

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA TEKSTILSTVO, GRAFIKO IN OBLIKOVANJE

VLAKNA IZ INDUSTRIJSKE KONOPLJE
***Cannabis sativa* L. ZA RAZLIČNE BIOIZDELKE**

DIPLOMSKO DELO

Vesna KOGOJ

Ljubljana, julij 2016

UNIVERSITY OF LJUBLJANA
FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF TEXTILES, GRAPHIC ARTS AND DESIGN

**FIBRES FROM INDUSTRIAL HEMP *Cannabis sativa* L.
FOR DIVERSE BIOBASED PRODUCTS**

DIPLOMA THESIS

Vesna KOGOJ

Ljubljana, July 2016

PODATKI O DIPLOMSKEM DELU

Število listov: 74

Število strani: 62

Število slik: 45

Število preglednic: 20

Število literaturnih virov: 26

Smer študija: visokošolski strokovni študijski program Konfekcijska tehnika

Mentorica: izr. prof. dr. Tatjana Rijavec

Somentorica: doc. dr. Darja Kocjan Ačko

Člani komisije za oceno in zagovor diplomskega dela:

Predsednica: doc. dr. Mateja Kert

Članica: izr. prof. dr. Tatjana Rijavec

Članica: doc. dr. Darja Kocjan Ačko

Datum oddaje diplomskega dela: 17. junij 2016

Datum zagovora diplomskega dela: 4. julij 2016

ZAHVALA

Za vso pomoč pri izdelavi diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici,izr. prof. dr. Tatjani Rijavec, somentorici doc. dr. Darji Kocjan Ačko ter doc. dr. Mateji Kert.

Za učenje tkanja se zahvaljujem Klari Kostanjšek, univ. dipl. inž., za spodbudo in pomoč pri oblikovanju pa Bojanu Leskošku.

Za spodbudo se zahvaljujem tudi družini.

IZVLEČEK

V diplomskem delu so bile raziskane lastnosti stebel in vlaken petih sort industrijske konoplje *Cannabis sativa* L. var. *sativa*, s Slovenske sortne liste (Bialobrzeskie, Benico, JUSO 11, Unico in Novosadska). Eksperimentalno delo, ki je vključevalo ročno izločanje vlaken iz stebel, je bilo zelo zamudno, pri vzorcu HA 2015, ki je imel zelo razvejena stebela, pa je bila ločitev vlaken od nevlaknatega dela izredno slaba, ker stebela niso bila godena. Konopljena stebela so bila dolga povprečno 183 cm (od minimalne dolžine 80 cm do maksimalne 246 cm). Povprečna masa stebel je znašala 30,7 g (minimalna vrednost 6,8 g, maksimalna 99,1 g). Povprečna debelina stebel spodaj je znašala 2,46 mm (od minimalne vrednosti 0,2 mm do maksimalne 9,5 mm). Povprečna debelina stebel zgoraj je znašala 0,94 mm (minimalna izmerjena vrednost 0,1 mm, maksimalna 11,5 mm). Vlakna so v povprečju predstavljala 32,12 ut. % stebel. Dolžinska masa tehničnih konopljenih vlaken, ki smo jim analizirali natezno trdnost, je znašala povprečno 173,8 N, povprečna pretržna sila 28,58 N, specifična pretržna napetost 257 MPa, pretržni raztezek pa 1,09 %. Pretržna sila elementarnih vlaken je znašala 88,7 N, specifična pretržna napetost 703,1 MPa in pretržni raztezek 6,42 %. Konopljena vlakna so vsebovala povprečno 2,71 % anorganskih snovi (vsebnost pepela), vezala 8,07 % vode pri temperaturi zraka 23 °C in 50 % relativne zračne vlage, vsebovala povprečno 12,3 % v vodi topnih snovi in 8,5 % pektina. Nevita konopljena vlakna so bila uporabljena kot votek za izdelavo okrasne tkanine. Izdelana je bila ročna torbica z okrasno tkanino s konopljenimi vlakni.

Ključne besede: industrijska konoplja, *Cannabis sativa*, bioizdelki, konopljena vlakna

ABSTRACT

This dissertation discusses the properties of stems and fibres of industrial hemp *Cannabis sativa* L. var. *sativa* on five varieties from the Slovenian national list of varieties (Bialobrzeskie, Benico, JUSO 11, Unico and Novosadska). The experimental work included manual extraction of fibres from stalks which was very time-consuming. The stems of the sample HA 2015 were branched, so the separation of fibres from the non-fibrous part was extremely poor, especially because the stems were not retted. In average, the stem stalks were 1829.6 mm long (the minimum length was 800 mm and the maximum 2460 mm). The average mass of stems was 30.7 g (the minimum value of 6.8 g, maximum 99.1 g). The average thickness of the stems on the lower part was 2.46 mm (the minimum value of 0.2 mm to a maximum of 9.5 mm). The average thickness of the stems on the upper part stood at 0.94 mm (the lowest value was measured at 0.1 mm, the maximum at 11.5 mm). In average, the fibres represent/account for 32.12 wt. % of the stems. The analysed technical hemp fibres had a tensile strength of 173.8 N in average, an average breaking load of 28.58 N, the specific breaking stress was 257 MPa and elongation at break was 1.09 %. The breaking force of elementary fibres was 88.7 N, the specific breaking stress 703.1 MPa, and elongation at break was 6.42 %. Hemp fibres contained 2.71 % of inorganic substances (ash) in average, they absorbed 8.07 % of water at an air temperature of 23 °C and 50 % relative air humidity, they contained an average of 12.3 % of water-soluble substances and 8.5 % of pectin. Untwisted hemp fibres were used as weft for the production of decorative fabric. This fabric was used to produce a handbag.

Keywords: industrial hemp, *Cannabis sativa*, biobased products, hemp fibres

KAZALO VSEBINE

IZVLEČEK.....	I
ABSTRACT.....	II
SEZNAM PREGLEDNIC.....	V
SEZNAM SLIK	VI
SEZNAM OKRAJŠAV IN SIMBOLOV.....	VIII
1 UVOD	1
2 TEORETIČNI DEL	2
2.1 INDUSTRIJSKA KONOPLJA V PRETEKLOSTI IN DANES.....	2
2.1.1 Industrijska konoplja v svetu	2
2.1.2 Industrijska konoplja na področju današnje Slovenije	4
2.2 OPIS RASTLINE	6
2.2 PRIDOBIVANJE VLAKEN IZ STEBEL	8
2.3 LASTNOSTI KONOPLJENIH VLAKEN	10
2.4 UPORABA KONOPLJENIH VLAKEN.....	13
2.5 BIOIZDELKI IZ KONOPLJENIH VLAKEN	13
3 EKSPERIMENTALNI DEL	17
3.1 OPISI IN OZNAKE VZORCEV	17
3.1.1 Vremenske razmere v času pridelave konoplje.....	21
3.1.2 Postopek pridobivanja vlaken iz stebel industrijske konoplje	22
3.1.3 Postopek izdelave tekstilije s konopljenimi vlakni v votku	24
3.1.4 Izdelava torbe z okrasom iz konopljenih vlaken	26
3.2 METODE PREISKAV	29
3.2.1 Dolžina stebel	29
3.2.2 Masa stebel in vlaken	29
3.2.3 Debelina stebel	29
3.2.4 Videz vlaken v stereomikroskopu.....	30
3.2.5 Dolžinska masa vlaken	30
3.2.6 Pretržna sila in pretržni raztezek vlaken	30
3.2.7 Vsebnost vlage v vlaknih.....	31
3.2.8 Določitev vsebnosti pektina in v vodi topnih snovi	32
3.2.9 Določitev vsebnosti anorganskih snovi	33

3.3	REZULTATI MERITEV	35
3.3.1	Lastnosti stebel industrijske konoplje	35
3.3.2	Lastnosti vlaken industrijske konoplje	39
3.3.3	Okrasna tkanina s konopljenimi vlakni v votku	47
3.3.4	Izdelek.....	48
4	RAZPRAVA O REZULTATIH Z ZAKLJUČKI	49
4.1	ANALIZA KONOPLJENIH STEBEL.....	49
4.2	ANALIZA KONOPLJENIH VLAKEN	52
4.3	TKANINA Z VZORČNIM KONOPLJENIM VOTKOM IN ROČNA TORBA..	57
4.3	ZAKLJUČKI	58
5	LITERATURNI VIRI.....	59

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Ponudniki konopljenih tekstilij v spletnih trgovinah v Sloveniji	16
Preglednica 2: Opis in gojenje vzorcev konopljenih stebel	17
Preglednica 3: Opis in oznaka vzorcev konopljenih vlaken.....	20
Preglednica 4: Videz vzorcev konopljenih vlaken	20
Preglednica 5: Dolžina stebel	36
Preglednica 6: Masa stebel	36
Preglednica 7: Debelina stebel - spodaj	37
Preglednica 8: Debelina stebel - zgoraj	37
Preglednica 9: Masa tehničnih vlaken, izločenih iz posameznega stebela	38
Preglednica 10: Videz konopljenih tehničnih vlaken v stereomikroskopu.....	39
Preglednica 11: Dolžinska masa tehničnih vlaken	40
Preglednica 12: Pretržna sila tehničnih vlaken (vpeta dolžina 100 mm)	40
Preglednica 13: Pretržna sila elementarnih vlaken (vpeta dolžina 5 mm)	41
Preglednica 14: Pretržni raztezek tehničnih vlaken (vpeta dolžina 100 mm)	41
Preglednica 15: Pretržni raztezek elementarnih vlaken (vpeta dolžina 5 mm)	42
Preglednica 16: Specifična pretržna napetost konopljenih vlaken	42
Preglednica 17: Vsebnost vlage tehničnih vlaken (klimatiziranje 48 ur pri temperaturi 23 °C in relativni zračni vlagi 50 %)	45
Preglednica 18: Vsebnost pepela v tehničnih vlaknih	45
Preglednica 19: Vsebnost vlage v tehničnih vlaknih za določanje vodotopnih snovi in pektina v vlaknih.....	46
Preglednica 20: Topnost konopljenih vlaken v destilirani vodi in amonoksalatu.....	46

SEZNAM SLIK

Slika 1: Fordov avtomobil na konopljeni etanol (a) in Kestrelav električni avtomobil iz konopljenih biokompozitov (b) (Ghaly, 2016).....	3
Slika 2: Površine, zasejane z industrijsko konopljo na območju današnje Slovenije v obdobju od leta 1939 do leta 2013 in hektarski pridelek stebel v obdobju od leta 1939 do leta 1980	4
Slika 3: Vpliv gostote stebel pri pridelavi konoplje na razvejanost stebel	6
Slika 4: Prerez stebela industrijske konoplje na različnih višinah od korenine navzgor (a) in povečani izseki z vidnimi snopi vlaken (b)	7
Slika 5: Mehanizirano spravilo konopljenih stebel (Frank, 2003)	8
Slika 6: Rosenje konopljenih stebel (Frank, 2003)	9
Slika 7: Shema vzdolžnega videza konopljenih elementarnih (enoceličnih) vlaken: A in B - vlakni z viličasto razcepljenima koncema, C in Č - vlakni z zaobljenima koncema, D, E in F - odebeljena vlakna z značilnimi koleni in širokim lumnom (Arsenijević, 1965, str. 85)	10
Slika 8: Shema prečnega prereza snopov konopljenih vlaken: A - videz prečnega prereza vlaken v vodi, B – prazen prostor, C – prečni prerez vlakna v jodožveplovi VI. kislini (Arsenijević, 1965, str. 85)	11
Slika 9: Natezne lastnosti konopljenih vlaken: (a) vpliv premera vlaken (Shahzad, 2013, str. 7) in (b) vpliv godenja in pogojev nateznega preizkušanja (Thamae, 2009, str. 80)	12
Slika 10: Pramen iz 100-odstotnih konopljenih vlaken, konopljena enojna preja na križnem navitku: naravne barve in beljena (http://naturaland.si/)	15
Slika 11: Konopljene vrvi (http://naturaland.si/)	15
Slika 12: Konopljene tkanine izdelujejo v različnih vezavah, debelinah, v naravni barvi in beljene (http://naturaland.si/)	15
Slika 13: Pletiva iz 100-odstotnih konopljenih vlaken (http://naturaland.si/)	16
Slika 14: Videz vzorcev konopljenih stebel (brez vzorca S-HA 2006) za analizo	18
Slika 15: Industrijska konoplja na eksperimentalnem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete 15. avgusta 2006	19
Slika 16: Konoplja (vzorec S-HA) na polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete, Jamnikarjeva 11 v Ljubljani, 11. septembra 2015.....	19
Slika 17: Padavine in temperatura zraka v Ljubljani v letu 2011	21
Slika 18: Mehanska obdelava stebel industrijske konoplje	22
Slika 19: Mehansko obdelano steblo industrijske konoplje (a), ročno ločevanje vlaken od slame (b), slama (c) in tehnična vlakna (č)	23
Slika 20: Vzornici in videza vezav: platno (a, c) in štirivezni votkovi keper (b, č).....	24

Slika 21: Tkanje vzorca na ročnih statvah: (a) napeljevanje osnove, (b) tkanje, (c) čolnička z bombažnima votkoma in (č) priprava votka iz konopljenih vlaken	25
Slika 22: Tehnična skica sprednjega (zgoraj) in zadnjega dela (spodaj) torbe	26
Slika 23: Krojna slika podloge (a), zunanje bombažne tkanine (b) in tkanine z okrasnim vložkom (c).....	27
Slika 24: Krojne slike na bombažni tkanini (a) in na tkanini z okrasnim vložkom (b) ..	28
Slika 25: Aparat Instron za merjenje natezne trdnosti vlakna.....	31
Slika 26: Grelna komora za sušenje vlaken (a), eksikator (b) in komora za klimatiziranje vzorcev (c)	32
Slika 27: Izkuhavanje konopljenih vlaken v destilirani vodi	33
Slika 28: Ostanek pepela po žarenju konopljenih vlaken v žarilnih lončkih (a) in pepel, ki je ohranil obliko vlaken (b)	34
Slika 29: Steblo Novosadske konoplje: (a) segment in (b) vzdolžni prerez stebela.....	35
Slika 30: Prečni prerez stebela Novosadske konoplje: levo – iz spodnjega dela, desno – iz zgornjega dela stebela	35
Slika 31: Krivulje sila/raztezek za vzorce vlaken industrijske konoplje (vpeta dolžina 100 mm)	43
Slika 32: Krivulje sila/raztezek za vzorce vlaken industrijske konoplje (vpeta dolžina 5 mm)	44
Slika 33: Tkanina z okrasnim vložkom iz konopljenih vlaken: (a) surova tkanina, (b) videz okrasnega vložka	47
Slika 34: Ročna torba	48
Slika 35: Uporaba ročne torbe za prenosni računalnik (levo) in kot ženske torbice (desno)	48
Slika 36: Povprečna dolžina konopljenih stebel	50
Slika 37: Korelacija med maso stebel in maso vlaken, pridobljenimi iz stebel	50
Slika 38: Najvišje vrednosti dolžine, mase stebel in vlaken ter debeline stebel.....	51
Slika 39: Lastnosti vlaken, izločenih iz stebel industrijske konoplje	51
Slika 40: Dolžinska masa tehničnih konopljenih vlaken	52
Slika 41: Pretržna sila konopljenih vlaken.....	53
Slika 42: Pretržni raztezek konopljenih vlaken	54
Slika 43: Specifična pretržna napetost konopljenih vlaken	55
Slika 44: Vsebnost vlage v klimatiziranih konopljenih vlaknih	55
Slika 45: Ostanek anorganskih snovi po žarjenju (pepel)	56
Slika 46: Videz štrlečih konopljenih vlaken na površini tkanine: (a) vezava platno, (b) vezava štirivezni votkovni keper	57

SEZNAM OKRAJŠAV IN SIMBOLOV

ASM	absolutno suha masa
CV	koeficient variacije
m	masa
N	število meritev
RZV	relativna zračna vlaga
s	standardni odklon od srednje vrednosti
$x_{\min}$	najmanjša vrednost
$x_{\max}$	največja vrednost
$\bar{x}$	srednja vrednost

1 UVOD

Navadna ali industrijska konoplja (*Cannabis sativa* L. var. *sativa*) je danes vse bolj atraktivna rastlina zaradi semena in olja, ki ju izkoriščajo v prehrani in kozmetiki. Stebla navadne konoplje predstavljajo stranski proizvod pri pridobivanju konopljenih semen. So vir izjemno trdnih vlaken in celuloze iz pezdirdja (nevlaknati ostanki stebel), ki so jih že od pradavnine izkoriščali za tekstilne in tehnične tekstilije ter papir.

Sodobna tekstilna industrija s proizvodnjo vlaken in plemenitenjem že resno ogroža vire pitne vode v svetu, predvsem zaradi porabe velikih količin vode, pesticidov, sintetičnih mineralnih gnojil in drugih kemikalij. S pojavom hitre mode se je potrošnja oblačil izjemno povečala in s tem se je povečalo tudi kopičenje rabljenih oblačil med odpadki, ki predstavljajo dodaten ekološki problem.

Možnosti vračanja biorazgradljivih konopljenih tekstilij na področje oblačil, tekstilij za notranjo opremo, tehničnih tekstilij in izdelava zelenih kompozitov s konopljenimi vlakni so predmet številnih študij v Evropski uniji v zadnjih letih (Vilcina, 2014; van Dam, 2014; Butaud-Stubbs, 2013).

Leta 2001 so bile na Slovensko sortno listo za pridobivanje vlaken in olja uvrščene sorte industrijske konoplje Benico, Bialobrzieskie, JUSO 11, Kompolti hibrid TC, Kompolti kender, Kompolti sargaszaru, Novosadska konoplja in Unico-B. V poljskih poskusih so bile leta 2000 in 2001 sejane sorte Benico, Bialobrzieskie, JUSO 11, Novosadska konoplja, Unico-B (Kocjan-Ačko, 2002, str. 3).

Namen diplomskega dela je bil spoznati postopek pridobivanja konopljenih vlaken in iz njih izdelati uporaben bioizdelek. Cilji diplomskega dela so bili predstaviti različne bioizdelke iz konopljenih vlaken, ki so danes dostopni na trgu in predstavljajo tržne nišne izdelke, alternativne sintetičnim vlaknom; ovrednotiti tekstilnotehnološke lastnosti konopljenih vlaken in uporabiti konopljena vlakna pri izdelavi praktičnega izdelka za vsakdanjo rabo.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 INDUSTRIJSKA KONOPLJA V PRETEKLOSTI IN DANES

Industrijska konoplja uspeva skoraj povsod po svetu, razen v zelo mrzlih območjih Kanade, Grenlandije in Rusije. Prav tako ne uspeva v tropskih predelih Afrike in Južne Amerike. Najugodnejše raste v milem in vlažnem klimatskem okolju, s padavinami vsaj 625 do 750 mm letno (Tahir, 2011, str. 5261).

2.1.1 Industrijska konoplja v svetu

Najstarejši zapisi o izdelavi konopljenih tkanin izvirajo iz Kitajske, iz časa cesarja Sei Nunga iz leta 2.800 pred našim štetjem. Uporabo konopljenih tekstilij v Indiji v času 800 do 900 let pred našim štetjem omenja indijska literatura (Arsenijević, 1965, str. 71). Egipčani so verjetno gojili konopljo le v majhnem obsegu. Grki so jo začeli gojiti okoli leta 450 pred našim štetjem, Rimljani pa od okoli leta 270 pred našim štetjem za ladijske vrvi (Arsenijević, 1965, str. 71).

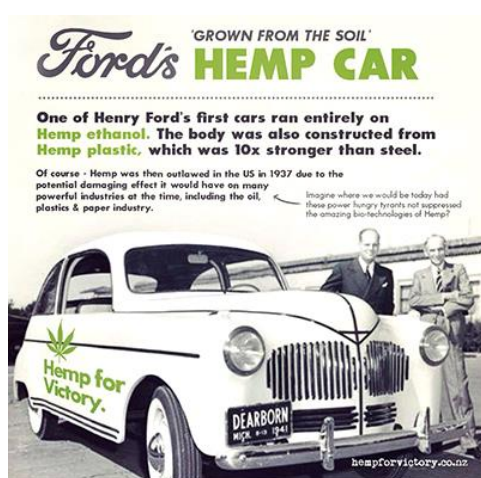
V srednjem veku so v Evropi gojili industrijsko konopljo na območju današnje Velike Britanije, Francije, Nizozemske, Nemčije, Španije ter Italije in sicer predvsem za vlakna.

Vlakna industrijske konoplje so v preteklosti uporabljali za oblačila, za močno platno za jadra, vreče, vodovodne cevi, za vrvi, pa tudi za slikarska platna (Vilcina, 2014, str. 200). V 18. stoletju so konopljo zaradi lažjega obdelovanja in nižje cene začeli zamenjevati z bombažem. Pridobivanje vlaken iz konoplje je bilo vedno bistveno dražje od pridobivanja bombaža. V 19. stoletju so v Evropo začeli uvažati juto in sisal, ki sta z nizkimi cenami, ne pa tudi po kakovosti, še dodatno konkurirali konopljenim vlaknom (Kocjan Ačko, 2015, str. 130).

S prodorom sintetičnih vlaken se je gojenje konoplje za tekstilne namene zelo zmanjšalo in celo zakonsko omejilo (leta 1937 so ZDA dale konopljo na listo rastlin, ki vsebujejo marihuano – Marihuana Tax Act (Vilcina, 2014, str. 200)), čeprav navadna konoplja ni primerna za proizvodnjo psihoaktivne droge, saj

vsebuje zanemarljive količine (pod 0,6 %) delta-9-tetrahidrokanabinolov (THC) (Beckermann, 2007, str. 15).

Leta 1941 je Henry Ford poskušal povečati zanimanje za konopljo, tako da je izdelal avtomobil (slika 1 a) skoraj v celoti iz konopljenih vlaken in plastike, poganjal pa ga je etanol, pridobljen iz konoplje (Ghaly, 2016). Ker je konoplja za tretjino lažja od jekla, hkrati pa desetkrat bolj čvrsta, je bil Fordov avtomobil znatno lažji in izjemno trden. Sodobno kanadsko podjetje Kesterel je izdelalo okolju zelo prijazen električni avtomobil iz konopljenih biokompozitov (slika 1 b).



(a)



(b)

Slika 1: Fordov avtomobil na konopljeni etanol (a) in Kestrelav električni avtomobil iz konopljenih biokompozitov (b) (Ghaly, 2016)

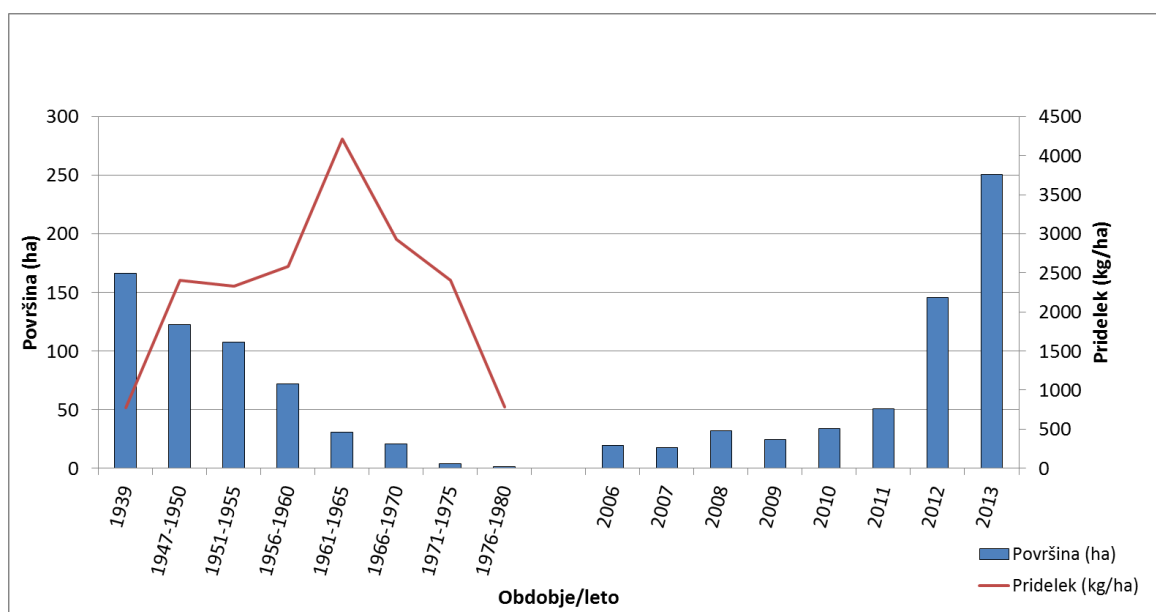
Največji svetovni proizvajalci konoplje so danes Kitajska, Severna Koreja in Kanada (Vilcina, 2014, str. 201). V letu 2010 je znašala svetovna proizvodnja konopljenih vlaken 100.000 ton, kar je predstavljalo le 0,2 odstotka vseh vlaken (van Dam, 2014, str. 9). Največji svetovni proizvajalci industrijske konoplje v letu 2013 so bili Južna Koreja (20.000 hektarov), Kitajska (5.000 hektarov), Čile (4.500 hektarov), Rusija (4.000 hektarov) in Ukrajina (2.000 hektarov) (FAO, 2013).

Leta 2013 so bile največje površine, zasejane z industrijsko konopljo v Evropi, v Romuniji s 1.600 hektari, sledile so Nizozemska s 1.284 hektari, Avstrija in Italija s po 600 hektari, Madžarska s 300 hektari, Češka z 200 hektari, Poljska s 70 hektari in Španija z 10 hektari zasejanih površin (FAO, 2013).

2.1.2 Industrijska konoplja na področju današnje Slovenije

Na področju današnje Slovenije je v drugi polovici 18. stoletja bilo okrog 2.000 hektarov njiv, posejanih z industrijsko konopljo, predvsem na Gorenjskem, Štajerskem, v Prekmurju in v Beli krajini, v prvi polovici 20. stoletja pa le še okrog 150 hektarov (Kocjan Ačko, 2015, str. 132).

Na sliki 2 je grafično prikazano gojenje industrijske konoplje na področju današnje Slovenije. Od leta 1939, ko je bilo zasejanih 166 hektarov površin, je gojenje konoplje strmo upadalo in v sezonah 1976–1980 doseglo najmanjšo površino, le en hektar. Po letu 2006 beležimo ponovno zanimanje za industrijsko konopljo, ko so jo posejali na 20 hektarjih. Sledil je trend počasnega povečevanja zemljišč posejanih s konopljo, in sicer v letu 2012 prvi večji porast na 146 hektarov, leta 2013 je bilo konoplje že 251 hektarov, leta 2015 pa okoli 500 ha.



Slika 2: Površine, zasejane z industrijsko konopljo na območju današnje Slovenije v obdobju od leta 1939 do leta 2013 in hektarski pridelek stebel v obdobju od leta 1939 do leta 1980

(Kocjan Ačko, 2015, str. 132 in <http://www.stat.si>, 2016)

Do sredine 19. stoletja so v kmetijstvu na Slovenskem še veliko uporabljali konopljene izdelke (vrvi, vrvice, ponjave idr.). Konopljena vlakna so v 20. stoletju uvažali za izdelavo vrvi (Motvoz in platno Grosuplje), nepremočljivega platna in gasilskih cevi (Induplati Jarše), za izdelavo oblačil pa jih niso več uporabljali (Rijavec, 2014, str. 75).

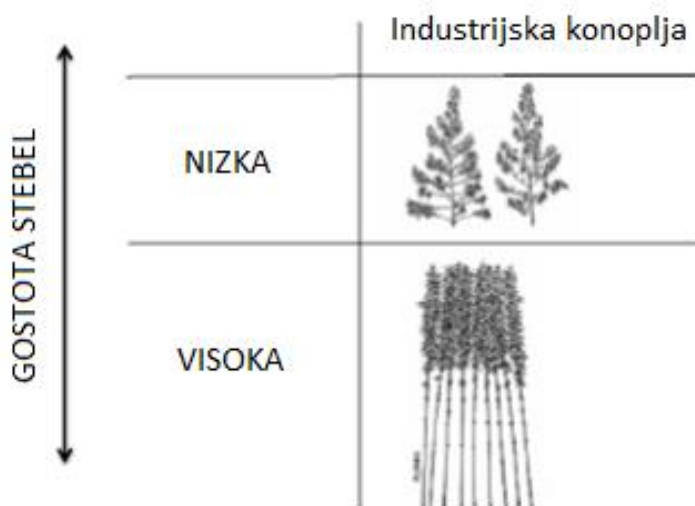
V diplomskem projektu je Malek (2010) navedel, da:

- »Zaradi novih načel o zdravem načinu življenja se je ob koncu 20. stoletja zanimanje za izdelke iz konoplje povečalo - predvsem na področju prehrane, kozmetike, zdravilstva in tekstila. Danes je v Sloveniji dovoljeno pridelovati industrijsko konopljo, ki ne vsebujejo več kot 0,2 % THC v suhi snovi rastline (Kocjan Ačko, 1999; Pravilnik ..., 2007).« (Malek, 2010, str. 2).
- »Danes rastlina zopet pridobiva na veljavi, vendar pa je na področju pridelave, predelave in zakonodaje še marsikaj za postoriti. K boljšim pogojem za pridelavo bo prispeval razvoj ustrezne mehanizacije, uvajanje novih tehnologij pridelave, ureditev zakonodaje in izobraževanje javnosti ter kmetovalcev o prednostih konoplje.« (Malek, 2010, str. 13).
- »Raziskave z navadno konopljo izvedene v Sloveniji so pokazale, da je njena pridelava smiselna tudi pri nas. Določene sorte so dale zadovoljivo količino pridelka stebel in semen, ki je bil odvisen predvsem od tehnologije pridelave in vremenskih razmer. Primerni za pridelavo stebel in semen sta se izkazali Unico-B, JUSO 11.« (Malek, 2010, str. 13).

2.2 OPIS RASTLINE

Industrijska konoplja je enoletna, dvodomna (moška in ženska) rastlina, ki jo gojijo za vlakna in semena. Rastlina z moškimi cvetovi (belica) zraste daljša kot rastlina z ženskimi cvetovi (črnica), vendar ko belici odpadejo cvetovi, je manjša od črnice.

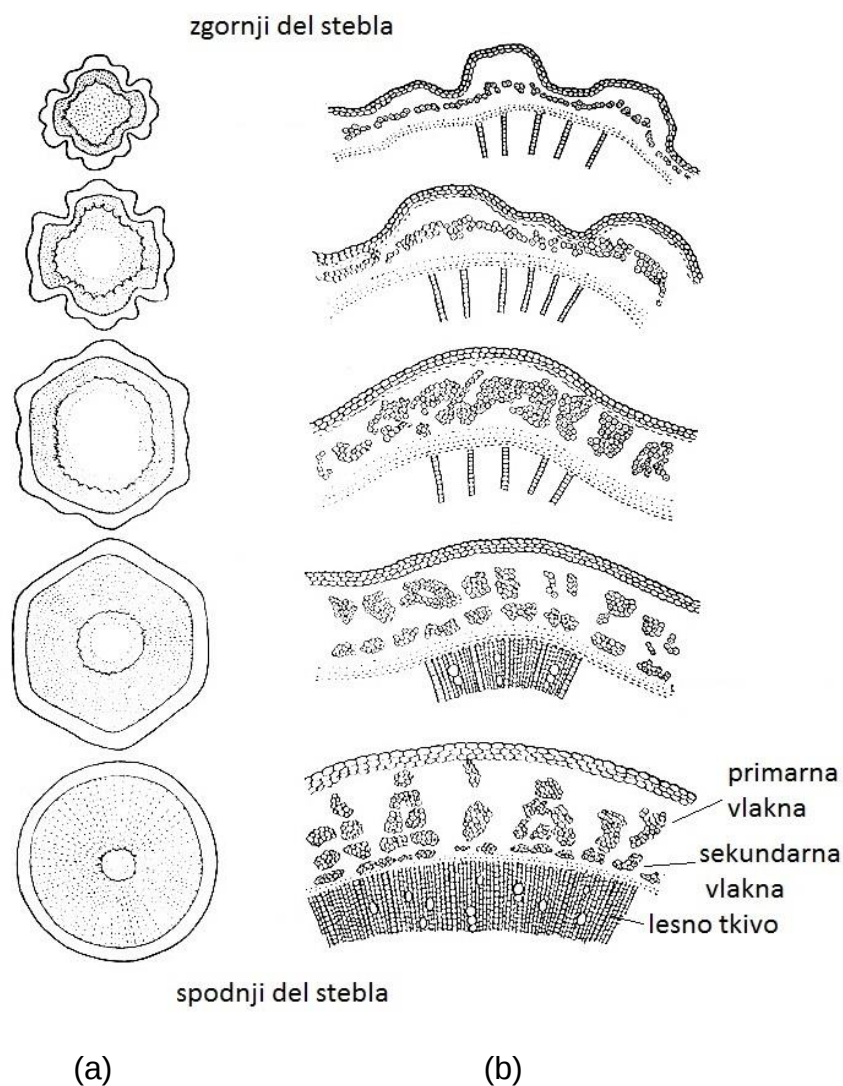
Industrijska konoplja zraste v višino do tri metre, včasih tudi več. Vlakna pridobivajo iz celotnega stebela, razen iz vrha. Debelina stebela je odvisna od sorte, kakovosti zemlje, gnojenja in vremenskih razmer in doseže vrednosti od 0,4 do dva centimetra. Za pridobivanje vlaken so najboljše rastline višine dva metra in debeline stebela 0,5 centimetra (Batra, 1985, str. 745). Če konopljo sejejo redko, se razraste v obliki drevesa, pri pravilni setvi pa je le vrh vejnat (slika 3) (Kočevar, 1950, str. 126).



Slika 3: Vpliv gostote stebel pri pridelavi konoplje na razvejanost stebel

Prečni prerez stebela je proti vrhu zvezdaste oblike (slika 4). Steblo je pri zrelejših rastlinah na sredini votlo, pri nezrelih pa zapolnjeno. Stržen v jedru stebela je obdan z olesenelim predelom v obliki kolobarja, nad katerim je v ličju lubja razporejena primarna in sekundarna plast nezvezno razporejenih vlaken. Iz sheme presekov konopljinega stebela je razvidno, da vsebuje največjo količino vlaken spodnji del stebela, višje proti vrhu pa se količina vlaken zmanjšuje. V skorji konoplje so

primarna in sekundarna vlakna. Primarnih je več, okrog 70 odstotkov, in so daljša od sekundarnih vlaken. Vsebujejo veliko celuloze in malo lignina ter so bistveno bolj uporabna od sekundarnih, ki so srednje dolžine in vsebujejo več lignina.



Slika 4: Prerez stebela industrijske konoplje na različnih višinah od korenine navzgor (a) in povečani izseki z vidnimi snopi vlaken (b)
(Schönefeld, 1955, str. 89)

Vlakna iz ženske rastline so v primerjavi z vlakni iz moške rastline bolj groba, trša in manj prožna. Moške rastline dozoriyo dva do tri tedne pred žensko rastlino (Arsenijević, 1965, str. 72), zato je priporočljivo dvodomne rastline žeti dvakrat. Sočasno zorenje in s tem žetev je mogoče le pri enodomnih sortah konoplje.

2.2 PRIDOBIVANJE VLAKEN IZ STEBEL

Konopljena vlakna pridobivajo iz stebel podobno kot lanena vlakna v naslednjih fazah:

- spravilo oziroma žetev stebel (angl. *harvesting*) (slika 5),
- sušenje štiri do pet dni in odstranitev semen,
- godenje (angl. *retting*) (slika 6),
- sušenje stebel in
- razlesenitev, to je ločitev vlaken od preostalega dela stebela (Rijavec, 2000, str. 21), ki obsega drobljenje (angl. *breaking*) stebel in trenje (angl. *scutching*).



Slika 5: Mehanizirano spravilo konopljenih stebel (Frank, 2003)

Godenje konopljenih stebel je najpomembnejša faza pridobivanja vlaken. Pri godenju se pektin in hemiceluloze med vlakni in olesenelim delom stebela zrahljajo in razgradijo. Godenje lahko opravijo biološko (rosenje ali encimske obdelave) ali kemično. Pri biološkem godenju s pomočjo rose (rosenje) (slika 6) ali v vodi (10 do 15 dni v tekoči ali stoječi vodi v bazenih pri temperaturi 15–20 °C (Batra, 1985, str. 746) konopljena stebela namakajo, da se razvijejo bakterije, ki iz zunanjega dela stebela prodrejo v razrahljano in nabreklo strukturo skorje ter pričnejo z razkrojem pektina in hemiceluloz.



Slika 6: Rosenje konopljenih stebel (Frank, 2003)

Konopljo pogosto pridelujejo tudi brez godenja, tako da odstranijo nevlaknato tkivo že iz svežih stebel na posebnih strojih – dekortikatorjih (Rijavec, 2000, str. 20). Ta način je hitrejši in cenejši, vendar dobijo bolj groba vlakna, ki so primerna za vrvi, mreže in grobo prejo.

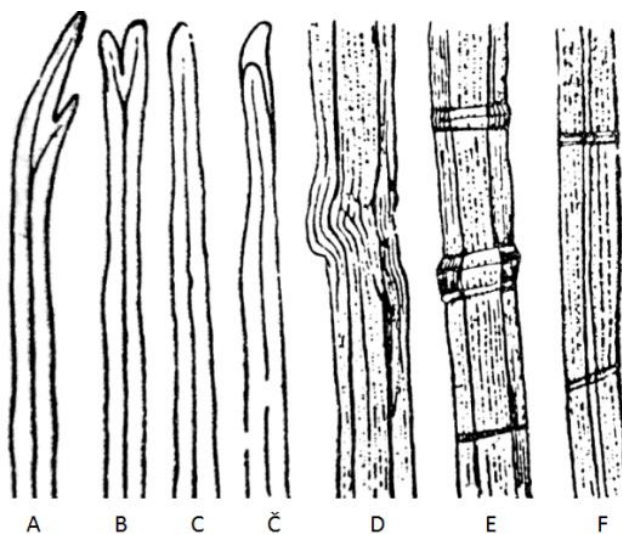
Konopljena vlakna, pridobljena iz v vodi godenih stebel, imajo kremnobelo barvo, lesk, so mehka in upogljiva. Uporabna so kot nadomestilo za lanena vlakna (Matthews, 1924, str. 793). Konopljena vlakna, pridobljena z rosenjem godenih stebel, so sive barve in grobega otipa. V preteklosti so jih uporabljali za morske in druge vrvi, vrvico za ribolov, za surovo platno, za ročno predenje, preproge in za osnovo pri izdelavi preprog vseh vrst (Matthews, 1924, str. 793).

Konopljena vlakna za prodajo razvrščajo (angl. *grading*) po barvi vlaken in lesku. Standardizirane metode za razvrščanje konopljenih vlaken ne obstajajo.

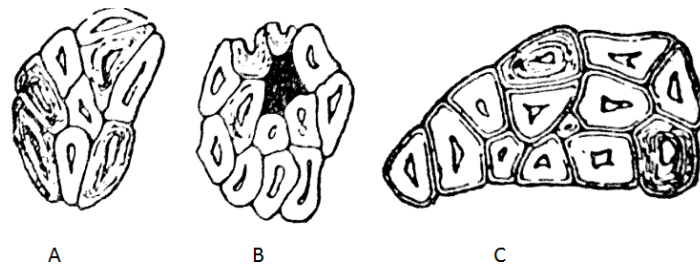
2.3 LASTNOSTI KONOPLJENIH VLAKEN

Tehnična vlakna (angl. *strands*) so dolga do 2.000 mm (Cook, 1984, str. 18). Tehnično vlakno konoplje je sestavljeno iz 10–40 elementarnih vlaken (odmrlih rastlinskih celic), ki so medsebojno zlepljene z medceličnimi stenami, ki vsebujejo predvsem pektin in lignin.

Elementarna vlakna so dolga 13–26 mm (Cook, 1984, str. 18), debeline 16–50 mikrometrov, v povprečju okrog 22 mikrometrov (Wilbrandt et al., 1967, str. 78), finoče 2–6 dtex (Viti, 1980, str. 147). Konci vlaken so zaobljeni ali razvejeni (slika 7). Prečni prerez elementarnih vlaken (slika 8) je petero- ali šesterokoten ali ovalen (Arsenijević, 1965). Lumen je večji kot pri lanenih vlaknih, sekundarna celična stena pa je tanjša kot pri lanenih vlaknih. Vlakna imajo prečne odebelitve (»kolena«) ali premaknitve, ki povečujejo neenakomernost konopljenih prej.



Slika 7: Shema vzdolžnega videza konopljenih elementarnih (enoceličnih) vlaken:
A in B - vlakni z viličasto razcepljenima koncema, C in Č - vlakni z zaobljenima koncema, D, E in F - odebeljena vlakna z značilnimi kolena in širokim lumnom
(Arsenijević, 1965, str. 85)



Slika 8: Shema prečnega prereza snopov konopljenih vlaken: A - videz prečnega prereza vlaken v vodi, B – prazen prostor, C – prečni prerez vlakna v jodožveplovi VI. kislini (Arsenijević, 1965, str. 85)

Konopljena vlakna so kemično sestavljena iz (Sponner, 2005, str. 183):

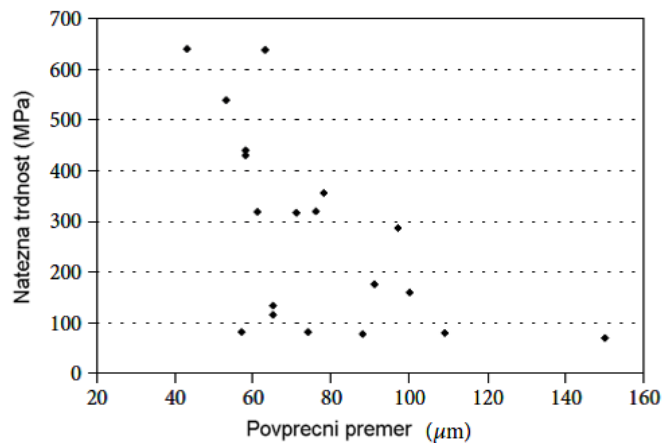
- 75 % celuloze,
- 9,5 % pektina in lignina,
- 2,1 % vodotopnih snovi,
- 10 % vode,
- 0,8 % anorganskih snovi,
- 0,6 % rastlinskih voskov in maščob in
- 2 % drugih snovi.

Zaradi velike vsebnosti lignina je barva konopljenih vlaken od rumenozelene in rumenorjave do rjave. Ker so močno obarvana, jih težko belijo, posledica beljenja pa je zmanjševanje trdnosti. Veliko lignina povzroča tudi večjo togost kot pri lanu. Zaradi lignina imajo konopljena vlakna protibakterijski učinek.

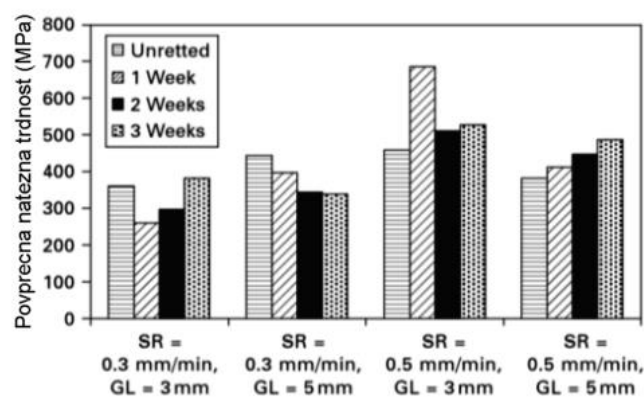
Količina vode, ki jo vsebujejo klimatizirana konopljena vlakna v standardni atmosferi (repriza), je 12 odstotkov. Pri 95-odstotni relativni zračni vlagi vežejo do 30 odstotkov zračne vlage. Gostota vlaken znaša 1,48–1,50 g/cm³ (Wilbrandt et al., 1967, str. 79).

Konopljena vlakna so pri segrevanju stabilna do okrog 150 °C, nato pa se začnejo počasi razgrajevati, najprej hemiceluloze, nad 250 °C pa se razgrajujeta tudi celuloza in lignin. Razgradnja poteka zelo hitro in se zaključi pri 360 °C (Shahzad, 2013, str. 5).

Mehanske lastnosti so: specifična pretržna napetost tehničnih konopljenih vlaken znaša 5,0–8,0 cN/dtex, pretržni raztezek 1,0–1,8 odstotka; v mokrem se trdnost poveča za 102–106 odstotka (Tekstilni leksikon, 1989, str. 418). Diagram na sliki 9 a prikazuje odvisnost natezne trdnosti od premera konopljenih vlaken, kjer vidimo trend zniževanja trdnosti vlaken z naraščanjem premera elementarnih vlaken. Slika 9 b prikazuje odvisnost natezne trdnosti konopljenih vlaken od pogojev godenja in preizkušanja (vpete dolžine in hitrosti raztezanja vlaken). Višja hitrost raztezanja vlakna vpliva na višje izmerjene natezne trdnosti vlaken, manjša vpeta dolžina (razdalja med prižemama, med katerima je vpeto vlakno) pa ima za posledico višje izmerjene vrednosti pretržne napetosti vlaken, ker se tako bolj izkoristi trdnost elementarnih vlaken.



(a)



(b)

Slika 9: Natezne lastnosti konopljenih vlaken: (a) vpliv premera vlaken (Shahzad, 2013, str. 7) in (b) vpliv godenja in pogojev nateznega preizkušanja (Thamae, 2009, str. 80)

2.4 UPORABA KONOPLJENIH VLAKEN

V naravni barvi danes uporabljajo konopljena vlakna predvsem za tehnične namene, kot so vrvi, vrvce, tkanine za šotore, podloge preprog, za vrvaste preproge ipd.

Kotonizirana konopljena vlakna, to je v elementarna vlakna razgrajena tehnična vlakna, lahko mešajo z bombažnim predivom in uporabljajo za finejše izdelke, predvsem za oblačila, posteljnino, sukance, prte in drugo kuhinjsko perilo.

Konopljena vlakna danes uporabljajo tudi v avtomobilski industriji kot polnilo v avtomobilskih sedežih, predvsem pa v kompozitih za ojačitev matrice. Uporabljajo jih tudi v gradbeništvu za toplotno izolacijo ekohiš.

Papir iz konopljenih vlaken namenjajo tudi za izdelavo bankovcev. Slama ali pezdur (angl. *shiever*) je nevlaknati ostanek pri predelavi stebel. Uporabljajo ga tudi za izdelavo papirja, zastirk za zatiranje plevela, kot izolacijsko maso, za betonske kompozite oziroma kot gradbeni material za ekohiše (Kocjan Ačko, 2015, str. 135).

2.5 BIOIZDELKI IZ KONOPLJENIH VLAKEN

Biotekstilni izdelki so vsi izdelki, ki so izdelani v celoti iz naravnih materialov. Te je človek v pradavnini sam izdeloval iz kož in krzna živali ter posušenih in predelanih rastlin. Danes so naravni materiali spet priljubljeni, med drugim zaradi trendov, ki narekujejo enostavnost oblik in barv. Med materiali za izdelavo oblačil so posebej priljubljene tekstilije in oblačila iz konopljenih vlaken, ki jih zadnja leta na trgu ponujajo kot okolju in koži prijazne, varovalne in udobne materiale. Danes že veliko ljudi zavrača sintetične materiale, ki lahko škodujejo zdravju. Konfekcionirana oblačila so pogosto povezana z izkoriščanjem delovne sile v tekstilni industriji, še posebej v Bangladešu, Indiji in na Kitajskem. Kot upor takšnemu načinu množične proizvodnje se uveljavljajo unikatna oblačila in izdelki iz naravnih materialov.

Konopljena vlakna predelujejo v različno fina prediva in preje. Konopljene tkanine in pletiva iz tehničnih vlaken so zelo groba in toga ali pa tudi mehka in svilnata na otip, kadar so izdelana iz kotonina (kotoniziranih vlaken). Tehnična vlakna uporabljajo za vrvi, preproge in za obutev. Za posteljnino, spodnje perilo, otroška oblačila, sedežne garniture pa uporabljajo konopljeni kotonin.

Z beljenjem razgradijo lignin in druge pigmentirane snovi v vlaknih. Konopljeni izdelki so najpogostejše sivkaste ali rahlo rjavkaste barve, saj jih običajno ne belijo. Oblačila so kljub temu udobna, poleg tega pa protibakterijska in nealergena.

Tkanine iz stoddotnih konopljenih vlaken so neelastične in toge. Za izboljšanje raztegljivosti materiala med tkanjem dodajajo elastanske preje. Pri pletivih elastičnost dosežejo z različnimi načini pletenja. Prav tako lahko različna naravna vlakna med seboj mešajo: najpogostejše so mešanice konoplje z lanom, bombažem in bambusovo viskozo.

Pri izdelavi bioizdelkov mora ekološkim načelom ustrezati celoten proces od začetka sajenja do izdelave končnega izdelka. Pomembni so izbira semena, način gojenja brez pesticidov, skladiščenje, transport in končna predelava v izdelek za prodajo. Bioizdelki iz konopljenih vlaken imajo certifikate Oeko Tex in GOTS, ki dokazujejo, da so ekološki in vsebujejo vsaj 95-odstotnih konopljenih vlaken. Izdelki iz naravnih materialov so biorazgradljivi, zato po koncu uporabe ne onesnažujejo okolja.

Na slikah od 10 do 13 so predstavljeni različni bioizdelki iz 100-odstotnih konopljenih vlaken: tkanine izdelujejo v različnih širinah, od 130, 150, 180 do 260 cm in različnih ploščinskih masah, od 85 g/m² (gaza) do 530 g/m² (ploskovna tekstilija). Njihove cene segajo od 18 evrov za tekoči meter (gaza) do skoraj 48 evrov za blago širine 260 centimetrov (preglednica 1, <http://naturaland.si/>).

V preglednici 1 so zbrani pomembnejši spletni ponudniki tekstilnih izdelkov iz konopljenih vlaken: metrsko blago, posteljnina, oblačila, vrvi in obutev.



Slika 10: Pramen iz 100-odstotnih konopljenih vlaken, konopljena enojna preja na križnem navitku: naravne barve in beljena (<http://naturaland.si/>)



Slika 11: Konopljene vrvi (<http://naturaland.si/>)



Slika 12: Konopljene tkanine izdelujejo v različnih vezavah, debelinah, v naravni barvi in beljene (<http://naturaland.si/>)



Slika 13: Pletiva iz 100-odstotnih konopljenih vlaken (<http://naturaland.si/>)

Preglednica 1: Ponudniki konopljenih tekstilij v spletnih trgovinah v Sloveniji

Izdelek	Podjetje	Cena (€)	Lastnosti	Vir
Posteljina	Naturaland	129	zračna, protimikrobna, pralna pri 60 °C, trpežna	http://naturaland.si/
Jakna	Hannah Biz d.o.o.	280	nepremočljiva, diha, podložena s krznom	http://www.hannah-biz.si/
Ležišče (polnilo)	Elegant d.o.o.	59	udobno, toplo	http://www.hempy.si/
Nogavice	Polzela tovarna nogavic d.d.	12	mehak otip, zračne	https://nabis.polzela.com/
Kapa	Slog d.o.o.	/*	varovanje pred sončnimi žarki	https://www.etnikaslog.si/
Vrvi	Konopko zadruga	4,39 (za kolut)	visoka trdnost	http://konopko.si/
Metrsko blago	Svet metraže, Bema Trade d.o.o.	23,90 (za tekoči meter)	na otip podobno lanu, odporno na piling, zračno	https://svetmetraze.si/

* – ni podatka.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 OPISI IN OZNAKE VZORCEV

V raziskavo smo vključili stebila osmih vzorcev industrijske konoplje (preglednica 2, slika 14) in tehnična konopljena vlakna (preglednica 3), ki smo jih iz vzorcev stebel ročno izločili. Vremenske razmere gojenja leta 2011 so opisane v točki 3.1.1. Vsi vzorci stebel industrijske konoplje so bili vzgojeni na eksperimentalnem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, pod vodstvom doc. dr. Darje Kocjan Ačko.

Preglednica 2: Opis in gojenje vzorcev konopljenih stebel

Oznaka vzorca stebel	Čas gojenja	Godenje	Število stebel
S-Bialobrzeskie	2011	Ne	12
S-Benico	2011	Ne	6
S-JUSO 11	2011	Ne	9
S-Unico-B	2011	Ne	9
S-Novosadska	2011	Ne	10
S-HA 2006	2006	Ne	100
S-NN	2011	Ne	25
S-HA 2015	2015	Ne	30

Sorti **Bialobrzeskie** in **Beniko** izvirata iz Poljske. Center vzgoje obeh se nahaja v Poznaniu (*Institute for Natural Fibers*). V primerjavi s sorto Unico-B sta obe sorti zgodnejši, saj cvetita 3 do 4 tedne pred njo in tudi zrnje doseže zrelost vsaj 14 dni prej. **JUSO 11** je ukrajinska sorta (*Institute of Bast Crops*). Sorta je bila dobljena s križanjem Dneprovskaya 4, Juso 21 in Dneprovskaya Odnodomnaya 6. Registrirana je bila leta 1984 v takratni Sovjetski zvezi. **Unico-B** je madžarska sorta z inštituta GATE - Rudolf Fleischmann (*Agricultural Research Institute*). **Novosadska konoplja** je srbska sorta z *Instituta za ratarstvo i povrtarstvo v*

Novem Sadu. Sorta je bila požlahtnjena v sredini 20. stoletja na osnovi Flajšmanove konoplje, uradno priznana pa je bila šele leta 1989. Sorta Novosadska konoplja je znana po velikem pridelku stebel in semen ter po precej visokih rastlinah (Kocjan Ačko in sod., 2002).



Slika 14: Videz vzorcev konopljenih stebel (brez vzorca S-HA 2006) za analizo

Vzorci S-HA 2006, S-NN in S-HA 2015 so neznane sorte:

- vzorec S-HA 2006 je verjetno Novosadska sorta, ki izhaja iz poljskih poskusov leta 2006. Dolžina stebel in analiza semen Novosadske konoplje so podani v članku (Kavčič, Kocjan Ačko, 2012, str. 5).
- vzorec S-NN je bil brez oznake.
- vzorec S-HA 2015 je bil vzgojen na širši medvrstni razdalji, saj vsa semena niso vzknila. Rastline vzorca S-HA 2015 so bile močno razvejene (slika 16), kar je posledica razpoložljivega prostora, ki jim je bil na voljo.



Slika 15: Industrijska konoplja na eksperimentalnem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete 15. avgusta 2006



Slika 16: Konoplja (vzorec S-HA) na polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete, Jamnikarjeva 11 v Ljubljani, 11. septembra 2015

Stebila so bila požeta ročno s srpom in zvezana v snope. Te so na Oddelku za agronomijo posušili, odstranili semena, nato pa smo na Oddelku za tekstilstvo,

grafiko in oblikovanje ročno izločili vlakna brez predhodnega godenja (preglednici 3 in 4). Postopek izločanja vlaken iz stebel je opisan v točki 3.1.2.

Preglednica 3: Opis in oznaka vzorcev konopljenih vlaken

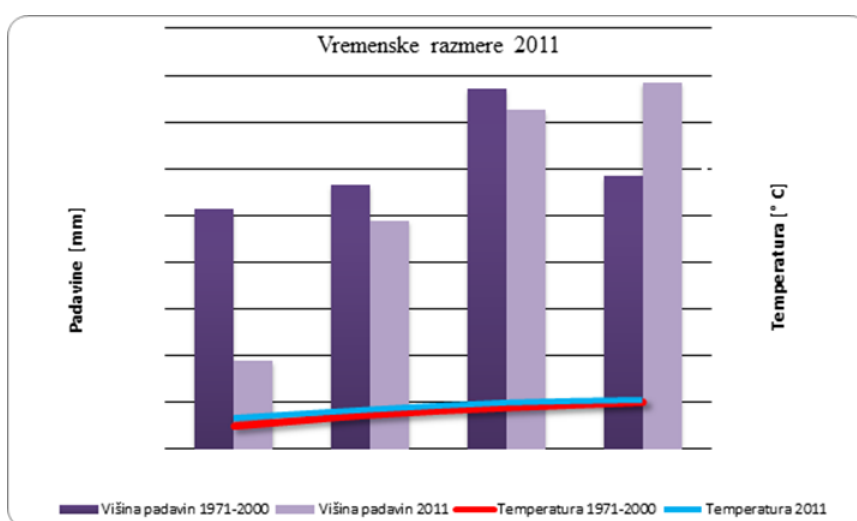
Oznaka vzorca	Opis vzorca vlaken
Bialobrzeskie	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-Bialobrzeskie
Benico	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-Benico
JUSO 11	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-JUSO 11
Unico-B	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-Unico-B
Novosadska	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-Novosadska
HA 2006	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-HA 2006
NN	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-NN
HA 2015	Vlakna, ročno izločena iz stebel vzorca S-HA 2015

Preglednica 4: Videz vzorcev konopljenih vlaken

			
HA 2006	NN	Bialobrzeskie	Benico
			
JUSO 11	Unico-B	Novosadska	HA 2015

3.1.1 Vremenske razmere v času pridelave konoplje

Vzorci šestih sort industrijske konoplje, ki smo jih vključili v raziskavo (preglednica 2), so bili vzgojeni v letu 2011 v poskusih na polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete, Jamnikarjeva ulica 101 v Ljubljani, pod vodstvom doc. dr. Darje Kocjan Ačko. Padavine v letu 2011 (slika 17) so bile spomladi nižje, v jeseni pa znatno višje od povprečja zadnjih tridesetih let. Temperature so bile malenkost višje od povprečja zadnjih tridesetih let.



Slika 17: Padavine in temperatura zraka v Ljubljani v letu 2011

Gojenja konoplje v letu 2011 nismo spremljali, v letu 2015 pa smo spremljali celoten proces od setve, to je od maja, do žetve v začetku septembra 2015. Rastlin med rastno dobo nismo gnojili, niti škropili proti boleznim in škodljivcem.

Začetna slaba rast konopljenih rastlin zaradi suše v pomladnih mesecih se je v času poletja izboljšala zaradi večjih količin padavin v drugi polovici poletja. V poznem poletju je bilo vreme suho. Konoplja je na začetku jeseni zaključila rast in razvoj s semenjem (slika 16).

3.1.2 Postopek pridobivanja vlaken iz stebel industrijske konoplje

Vlakna iz vzorca stebel industrijske konoplje S-HA 2015 smo ročno izločili v juliju 2015 na prostem, ko je bila temperatura zraka 30 °C.

Stebila vseh ostalih vzorcev smo sušili od 30. oktobra 2015 do 30. januarja 2016 v kurilnici Oddelka za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje pri temperaturi zraka 30 °C in jih nato v istem prostoru ročno izločili v februarju 2016.

Konopljena stebila smo vsako posebej položili na leseno podlago, na katero smo predhodno pritrdili tri lesene letvice trikotnega prereza. Steblo smo položili na letvico in s kladivom udarjali po njem, da se je zdrobilo (slika 18). Iz mehansko zdrobljenega stebila smo ročno izločili vlakna (slika 19). Vlakna iz vsakega stebila posebej smo shranili v plastične vrečke in jih označili, slamo pa smo vrgli med organske odpadke.



Slika 18: Mehanska obdelava stebel industrijske konoplje



(a)



(b)



(c)

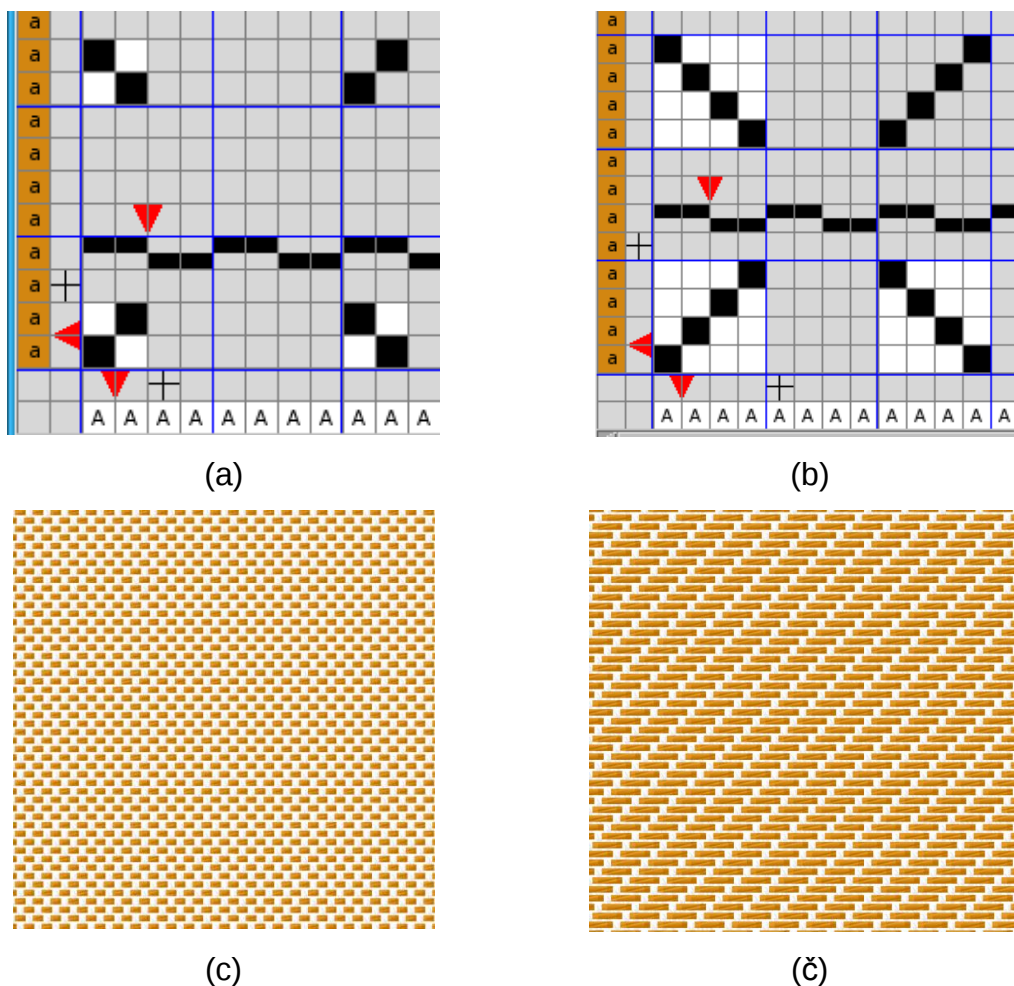


(č)

Slika 19: Mehansko obdelano steblo industrijske konoplje (a), ročno ločevanje vlaken od slame (b), slama (c) in tehnična vlakna (č)

3.1.3 Postopek izdelave tekstilije s konopljenimi vlakni v votku

Tkali smo v vezavi platno (sliki 19 a in 19 c) in štiriveznem votkovnem kepru (sliki 19 b in 19 č). Pri vnašanju tehničnih vlaken v zev smo vlakna poravnali in oblikovali, kolikor se je le dalo enakomerno. Tkanje je potekalo počasi.



Slika 20: Vzornici in videza vezav: platno (a, c) in štirivezni votkovi keper (b, č)

Za tkanje na ročnih statvah s štirimi listi smo napeljali približno dvesto bombažnih niti (slika 20 a). Širina statev je bila 50 centimetrov. Vdev osnovnih niti v greben je bil gladek. Konopljena vlakna smo poravnali v pramen (slika 20 b) in jih vnašali v zev brez čolnička (slika 20 c). S čolničkom smo tkali tudi bombažno prejo zelenomodre in bele barve.



(a)



(b)



(c)



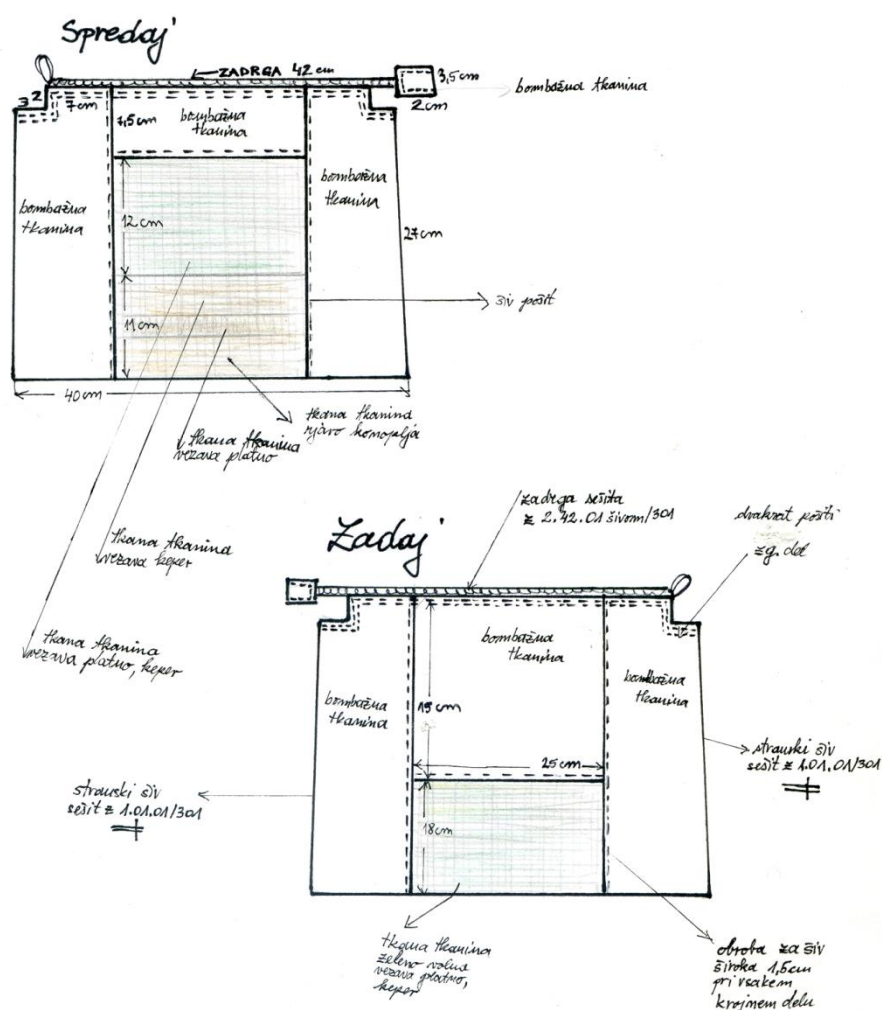
(č)

Slika 21: Tkanje vzorca na ročnih statvah: (a) napeljevanje osnove, (b) tkanje, (c) čolnička z bombažnima votkoma in (č) priprava votka iz konopljenih vlaken

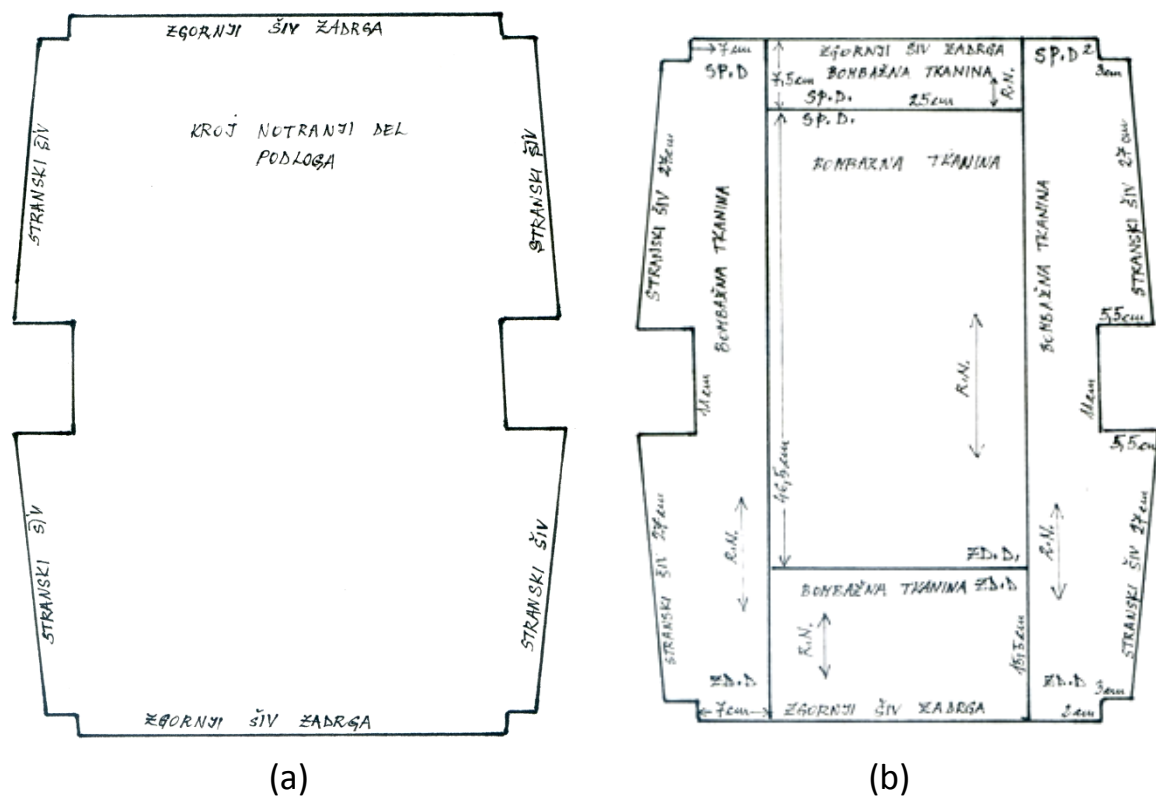
3.1.4 Izdelava torbe z okrasom iz konopljenih vlaken

Tkanino z okrasnim vložkom iz konopljenih vlaken smo uporabili za izdelavo uporabnega izdelka, ženske ročne torbe. Na sliki 22 je predstavljena tehnična skica, na sliki 23 kroj, na sliki 24 pa krojna slika ročne torbe.

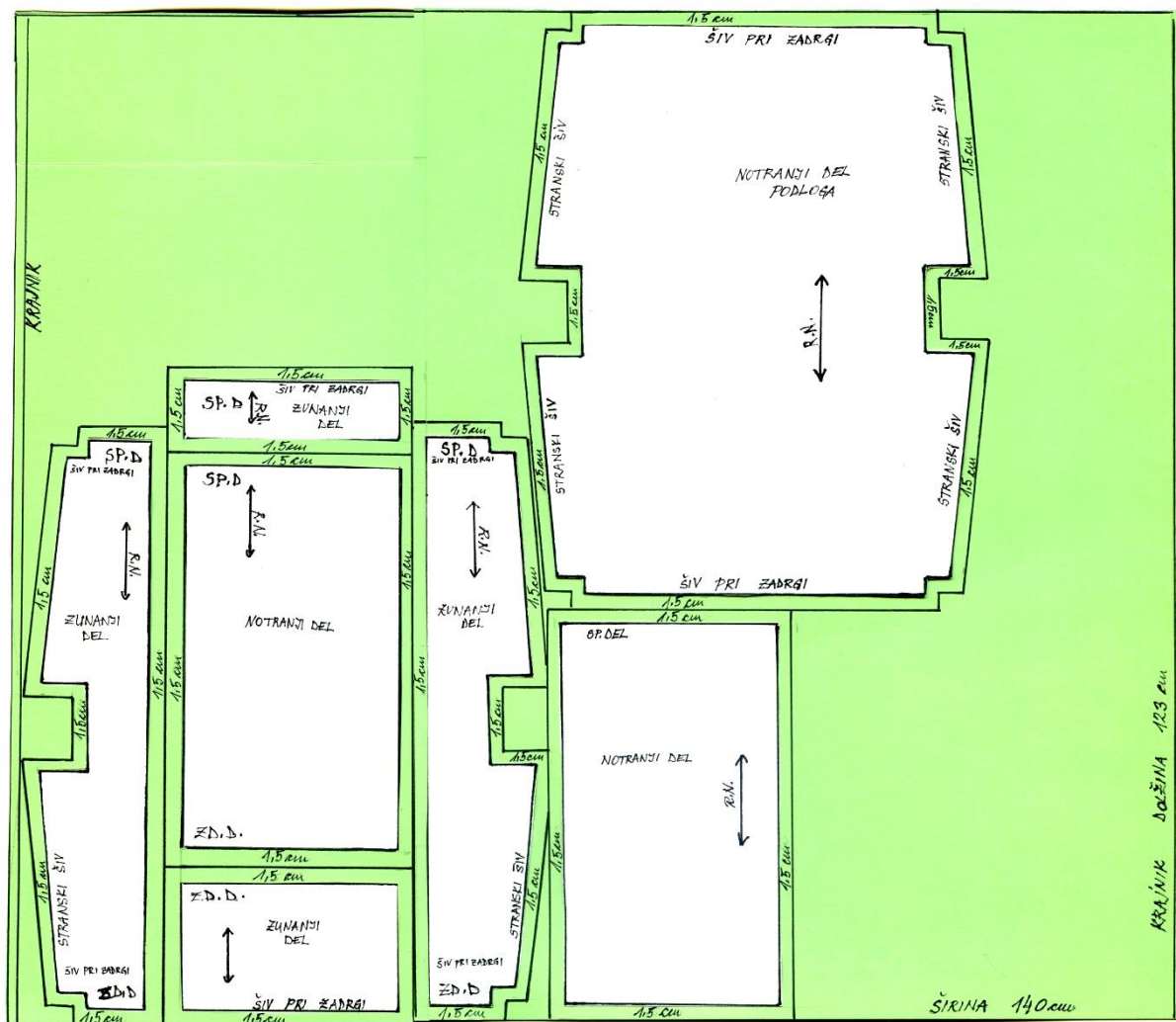
Torba je dolga 35 cm in široka 46 cm. Všito ima ročno tkano vzorčno tkanino s konopljenim votkom. Torbo zapiramo z navadno zadrگو na zgornji strani. Dolžina zadrgе znaša 42 cm. Zadrگو se zaključi s kvadratom iz bombažnega blaga, velikosti 2 x 3,5 cm. Osnovni material je bombažno platno na zunanjem delu torbe in podloga. Pomožni materiali so plastična zadrگو dolžine 42 cm, poliestrski sukanec ter tkanina s konopljenim votkom velikosti 42 x 25 cm.



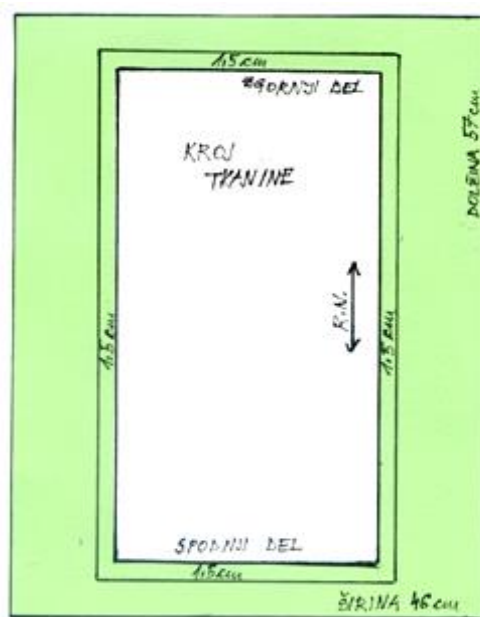
Slika 22: Tehnična skica sprednjega (zgoraj) in zadnjega dela (spodaj) torbe



Slika 23: Krojna slika podloge (a), zunanje bombažne tkanine (b) in tkanine z okrasnim vložkom (c)



(a)



(b)

Slika 24: Krojne slike na bombažni tkanini (a) in na tkanini z okrasnim vložkom (b)

3.2 METODE PREISKAV

3.2.1 Dolžina stebel

Dolžino stebel smo merili s pomočjo tračnega kovinskega merilnega traku z zaponko Kolelon® (Levior S. r. o. , CZ), dolžine 319 mm in širine 20 mm (razred točnosti II). Stebla smo merili na milimeter natančno.

Večina stebel konoplje je bilo ravnih in nerazvejanih. Položili smo jih na mizo, na kateri smo predhodno pritrdili raztegnjen merilni trak. Dolžino stebela smo merili kot razdaljo od začetka do konca zravnanega, neukrivljenega stebela. Pri razvejanih steblih smo merili le dolžino glavnega stebela, ne pa tudi krajših, razvejanih delov.

3.2.2 Masa stebel in vlaken

Maso stebel in konopljenih vlaken smo tehtali na tehtnici ET-1111 (Železniki, Jugoslavija) (razred točnosti II). Tehnica ima območje merjenja od 0 do 1200 g pri merjenju na 0,1 g natančno in območje od 0 do 120 g pri natančnosti merjenja na 0,01 g natančno.

Stebela v vsakem vzorcu smo najprej oštevilčili. Maso posameznega stebela in vlaken iz posameznega stebela smo izmerili na 0,1 g natančno.

3.2.3 Debelina stebel

Debelino stebel smo merili s pomičnim merilom Horex® (Hollmann-Group, Nemčija), dolžine 150 mm. Merili smo na 0,1 mm natančno.

Stebela smo merili en centimeter od koncev, na debelejšem spodnjem delu in tanjšem zgornjem delu.

3.2.4 Videz vlaken v stereomikroskopu

Vzorci vlaken smo opazovali v stereomikroskopu Nikon SM Z 800 (Nikon, Japonska) in fotografije shranjevali s pomočjo programa za zajemanje in obdelavo slik.

3.2.5 Dolžinska masa vlaken

Dolžinsko maso vlaken smo določili gravimetrično na vlaknih, na katerih smo sočasno opravili tudi meritve natezne trdnosti in pretržnega raztezka. Izbrano tehnično vlakno smo odrezali na dolžino 20 cm in mu izmerili natezno trdnost. Nato smo ga stehali na analitski tehtnici Mettler AE 200 (Mettler Toledo International, Švica) na 0,0001 g natančno. Dolžinsko maso smo izračunali po enačbi 1.

$$\text{Dolžinska masa} = \frac{\text{masa vlaken (g)}}{20 \text{ cm}} \times 10^5 \text{ (tex)} \quad (1)$$

3.2.6 Pretržna sila in pretržni raztezek vlaken

Pretržna sila je sila, ki je potrebna za pretrg vlakna in jo ugotovimo kot maksimalno doseženo obremenitev v nateznem poizkusu. Specifično pretržno napetost smo določili kot razmerje med natezno silo in dolžinsko maso po enačbi 2.

$$\text{Specifična pretržna napetost} = \frac{\text{pretržna sila (cN)}}{\text{dolžinska masa (tex)}} \quad (2)$$

Pretržni raztezek vlaken je raztezek vlakna, dosežen pri pretržni sili. Izražen je v odstotkih vpete dolžine vlakna. Pretržno silo in pretržni raztezek smo izmerili na dinamometru Instron 5567 (Instron, Velika Britanija).

Vpeta dolžina merjenih preizkušancev je bila za določanje trdnosti tehničnih vlaken 100 mm (hitrost testiranja 0,83 mm/s oz. 50 mm/min), za določanje trdnosti elementarnih vlaken pa 5 mm (hitrost testiranja 0,05 mm/s).



Slika 25: Aparat Instron za merjenje natezne trdnosti vlakna

3.2.7 Vsebnost vlage v vlaknih

Vsebnost vlage v vlaknih smo določali skladno s standardom SIST EN 20139 : 1999 Tekstilije – standardna atmosfera za kondicioniranje in preizkušanje. Vsebnost vlage smo ugotavljali na neklimatiziranih in klimatiziranih vzorcih. Do dva grama vlaken smo na 0,0001 g natančno zatehtali v tehtičke in jih sušili 4 ure pri temperaturi 100 ± 5 °C do absolutne suhe mase. Vzorce smo postavili v eksikator, da so se ohladili, in jih ponovno tehtali. Vsebnost vlage smo nato izračunali po enačbi 3.

$$\text{Vsebnost vlage} = \frac{\text{masa pred sušenjem (g)} - \text{masa po sušenju (g)}}{\text{masa pred sušenjem (g)}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Absolutno suhe vzorce vlaken smo klimatizirali v komori (slika 26) 48 ur pri relativni zračni vlagi 50 % in temperaturi 23 °C. Klimatizirane vzorce smo ponovno tehtali. Iz razlike mase klimatiziranih in absolutno suhih vzorcev smo po enačbi 3 izračunali vsebnost vlage. Za vsak vzorec smo opravili po dve meritvi.



(a)



(b)



(c)

Slika 26: Grelna komora za sušenje vlaken (a), eksikator (b) in komora za klimatiziranje vzorcev (c)

3.2.8 Določitev vsebnosti pektina in v vodi topnih snovi

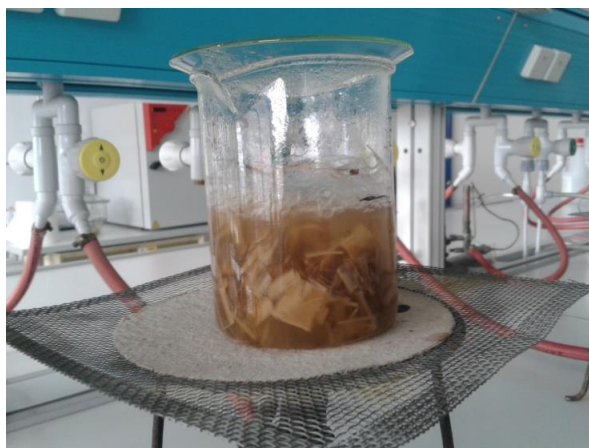
Vsebnost pektina v konopljenih vlaknih smo določili z metodo izkuhavanja vlaken v 1 % raztopini amonijevega oksalata pri vrenju (Sharma, 1992, str. 323). Kopelno razmerje je bilo 1 : 40. Po obdelavi smo vlakna sprali z vročo raztopino amonijevega oksalata ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$) in nato z destilirano vodo. Vsebnost vodotopnih snovi v vlaknih določamo z izkuhavanjem vlaken v destilirani vodi (slika 27) pri vrenju eno uro. Vsebnost odstranjenih snovi smo izračunali po enačbi 4:

$$\text{Vsebnost odstranjenih snovi} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 (\%) \quad (4),$$

kjer je

m_1 masa absolutno suhih vlaken pred obdelavo (g) in

m_2 masa absolutno suhih vlaken po obdelavi (g).



Slika 27: Izkuhavanje konopljenih vlaken v destilirani vodi

3.2.9 Določitev vsebnosti anorganskih snovi

Za določitev vsebnosti anorganskih snovi smo konopljena vlakna tri ure žarili v žarilni peči pri temperaturi 600 °C. Za vsak vzorec smo tehtali po gram vlaken in jih dali v žarilne lončke. Žarilne lončke smo postavili v žarilno peč, pri čemer smo vlakna najprej sežgali pri odprtih vratcih peči. Nato smo peč zaprli in jo segreli na 600 °C. Vzorce smo žarili tri ure, da so se vlakna v celoti upepelila. Po ohladitvi peči smo žarilne lončke odstranili iz peči (slika 28) in jih tehtali. Odstotek anorganskih snovi smo izračunali po enačbi 5.

$$Vsebnost\ anorganskih\ snovi = \frac{masa\ pepela\ (g)}{masa\ vlaken\ (g)} \times 100\ (\%) \quad (5)$$



(a)



(b)

Slika 28: Ostanek pepela po žarenju konopljenih vlaken v žarilnih lončkih (a) in pepel, ki je ohranil obliko vlaken (b)

3.3 REZULTATI MERITEV

3.3.1 Lastnosti stebel industrijske konoplje

Na slikah 29 in 30 je prikazan videz vzdolžnega in prečnega prereza konopljenega stebela.



(a)



(b)

Slika 29: Steblo Novosadske konoplje: (a) segment in (b) vzdolžni prerez stebela



Slika 30: Prečni prerez stebela Novosadske konoplje: levo – iz spodnjega dela, desno – iz zgornjega dela stebela

V preglednicah od 5 do 9 so predstavljeni rezultati laboratorijskih meritev stebel industrijske konoplje.

Preglednica 5: Dolžina stebel

Vzorec	N	$\bar{x}$ (mm)	s (mm)	CV (%)	x_{min} (mm)	x_{maks} (mm)
S-HA 2006	54	1537	286	19	829	2010
S-NN	25	1804	221	12	1320	2210
S-Bialobrzeskie	12	2019	382,5	19	1100	2440
S-Benico	6	1372	374	27	800	1800
S-JUSO 11	9	2160	351	16	1730	2460
S-Unico-B	9	2018	261	13	1570	2380
S-Novosadska	10	2040	263	13	1550	2401
S-HA 2015	10	1687	163	10	1360	1960

Preglednica 6: Masa stebel

Vzorec	N	$\bar{x}$ (g)	s (g)	CV (%)	x_{min} (g)	x_{maks} (g)
S-HA 2006	54	26,36	16,30	61,83	8,14	99,1
S-NN	25	17,10	7,06	41,3	7,6	30,2
S-Bialobrzeskie	12	30,73	16,67	54,25	7,5	64,1
S-Benico	6	17,62	16,9	96,45	6,8	47,4
S-JUSO 11	9	37,77	18,08	47,88	10,4	67,2
S-Unico-B	9	31,82	10,7	33,62	17,0	50,7
S-Novosadska	10	34,84	14,95	42,90	20,6	65,3
S-HA 2015	10	49,04	27,21	55,49	12,00	85,80

Preglednica 7: Debelina stebel - spodaj

Vzorec	N	$\bar{x}$ (mm)	s (mm)	CV (%)	$x_{\min}$ (mm)	$x_{\max}$ (mm)
S-HA 2006	54	10,1	3,1	30,8	2,3	6,42
S-NN	25	0,76	0,16	20,6	0,5	1,0
S-Bialobrzeskie	12	0,96	0,22	22,45	0,5	1,3
S-Benico	6	0,68	0,28	40,78	0,4	1,2
S-JUSO 11	9	1,78	1,99	111,71	0,5	1,75
S-Unico-B	9	1,02	0,14	13,43	0,8	1,2
S-Novosadska	10	3,40	3,67	108,21	0,8	9,5
S-HA 2015	10	0,97	0,37	37,97	0,2	1,3

Preglednica 8: Debelina stebel - zgoraj

Vzorec	N	$\bar{x}$ (mm)	s (mm)	CV (%)	$x_{\min}$ (mm)	$x_{\max}$ (mm)
S-HA 2006	54	5,2	2,0	37,9	2,5	11,5
S-NN	25	0,22	0,05	21,92	0,15	0,3
S-Bialobrzeskie	12	0,25	0,11	42,32	0,15	0,5
S-Benico	6	0,25	0,18	70,43	0,1	0,6
S-JUSO 11	9	0,43	0,22	51,60	0,3	1,0
S-Unico-B	9	0,44	0,22	48,86	0,2	0,75
S-Novosadska	10	0,47	0,20	42,13	0,2	0,75
S-HA 2015	10	0,25	0,14	57,35	0,1	0,5

Preglednica 9: Masa tehničnih vlaken, izločenih iz posameznega stebila

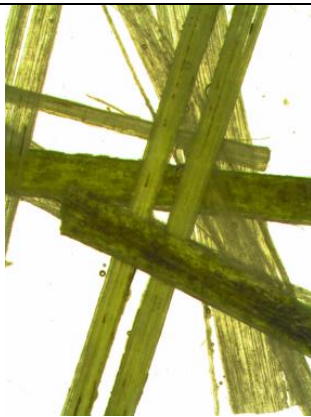
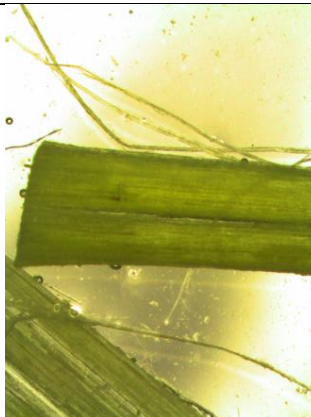
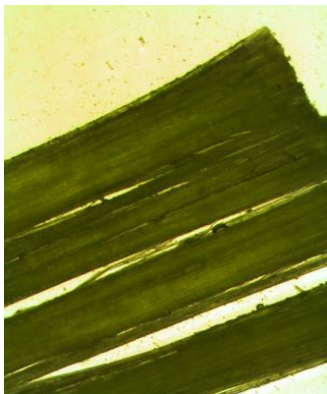
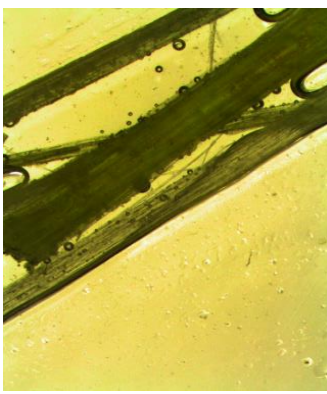
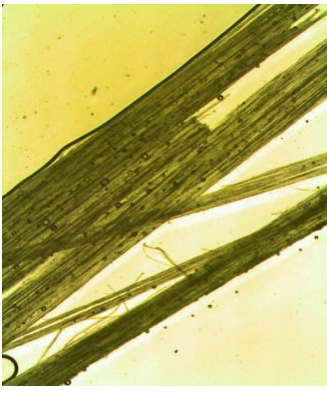
Vzorec	N	$\bar{x}$ (g)	s (g)	CV (%)	x_{min} (g)	x_{maks} (g)
HA 2006	5	8,35	4,67	55,88	3,40	26,30
NN	4	8,02	7,92	7,33	3,50	10,90
Bialobrzeskie	5	6,92	6,68	6,30	4,70	8,60
Benico	5	5,48	3,74	3,44	2,40	14,20
JUSO 11	5	11,75	11,99	11,18	3,70	17,30
Unico-B	5	10,10	9,60	9,92	6,90	12,60
Novosadska	5	11,54	12,09	13,27	6,2	23,7
HA 2015	/*	/*	/*	/*	/*	/*

*Tega podatka nimamo, saj zaradi razvejanosti stebel nismo uspeli mehansko izločiti vlaken na tankih vejicah, ampak samo na glavnem stebelu.

3.3.2 Lastnosti vlaken industrijske konoplje

V preglednicah od 10 do 21 so predstavljeni rezultati laboratorijskih meritev konopljenih vlaken.

Preglednica 10: Videz konopljenih tehničnih vlaken v stereomikroskopu

		
HA 2006	NN	Bialobrzesskie
		
Benico	JUSO 11	Unico-B
		
Novosadska	HA 2015	

Preglednica 11: Dolžinska masa tehničnih vlaken

Vzorec	N	$\bar{x}$ (tex)	s (tex)	CV (%)	$x_{\min}$ (tex)	$x_{\max}$ (tex)
HA 2006	100	196,22	97,39	49,63	40,2	588,5
NN	20	144,6	62,6	43,3	47,7	268,1
Bialobrzeskie	20	162,5	43,9	26,7	83,7	202,35
Benico	20	220,5	114,5	51,9	97,8	478,05
JUSO 11	20	146,5	47,8	32,6	81,1	296,2
Unico-B	20	198,0	72,3	36,5	73,3	355,2
Novosadska	20	169,4	62,4	36,85	76,7	354,55
HA 2015	20	152,9	50,1	32,8	57,8	258,4

Preglednica 12: Pretržna sila tehničnih vlaken (vpeta dolžina 100 mm)

Vzorec	N	$\bar{x}$ (N)	s (N)	CV (%)	$x_{\min}$ (N)	$x_{\max}$ (N)
HA 2006	19	56,60	37,05	65,47	8,76	146,64
NN	20	32,76	18,28	55,80	875,34	82,52
Bialobrzeskie	20	17,44	10,55	60,48	341,12	38,86
Benico	20	27,25	20,56	75,46	285,20	54,82
JUSO 11	19	27,76	18,41	66,33	462,62	78,59
Unico-B	19	29,77	15,61	52,42	399,12	59,99
Novosadska	20	20,03	13,105	65,44	814,83	58,40
HA 2015	10	17,03	15,71	92,24	431,64	54,34

Preglednica 13: Pretržna sila elementarnih vlaken (vpeta dolžina 5 mm)

Vzorec	N	$\bar{x}$ (N)	s (N)	CV (%)	$x_{\min}$ (N)	$x_{\max}$ (N)
HA 2006	100	112,08	60,72	54,18	21,02	32,40
NN	20	97,14	42,56	43,81	37,32	191,2
Bialobrzeskie	19	85,43	27,15	31,78	45,99	125,33
Benico	20	93,11	55,75	59,87	30,60	222,11
JUSO 11	20	96,24	41,92	43,56	41,31	181,43
Unico-B	19	80,46	38,21	47,49	18,205	139,30
Novosadska	20	96,03	37,75	39,31	45,11	170,21
HA 2015	23	49,06	27,86	56,79	7,16	134,55

Preglednica 14: Pretržni raztezek tehničnih vlaken (vpeta dolžina 100 mm)

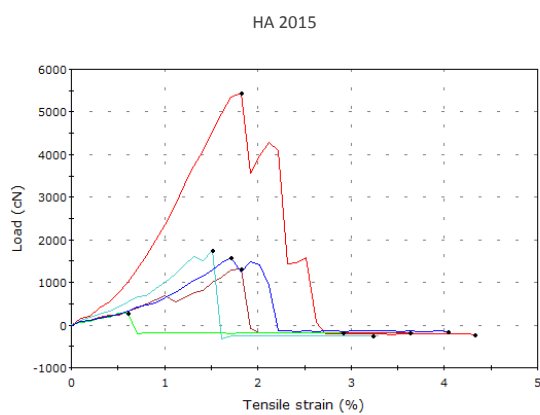
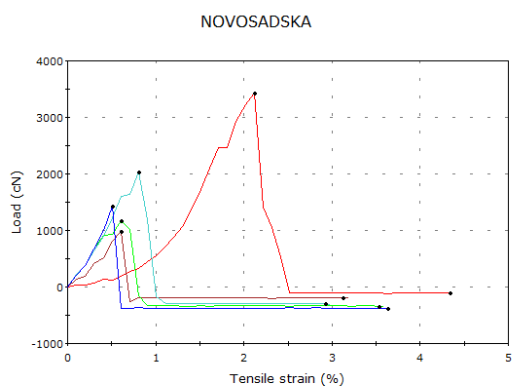
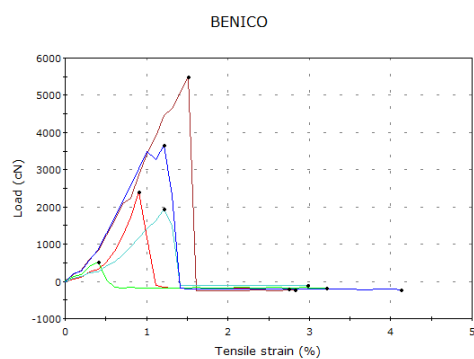
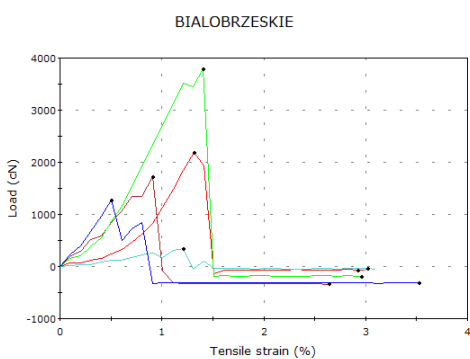
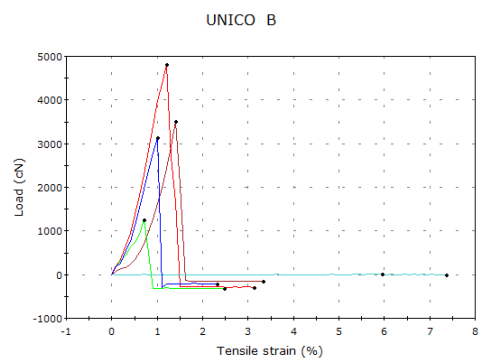
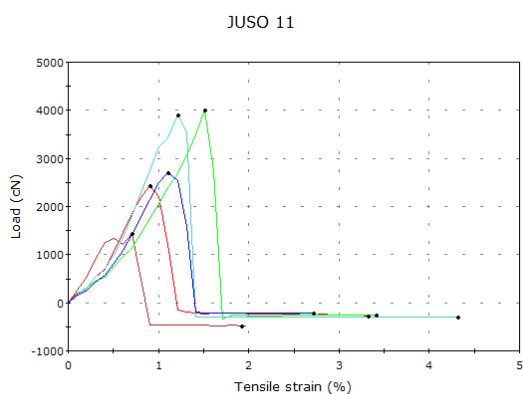
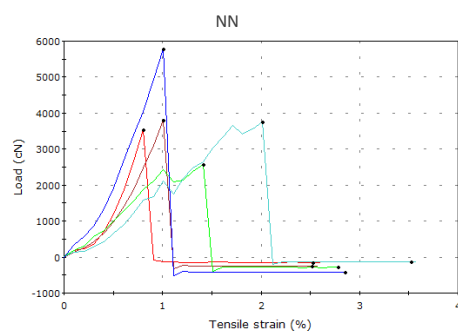
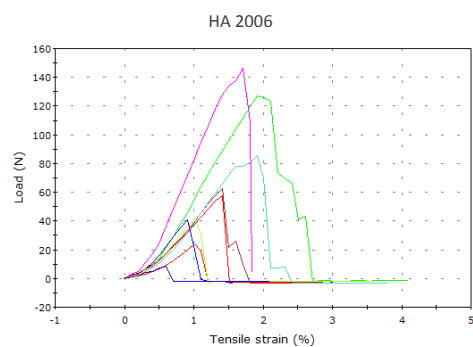
Vzorec	N	$\bar{x}$ (%)	s (%)	CV (%)	$x_{\min}$ (%)	$x_{\max}$ (%)
HA 2006	19	1,36	0,423	31,07	0,605	2,11
NN	20	1,19	0,38	31,77	0,60	2,01
Bialobrzeskie	20	0,96	0,36	37,61	0,50	1,81
Benico	20	0,96	0,39	41,20	0,50	1,82
JUSO 11	19	0,97	0,39	40,62	0,30	1,61
Unico-B	19	1,03	0,39	37,83	0,30	1,72
Novosadska	20	0,94	0,41	43,73	0,51	2,12
HA 2015	10	1,31	0,48	36,82	0,61	1,81

Preglednica 15: Pretržni raztezek elementarnih vlaken (vpeta dolžina 5 mm)

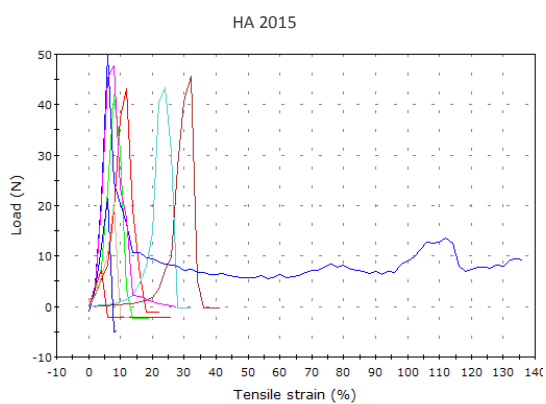
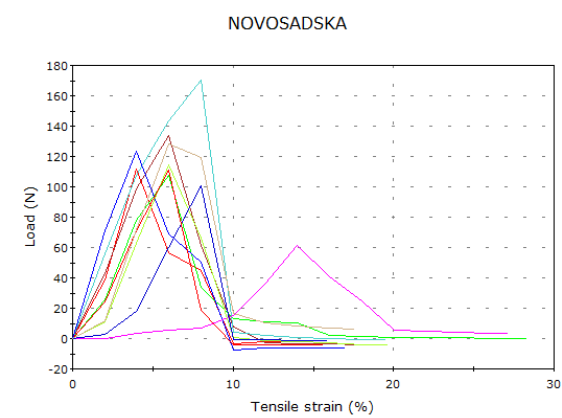
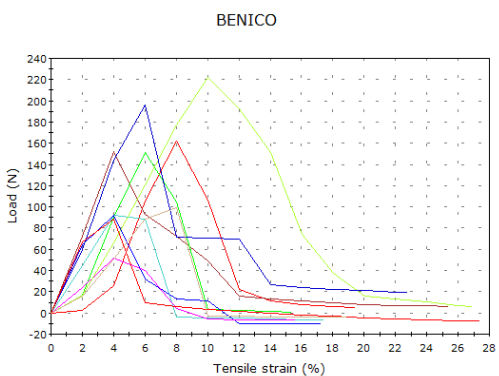
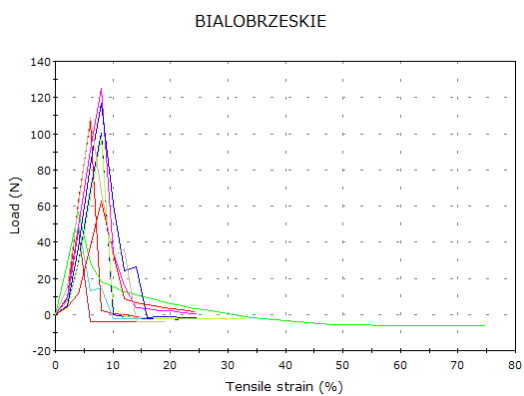
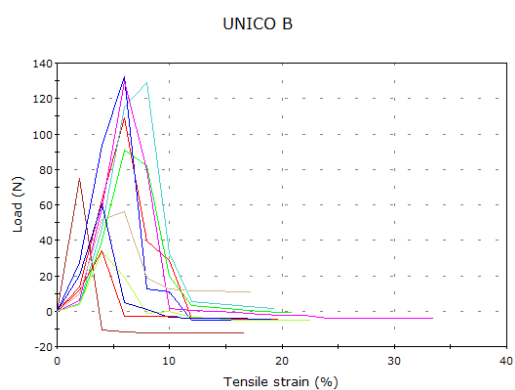
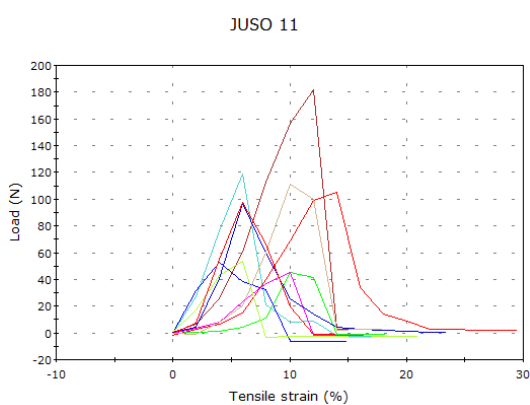
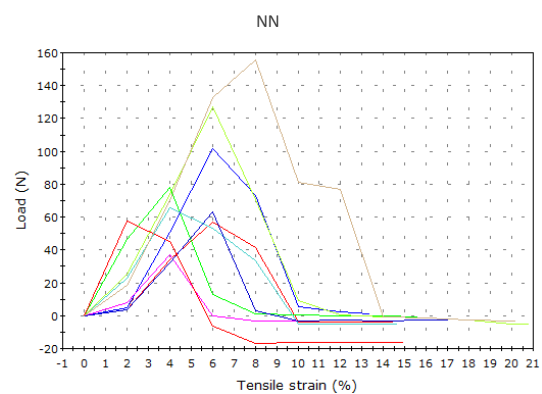
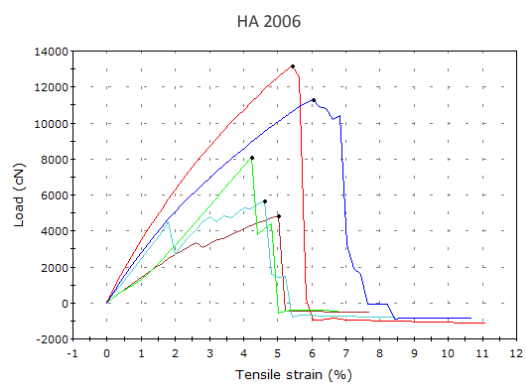
Vzorec	N	$\bar{x}$ (%)	s (%)	CV (%)	$x_{\min}$ (%)	$x_{\max}$ (%)
HA 2006	100	6,25	2,43	38,80	2,21	14,06
NN	20	5,80	1,58	27,17	2,00	8,00
Bialobrzeskie	19	6,11	1,56	25,545	4,00	8,00
Benico	20	6,00	1,95	32,43	4,00	10,01
JUSO 11	20	7,20	2,63	36,50	4,00	14,01
Unico-B	19	5,79	3,825	66,03	2,00	20,01
Novosadska	20	6,60	2,61	39,45	2,00	14,01
HA 2015	18	7,58	2,47	32,59	2,41	12,00

Preglednica 16: Specifična pretržna napetost konopljenih vlaken

Vzorec	Specifična pretržna napetost (cN/tex)		Specifična pretržna napetost (MPa)	
	Vpeta dolžina 5 mm	Vpeta dolžina 100 mm	Vpeta dolžina 5 mm	Vpeta dolžina 100 mm
HA 2006	58,4	31,4	876	471
NN	41,8	23,2	627	348
Bialobrzeskie	44,8	11,1	672	167
Benico	36,5	14,0	548	210
JUSO 11	44,6	18,1	669	272
Unico-B	44,5	15,3	668	230
Novosadska	42,4	12,7	636	191
HA 2015	61,9	11,1	929	167



Slika 31: Krivulje sila/raztezek za vzorce vlaken industrijske konoplje
(vpeta dolžina 100 mm)



Slika 32: Krivulje sila/raztezek za vzorce vlaken industrijske konoplje
(vpeta dolžina 5 mm)

Preglednica 17: Vsebnost vlage tehničnih vlaken (klimatiziranje 48 ur pri temperaturi 23 °C in relativni zračni vlagi 50 %)

Vzorec	N	$\bar{x}$ (%)	s (%)	CV (%)
HA 2006	2	7,79	0,02	0,27
NN	2	8,02	0,02	0,26
Bialobrzeskie	2	7,77	0,01	0,09
Benico	2	8,07	0,01	0,18
JUSO 11	2	8,19	0,01	0,17
Unico-B	2	8,5	0,00	0,00
Novosadska	2	8,02	0,00	0,00
HA 2015	2	8,2	0,01	0,17
povprečje	$\Sigma=18$	8,07	0,24	2,95

Preglednica 18: Vsebnost pepela v tehničnih vlaknih

Vzorec	Pepel (g)	Vlakna (g)	ASM vlaken (g)	Vsebnost vlage (%)	Vsebnost pepela (%)
HA 2006	0,0427	1,5374	1,4700	4,3806	2,91
NN	0,0276	1,1929	1,1302	5,2494	2,44
Bialobrzeskie	0,0603	2,3748	2,2486	5,3141	2,68
Benico	0,0940	3,1943	3,0104	5,7553	3,12
JUSO 11	0,0497	1,6011	1,5239	4,8170	3,26
Unico-B	0,0519	4,4830	4,2021	6,2650	1,24
Novosadska	0,0650	2,5410	2,3960	5,7028	2,71
HA 2015	0,0860	2,7329	2,5666	6,0833	3,35

Preglednica 19: Vsebnost vlage v tehničnih vlaknih za določanje vodotopnih snovi in pektina v vlaknih

Vzorec	N	$\bar{x}$ (%)	s (%)	CV (%)
NN	2	5,25	0,17	3,27
Bialobrzeskie	2	5,31	0,23	4,36
Benico	2	5,76	0,06	1,08
JUSO 11	2	4,82	0,17	3,52
Novosadska	2	5,70	0,66	11,50

Preglednica 20: Topnost konopljenih vlaken v destilirani vodi in amonoksalatu

Vzorec	Topnost v vodi (%)	Topnost v amonoksalatu (%)	Topnost v vodi in amonoksalatu (%)
NN	10,05	6,64	16,69
Bialobrzeskie	13,71	9,89	23,6
Benico	13,10	10,83	23,93
JUSO 11	13,92	9,52	23,44
Novosadska	10,69	5,69	16,38

3.3.3 Okrasna tkanina s konopljenimi vlakni v votku



(a)



(b)

Slika 33: Tkanina z okrasnim vložkom iz konopljenih vlaken: (a) surova tkanina, (b) videz okrasnega vložka

3.3.4 Izdelek

Na slikah 34 in 35 je predstavljena ročna torba z okrasnim vložkom iz tkanine s konopljenimi vlakni v votku.



Slika 34: Ročna torba



Slika 35: Uporaba ročne torbe za prenosni računalnik (levo) in kot ženske torbice (desno)

4 RAZPRAVA O REZULTATIH Z ZAKLJUČKI

4.1 ANALIZA KONOPLJENIH STEBEL

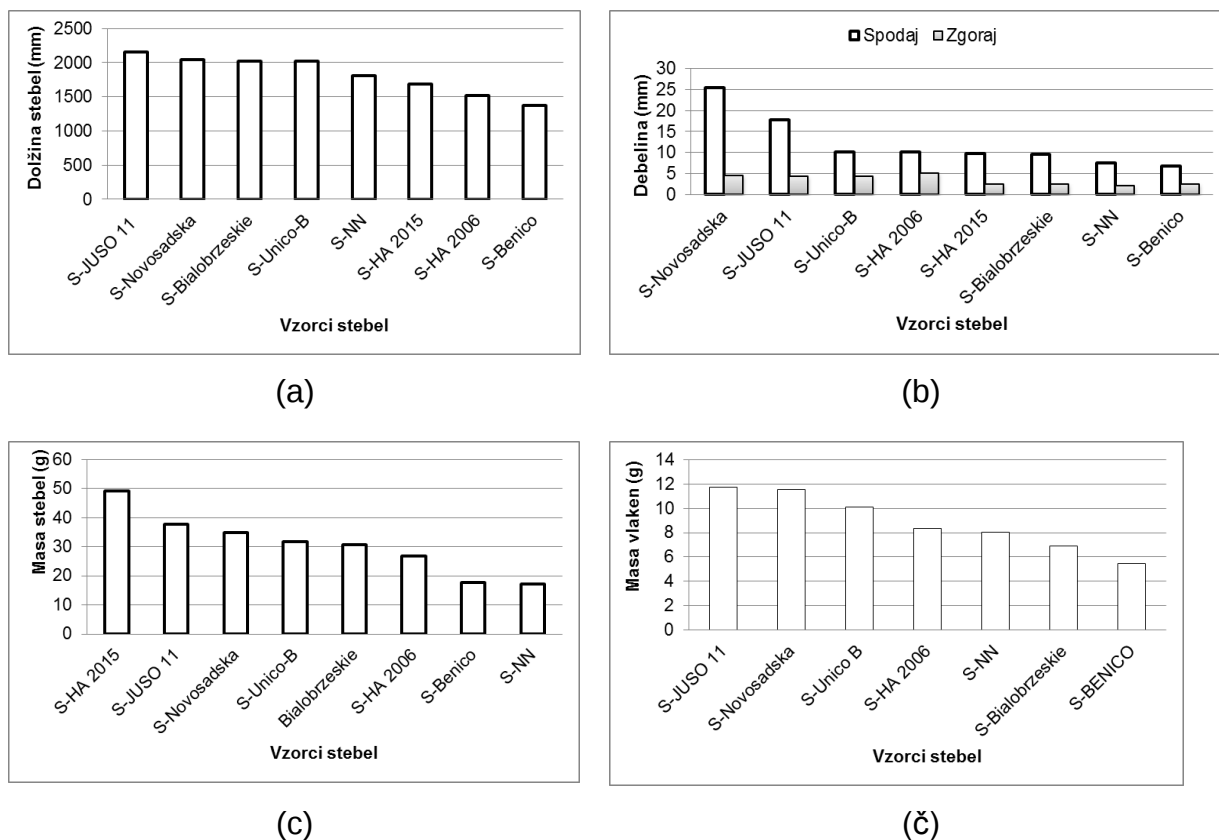
V diplomskem delu smo raziskovali lastnosti konopljenih vlaken petih sort konoplje s Slovenske sortne liste: Benico, Bialobrzeskie, JUSO 11, Novosadsko konopljo in Unico-B; vsa vlakna so bila vzgojena leta 2011. Poleg teh smo preučili še tri vzorce (S-HA 2006, S-HA 2015 in S-NN), za katere nimamo podatkov o sortnosti. Vsa preučevana konopljena stebela so bila vzgojena v kolekcijskih poskusih v Ljubljani, na eksperimentalnem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (Kavčič in Kocjan Ačko, 2012).

Rezultati meritev stebel so zbrani v preglednicah od 5 do 8. Najdaljša stebela so imele sorte JUSO 11, Novosadska, Bialobrzeskie in Unico-B in sicer nad 200 cm. Najkrajša stebela je imela sorta Benico in sicer 137 cm, ki je imela tudi najbolj neenakomerno dolžino stebel, od maksimalne 180 cm do minimalne 80 cm (slika 36 a). Iz daljših stebel dobimo daljša tehnična vlakna kot iz krajših stebel.

Največjo debelino stebel spodaj (izmerili smo jo okrog centimeter nad odrezanim koncem) smo izmerili pri Novosadski konoplji, 25,4 mm, najmanjšo pa pri sorti Benico, 6,8 mm; največja debelina stebel zgoraj pri vrhu rastlin je imela sorta Novosadska konoplja (S-HA 2006, S-Novosadska) in sicer 5,22 oziroma 4,65 mm, najmanjšo debelino, 2,2 mm, pa vzorec S-NN (slika 36 b).

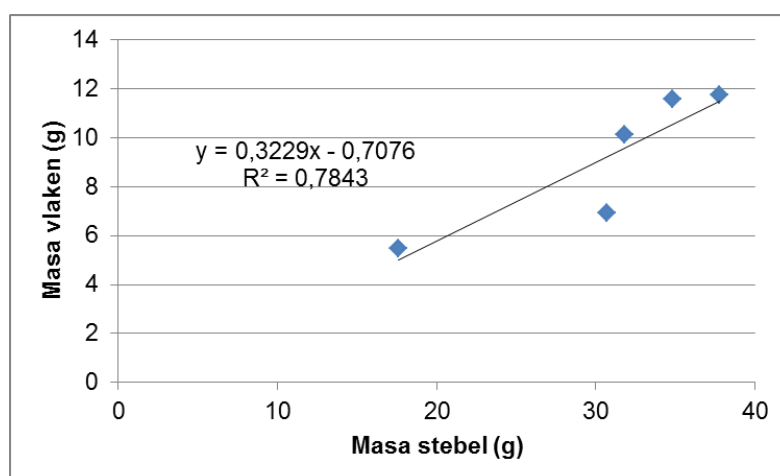
Povprečna masa stebel je bila najvišja pri vzorcu S-HA 2015, 49,04 g, verjetno zaradi velike razvejanosti stebela. Nerazvejani vzorci so imeli maso stebel od 17,10 g do 37,77 g (slika 36 c). Najmanjšo maso, dobrih 17 g, stebel smo izmerili pri vzorcih S-Benico in S-NN.

Največjo maso vlaken iz stebel smo ugotovili na vzorcu S-JUSO 11 in sicer 11,75 g, najmanjšo maso pa v vzorcu S-Benico, 5,48 g.



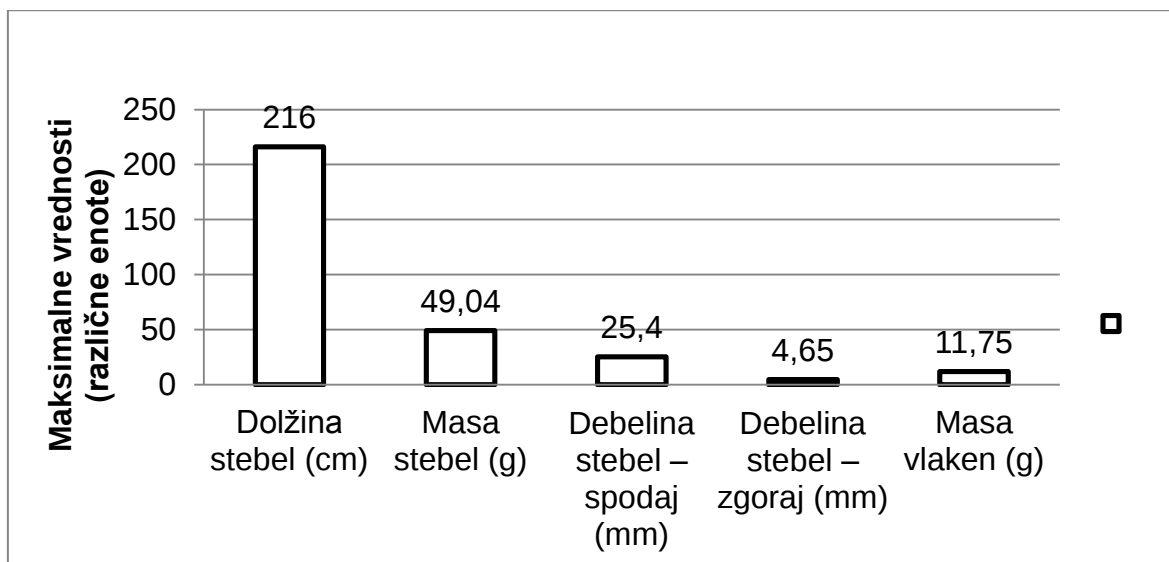
Slika 36: Povprečna dolžina konopljenih stebel

Korelacijo med maso stebel in maso vlaken (slika 37), pridobljenih iz stebel, smo ugotavljali za vzorce petih znanih sort. Korelacija je pozitivna ($R^2 = + 0,7843$), kar pomeni, da smo iz stebel z večjo maso vlaken pridobili večjo maso vlaken.

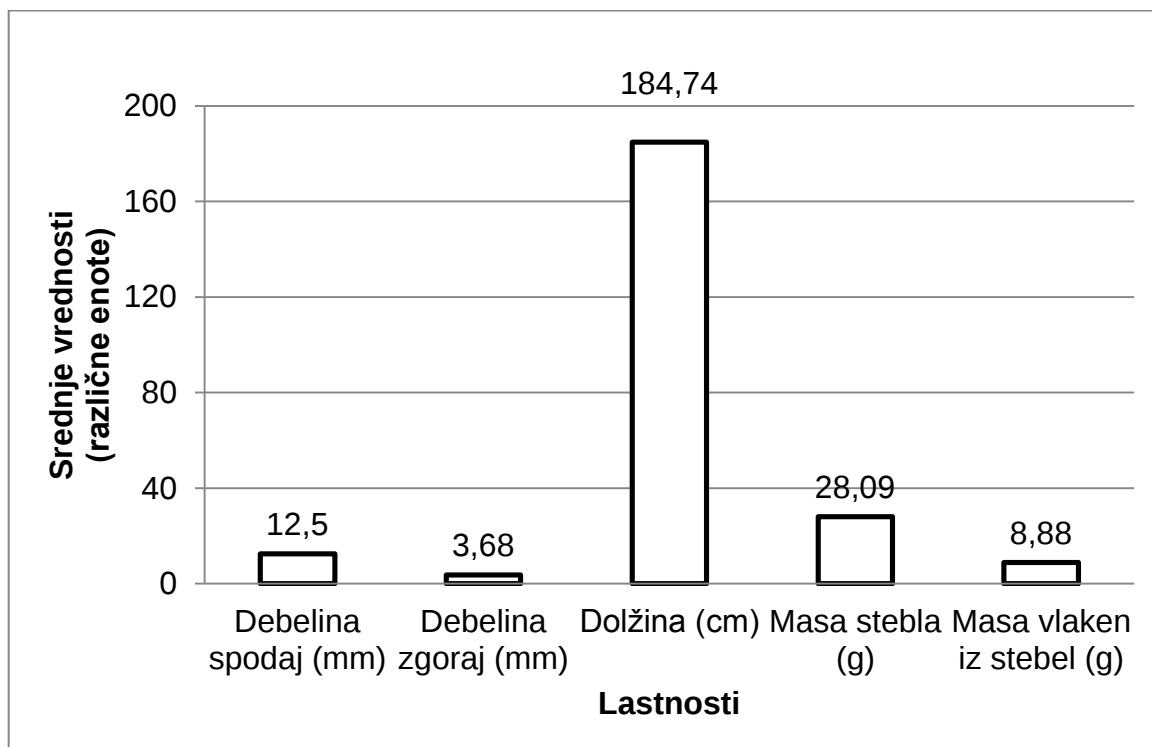


Slika 37: Korelacija med maso stebel in maso vlaken, pridobljenimi iz stebel

Slika 38 prikazuje posamezne sorte, ki so dosegle najvišje vrednosti med analiziranimi sortami, na sliki 39 pa so podane srednje vrednosti za vse vzorce skupaj (brez upoštevanja sort).



Slika 38: Najvišje vrednosti dolžine, mase stebel in vlaken ter debeline stebel

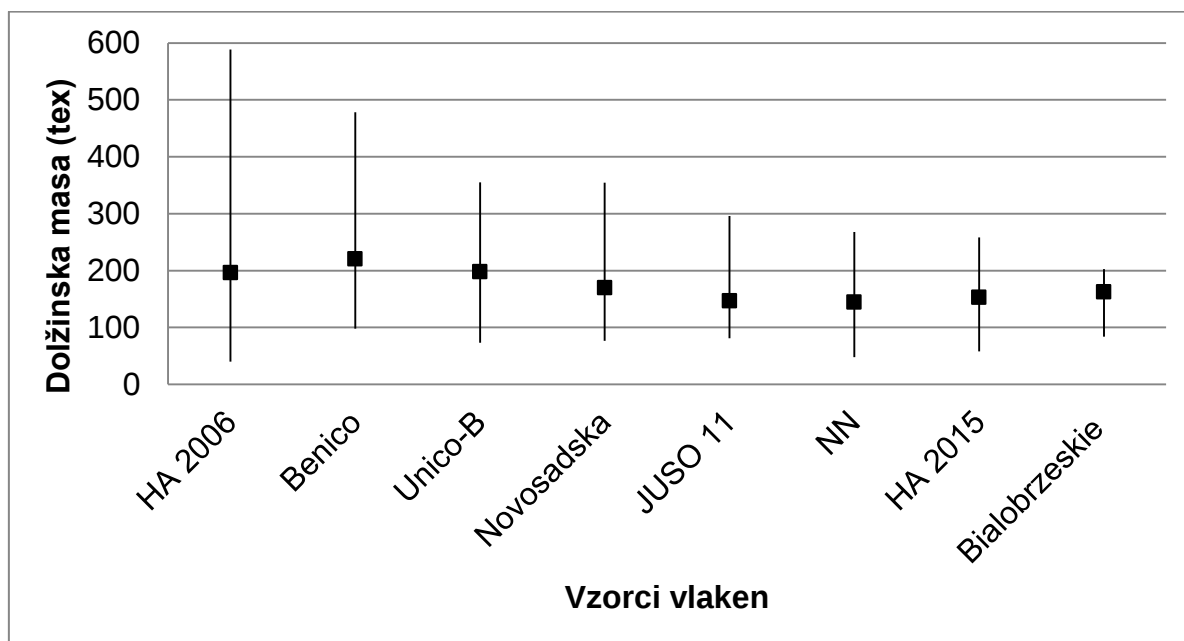


Slika 39: Lastnosti vlaken, izločenih iz stebel industrijske konoplje

4.2 ANALIZA KONOPLJENIH VLAKEN

Dolžina tehničnih konopljenih vlaken je enaka dolžini stebila in je nismo posebej merili.

Dolžinsko maso tehničnih vlaken (preglednica 11) smo določali na istih preizkušancih kot pretržno silo in pretržni raztezek. Izbirali smo preizkušance, ki niso imeli štrlečih vlaken. Izmerjena srednja vrednost dolžinske mase je znašala od 144,6 tex (vzorec JUSO 11) do 220,5 tex (vzorec Benico), v povprečju 174 tex. Razlike v dolžinski masi so posledica različne debeline plasti primarnih in sekundarnih vlaken v steblih in razgradnje notranjega pektina med elementarnimi vlakni med procesom izločanja vlaken iz stebel (preglednica 4). Največja odstopanja v dolžinski masi (slika 40) smo zabeležili pri vzorcih HA 2006 in Benico, najmanjše pa pri Bialobrzeskie.

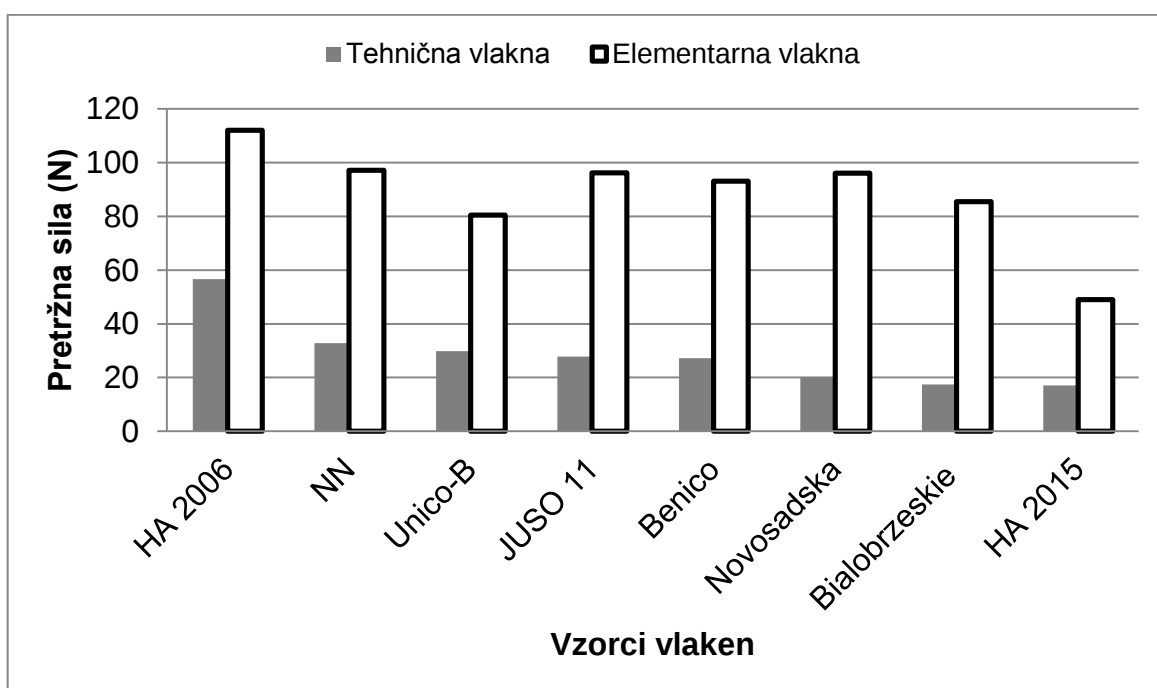


Slika 40: Dolžinska masa tehničnih konopljenih vlaken

Pretržno silo tehničnih konopljenih vlaken (preglednica 12) smo določali na dinamometru pri vpeti dolžini preizkušanca 100 mm, ki je daljša od dolžine

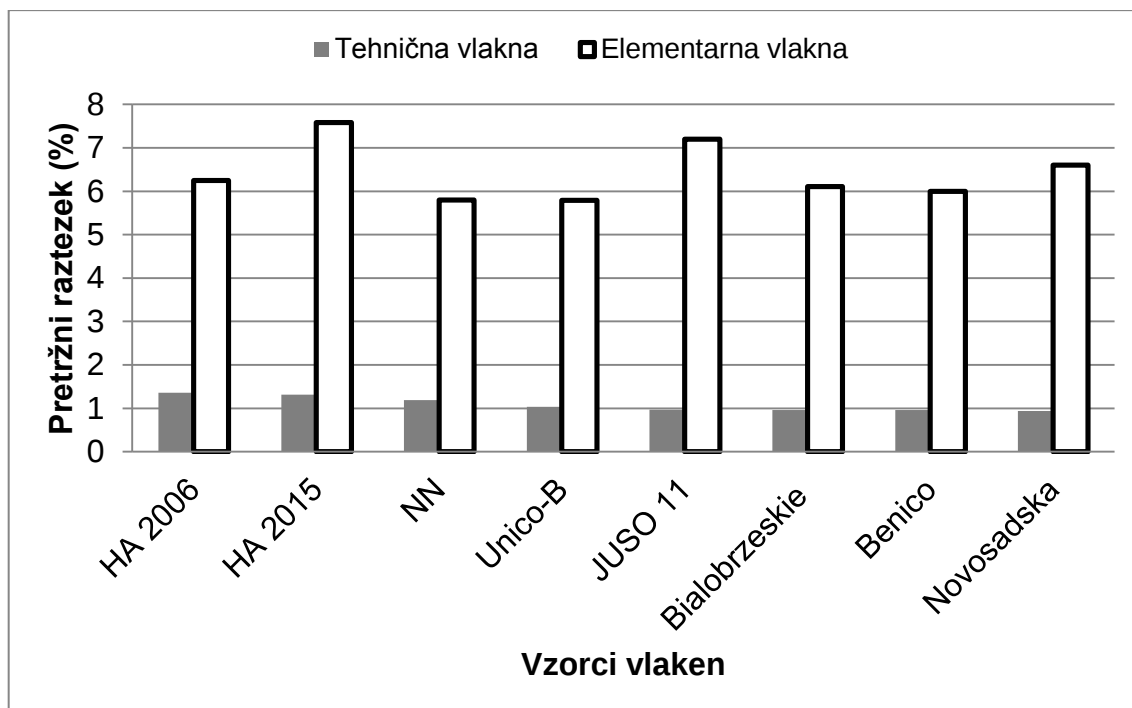
elementarnih vlaken. Pri tem je pretržna sila odvisna predvsem od trdnosti povezav med elementarnimi vlakni, manj pa od trdnosti samih elementarnih vlaken.

Pretržno silo elementarnih vlaken (preglednica 13) smo določali na dinamometru pri vpeti dolžini preizkušanca 5 mm, ki je manjša kot dolžina elementarnih vlaken. Pri tem je pretržna sila odvisna predvsem od trdnosti celičnih sten elementarnih vlaken. Na sliki 41 vidimo, da je povprečna pretržna sila tehničnih vlaken med 17,03 N in 56,60 N, elementarnih vlaken pa med 49,06 N in 112,08 N.



Slika 41: Pretržna sila konopljenih vlaken

Pretržni raztezek tehničnih vlaken (preglednica 14, slika 42) znaša med 0,96 % in 1,36 %, kar je skladno s podatki v literaturi (Tekstilni leksikon, 1989, str. 418). Pretržni raztezek elementarnih vlaken (preglednica 15, slika 42) pa je znašal med 5,80 % in 7,58 %.

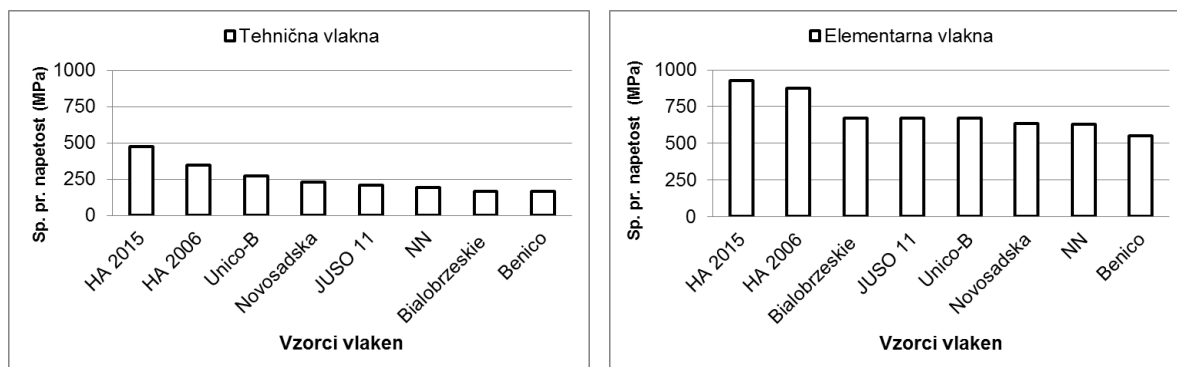


Slika 42: Pretržni raztezek konopljenih vlaken

Specifična pretržna napetost (preglednica 16, slika 43) tehničnih vlaken znaša od 11,1 cN/tex (vzorca Bialobrzeskie in HA 2015) do 31,4 cN/tex (vzorec HA 2006). Specifična pretržna napetost elementarnih vlaken pa znaša od 36,5 cN/tex (vzorec Benico) do 61,9 cN/tex (vzorec HA 2015). Vzorec HA 2015 ima najnižjo specifično pretržno napetost tehničnih vlaken in najvišjo elementarnih vlaken.

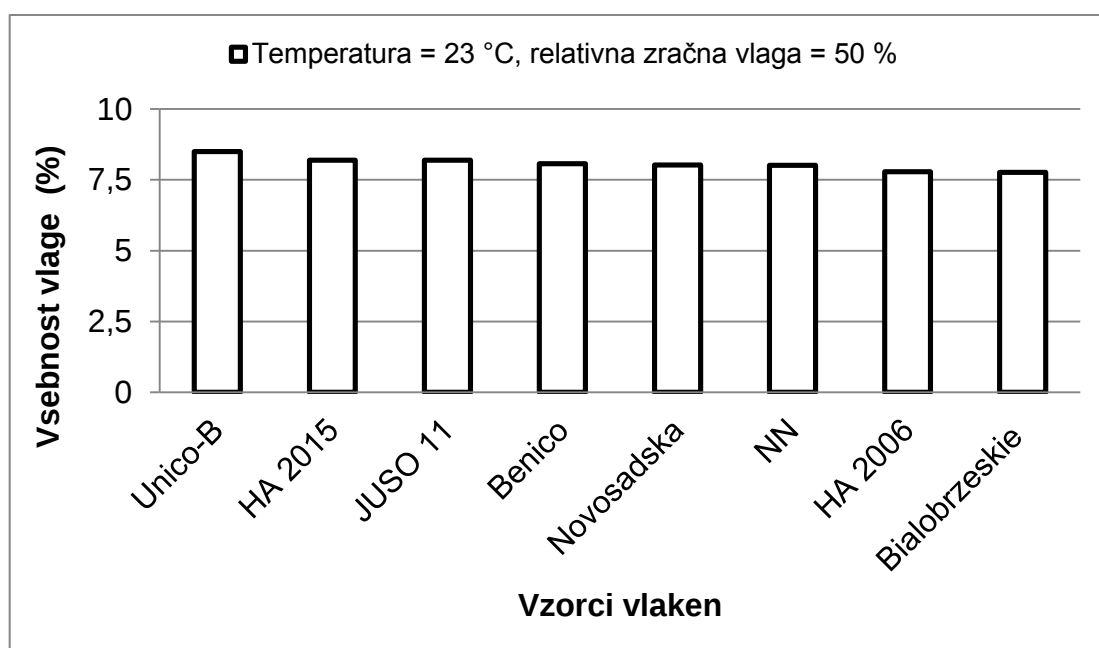
Specifična pretržna napetost je v literaturi pogosto podana v enotah MPa, zato smo vrednosti v cN/tex preračunali, upoštevajoč gostoto konopljenih vlaken $1,5 \text{ g/cm}^3$. Vrednosti za elementarna vlakna so med 548 MPa in 929 MPa (slika 43) in so primerljive z literaturo (Thamae, 2009, str. 80).

Krivulje sila/raztezek so predstavljene na slikah 31 in 32 za posamezne preizkušance (po pet meritev). Krivulje vseh vzorcev imajo podobno obliko s skoraj linearnim naraščanjem sile z raztezkom. Krivulje so značilne za rastlinska vlakna.



Slika 43: Specifična pretržna napetost konopljenih vlaken

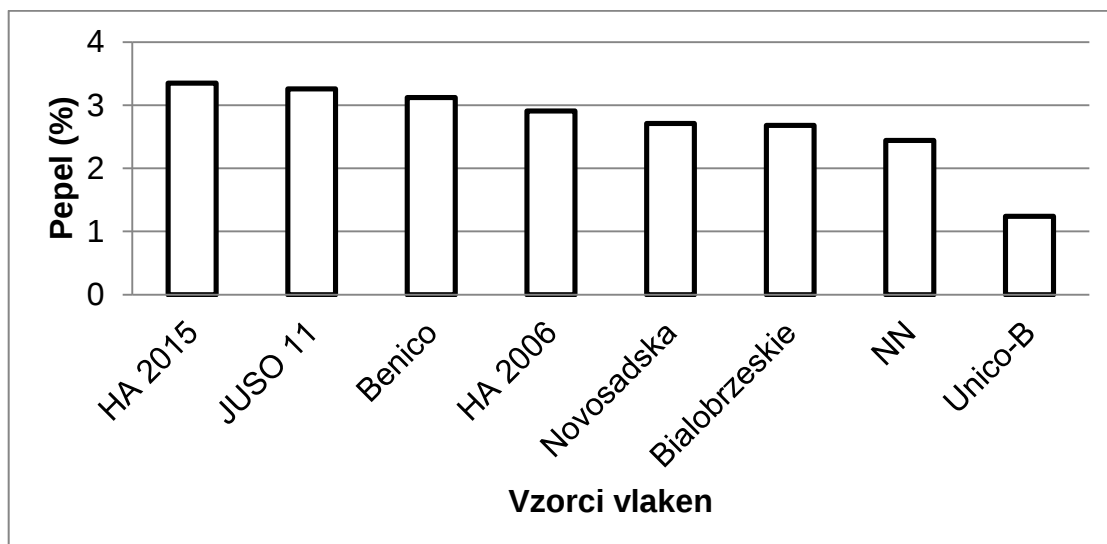
Vsem vzorcem vlaken smo določili količino vezane vlage tako, da smo jih najprej posušili in potem klimatizirali v klimatski komori 48 ur pri 23 ± 2 °C in relativni zračni vlagi 50 ± 5 %. Konopljena vlakna so navzela od 7,8 % do 8,5 % zračne vlage. Razlike med vzorci so majhne (slika 44).



Slika 44: Vsebnost vlage v klimatiziranih konopljenih vlaknih

Z žarjenjem vlaken tri ure pri 600 °C smo odstranili vse organske snovi in dobili anorganski ostanek v obliki rahlega sivga pepela. Ta je v povprečju znašal 2,71

%. Največ pepela smo določili vzorcema HA 2015 in JUSO 11, najmanj pa vzorcu Unico-B.



Slika 45: Ostanek anorganskih snovi po žarjenju (pepel)

Topnost konopljenih vlaken smo določili v destilirani vodi pri vrenju eno uro in na istih vzorcih še topnost v enoodstotni vodni raztopini amonoksalata pri vrenju eno uro, v katerem se raztaplja pektin (preglednica 20). Meritve smo napravili na petih vzorcih. Topnost v vreli vodi je znašala od 10,05 % do 13,92 %. Vsebnost pektina v vlaknih je znašala od 5,69 % do 10,83 %. Izmerjene vrednosti pektina so višje kot v literaturi (Sponner, 2005, str. 183), verjetno zato, ker stebila niso bila godena.

4.3 TKANINA Z VZORČNIM KONOPLJENIM VOTKOM in ročna torba

Tkanino z okrasnim vložkom iz konopljenih vlaken smo ročno stkali (slike 20, 21 in 34). Za osnovo pri tkanju smo prvotno želeli uporabiti fino konopljeno nit, ki pa je nismo uspeli dobiti. Predvidevamo, da je izdelana vzorčna tkanina z bombažno osnovo mehkejša, kot bi bila tkanina s konopljeno osnovo.

Bombažni votek smo vnašali v vezavi platno, konopljeni votek pa v vezavah platno in štirivezni votkovni keper. Vezava platno je stabilen način tkanja, pri tem oblikujemo v tkanini največ veznih točk, ki dobro povežejo niti osnove in votka med seboj. To je še posebej pomembno v našem primeru, ker smo uporabili nevitna konopljena vlakna. Votkovni keper smo izbrali, da bi na tkanini poudarili videz konopljenih vlaken. Na površini tkanine so prišle do izraza flotirajoče konopljene votkovne niti, ki so dale tkanini voluminozen videz in mehak otip, na spodnji strani pa je imela tkanina gosto, strnjeno strukturo. Neenakomernost konopljenega votka je dala okrasnemu delu tkanine neenakomeren videz ploske in izbočene površine.

Slabost uporabe nevitih konopljenih vlaken so bili štrleči konci vlaken na površini tkanine, kar je poslabšalo estetski videz tkanine (slika 46).



(a)



(b)

Slika 46: Videz štrlečih konopljenih vlaken na površini tkanine: (a) vezava platno, (b) vezava štirivezni votkovni keper

Ročna torba z okrasnim vložkom iz ročno stkanega blaga s konopljenim votkom je primerna kot etui za prenosni računalnik ali kot ženska torba. Za boljšo odpornost

na drgnjenje, da se konopljena vlakna ne bi izvlekla (slika 46 b), bi bilo priporočljivo vlakna zaščiti s premazom.

4.3 ZAKLJUČKI

Eksperimentalno delo, ki je vključevalo ročno izločanje vlaken iz stebel, je bilo zelo zamudno. Pri vzorcu HA 2015, ki je imel zelo razvejena stebela, je bila ločitev vlaken od nevlaknatega dela izredno težka, ker stebela niso bila godna. Godenje stebel smo izpustili, ker lahko poslabša lastnosti vlaken, če ni izvedeno pravilno. Ker nismo imeli ustreznih znanj oziroma izkušenj o godenju konopljenih stebel, smo to fazo raje izpustili.

Za predelavo stebel v vlakna sta se kot najboljši sorti izkazali Novosadska in JUSO 11, najslabša pa je bila sorta Benico.

Konopljena vlakna so stranski proizvod pridelave konopljenih semen. Danes je gojenje konoplje v Sloveniji še vedno v majhnem obsegu, zato bi ločevanje vlaken po sortah zelo oteževalo strojno predelavo stebel v vlakna. Zato je bolj smiselno navajanje povprečnih vrednosti za posamezne lastnosti konopljenih vlaken.

5 LITERATURNI VIRI

ARSENIJEVIĆ, Miro L. 1965. *Tekstilna vlakna*. Beograd : Naučna knjiga, str. 71–85.

BATRA, Subhask K. 1985. Other long vegetable fibers : abaca, banana, sisal, henequen, flax, ramie, hemp, sunn, and coir. V *Handbook of fiber science and technology . Volume 4, Fiber chemistry*. Uredila Menachem Lewin in Eli M. Pearce. New York in Basel : Marcel Dekker, str. 745–746.

BECKERMANN, Gareth 2007. *Performance of hemp-fibre reinforced polypropylene composite materials : PhD thesis*. Hamilton, str. 167

BUTAUD-STUBBS, Emmanuelle in NIESTROY, Ingeborg. 2013. *Opinion of the European Economic and Social Committee on »Growth driver technical textiles«* (own initiative opinion) (2013/C 198/03) [dostopno na daljavo], European Economic and Social Committee, Brussels, 17 April 2013 [citirano 15. 4. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu:
<https://www.utwente.nl/ctw/textilesintwente/database/documents/opinion_of_the_european_economic_and_social_committee_on_growth_driver_technical_textiles.pdf>.

CARUS, Michael, KARST, Stefan, KAUFFMANN, Alexandre, HOBSON, John in BERTICELLI, Sylvestre. The European hemp industry: cultivation, processing and application for fibres, shivs and seeds. V *European Industrial Hemp Association* [citirano 15. 5. 2016]. [dostopno na daljavo], Dostopno na svetovnem spletu: <<http://eiha.org/media/2014/10/13-06-European-Hemp-Industry.pdf>>.

COOK, Gordon J. 1984. *Handbook of textile fibres. 1, Natural fibres*. Durham : Merrow, str. 17–18.

Van DAM, Jan E. G. 2014. Markets for fibre crops in EU and China European Industrial Hemp Association [citirano 15. 5. 2016]. [dostopno na daljavo], European Industrial Hemp Association [citirano 14. 3. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<https://www.wageningenur.nl/web/file?uuid=0f2830e7-fff0-4e54-81b6-9214a81920c1&owner=c42953e8-4f11-49f7-9c2e-c9b32667ae52>>.

Food and agriculture organization of the United Nations, FAO. 2013 [dostopno na daljavo] Databases. Statistical capacity development. Standards [citirano 15. 4. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <www.fao.org/statistics/en/>.

GHALY, Sera Jane. 2016. Canada has developed a hemp car [online], *HERB*, 30. januar 2016 [citirano 15. 4. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://herb.co/2016/01/30/canada-developed-hemp-car/>>.

FRANK, Bernd in MUTHMANN, Peter. 1995 - 2003. *Answer 8 harvesting techniques processing of hemp and harvest techniques discussion* [dostopno na daljavo] HempWorld, [citirano 14. 3. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.hempworld.com/hemp-cyberfarm_com/htms/answers/answr_08.html>.

KAVČIČ, Ana in KOCJAN AČKO, Darja. 2012. Pridelava konoplje (*Cannabis sativa* L. var. *sativa*) za seme in pomen semena v prehrani. V *Prenos inovacij, znanj in izkušenj v vsakdanjo rabo : zbornik izvlečkov*, Ljubljana, str. 57–58, Naklo: Biotehniški center.

KOČEVAR, Franjo. 1950. *Tekstilne surovine*. Ljubljana : DZS, str. 126–139.

KOCJAN AČKO, Darja. 2002. Izobraževalni seminar. *Navadna konoplja in EU*. Gradivo. [dostopno na daljavo], [citirano 15. 3. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu: <www.konoplja.org/web/Konoplja/Industrija/Gradivo_Acko.doc>.

KOCJAN AČKO, Darja, BARIČEVIČ, Dea, RENGEO, Dean in ANDREŠEK, Samo. 2002. *Gospodarsko pomembne lastnosti petih sort konoplje (Cannabis sativa L. var. sativa)* iz poljskih poskusov v Markišavcih pri Murski Soboti. V *Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani – Kmetijstvo*, str. 237-252.

KOCJAN AČKO, Darja. 2015. *Poljščine: Pridelava in uporaba*. Ljubljana : ČZD Kmečki glas, str. 187.

MALEK, Aljaž. 2010. *Morfološke in nekatere gospodarsko pomembne lastnosti navadnje konoplje (Cannabis Sativa L.) : diplomski projekt*. Ljubljana, str. 3-7.

MATTHEWS, Joseph Merritt. 1924. *The textile fibers: their phisical, microscopical and chemical properties*. Fourth edition. Rewriten and enlarged. New York : John Wiley & Sons , London: Chapman & Hall, str. 791.

RIJAVEC, Tatjana. 2014. *Tekstilne surovine, osnove*. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, 2000. str. 145.

RIJAVEC, Tatjana. Tekstilne surovine in moda v dvajsetem stoletju : od oblačilne revščine do oblačilne blaginje. V *Moda in kultura oblačenja*. 1. izd. Uredili Maruša Pušnik in Elena Fajt. Maribor : Aristej, 2014, str. 69–88.

SHARMA, H. S. S. in van SUMERE, C. F. 1992. *The biology and processing of flax*. Belfast : M. Publications, str. 323.

SPONNER, J., TOTH, L., CZIGER, S. in FRANC, R. R. Hemp. V *Bast and other plant fibres*. Uredil Robert R. Franck. Boca Raton [etc.] : The Textile Instiute ; CRC Press ; Cambridge : Woodhead, 2005.

TAHIR, Paridah Md., AHMED, Amel B., SAIFUL AZRY, Syeed O. A. in AHMED, Zakiah. 2011. Retting process of some bast plant fibres and its effect on fibre quality : a review. *BioResources*, vol. 6, No. 4, 5260–5381.

THAMAE, T., AGHEDO, S., BAILLIE, C. in MATOVIC, D. 2009. Tensile properties of hemp and Agave americana fibres. V *Handbook of tensile properties of textile and technical fibres*. Uredil A. R. Bunsell. Boca Raton [ect.] : The Textile institute; CRC Press ; Oxford; Cambridge; New Delhi : Woodhead Publishing, 2009, str. 80.

VILCINA, Anastasija, GRINBERGA- ZALITE, Gunta, MAKOVSKA, Kristine. 2014. Development of hemp industry in the European union and Latvia. *Regional Formation and Development Studies*, , vol. 14 v št. 3, 199–206.

VITI, Haudek. 1980. *Textilfasern*. Heidelberg : Verlag Johann L. Bondi & Sohn, str. 141–150.

WILBRANDT, Gunter, APPELT, Herbert, ERTNER, Adalbert, BITTERFELD, Gollnisch, GROSSE, Gerhard, KELLAT, Siegfried, LÖWE, Eberhard, MALLY, Annerose, PÄTZOLD, Annelies, SCHMIDT, Dagmar, TUNGER, Siegfried in WOLF, Gertrud. *Faserstofflehre*. 1967. Leipzig : VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1967, str. 76–80.