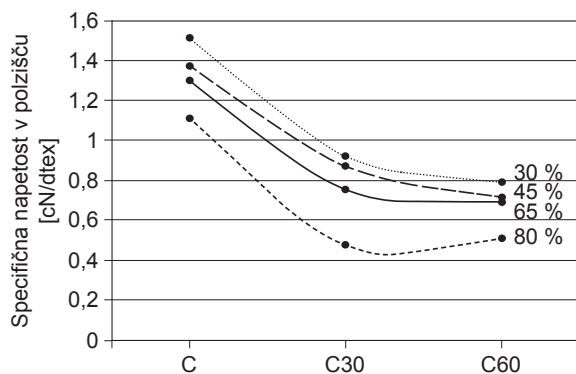
Na podlagi krivulj napetost-raztezek, tj. iz poteka prvega odvoda (elastični modul), drugega odvoda (histrost spremembe elastičnega modula), tretjega odvoda in njihovih ekstremnih vrednosti so se določili viskoelastični parametri, ki označujejo lastnost in

stanje vlaken. Določeni so bili moduli in pripadajoči raztezki iz prvega in drugega odvoda krivulje. Pred točko polzišča, ki je bila določena na drugem odvodu, je vlakno elastično, povratno.

Na sliki 2 sta predstavljena odvisnost specifične pretržne sile in pretržnega raztezka pri različnih pogojih vlage. Specifična pretržna napetost pada s časom obdelave z encimi. Najnižjo vrednost doseže vzorec, ki je bil 60 minut obdelovan z encimi in merjen pri 80-% vlagi. Neobdelan vzorec ima pričakovano najvišjo vrednost specifične pretržne napetosti, ki je bil izpostavljen 30-% vlagi. S podaljšanjem encimatske obdelave in odstotka vlage specifična pretržna napetost pri vseh vzorcih pada, medtem ko pretržni raztezek narašča. Najvišjo vrednost pretržnega raztezka tako doseže vzorec, ki je bil z encimi obdelovan 60 minut in merjen pri 80-% vlagi. Najnižjo vrednost pa neobdelan vzorec, ki je bil izpostavljen 30-% vlagi. Pri neobdelanem vzorcu so razlike v vrednosti specifične pretržne napetosti in raztezka določene pri 45-% in 65-% vlagi majhne, medtem ko je pri drugih vzorcih zaznati linearno padanje oziroma naraščanje vrednosti.



Slika 2: Primerjava specifične pretržne napetosti (a) in pretržnega raztezka (b) pri izmerjenih različnih pogojih vlage za neobdelana (C) in obdelana vlakna Crabyon® (C_{30} – 30 minut; C_{60} – 60 minut obdelave)



Slika 3: Primerjava specifične napetosti v polzišču pri izmerjenih štirih različnih pogojih vlage za neobdelana (C) in obdelana vlakna Crabyon® (C30 – 30 minut; C60 – 60 minut obdelave)

Analiza je prav tako pokazala, da imata pri meritvah pri 45-% vlaži neobdelan vzorec in vzorec, ki je bil 30 minut obdelovan z encimi, enako vrednost specifične pretržne napetosti in pretržnega raztezka.

Namen raziskave je bil določiti vpliv vlage na encimatsko obdelana vlakna. Iz slike 3 je razvidno, da imajo največjo specifično napetost v polzišču neobdelana vlakna, izmerjena pri 30-% vlaži. Z encimatsko obdelavo in povečano vlažnostjo se le-ta niža. Najnižjo vrednost tako doseže vzorec, 60 minut obdelovan z encimi pri 80-% vlaži. Pri prvem delu krivulje, ki določa elastično obnašanje vlaken, so opazne manjše spremembe med neobdelanimi in encimatsko obdelanimi vlakni. Prav tako so opazne pri točki pretrga in raztezu in pri delu do pretrga.

Preglednica 2: Natezne lastnosti neobdelanih (C) in encimatsko obdelanih vlaken (C₃₀ – 30 minut obdelave; C₆₀ – 60 minut obdelave), analiziranih pri 30 in 45 %, vlage: specifična napetost v polzišču – σ_y , pretržni raztezek v polzišču – ϵ_y , specifično pretržno delo – A_{sp} , modul elastičnosti – E_0 , pretržni raztezek pri E_0 – ϵ_0 , modul v prvi obračalni točki – E_1 , modul v drugi obračalni točki – E_2 , modul v polzišču – E_y

Merjene lastnosti	C		C ₃₀		C ₆₀	
	30 %	45 %	30 %	45 %	30 %	45 %
σ_y (cN/dtex)	1,51	1,37	0,92	0,87	0,79	0,71
ϵ_y (%)	3,52	3,63	3,65	3,74	4,37	4,58
A_{sp} (J/g)	40,08	48,99	47,84	57,99	52,13	60,11
E_0 (GPa)	2,87	3,53	4,01	4,49	6,57	6,61
ϵ_0 (%)	2,33	2,41	2,49	2,55	2,58	2,67
E_1 (GPa)	1,92	1,94	2,17	2,49	3,47	3,58
E_2 (GPa)	2,00	2,53	2,68	2,82	3,35	3,80
E_y (GPa)	2,36	2,45	2,65	2,87	3,21	3,32

Preglednica 3: Natezne lastnosti neobdelanih (C) in encimatsko obdelanih vlaken (C₃₀ – 30 minut obdelave; C₆₀ – 60 minut obdelave), analiziranih pri 65 % in 80 %, vlage: specifična napetost v polzišču – σ_y , pretržni raztezek v polzišču – ϵ_y , specifično pretržno delo – A_{sp} , modul elastičnosti – E_0 , pretržni raztezek pri E_0 – ϵ_0 , modul v prvi obračalni točki – E_1 , modul v drugi obračalni točki – E_2 , modul v polzišču – E_y

Merjene lastnosti	C		C ₃₀		C ₆₀	
	65 %	80 %	65 %	80 %	65 %	80 %
σ_y (cN/dtex)	1,30	1,11	0,75	0,57	0,69	0,51
ϵ_y (%)	3,76	4,78	4,16	4,69	4,95	5,54
A_{sp} (J/g)	35,68	36,99	38,33	30,09	50,03	50,11
E_0 (GPa)	4,05	4,56	5,24	5,58	6,62	6,75
ϵ_0 (%)	2,56	2,59	2,68	2,72	2,73	2,98
E_1 (GPa)	2,69	2,74	2,77	2,82	3,63	3,74
E_2 (GPa)	3,02	3,15	3,41	3,62	4,02	4,30
E_y (GPa)	2,98	3,07	3,11	3,26	3,4	3,66

V preglednicah 2 in 3 so predstavljeni specifična napetost v polzišču, pretržni raztezek v polzišču, specifično pretržno delo, modul elastičnosti, pretržni raztezek pri E_0 , modul v prvi obračalni točki, modul v drugi obračalni točki in modul v polzišču za neobdelana in encimatsko obdelana vlakna, izpostavljena različnim pogojem vlage.

Moduli, določeni pri neobdelanih vlaknih, izmerjeni pri 30-% vlagi, so najnižji glede na vrednosti drugih vzorcev (preglednica 2).

Relativna vlažnost vpliva na natezne lastnosti vlaken vse do pretrga. Najmanjši vpliv vlage je zaznati pri specifičnem delu do pretrga pri vseh merjenih vzorcih. Neobdelana vlakna, analizirana pri 30-% vlagi, imajo najnižji modul v polzišču ($E_y = 2,36$). Z encimatsko obdelavo in višjo vlago elastični modul narašča.

Iz preglednice 3 je razvidno, da so modul elastičnosti, modul v prvi in drugi obračalni točki, pretržni raztezek v polzišču in pretržni raztezek pri E_0 , določeni pri 80-% vlagi, najvišji pri vlaknih, 60 minut obdelovanih z encimi. Modul, ki je bil določen pri 1-% raztezu (Youngov modul), se obnaša podobno kot elastični modul. Največji je pri vlaknih, 60 minut obdelovanih z encimi, določen pri 80-% vlagi, medtem ko je najmanjši pri neobdelanih vlaknih določen pri 30-% vlagi.

Vlaga ima na natezne lastnosti encimatsko obdelanih vlaken večji vpliv kakor na neobdelana.

Vlakna, 30 minut obdelovana z encimi, imajo večji modul v drugi obračalni točki in specifično napetost kot vlakna, z encimi obdelovana 60 minut. Pri 80-% vlagi so vrednosti pretržnega raztezka pri vseh vzorcih višje, medtem ko vrednosti specifične pretržne napetosti padajo z naraščajočo relativno vlažnostjo.

4 Sklepi

Encimatska obdelava vpliva na strukturne in posledično na natezne lastnosti vlaken. Na lastnosti prav tako vplivata čas obdelave in izpostavljenost različnim pogojem vlage pri stalni temperaturi. Z daljšim časom encimatske obdelave se poveča faktor orientacije, zmanjša pa se dolžinska masa, stopnja polimerizacije, kar vpliva na povečanje vrednosti elastičnega modula in modula v prvi in drugi obračalni točki ter pretržnega raztezka. Zmanjšata pa se specifična pretržna napetost in

specifična napetost v polzišču. Vzrok za spremembe je povečana orientacija makromolekul, saj celule povzročijo razgradnjo krajših molekul v amorfnem delu in tako omogočijo urejanje daljših molekul. Analiza je pokazala, da vlaga nima bistvenega vpliva na delo do pretrga, medtem ko močno vpliva na specifično pretržno napetost in raztezek. S podaljševanjem obdelave in povečanjem vlage se specifična pretržna napetost zmanjšuje, pretržni raztezek pa narašča.

5 Literatura

1. YOSHIKAWA, M. Development of popular products Crabyon. *Kagaku/Chemistry*, 1999, vol. 54 (3), p. 34–36.
2. IZUMI, S., SHIMIZU, Y., HIGASHIMURA, T. Absorption behavior of metal ions on chitin/cellulose composite fibers with chemical modification by EDTA. *Textile Research Journal*, 2001, p. 515–519.
3. YOSHIAKI, S. Dyeing chitin/cellulose composite fibres with acid dye. *Textile Research Journal*, 2001, p. 563–567.
4. VRABIČ BRODNJAK, U., JESIH, A., GREGOR SVETEC, D. Physical and absorptive changes in plasma treated viscose fibres. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2007, vol. 64–65, p. 124–126.
5. WU, Y. B., YU, S. H., MI, F. L., WU, C. W. Preparation and characterisation of mechanical and antibacterial properties of chitosan/cellulose blends. *Carbohydrate Polymers*, 2004, vol. 57, p. 435–440.
6. CAVACO-PAULO, A., GÜBITZ, G. M. *Textile processing with enzyme*. Boca Raton : CRC Press; Cambridge : Woodhead Publishing, 2003, p. 124–168.
7. NIEKRASZEWICZ, A. Chitosan medical dressings. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2005, vol. 13, p. 16–18.
8. SUNOL, J. J., MIRALPEIX, D., SAURINA, J., CARILLO, F., COLOM, X. Thermal behavior cellulose fibres with enzymatic or Na_2CO_3 . *J Therm Anal Colorim*, 2005, vol. 80, p. 117–121.
9. JIANG, G., HUANG, W., LI, L., WANG, X., PANG, F., ZHANG, Y., WANG, H. Structure and properties of regenerated cellulose fibers from different technology processes. *Carbohydrate Polymers*, 2012, vol. 87, p. 2012–2018.

10. CAO Y., TAN, H. Effects of cellulase on the modification of cellulose. *Carbohydrate Research*, 2003, vol. 337, p. 54–57.
11. KUMAR, A., LEPOLA, M. Enzymatic treatment of man-made cellulosic fabric. *Enzyme and Microbial Technology*, 1997, vol. 20, p. 12–17.
12. PEDERSEN, G. L., SCREWS, G. A., CEDRONI, D. M. Biopolishing of cellulosic fabrics. *Canadian Textile Journal*, 1992, vol. 109, p. 31–35.
13. ANANDJIWALA, R. D. Role of advanced textile materials in healthcare. V *Medical Textiles and Biomaterials for Healthcare*. Edited by S. C. Anand [et al.]. Cambridge : Woodhead Publishing; Boca Raton [etc.] : CRC Press, 2006, p. 90–98.
14. MANGOVSKA, B., LJAPČEVA, K., FILIPOV, V. Enzymatic treatment of knit-wear made from cellulose fibres. *Tekstil*, 1996, vol. 45, p. 407–413.
15. BUKOŠEK, V. Program Dinara[®], Meritve[®]. Ljubljana : Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 1989.
16. RIJAVEC, T., SLUGA, F., BUKOŠEK, V., MALEJ, S. *Tekstilne kemijske preiskave*. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 1999, str. 45.
17. SCHOLZ, C., FLATH, H. J. Zur Strukturbestimmung von Zellulosefasernstoffen mit Hilfe der Jodsorption. *Textilveredlung*, 1991, vol. 26 (6), p. 188–191.