

Utjecaj postupka dobivanja vlakana od agave na morfološke i mehaničke karakteristike

Doc.dr.sc. **Maja Somogyi Škoc**, dipl.ing.

Matija Kordun, mag.ing.teks.teh.*

Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet

Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila

Zagreb, Hrvatska

*Galeb d.d.

Omiš, Hrvatska

e-mail: maja.somogyi@ttf.hr

Prispjelo 13.1.2013.

UDK 677-486:677.017

Izvorni znanstveni rad

*Istraživan je postupak dobivanja, tj. izvlačenja vlakana agave i njegov utjecaj na morfološke i mehaničke karakteristike. Primjenom fizikalno-mehaničkih i kemijskih metoda provedena je karakterizacija agave domaćeg podrijetla za koju je utvrđeno da je riječ o „običnoj“ američkoj agavi (*lat*Agave americana Linne). Na temelju uputa r edovnice benediktinskog samostana u Hvaru postupkom starim više od sto godina, ručno su izvlačena vlakna agave. Dodatno je provedeno brže ručno izvlačenje vlakana agave nakon močenja u umjetnoj otopini morske vode te naknadnim kuhanjem u otopini tekstilnog sapuna. Ispitivana je promjena prekidne sile i istezanja u suhom (kondicioniranom) i mokrom stanju, finoća te morfološke karakteristike vlakana agave. **Gljučne riječi:** agava, vlakna agave, hvarska čipka, močenje, morfološke karakteristike, mehaničke karakteristike*

1. Uvod

Agava je u našim krajevima poznata još pod nazivima loparina i primorski netres. Riječ je o prizemnoj mesnatoj biljci dugačkih i na vrhu zašiljenih listova koji po obodu imaju oštre bodlje, a pripada velikom botaničkom rodu istog imena, porodici *Agavaceae* [1]. Prema tekstilnoj podjeli, gdje je najčešći kriterij porijeklo vlakana, agava pripada u prirodna biljna vlakna iz lišća.

Agava potječe iz Meksika, može se pronaći u južnim i zapadnim dijelovima Sjedinjenih Američkih Država te centralnim i tropskim dijelovima južne Amerike. U Europu je agava stigla preko Španjolske 1561. godine odakle se proširila Mediteranom. Da-

nas raste po cijelom Sredozemlju, a u Hrvatskoj najviše oko Dubrovnika ali i širom Dalmacije gdje niče kao poludivlja biljka na strmim kamenim stijenama obala otoka i kopna.

Od agava domoroci su u Meksiku izrađivali olovke, čavle, igle i platno, vino (pulque fuerte) i rakiju (mescal). Osim navedenoga agava se naveliko koristila kao lijek u narodnoj medicini za širok spektar bolesti (dizenterija, hepatitis i dr.).

U Novom Zelandu od agave se rade ribarske mreže, a u Maroku se izrađuju konopci i tepisi. Svakako napoznatije piće koje povezujemo s ovom biljkom je meksičko nacionalno piće, tj. tekila koja se proizvodi iz cvjetova i soka agave (*Agave tequiliana*) [2-5].

Koliko daleko seže uporaba vlakana agave u području tekstila govori priča o platnu i slici Gospe Guadalupske, koji su od Katoličke Crkve priznati kao čudo. Zanimljivo je to da je platno na kojem je naslikana Gospa Guadalupska izrađeno od vlakana agave 1531. godine i nakon gotovo pet stoljeća postojanja još uvijek djeluje netaknuto, tj. nema vidljivih znakova starenja ili oštećenja [6].

Agava ima svoju primjenu i u obućarstvu tako da se i dan danas u selu Kichwa u Ekvadoru izrađuju cipele od vlakana agave [7].

U Hrvatskoj se od vlakana agave izrađuje, na daleko poznata hvarska čipka koja je 2009. godine upisana u Reprezentativnu listu nematerijalne

baštine čovječanstva u Organizaciji Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) [8]. Ujedno je to i jedini predmet u Hrvatskoj koji se radi od vlakana agave gdje je od početaka pa sve do danas zadržao isključivo ukrasnu namjenu zahvaljujući redovnicama benediktinskog samostana na otoku Hvaru. Redovnice samostana umijeće dobivanja vlakana agave prenose s koljena na koljeno već dugi niz desetljeća.

2. Metodika rada

2.1. Uzorci za ispitivanje

Istraživanje je provedeno na uzorcima svježe ubrane agave, domaćeg podrijetla iz okolice grada Splita. Uzorci agave dani su na Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Botanički vrt radi utvrđivanja vrste i starosti agave. Na osnovi pregledanih listova agave utvrđeno je da je riječ o „običnoj“ američkoj agavi (lat. *Agave americana* Linne) staroj oko tri godine. Na taj način osigurali su se uvjeti da se istraživanje provede na istoj vrsti i starosti agave kakvu koriste i sestre benediktinke za izradu hvarske čipke.

Od jedne agave odrezano je 6 listova od čega je 5 listova odabrano za istraživanje. Na svakome od tih 5 listova ispitivanja su provedena na rubu i sredini.

Vlakna odvojena s prvog lista uzeta s ruba nose oznaku *rub 1*, iz sredine *sredina 1*, vlakna odvojena s drugog lista nose oznaku *rub 2*, a iz sredine *sredina 2*. Istim načinom uzorci su označeni za svaki daljnji list. Oznake ispitivanih uzoraka koje su se koristile u cijelom radu navedene su u tab.1.

2.2. Izvlačenje vlakana agave

2.2.1. Izvlačenje vlakana postupkom sestara benediktinki

Izvlačenje vlakana agave iz pripremljenih i označenih listova u skladu s tab.1 provedeno je na temelju uputa

Tab.1 Oznake ispitivanih uzoraka

List agave	Mjesto odvajanja vlakana	
	rub	sredina
List 1	rub 1	sredina 1
List 2	rub 2	sredina 2
List 3	rub 3	sredina 3
List 4	rub 4	sredina 4
List 5	rub 5	sredina 5

dobivenih od redovnice benediktinskog samostana. Upute su se temeljile na njenom osobnom dugogodišnjem radu te radu i iskustvu njenih prethodnica, a to je prije svega da odabrani listovi agave moraju biti stari oko tri godine. Iskustveno je ustanovljeno da takvi listovi najbolje odgovaraju potrebama izrade hvarske čipke.

Na samom početku rada potrebno je s listova odstraniti bodlje i kožu, nakon čega slijedi pojedinačno izvlačenje vlakana, a s kojih se dodatno uklanja mesnato tkivo uz pomoć tupog nožića. S obzirom na to da je riječ o poje dinacnomodvajanju vlakana agave, gdje se u prosjeku iz jednog lista može dobiti čak 300 vlakana, a koja su na pojedinim mjestima gruba, tijekom rada potrebno je nositi zaštitne rukavice.

Kako je riječ o pojedinačnom izvlačenju vlakana agave, postupak je dugotrajan i potrebno je veliko strpljenje kako bi se dobila vlakna dostatne duljine, tj. duljine potrebne za dobivanje reprezentativnog uzorka potrebnog za karakterizaciju vlakana ili izradu čipke.

Izvučena vlakna agave peru se u otopini komercijalno dobavljivog tekstilnog sapuna. Vrsta tekstilnog sapuna nije točno određena već ovisi o tome što sestre benediktinke u tom trenutku imaju na raspolaganju u samostanu. Koncentracija također nije točno definirana budući da ovisi o osobi koja taj dan priprema otopinu. Potom slijedi ispiranje koje se provodi u običnoj vodi i sušenje u zavjetrini na morskome zraku. Nakon sušenja vlakna se međusobno spajaju ribarskim čvorom i namataju na batiće kako bi bila spremna za izradu čipke.

U ovom radu vlakna su se sušila u laboratoriju, nakon čega su se ostavila kondicionirati 24 h u klima-komori u skladu s HRN EN ISO 139:2008 (temperatura 20 ± 2 °C, relativna vlažnost 65 ± 4 %) kako bi bila spremna za daljnja ispitivanja [9].

2.2.2. Izvlačenje vlakana agave nakon močenja u morskoj vodi

Izvlačenje vlakana agave nakon močenja ili maceracije u morskoj vodi odnosi se na izvlačenje vlakana agave nakon izlaganja djelovanju otopine umjetne morske vode i nakon kuhanja u otopini 5 g/l tekstilnog sapuna (marsejski sapun).

Za potrebe ovoga rada pripremljena je otopina umjetne morske vode u skladu s *AATCC Test Method 106-2009, Colorfastness to Water: Sea* na način da se u 1 litru tekuće vode dodalo 30 g NaCl i 5 g MgCl₂ [10].

Listovi agave moraju biti u cijelosti potopljeni u otopinu umjetne morske vode u posudi dostatne veličine, a koju je potrebno poklopiti kako bi se zaštitili od neugodnih mirisa. Neugodni mirisi se razvijaju prilikom raspadanja listova agave gdje uslijed niza biokemijskih procesa topljivi spojevi koji se nalaze u listovima prelaze u otopinu i razvijaju mikroorganizme, tj. bakterijske kolonije i gljivice koje izazivaju pektinsko vrenje, tj. razgradnju pektina. Da bi se osigurali što bolji uvjeti za njihov razvoj potrebno je osigurati dovod kisika, a što se postiže otvaranjem malog zračnika na poklopcu. Na samom početku procesa dominantne su aerobne bakterije *Bacillus* (spp. *subtilis*, *cereus*, itd.), a s manjkom kisika postaju važnije

anaerobne bakterije *Clostridium* (spp. *acetobutylicum*, *felsineum*) [11]. Listovi agave potopljeni na opisani način ostavljaju se namakati mjesec dana pri sobnoj temperaturi, a nakon toga se izvlače iz otopine i s njih se skida gornja i donja epiderma (koža). Prilikom otvaranja posude i pri samom pogledu na listove agave može se primijetiti da se na nekim mjestima epiderma već sama odvojila od temeljnog tkiva (mezofil), a ondje gdje nije, skida se s velikom lakoćom. Izvlačenje vlakana agave nakon močenja u morskoj vodi provedeno je radi usporedbe s postupkom sestara benediktinki. Na taj način željele su se steći dodatne spoznaje vezane uz lakoću izvlačenja vlakana i utjecaj na morfološke karakteristike vlakana. Zapravo, prije svega se željelo uz tradicijski postupak provesti jednostavniji postupak s istim rezultatom. S obzirom na to, smatralo se da navedeni postupak nije potrebno provoditi na svim listovima agave, već samo na dva lista.

Listovi za močenje odabrani su nakon provedenog standardnog postupka i nakon određivanja prekidne sile i istezanja vlakana agave. Na temelju dobivenih rezultata odabrana su dva lista, tj. list na kojem je utvrđeno da ima vlakna velike čvrstoće (list 1) i list na kojem je utvrđeno da ima vlakna male čvrstoće (list 2).

Nakon što su list 1 i list 2 bili izloženi djelovanju otopine umjetne morske vode u trajanju od mjesec dana, s listova agave odrezan je dio s vlaknima duljine oko 20 cm, a sve sa svrhom obrade i ispitivanja tog dijela agave. Odrezani dio agave stavljen je u posudu za kuhanje s tekućom vodom i kuhan 90 minuta. Nakon kuhanja uzorci su izvađeni iz posude i ostavljeni na sobnoj temperaturi dok se nisu ohladili. Potom je uslijedio postupak izvlačenja vlakana, pri čemu je uočeno da se vlakna lakše odvajaju, a primijećeno je da se i sam mezofil s vlakana jednostavnije i brže uklanja. Odvojena vlakna stavljena su u posudu s tekstilnim sapunom i zagrijana do vrenja. Temperatura vrenja se

održavala neko vrijeme dok su se pomoću staklenog štapića vlakna mijesala. Na taj način, uz lagano mehaničko pokretanje vlakna se dodatno peru i čiste od zaostalog mezofila. Poslije kuhanja vlakna agave su se ispirala pod mlazom tekuće vode, a potom su se stavila na sušenje u laboratorij pri sobnoj temperaturi. Nakon sušenja vlakna su se kondicionirala 24 h u klima-komori pri standardnim uvjetima, nakon čega su bila spremna za ispitivanje.

2.3. Metode ispitivanja

2.3.1. Analiza izgleda površine vlakana agave primjenom SEM mikroskopije

Morfološke karakteristike, tj. površina vlakana agave snimana je na skenirajućem elektronskom mikroskopu proizvođača TESCAN MIRA s radnim naponom od 30 kV i detektorom sekundarnih elektrona. Kako je proveden jednostavniji način dobivanja vlakana agave, SEM snimkama se željelo pokazati da je postupak močenja neinvazivan u odnosu na postupak sestara benediktinki te kao takav jednostavniji i prihvatljiviji.

Istraživanje morfoloških promjena za potrebe ovoga rada provedeno je uz različita povećanja, u rasponu od 1000x do 7000x. Uzorci su dva puta napareni naporivačem Mini Sputter Coater SC7620 sa zlatom/paladijem (Au/Pd) kako bi se postigle što bolje snimke morfologije pripremljenih uzoraka. Mjerenja su izvedena u Zavodu za tekstilno-kemijsku tehnologiju i ekologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

2.3.2. Određivanje finoće, prekidne sile i istezanja vlakana agave

Za karakterizaciju vlakana agave utvrđivana su temeljna svojstva vlakana – finoća i mehanička svojstva.

Vlačna čvrstoća ispitivana je mjerenjem prekidne sile, F (cN) i prekidnog istezanja, ε (%) na uzorcima kondicioniranim u standardnoj atmosferi (suho stanje) i na mokrim uzorcima.

Provedena je metoda pojedinačnog mjerenja u skladu s HRN EN ISO 5079:2003 – Tekstilna vlakna – Određivanje prekidne sile i prekidnog istezanja pojedinačnih vlakana.

Duljinska masa (finoća) provedena je u skladu s HRN EN ISO 1973:2008 - Tekstilna vlakna - Određivanje duljinske mase -- Gravimetrijska metoda i titrajna metoda.

Navedena svojstva vlakana agave određivana su pomoću vibroskopa Vibroscop i dinamometra Vibrodyn 400 tvrtke Lenzing. Mjerenja su izvedena u Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

U skladu s navedenim normama načinjen je potreban broj mjerenja, a pojedina svojstva iskazana su uobičajenim veličinama i jedinicama.

Provedena je temeljna statistička obrada rezultata, tj. izračunavana je aritmetička sredina serije paralelnih mjerenja te statistički pokazatelji varijabilnosti rezultata (standardna devijacija σ i koeficijent varijacije V).

Istraženi su radni parametri dinamometra koji su zatim prilagođeni ispitivanju finoće i čvrstoće tehničkih vlakana agave. U tu su svrhu na standardne stezaljke postavljeni čelični dodaci sa zupcima te je odabrana brzina ispitivanja od 3 mm/min. Oabrana duljina ispitivanog uzorka je 5 mm kako bi se osiguralo da su prilikom ispitivanja finoće i čvrstoće u tehničkom vlaknu obuhvaćena elementarna vlakna jednake, tj. neprekidne duljine.

Za ispitivanje je pripremljeno 10 uzoraka s 5 listova agave (5 uzoraka vlakana agave dobivenih s rubova, 5 uzoraka iz sredine lista).

Ovakvim postupkom ispitivanja utvrđuje se ima li većih odstupanja mehaničkih svojstava vlakana, konkretnije prekidne sile i finoće vlakana s obzirom na položaj i na dio lista iz kojeg su se izvlačila vlakna. Također, određivanjem prekidne sile i istezanja želio se steći uvid u ponašanje vlakana agave pri djelovanju sile i opterećenja s obzirom na to da pri izradi čipke

vlakna mogu uz malo veće naprezanje ili trenje pucati.

3. Rezultati ispitivanja i rasprava

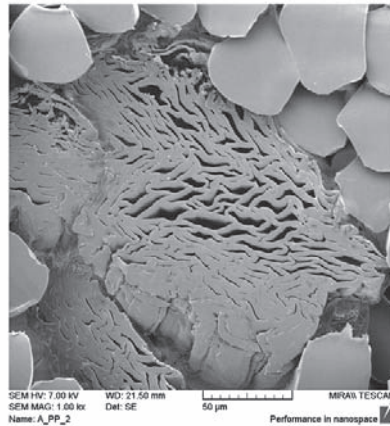
Statistički obrađeni rezultati ispitivanja prekidne sile i istezanja te finoće prikazani su u tablicama, a morfološke karakteristike vlakana agave SEM snimkama.

3.1. Karakterizacija vlakana agave

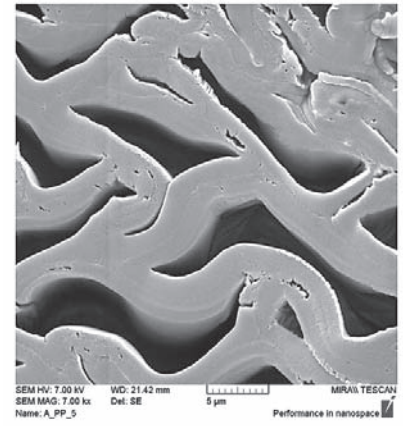
Analizom površine uzoraka nastojalo se utvrditi morfološke karakteristike vlakana agave te morfološke promjene vlakana do kojih, kako se smatra, dolazi na temelju različitosti provedbe postupaka dobivanja.

Na SEM snimkama uzdužnog i poprečnog presjeka vlakana agave (sl.1 do 5) primijećeno je da vlakna izvučena na dva različita načina, imaju sličnu poprečnu i uzdužnu sliku. Dodatno se uočava da su vlakna dobivena postupkom sestara benediktinki rahlije strukture, tj. kao da su elementarna vlakna koja čine jedno tehničko vlakno međusobno malo razdvojena. Naime, vlakna dobivena postupkom sestara benediktinki prilikom čišćenja odnosno odstranjivanja viška mesnatog tkiva agave (mezofila) uz pomoć noža su podvrgnuta blagoj deformaciji, stoga im je poprečni presjek u obliku vrpce, a elementarna vlakna koja čine jedno tehničko vlakno s obzirom na to blago su razdvojena (sl.1).

Za poprečni presjek elementarnih vlakana agave može se reći da je izrazito zgusnut i da se sastoji od velikog broja elementarnih vlakana koja kao da su međusobno slijepljena i na taj način tvore jednu cjelinu, tj. gotovo da se ne vidi i ne može odvojiti elementarno vlakno po vlakno (sl.1b). Rahlost ili zbijenost elementarnih vlakana, veličina međuprostora i dr. utječe na tekstilna svojstva tehničkih vlakana pa tako i kod vlakana agave, a što se očituje u velikoj otpornosti na djelovanje vlačne sile (tab.4 i 5).



a)



b)

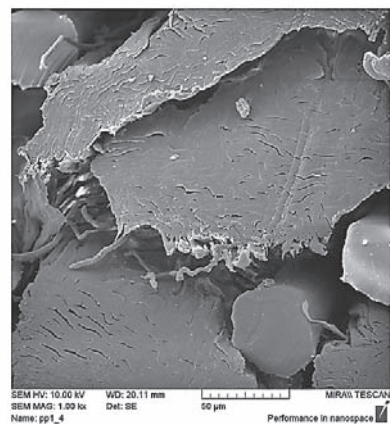
Sl.1 SEM snimke poprečnog presjeka vlakana agave dobivenih standardnim postupkom pri različitim povećanjima: a) 1000x, b) 7000x

Morfološke karakteristike, tj. površina vlakana agave nakon močenja snimana je na listu 1 i listu 2. Uočeno je da nema značajnijih razlika između SEM snimki lista 1 i lista 2 te su u ovom radu prikazane snimke lista 2. SEM snimke poprečnog presjeka vlakana dobivenih močenjem u morskoj vodi prikazuju strukturu tehničkog vlakna sličnu kao kod postupka sestara benediktinki. Tehničko vlakno se sastoji od velikog broja elementarnih vlakana, s time da nakon močenja nije prisutna blaga razdvojenost elementarnih vlakana (sl.2a). Kod poprečnog presjeka elementarnih vlakana agave pri povećanju od 7000x uočava se da je sredina šuplja, a ono što je zanimljivo je to da se sa-

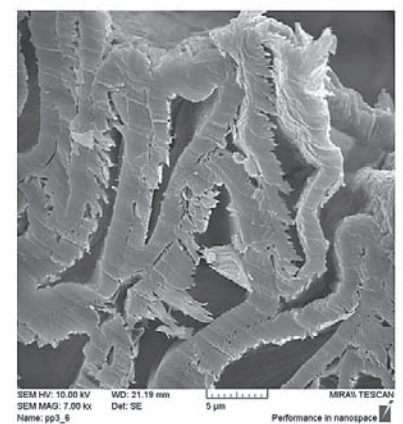
da jasno ocrtavaju linije svakog pojednog elementarnog vlakna i na taj način se stječe dojam da se može odvojiti elementarno vlakno po vlakno (sl.2b).

Na SEM snimkama uzdužnog presjeka vlakana agave dobivenih postupkom sestara benediktinki (sl.3) jasno se uočava tehnička građa vlakna, dok je na vlaknima dobivenim postupkom močenja vidljiva spiralna struktura elementarnih vlakana (sl.4).

Vlakna dobivena standardnim postupkom imaju velik broj poprečnih usjeka ali znatno „pravilniju“ površinu vlakana, u usporedbi s vlaknima nakon postupka močenja gdje su dominantni poprečni usjeci i stršeca

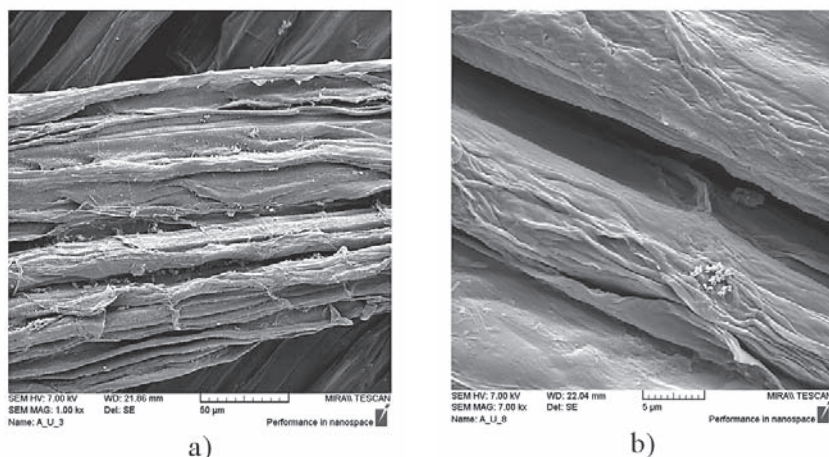


a)



b)

Sl.2 SEM snimke poprečnog presjeka vlakana agave dobivenih močenjem u morskoj vodi pri različitim povećanjima: a) 1000x, b) 7000x



Sl.3 SEM snimke uzdužnog presjeka vlakana agave dobivenih standardnim postupkom pri različitim povećanjima: a) 1000x, b) 7000x

elementarna vlakna spiralnog oblika koja stvaraju dojam grublje i hrpa-vije površine.

Kod uzdužnih slika oba postupka prisutan je velik broj poprečnih usjeka, ali ne toliko velik kao nakon postupka močenja koji je omogućio odvajanje elementarnih vlakana u obliku velikog broja spirala.

Na sl.5 prikazan je izgled površine elementarnih vlakana nakon postupka močenja. Na SEM snimkama uočava se da su elementarna vlakna izrazite spiralne strukture i imaju mjestimično neravnomjerno raspoređene pukotine u obliku većih ili manjih točkica, a za koje se pretpostavlja da su nastale kao posljedica mehaničkog uklanjanja mezofila uz pomoć nokta i/ili noža.

Mikroskopske slike poprečnog i uzdužnog presjeka vlakana agave (sl.1 do 5) pokazuju sve karakteristike vlakana agave, tj. poprečne usjeka kod uzdužnog presjeka kao dokaz da se tehničko vlakno sastoji od elementarnih vlakana te da se elementarna vlakna koja čine jedno tehničko, pojavljuju kao spiralni oblici dok je poprečni presjek blago vrpčastog oblika, ovisno o metodi kojom je dobiveno vlakno [12-15].

3.2. Rezultati ispitivanja finoće vlakana agave

Za određivanje finoće vlakana agave provedeno je 50 mjerenja. Broj mjerenja nije ovisio o praktičnoj granici pogreške, P_{gg} , tj. nije prilagođavan zahtjevu da praktična granica po-

greške bude manja od 5 % s obzirom na to da je riječ o vlaknu velike neravnomjernosti površine, a na temelju spoznaja dobivenih za lanena vlakna [16-17]. Rezultati ispitivanja prikazani su u tab.2 za vlakna izdvojena s ruba i u tab.3 za vlakna izdvojena iz sredine.

Za vlakna agave karakteristična je velika nejednoličnost finoće, neovisno o mjestu s kojeg su izdvojena vlakna – rub ili sredina. Tehnička vlakna izdvojena s ruba imaju finoću u rasponu od 23,30 do 42,39 dtex, a vlakna izdvojena iz sredine imaju finoću od 30,18 do 42,62 dtex.

Razlog nejednoličnosti finoće smatra se da je u samom postupku provedbe metode, tj. posljedici toga da prilikom stavljanja vlakana u stezaljke instrumenta nisu obuhvaćena elementarna vlakna jednake duljine.

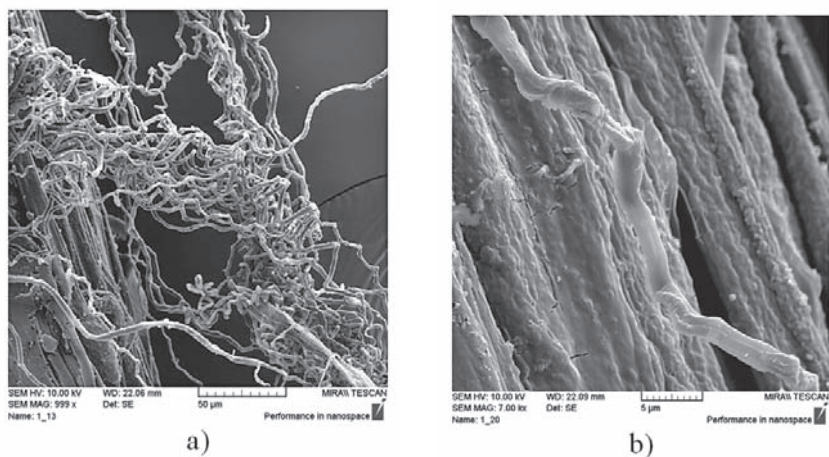
Srednja finoća vlakana agave određena na rubu i u sredini je 88,193 dtex i prema tim vrijednostima vlakna agave se svrstavaju u skupinu grubih vlakana.

Općenito se zna da što su vlakna finija, to se kvalitetnija pređa može od njih proizvesti, a samim time i dobiti čipka finije izrade. Zanimljivo je s obzirom na dobivene rezultate određivanja finoće vlakana agave (gruba vlakna) da je proizvod koji nastaje od njih – hvarska čipka umijeće izrade, krhkosti i mekoće.

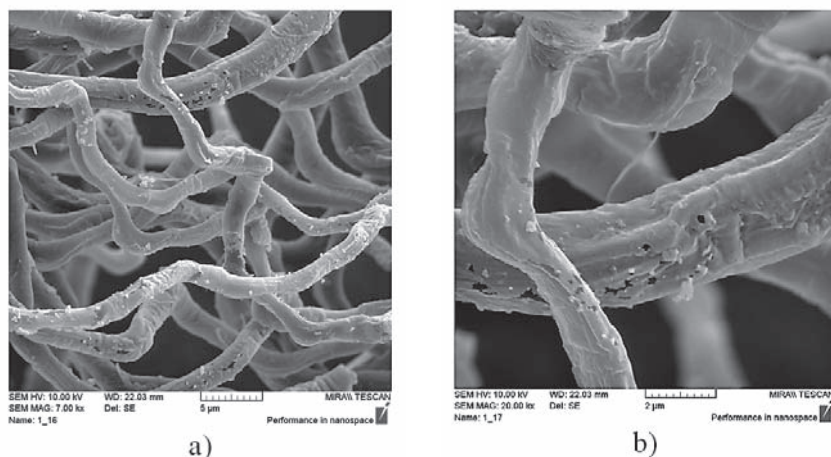
3.3. Rezultati ispitivanja prekidne sile i istezanja

Za karakterizaciju vlakana agave provedena su ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja vlakana u suhom i mokrom stanju, pri čemu je korištena metoda pojedinačnog mjerenja. Rezultati dobiveni metodom pojedinačnog mjerenja prikazani su u tab.4 i 5. U tablicama su navedene aritmetičke sredine za prekidnu silu i prekidno istezanje uz odgovarajuće statističke pokazatelje varijabilnosti. Prije ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja uzorci su kondicionirani u skladu s HRN EN ISO 139.

Na osnovi rezultata dobivenih ispitivanjem čvrstoće i finoće vlakana u



Sl.4 SEM snimke uzdužnog presjeka vlakana agave dobivenih močenjem u morskoj vodi pri različitim povećanjima: a) 1000x, b) 7000x



Sl.5 SEM snimke elementarnih vlakana agave pri različitim povećanjima: a) 7000x, b) 20000x

Tab.2 Rezultati određivanja finoće vlakana agave s ruba listova

Finoća vlakana agave	rub 1	rub 2	rub 3	rub 4	rub 5
$T_{i\min}$ [dtex]	36,90	33,61	42,39	23,30	29,28
$T_{i\max}$ [dtex]	154,70	152,40	137,70	127,80	144,60
\bar{X} [dtex]	92,34	94,51	84,99	82,18	90,14
σ [dtex]	27,86	24,32	23,86	26,59	28,13
V [%]	30,18	25,73	28,07	32,36	31,20
P_{gg} [%]	8,36	7,13	7,78	8,97	8,65

Tab.3 Rezultati određivanja finoće vlakana agave iz sredine listova

Finoća vlakana agave	sredina 1	sredina 2	sredina 3	sredina 4	sredina 5
$T_{i\min}$ [dtex]	42,62	38,50	41,00	35,55	30,18
$T_{i\max}$ [dtex]	191,20	148,50	119,10	135,30	176,60
\bar{X} [dtex]	98,07	91,23	76,24	85,15	87,08
σ [dtex]	30,63	23,34	20,33	21,20	31,33
V [%]	31,23	25,59	26,67	24,90	35,98
P_{gg} [%]	8,66	7,09	7,39	6,90	9,97

Tab.4 Rezultati određivanja prekidne sile i prekidnog istezanja vlakana agave u suhom i mokrom stanju odvojenih s rubova listova

Prekidna sila/ prekidno istezanje	rub 1		rub 2	rub 3	rub 4	rub 5
	suho	mokro	suho	suho	suho	suho
F_{\min} [cN]	18,98	14,79	21,75	18,73	19,34	20,44
F_{\max} [cN]	72,01	45,87	67,03	61,11	65,30	57,49
F_p [cN]	43,46	30,71	37,93	37,53	39,22	37,19
σ [cN]	11,76	6,04	8,89	8,45	9,56	8,44
V [%]	27,06	22,61	23,44	22,51	24,37	22,68
P_{gg} [%]	7,50	6,27	6,50	6,24	6,76	6,29
ϵ_{\min} [%]	10,30	16,20	7,40	8,60	9,80	10,30
ϵ_{\max} [%]	34,60	67,60	44,20	35,20	44,50	39,00
ϵ [%]	23,57	44,02	26,65	23,15	24,22	22,46
σ [%]	5,63	12,37	8,16	7,27	7,75	6,89
V [%]	23,90	28,10	30,61	31,39	31,99	30,66
P_{gg} [%]	6,62	7,79	8,49	8,70	8,87	8,50

suhom stanju, odabrani su uzorci za ispitivanje u mokrom stanju, a u ovom slučaju to su uzorci rub (to je uzorak koji je dao vlakna najveće čvrstoće) i sredina 2 (uzorak koji je dao najniže vrijednosti čvrstoće vlakana). Na tim je uzorcima provedeno ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja u mokrom stanju bez dodatka sredstva za kvašenje, tj. vlakna su se uranjala u destiliranu vodu.

Iz rezultata je uočljivo da su prisutna velika odstupanja u rezultatima prekidne sile i prekidnog istezanja vlakana agave, a što se moglo očekivati s obzirom na to da je riječ o prirodnom i k tome tehničkom vlaknu. Tehničko je vlakno sastavljeno od velikog broja elementarnih vlakana koja su međusobno slijepljena po duljini te čine više ili manje čvrsto povezanu cjelinu, a što se može očitovati većim ili manjim rasipanjem mjernih rezultata. U tab.4 i 5 uočava se velika razlika između najveće i najmanje izmjerene vrijednosti, a izračunate su i velike vrijednosti koeficijenta varijacije.

Vrijednosti prekidne sile u suhom stanju dobivene na rubu kreću se od 37,19 do 43,46 cN, a u sredini od 32,34 do 39,89 cN. Vrijednost prekidne sile u mokrom stanju na rubu iznosi 30,71 cN, u sredini 39,45 cN. Iz rezultata se uočava da je veća čvrstoća vlakana na rubu nego u sredini. Navedeno se može tumačiti činjenicom da je riječ o prirodnim (biljnim) vlaknima, gdje više elementarnih vlakana čini tehničko vlakno koja u prisutnosti vode bubre i ne zadržavaju homogenu strukturu, već se „rasipaju“ te im struktura više nije kompaktna, a s obzirom na to vrijednosti čvrstoće su im niže.

Vrijednosti prekidnog istezanja u suhom stanju dobivene na rubu kreću se od 22,46 do 26,65 %, a u sredini od 17,70 do 28,36 %. Vrijednost prekidnog istezanja u mokrom stanju na rubu iznosi 44,02 %, u sredini 21,40 %. Na temelju dobivenih vrijednosti uočava se da vlakna agave imaju dosta visoke vrijednosti prekidnog istezanja u suhom, a naročito u mokrom

Tab.5 Rezultati određivanja prekidne sile i prekidnog istezanja vlakana agave u suhom i mokrom stanju, odvojenih iz sredine lista

Prekidna sila/ prekidno istezanje	sredina 1	sredina 2	sredina 3		sredina 4	sredina 5
	suho	suho	suho	mokro	suho	suho
F_{min} [cN]	24,20	0,13	1,05	0,16	19,44	17,11
F_{max} [cN]	60,43	55,24	45,89	58,24	55,89	56,39
F_p [cN]	39,89	38,68	32,34	39,45	36,63	36,70
σ [cN]	8,33	9,37	8,35	9,40	8,12	7,86
V [%]	20,87	24,23	25,83	23,83	22,16	21,42
P_{gg} [%]	5,79	6,72	7,16	6,74	6,14	5,94
ϵ_{min} [%]	14,40	1,50	0,50	12,00	8,10	8,30
ϵ_{max} [%]	38,80	34,80	31,90	34,30	35,80	42,80
ϵ [%]	28,36	21,36	17,70	21,40	20,71	23,24
σ [%]	6,12	5,81	6,86	6,67	6,23	7,62
V [%]	21,58	27,21	38,73	31,17	30,09	32,78
P_{gg} [%]	5,98	7,54	10,74	8,82	8,34	9,09

stanju. Tako nešto nije uobičajeno za vlakna iz listova biljaka za koja se smatra da su slabo istezljiva (prekidno istezanje 2 do 3 %).

4. Zaključak

Na temelju provedenih metoda odvajanja vlakana agave, rezultata ispitivanja i njihove analize, može se zaključiti sljedeće:

- Ispitivanje je provedeno na uzorcima agave domaćeg podrijetla, tj. riječ je o „običnoj“ američkoj agavi (lat. *Agave americana* Linne) staroj oko tri godine.
- Izvlačenje vlakana agave postupkom sestara benediktinki je dugotrajan postupak i potrebno je veliko strpljenje kako bi se dobila vlakna dostatne duljine.
- Budući da je riječ o svojevrsnoj tradiciji, taj se postupak mora negovati, ali za potrebe ispitivanja vlakana agave svakako se preporučuje postupak močenja, koji je lakši i brži.
- Na SEM snimkama poprečni presjek je blago vrpčastog oblika, a kod uzdužnog su dominantni poprečni usjeci i stršuća elementarna vlakna spiralnog oblika, koja stvaraju dojam grublje i hrapavije površine.
- Elementarna vlakna su izrazito spiralne strukture s mjestimičnim pukotinama u obliku većih ili manjih

točkica, za koje se pretpostavlja da su nastale kao posljedica mehaničkog uklanjanja mezofila agave.

- Rahlost elementarnih vlakana (kod standardnog odvajanja vlakana) i zbijenost elementarnih vlakana (nakon močenja) utječe na svojstva tehničkih vlakana, što se očituje u velikoj otpornosti na djelovanje vlačne sile.
- Tehnička vlakna izdvojena s ruba imaju finoću u rasponu od 23,30 do 42,39 dtex, a vlakna izdvojena iz sredine imaju finoću od 30,18 do 42,62 dtex.
- Zanimljivo je s obzirom na dobivene rezultate određivanja finoće vlakana agave (gruba vlakna) da je proizvod koji nastaje od njih – hvarška čipka, umijeće izrade i mekoće.
- Iz rezultata prekidne sile se uočava da je veća čvrstoća vlakana na rubu nego u sredini. To se može tumačiti činjenicom da je riječ o prirodnim (biljnim) vlaknima, gdje više elementarnih vlakana čini tehničko vlakno koja u prisutnosti vode bubre i ne zadržavaju homogenu strukturu, već se „rasipaju“ te im struktura više nije kompaktna, a s obzirom na to vrijednosti čvrstoće su nešto niže.
- Na temelju dobivenih vrijednosti prekidnog istezanja uočava se da agava ima dosta visoke vrijednosti

u suhom, a naročito u mokrom stanju. Tako nešto nije uobičajeno za vlakna iz listova biljaka gdje se smatra da su slabo istezljiva (prekidno istezanje 2 do 3 %).

Postupak močenja u pogledu brzine i jednostavnosti provedbe podesniji je za dobivanje vlakana agave, a s obzirom na sve strože ekološke zahtjeve i tendenciju povratka na prirodno valjalo bi razmisliti o korištenju agave kao tekstilne sirovine, ali i o korištenju svih resursa koje nudi agava.

Zahvaljujemo se Sveučilištu u Zagrebu na financijskoj potpori istraživanju vezanoj uz Razvoj visokovrijednih biokompozita s ojačalom od celuloznih vlakana iz domaćih izvora, voditeljice izv.prof.dr.sc. Antonete Tomljenović.

Autori se posebno zahvaljuju sestri Ani (Benediktinski samostan na Hvaru) na velikoj pomoći i savjetima prilikom provedbe tradicionalnog načina dobivanja agavinih vlakana.

Autori se zahvaljuju dr.sc. Maji Andrassy, red.prof. i dr.sc. Ružici Šurini, dipl.ing. na omogućenim mjerenjima na Vibroskopu i Vibrodynu, dr.sc. Sandri Bischof, red. prof. i Zorani Kovačević, dipl.ing. na mjerenjima na SEM-u, a Darku Mihelju, dipl.ing. s PMF-a, Biološki odsjek – Botanički vrt na utvrđivanju vrste i starosti agave.

Literatura:

- [1] Franck A.R.: Guide to agave, cinnamonomum, corymbia, eucalyptus, pandanus, and sansevieria in the flora of Florida, Phytoneuron, 102 (2012) 1-23, ISSN 2153 733X
- [2] Zwane E.P. et al.: Exploitation of *Agave americana* L plant for food security in Swaziland; American Journal of Food and nutrition 1 (2011) 2, 82-88, ISSN 2157-1317
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Agave> - pristupljeno: siječanj 2012.
- [4] <http://www.gorila.hr/profile/zivot/2011/05/05/biljka-agava-sirup-kao-lijek---sok-od-agave> - pristupljeno: siječanj 2012.
- [5] <http://www.tequila.net/tequila-news/latest/agave-plant-focus-of-local-natural-fibre-industry.html> - pristupljeno: studeni 2011.

- [6] Marčelić J.: Gospa Guadalupska Aheropita: Znanost i vjera, Duh i voda, Jelsa, 2006.
- [7] <http://www.youtube.com/watch?v=doqLNmiL8Eg> - pristupljeno: listopad 2012.
- [8] <http://www.min-kulture.hr/default.aspx?id=6029> - pristupljeno: siječanj 2012.
- [9] HRN EN ISO 139:2008 Tekstilije - Standardna atmosfera za kondicioniranje i ispitivanje (ISO 139:2005; EN ISO 139:2005)
- [10] AATCC Test Method 106-2009, Colorfastness to Water: Sea
- [11] Kovačević Z. i sur.: Brnista - zaboravljena tekstilna sirovina, *Tekstil* 59 (2010.) 9, 410-421
- [12] Thamae T., C. Baillie: Influence of fiber extraction method, alkali and silane treatment on the interface of Agave americana waste HDPE composites as possible roof ceilings in Lesotho, *Composite Interfaces*, 14 (2007) 7-9, 821-836
- [13] Chaabouni Y., J.Y. Drean, F. Sakli: Morphological characterization of individual fibre of agave Americana L. *Textile Res. J.*, 176 (2006) 367-374
- [14] Houck Max M.: Identification of Textile Fibre Boca Raton (u.a.): CRC Pr. (u.a.), 2010
- [15] Cook J.G.: Handbook of textile fibres, Volume I, Manmade fibres, Volume II, Natural Fibres
- [16] Šurina R., M. Andrassy, D. Katović: Istraživanje modifikacije lanenih vlakana limunskom kiselinom, *Tekstil* 56 (2007.) 1 1-12, 659-669
- [17] Gašparić P. et al.: Naravno obnovljiva rastlinska tekstilna vlakna, *Tekstilec* 55 (2012) 4, 301-313

SUMMARY

Influence of the procedure of obtaining agave fibers on morphological and mechanical properties

*M. Somogyi Škoc, M. Kordun**

The procedure of producing, i.e. separating agave fibers, and the influence on morphological and mechanical properties were investigated. The characterisation of the domestic agave was undertaken by use of physical-mechanical and chemical methods, for which it was found out that it is a usual American agave (*Lat. Agave americana Linne*). Based on the suggestions of the tips of a Benedictine from Hvar, agave fibers were separated using a more than a hundred year-old procedure by hand from leaves. In addition, agave fibers were soaked in an artificial sea water solution and were cooked in a soap solution, so that one could separate them more easily by hand. The change of tensile strength and elongation in dry (conditioned) and wet condition, fineness and morphological properties of agave fibers were tested.

Key words: agave, agave fibers, Hvar lace, soaking, morphological properties, mechanical properties

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

Department of Materials, Fibres and Textile Testing

Zagreb, Croatia

**Galeb d.d.*

Omiš, Croatia

e-mail: maja.somogyi@ttf.hr

Received January 13, 2013

Einfluss des Verfahrens zur Gewinnung der Agavefasern auf morphologische und mechanische Eigenschaften

Es wurde das Verfahren zur Gewinnung, d.h. der Trennung von Agavefasern und der Einfluss auf morphologische und mechanische Eigenschaften untersucht. Durch Verwendung von physikalisch-mechanischen und chemischen Methoden wurde die Charakterisierung der heimischen Agave durchgeführt, für die festgestellt wurde, dass es sich um eine gewöhnliche amerikanische Agave handelt (*Lat. Agave americana Linne*). Aufgrund der Hinweise einer Benediktinerin aus Hvar wurden Agavefasern durch ein mehr als Hundert Jahre altes Verfahren manuell aus Blättern getrennt. Zusätzlich wurden Agavefasern in einer künstlichen Meerwasserlösung eingeweicht und in einer Seifenlösung gekocht, damit man sie leichter von Hand trennen könnte. Die Veränderung der Reisskraft und der Dehnung in trockenem (konditioniertem) und nassem Zustand, Feinheit und morphologische Eigenschaften von Agavefasern wurden geprüft.