

Komparativni prikaz građe i uporabe biljnih vlakana

Miličić, Nađa

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:684772>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

KOMPARATIVNI PRIKAZ GRAĐE I UPORABE BILJNIH VLAKANA
ZAVRŠNI RAD

Nađa Miličić

Preddiplomski studij biologije

Mentor: prof. dr. sc. Antun Alegro

Zagreb, 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. BILJNA VLAKNA I NJIHOVA STRUKTURA	2
2.1. Biljna vlakna	2
2.2. Konvencionalna biljna vlakna	3
2.3. Sastav i struktura biljnih vlakana.....	4
2.4. Lanac proizvodnje vlakana	5
2.5. Obrada i prerada vlakana	5
3. PODJELA PRIRODNIH VLAKANA	6
3.1. Likina vlakna	6
3.1.1. Lan (<i>Linum usitatissimum</i> L., Linaceae).....	6
3.1.2. Uzgojena konoplja (<i>Cannabis sativa</i> L., Cannabaceae).....	7
3.1.3. Juta (<i>Corchorus capsularis</i> L., Tiliaceae).....	9
3.1.4. Ramija (<i>Boehmeria nivea</i> L. i <i>Boehmeria viridis</i> , Urticaceae)	10
3.1.5. Kopriva (<i>Urtica dioica</i> L., Urticaceae).....	11
3.1.6. Roselle (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L., Malvaceae)	12
3.1.7. Ceasarweed (<i>Urena lobata</i> L., Malvaceae)	13
3.1.8. Kenaf (<i>Hibiscus cannabinus</i> L., Malvaceae).....	14
3.1.9. Sun (<i>Crotalaria juncea</i> L.)	15
3.2. Vlakna lista	17
3.2.1. Abaka (<i>Musa textilis</i> L.)	17
3.2.2. Sisal (<i>Agave sisalana</i> L., Liliaceae)	18
3.2.3. Kantala (<i>Agave cantala</i> L., Liliaceae).....	19
3.2.4. Heneken (<i>Agave fourcroydes</i> L., Liliaceae).....	20
3.2.5. Ananas (<i>Anannus comosus</i> L., Bromeliaceae)	21
3.2.6. Uljana palma (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq., Palmacea)	22
3.2.7. Mauricijska konoplja (<i>Furcraea foetida</i> (L.) Haw., Asparagaceae)	23
3.3 Sjemenska vlakna i voćna vlakna	24
3.3.1. Pamuk (<i>Gossypium</i> spp., Malvaceae)	24
3.3.2. Kokosova ljuska ili vlakna kokosa (<i>Cocos nucifera</i> , Palmae)	25
4. KOMPARATIVNI PRIKAZ BILJNIH VLAKANA	25
5. ZAKLJUČAK	28
LITERATURA	29
POPIS SLIKA I TABLICA	31
SAŽETAK	32
SUMMARY	32

1. UVOD

Biljna vlakna danas su popularan izbor u proizvodnji kompozita za spektar industrijskih primjena. Na temelju svoje održivosti, stablična vlakna dobivena iz biljaka kao što su konoplja, juta, sisal, kenaf i ramija zamjenjuju sintetička vlakna u sve većem broju kompozita. Kemijski sastav i fizikalna svojstva svakog od vlakana različita su, što zahtijeva njihovu detaljnu usporedbu kako bi se ona mogla optimalno iskoristiti i/ili ojačati što naravno znači širu industrijsku primjenu i manju štetu za okoliš. Mogućnosti jačanja biljnih vlakana i njihova svojstva opisani su u brojnim radovima. Danas su biokompoziti na bazi biljnih vlakana proizvedeni nakon nekoliko godina istraživanja koja pokazuju njihov potencijal. Biljna vlakna, posebno vlakna izolirana iz listova pojedinih biljaka, pronalaze primjenu u automobilskoj industriji, dok se većina ostalih vlakana proučava na istraživačkoj razini, a tek trebaju pronaći komercijalne primjene velikih razmjera. Biljna vlakna su hidrofilna zbog prisutnosti hidroksilne funkcionalne skupine što znači da upijaju znatnu količinu vlage iz okoliša, a kapacitet apsorpcije vlage uglavnom ovisi o kemijskom sastavu i kristalnosti biljnih vlakana.

Biljna vlakna strukturni su elementi mehaničkog tkiva ili sklerenhima u svim višim biljkama, a pojedinačnim vlaknom smatra se individualna mrtva stanica koju karakterizira: (1) zadebljala stanična stijenka koja može, ali ne mora biti sekundarno očvršćena ligninom; (2) velik omjer duljine i promjera s veoma malim lumenom. Osnovna funkcija sklerenhima je održavanje mehaničkog integriteta biljke odnosno pružanje potpore organizmu.

Izuzev sintetičkih polimera, većina ekonomski najvažnijih proizvoda, poput papira, užadi i tekstila, potječu od biljnih vlakana. U ovom radu obrađena su biljna vlakna i njihova struktura te je izvršena podjela biljnih vlakana na stablična odnosno likina vlakna, vlakna lista te sjemenska i voćna vlakna. Prije toga, objašnjena su konvencionalna biljna vlakna, lanac proizvodnje vlakana, te obrada i prerada vlakana. U konačnici, napravljen je komparativni prikaz biljnih vlakana.

2. BILJNA VLAKNA I NJIHOVA STRUKTURA

2.1. Biljna vlakna

Prirodna biljna vlakana dobivamo iz različitih dijelova biljke, uključujući lišće, stabljike, voće i sjemenke. Geometrijske dimenzije ovih vlakana, posebno duljina vlakana, najviše ovise o smještaju vlakana u biljci. Vlakna iz plodova i sjemena duga su nekoliko centimetara, dok su likina i lisna vlakna puno duža (duža čak od jednog metra) (Lee, 2019).

Uz iznimku vlakana sjemena i plodova, biljna vlakna su duguljaste stanice sklerenhima koje se javljaju u različitim dijelovima biljaka, uglavnom u stabljikama i lišću. To su izdužene stanice sa sužavajućim krajevima i vrlo su debele, obično jako zadebljale stanične stijenke koja može, ali i ne mora biti lignizirana (odrvnjela). Sklerenhim daje mehaničku čvrstoću i krutost u obliku potpornog tkiva u biljkama. Funkcija i građa vlakana također su usko povezani s floemskim i ksilemskim tkivom stabljika i lišća biljaka kritosjemenjača.

Glavno obilježje svih biljnih stanica je primarna stanična stijenka. Tijekom rasta buduće sklerenhimske stanice te nakon kraja istog, citoplazma se isušuje, a sama stijenka se zadebljava dodavanjem debele i krute sekundarne stanične stijenke duž citoplazmatske strane već postojeće stijenke, smanjujući time lumen stanice. Sekundarna stanična stijenka izgrađena je od slojeva uzastopno umetnutih celuloznih vlakana te svaki taj sloj možemo podijeliti u još tri podsloja, od kojih je srednji sloj najvažniji za mehanička svojstva vlakna. Sastoji se od spiralno poredanih mikrofibrila čije se duljine promjera kreću između 10-30 nm (Kozłowski i Muzyczek, 2017). Važan parametar strukture sekundarne stijenke je kut koji mikrofibrile celuloze zatvaraju u smjeru glavnih vlakana te se zapravo svaki od tri podsloja celuloznih vlakana međusobno razlikuju u mikrofibrilarnoj orijentaciji koja također varira ovisno o vrsti vlakna i biljke.

Biljna vlakna obično se sastoje od tri strukturna polimera: polisaharida celuloze, hemiceluloze i aromatičnog polimera lignina, kao i od nekih manjih nestrukturnih komponenata kao što su proteini i minerali. Celuloza tvori kristalnu strukturu u kojoj razlikujemo regije visokog reda (kristalne regije) i regije niskog reda (amorfne regije) (Alila i sur., 2013). Središnje lamele sastavljene od pektinskih polisaharida nalaze se između primarnih staničnih stijenki susjednih stanica te im omogućuju čvršće povezivanje isto kao i pojedinačnim vlakancima u snopove.

Prirodna biljna vlakna poput onih pamuka, lana, konoplje, jute, sisala, banane, kokosa, bambusa i ostalih nude nekoliko prednosti u odnosu na sintetička vlakna kao što su obilje i niska cijena (pristupačnost), obnovljivost, ekološka održivost, neabrazivnost i biorazgradivost. Prirodna biljna vlakna smatraju se ekološki prihvatljivijima od sintetičkih iz nekoliko razloga: rast, tj. metabolizam biljaka rezultira fiksiranjem atmosferskog CO₂ (kao i oslobađanjem O₂); organski uzgoj biljaka troši manje energije i resursa od proizvodnje sintetičkih polimera i vlakana; proizvode se iz obnovljivih izvora za razliku od proizvodnje sintetičkih vlakana koja dovodi do iscrpljivanja prirodnih resursa i, na kraju krajeva, onečišćenja svih staništa zbog njihove nerazgradive prirode.

2.2. Konvencionalna biljna vlakna

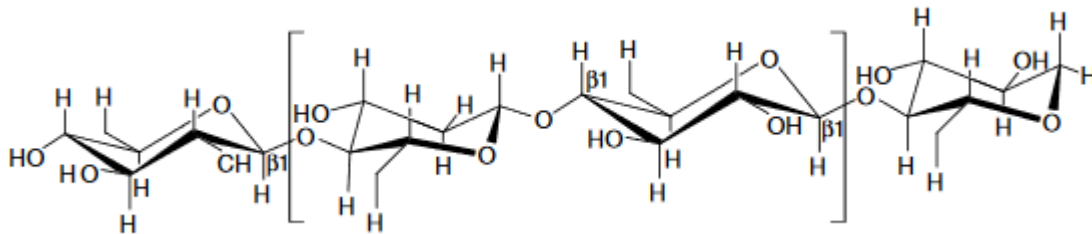
Tekstilna vlakna široko se klasificiraju kao prirodna vlakna i umjetna vlakna. Prirodna vlakna podrazumijevaju ona koja se sintetiziraju u prirodnim procesima, a nalazimo ih u biljkama (celulozna vlakna), životinjama (proteinska vlakna) i mineralima (azbest). Umjetna vlakna su ona koja u prirodi nisu prisutna, iako mogu biti djelomično sastavljena od prirodnih materijala, a razvrstavaju se u tri glavne skupine (Friedrich i Breuer, 2015): vlakna dobivena transformacijom prirodnih polimera (regenerirana vlakna); vlakna izrađena od sintetičkih polimera (sintetička vlakna) te vlakna izrađena od anorganskih materijala (vlakna izrađena od metala, keramike i ugljika ili stakla).

Priroda nam u svom obilju nudi mnoštvo materijala koji se mogu nazvati vlaknastim. Biljna vlakna dobivaju se iz različitih dijelova biljaka, poput sjemena (pamuk, kapok, mlječika), stabljika (lan, juta, konoplja, ramija, kenaf, kopriva, bambus), lišća (sisal, manila, abaka), plodova (kokosova vlakna) te drugih travnatih vlakna (Manaia i sur., 2019). Tekstilna vlakna izolirana iz biljaka smatraju se potpuno obnovljivima, održivima i biorazgradivima. Biljna vlakna su kroz svoju dugu povijest u ljudskoj civilizaciji stekla veliku ekonomsku važnost te se danas uzgajaju na globalnoj razini.

Vlakna koja nalazimo na sjemenima različitih biljaka nazivamo sjemenim dlakama ili sjemenskim vlaknima te kao svjetski najvažnijeg predstavnika možemo izdvojiti pamuk. Ostala vlakna ove skupine (npr. od kapoka) uglavnom se koriste u jastucima i madracima te pri izradi pojaseva za spašavanje.

2.3. Sastav i struktura biljnih vlakana

Prirodna vlakna podijeljena su na temelju svog podrijetla, bilo da su dobivena iz biljaka, životinja ili minerala. Biljna vlakna uključuju vlakna od lišća ili tvrda vlakna, sjeme, voće, drvo, slamu žitarica i drugih trava, a njihov kemijski sastav, kao i struktura, prilično su složeni. Biljna vlakna su kompozitni materijal koje je stvorila priroda (Smole, i sur., 2013). Vlakna su u osnovi kruta. Većina biljnih vlakana, osim pamuka, sastoji se od celuloze, hemiceluloze, lignina, voska i nekih u vodi topljivih spojeva. Glavna komponenta većine biljnih vlakana je celuloza (α -celuloza) – linearna makromolekula izgrađena od jedinica D-anhidroglukoze ($C_6H_{11}O_5$) spojenih β -1,4-glikozidnim vezama (Slika 1.) sa stupnjem polimerizacije (DP) od oko 10.000. Svaka ponavljajuća jedinica sadrži tri hidroksilne skupine čija sposobnost stvaranja vodikovih veza igra glavnu ulogu pri usmjeravanju kristalnog pakiranja i određivanju fizičkih svojstava celuloznih materijala (Cappelletto i sur., 2000). Čvrsta celuloza ima polukristalnu strukturu u kojoj razlikujemo visoko kristalne regije od amornih područja. Celuloza tvori duge i tanke kristalne mikrofibrile nalik na štapić sa monoklinsko sfenoidnom kristalnom strukturom koja je još poznata i kao celuloza I. Otporna je na jake lužine te relativno otporna na oksidanse.



Slika 1. strukturna formula celuloze

Lignin je spoj koji biljkama daje krutost, a nalazimo ga u svim odrvenjelim dijelovima biljke (npr. kora, ksilem). Njegova struktura i kemizam još nisu precizno utvrđeni, ali znamo da je riječ o nepravilnom, trodimenzionalnom kopolimeru alifatskih i aromatičnih spojeva s vrlo velikom molekularskom težinom i veoma složenom građom. Identificirana je većina građevnih jedinica kao i funkcionalnih skupina makromolekule kao što su hidroksilne, metoksilne i karbonilne te je utvrđeno da sadrži pet hidroksilnih i pet metoksilnih skupina po građevnoj jedinici. Lignin je amorfne i hidrofobne prirode te ga karakterizira visok udio ugljika, ali nizak sadržaj vodika. Smatra se da su strukturne jedinice molekule lignina derivati 4-hidroksi-3-metoksifenilpropana. To je termoplastični polimer, koji pokazuje temperaturu staklenog prijelaza na oko $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ i temperaturu topljenja (ona pri kojoj polimer počinje teći) na cca $170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Djelomično je topljiv u kiselinama (netopljiv ostatak nazivamo Klason lignin) i potpuno u vrućim lužinama, lako oksidira i lako se kondenzira s fenolom (Smole i sur., 2013).

2.4. Lanac proizvodnje vlakana

Lanac proizvodnje tekstilnih vlaknima možemo podijeliti u tri glavna koraka (Mohanty i sur., 2005): (1) poljoprivredna proizvodnja, (2) prerada vlakana i (3) upotreba vlakana. Poljoprivredna proizvodnja uključuje uzgoj, rast i ubiranje usjeva kao i skladištenje sirovina. Nakon toga se prerađuje sirovi materijal što započinje odvajanjem, tj. izoliranjem biljnih vlakana od ostatka biljke. Nakon što se sirova vlakna izvade, potrebno ih je očistiti, pročistiti, iščerkati i preradom ili tkanjem preraditi u traženi proizvod od vlakana. Različita vlakna zahtijevaju i različite načine obrade isto kao što i različite primjene zahtijevaju različite kvalitete vlakana. Kad je projektni vijek proizvoda od vlakana konačno gotov, treba ga zbrinuti (Kozłowski i Muzyczek, 2017). Mogao bi se reciklirati i ponovno upotrijebiti ili spaliti kako bi se djelomično povratila energija u obliku biogoriva ili se može kompostirati u specifičnim uvjetima.

2.5. Obrada i prerada vlakana

Dobro je poznato da izvedba kompozita ovisi o svojstvima pojedinih komponenata i njihovoj međusobnoj kompatibilnosti. Brojne primjene biljnih vlakana moraju se pripremiti ili modificirati uzimajući u obzir sljedeće (Mohanty i sur., 2005):

- Homogenizaciju svojstava vlakana
- Stupanj elementarizacije i degumiranja
- Stupanj polimerizacije i kristalizacije
- Dobro prianjanje između vlakana i matrice
- Odbijanje vlage
- Svojstva usporavanja plamena

Na ta svojstva mogu djelomično utjecati različiti postupci odvajanja vlakana, ali procesi obrade vlakana koji slijede su utjecajni. Nekoliko komponenata bez celuloze mora se ukloniti kako bi se osigurala kompatibilnost biljnih vlakana s okolnom polimernom matricom. Alkalizacija, pranje ili ključanje biljnih vlakana u 2-10%-tnim otopinama natrijevog, kalijevog ili litijevog hidroksida dovodi do uklanjanja neželjenih komponenata vlakana, koje se tijekom postupka otapaju i odvajaju (Kozłowski i Muzyczek, 2017). Alkalizacija, ovisno o koncentraciji lužine i temperaturi postupka, može značajno poboljšati mehanička i površinska svojstva vlakana.

3. PODJELA PRIRODNIH VLAKANA

3.1. Likina vlakna

3.1.1. Lan (*Linum usitatissimum* L., Linaceae)

Lan (Slika. 2) se uzgaja gotovo 10 000 godina, a njegova su vlakna, tj. platno, najstariji poznati tekstil koji datira još iz davnih mezopotamskih vremena, a osim tekstila, tisućljećima je pružao i druge veoma važne proizvode poput ulja, papira i celuloze. Danas se tekstilni lan primarno uzgaja u Europi, Argentini, Indiji, Kini i državama bivšeg Sovjetskog Saveza te najbolje uspijeva u umjerenim predjelima.



Slika 2. Cvijet lana (*Linum usitatissimum* L.)

Biljka lana sastoji se od korijena, stabljike i grana koje nose sjemenske kapsule. Samo se središnji dio (do 75% visine biljke) može koristiti za proizvodnju likovih vlakana (vlakna smještena u kori, periciklu ili floemu; celulozne stanične stijenke) (Mohanty i sur., 2005). Središnji dio stabljike na dnu počinje nodijem koji je nosio supke pri klijanju, a na gornjem kraju završava na početku grana. U 80 do 110 dana biljka naraste do visine između 80 i 150 cm.

Boja lanenih vlakana varira od svijetloplave do sive. Riječ je o veoma jakom i savitljivom, ali neistezljivom vlaknu koje se lagano se razvlači povećavanjem napetosti, a smatramo ga elastičnim

samo unutar malog stupnja produženja. Svojstva lanenih vlakana kontroliraju se molekularno finom strukturom vlakana.

Lan može podnijeti razrijeđene slabe kiseline, ali napadaju ga vruće razrijeđene kiseline ili hladne koncentrirane kiseline. Ima dobru otpornost na alkalne otopine. Vlakna lana prilično su skupa zbog mnogih radno intenzivnih koraka proizvodnje (Kozłowski i Muzyczek, 2017). Ipak, lanena vlakna koriste se kao ojačanje za kompozitne proizvode s visokom dodanom vrijednošću na poljima gdje su kompoziti izloženi samo rasponu srednjeg naprezanja, posebno za unutarnje automobilske komponente (Mohanty i sur., 2005).

3.1.2. Uzgojena konoplja (*Cannabis sativa* L., Cannabaceae)

Uzgojena konoplja (Slika 3.) je još jedna biljka poznata po kvalitetnim vlaknima iako će svima prva asocijacija biti opojni Δ 9-tetrahidrokanabinol (THC, aditerpen koji sadrži hidroksilnu funkcionalnu skupinu) sadržan u smoli cvjetova. Industrijska konoplja ne može se koristiti kao opojna droga jer gotovo ne proizvodi THC (manje od 1%), dok sorte „marihuane“ proizvode između 3 i 20% THC-a (Mohanty i sur, 2005) te je njihov uzgoj kao i posjedovanje u većini država zabranjeno. Svi kultivari uzgojene konoplje sadrže likova vlakna primjerena za dobivanje tekstila.



Slika 3. *Cannabis sativa* L. (uzgojena konoplja)

Porijeklom iz Srednje Azije, jedna je od najstarijih udomaćenih vrsta uzgajana preko 10000 godina. Sadnja i proizvodnja usjeva konoplje ima mnogo prednosti za poljoprivrednike jer joj nisu

potrebni gotovo nikakvi ili minimalni herbicidi i pesticidi (smola koju luči prirodni je repelent), kao ni fungicidi ili gnojiva. Ima impresivnu stopu rasta u visinu i širenja, tako da brzo prekrivaju tlo i tako suzbijaju korov i patogene koji se prenose zemljom. Ona je također sjajan usjev za kombinirane sadnje jer vraća u tlo hranjive sastojke, koji su zatim dostupni sljedećem usjevu. Posjeduje veoma dubok korijenski sustav koji sprečava eroziju te ga čisti pomažući strukturi tla. Različite sorte konoplje narastu do visine između 1,2 i 5 m, a maseni udio likinih vlakana u stabljici varira između 28 i 46% (Kozłowski i Muzyczek, 2017).

Muške biljke sazrijevaju ranije i moraju se ranije ubrati. Ženske biljke su jače razgranate i nose gušće lišće. Nekolicina jednodomnih sorti imaju istu brzinu razvoja. Najfinija i najkvalitetnija konopljina vlakna dobivena su od muških biljaka dvodomnih sorti, dok jednodomne sorte pronalaze primjenu u industriji celuloze i papira. Vlakna konoplje mogu biti veća od 1,8 m. Pojedinačna ili osnovna vlakna duga su u prosjeku 13 do 25 mm, a u presjeku imaju debele zidove i poligonalnog u oblika. Na stijenci imaju spojeve, pukotine, zadebljanja i druge nepravilnosti. Bjelkasta do žuta vlakna konoplje mogu biti dugačka i do 50 mm, imaju dobru čvrstoću i otpornost na vlagu te u vodi trule vrlo sporo. Konopljina vlakna grublja su, teže se izbjeljuju te imaju višu postojanost (oko 20%) u usporedbi s lanenim vlaknima, ali brže pucaju. Industrija tekstilnih pločica i dalje koristi vlakna konoplje zbog svojih izvrsnih svojstava. Tekstil od konoplje otporan je na vodu i mehanička naprezanja, nošenjem i pranjem omekšava, a moljci ih neće napadati. Proizvodi izrađeni od vlakana konoplje uključuju specijalni papir, tekstil za odjeću, građevinske materijale, bioplastiku i kompozite, hranu, lijekove i biogorivo (Mohanty i sur., 2005).

Vrijedi još navesti i Indijsku konoplju (*Apocynum cannabinum* L., slika 4.), poznata još i kao Dogbane konoplja, sjevernoamerička je biljka iz porodice Apocynaceae (red Gentianales). To je razgranata biljka koja naraste do 1,5 m visine te ima glatke nasuprotne listove i male zelenkasto bijele cvjetove (Kozłowski i Muzyczek, 2017). Indijanci su od stabljičnih vlakana izrađivali vreće, prostirke, mreže i sl. Njen mliječni sok ili lateks daje gumu, a suho korijenje indijske konoplje i srodne biljke *Apocynum androsaemifolium* L. čine lijek koji djeluje kao stimulans za srce. Uzgojena (prava) konoplja (*C. sativa*) ponekad se naziva indijskom konopljom, ali ta dva pojma nisu sinonimi.



Slika 4. *Apocynum cannabinum* L. (indijska konoplja)

3.1.3. Juta (*Corchorus capsularis* L., Tiliaceae)

Jutina vlakna najvažnija su biljna vlakna uz pamuk. Juta (slika 5.) je porijeklom s Mediterana odakle se proširila po Bliskom i Dalekom istoku, što ukazuje na njihovo korištenje od davnina. Kulture su zeljaste jednogodišnje biljke koje narastu od 2 do 3,5 m visine, sa stabljikom promjera 2 do 3 cm, a uzgajaju se isključivo zbog vlakana te uspjevaju u vrućoj i vlažnoj klimi. Juta je najsvestranije, ekološki prihvatljivo, prirodno, izdržljivo i antistatično vlakno na raspolaganju. Danas se većina jute proizvodi u deltama koje su stvorile rijeka Ganges i rijeka Bramhaputra u Indiji i Bangladešu. *Corchorus capsularis*, poznat kao bijela juta, i *C. olitorius*, poznat kao tamna juta, uzgajaju se u Indiji, Bangladešu, Tajlandu i Kini, kao i u Brazilu. Plantaže jute, predionice i tkaonice tih vlakana daju vrlo važan doprinos gospodarstvu ovih nekoliko zemalja. Prirodna boja jutenih vlakana je smeđa, a pojedinačna vlakanca imaju poligonalni poprečni presjek i variraju u veličini, a zbog nepravilnosti u debljini staničnih stijenki jako se razlikuju po snazi. Vlakna jute duga su (1,5 do 3 m), sjajna i elastična, ali imaju mali otpor na pucanje (oko 1,7%) odnosno krhka su zbog visokog sadržaja lignina (oko 20%). Veoma je kemijski osjetljiva, ali je otporna na mikroorganizme (Friedrich i Breuer, 2015). Vlakna gube vlačnu čvrstoću izlaganjem sunčevoj svjetlosti i imaju malu otpornost na vlagu i kiseline. Juta je najhigroskopnije biljno vlakno; međutim, ako se juta drži suhom, veoma je dugovječna. Vlačna čvrstoća jutenih vlakana niža je u odnosu na lan ili konoplju (Mohanty i sur., 2005).



Slika 5. *Corchorus capsularis* L. (bijela juta)

Jutina svilenkasta tekstura, njena biorazgradivost i otpornost na toplinu i vatru čine je prikladnom za uporabu u raznolikim industrijama za primjerice izradu namještaja, tepiha i ostalih podnih obloga. Sada se jutu sve više doživljava ne samo kao glavno tekstilno vlakno, već i kao sirovinu za netekstilne proizvode (Mohanty i sur., 2005). Vlakna od jute prikladna su kao ojačanje za pregrade, obloge, spuštene stropove i ostali namještaj. Izvedena su opsežna ispitivanja za proizvodnju kompozita od jute / epoksida, jute / poliestera i jute / fenola-formaldehida, kao što su jeftini materijali za stanovanje, silosi za skladištenje žitarica i mali ribarski brodovi (Friedrich i Breuer, 2015).

3.1.4. Ramija (*Boehmeria nivea* L., Urticaceae)

Ramija (slika 6.) smatra se jednom od najstarije kultiviranih vlakana u istočnoj Aziji, a uzgaja se uglavnom u Indoneziji, Kini, Japanu i Indiji. Ramija je izdržljiva višegodišnja kultura i može se ubirati čak i do šest puta godišnje. Biljka naraste do visine od 1,2 do 2,5 m. Vlakna ramije duga su 1,5 m ili više, a dobivaju se iz vanjskog dijela stabljike te su najduža i jedna od najjačih prirodnih finih tekstilnih vlakana. Promjer elementarnog vlakna varira od 10 do 25 μm . Ravnih su i nepravilnih oblika, s debelom staničnom stijenkom i sužavaju se do zaobljenih krajeva. Primarna stanična stijenka često je lignificirana te za posljedicu ima nizak higroskopski karakter vlakana (Mohanty i sur., 2005).



Slika 6. *Boehmeria* sp. Jacq. (ramija)

Vlakna ramije stoljećima se koriste kao tekstilna vlakna zbog svojih izvrsnih karakteristika. Ramijina vlakna vrlo su fina i poput svile, prirodno bijele boje i visokog sjaj. Ostale prednosti vlakna ramije su dobra otpornost na bakterije, plijesan i napad insekata. Vlakna su stabilna u alkalnim prilikama i ne oštećuju ih blage kiseline (Arsene i sur., 2013). Vlakna imaju izuzetnu čvrstoću koja se čak i lagano povećava kad su mokra. Zbog izvrsnih svojstava vlakana, vlakna ramije imaju veliki potencijal kao ojačavajuća vlakna za polimerne kompozite.

3.1.5. Kopriva (*Urtica dioica* L., Urticaceae)

Kopriva (slika 7.) je višegodišnja, dvodomna biljka kozmopolitske rasprostranjenosti koja naraste do visine od 2,8 m i u kori sadrži neosvijetljena likina vlakna. Vlakna koprive imaju izvanrednu čvrstoću i finoću u prosječnoj dužini od oko 4 cm (Rana i sur., 2014). Uzgoj koprive kao izvora vlakana, hrane i farmaceutskih proizvoda datira još iz 3000. pr. N. E. Prinos koprive povećan je u odnosu na divlje koprive (3-5%) uzgojem i postupcima selekcije na 14% (Mohanty i sur., 2002). Tijekom srednjeg vijeka i velikih ratova (Prvi i Drugi svjetski rat), od izuzetno trajnih vlakana koprive izrađivani su razni tekstili (tkanina od koprive). Međutim, nakon rata 1945., kopriva se potpuno prestala upotrebljavati u te svrhe. U današnje vrijeme vlakna koprive mogu se koristiti kao vlakna za ojačavanje polimernih kompozita (Jarman i sur., 1978).



Slika 7. *Urtica dioica* L. (kopriva)

3.1.6. Javanska juta (*Hibiscus sabdariffa* L., Malvaceae)

Roselle, koja se naziva i rosella, jamajčanska je kiselica ili java juta, biljka je iz porodice hibiskusa ili sljezovki (Malvaceae). Roselle je vjerojatno porijeklom iz zapadne Afrike i uključuje sortu *H. sabdariffa altissima*, uzgajanu zbog vlakana, i sortu *H. sabdariffa sabdariffa*, uzgajanu za jestivi vanjski dio cvijeta (Jarman i sur., 1978). Biljka, poznata u zapadnoj Indiji početkom 16. stoljeća, rasla je u Aziji do 17. stoljeća. Opsežni uzgoj u nizozemskoj Istočnoj Indiji (danas Indonezija) započeo je 1920-ih godina u okviru programa koji je subvencionirala vlada, a uspostavljen je za dobivanje vlakana za proizvodnju vreća sa šećerom (Arsene i sur., 2013).

Iako je višegodišnja biljka, roselle se obično uzgaja jednogodišnje i razmnožava se iz sjemena. Najbolje uspijeva u ilovastom, dobro prorahljenom tlu, uglavnom u tropskim klimatskim uvjetima te zahtijeva u prosjeku oko 25 cm padalina mjesečno tijekom vegetacijskog perioda (Mohanty i sur., 2002). Stabljike i listovi variraju od tamnozeleno do crvenkaste boje, a cvjetovi su kremasto bijeli ili blijedožuti (Latif i sur., 2019). Za vlaknaste usjeve sjeme se sije gusto, proizvodeći biljke visoke od 3 do 5 metara, sa minimalo grananja (Salem i sur., 2020). Stabljike, odrezane kad se pojave pupoljci, podvrgavaju se postupku ponovnog podrezivanja, zatim im se skida kora, kako bi se pristupilo vlaknima dugim od 1 do 1,5 metara te se sastoje od pojedinačnih stanica vlakana (Zhao i sur., 2019).



Slika 8. *Hibiscus sabdariffa* L. (Roselle)

Vlakna Roselle su sjajna, boja je u spektru od kremaste do srebrno bijele i umjereno su izražene. Koristi se, često u kombinaciji s jutom, za pakiranje tkanina i konopa, a glavni proizvođači ovih vlakana su Indija, Java i Filipini.

3.1.7. Kongo juta (*Urena lobata* L., Malvaceae)

Urena, zvana i aramina, bun ochra, cezarski korov ili Kongo juta, biljka je iz porodice sljezovki. Vjerojatno porijeklom iz Starog svijeta, raste samoniklo u tropskim i suptropskim područjima širom Zemlje. Dugo se koristi za dobivanje vlakana u Brazilu, ali sporo postiže važnost kao uzgojena vlaknasta kultura i još uvijek se u nekim zemljama smatra problematičnim korovom. Komercijalni uzgoj biljke započeo je u Kongu 1920-ih i u Srednjoj Africi 1930-ih (Jarman i sur., 1978).

Zeljasta je trajnica koja je u divljini obično vrlo razgranata i naraste oko 1 do 2 metra. Kultivirane biljke, gusto posijane, dosežu 3 do 4,5 metra visine, s granama i lišćem uglavnom koncentriranim pri vrhu. Listovi se razlikuju po veličini i obliku, ali obično su okruglastog oblika, s 3 do 7 režnjeva i nazubljenih rubova (Mohanty i sur., 2002). Cvjetovi, koji rastu pojedinačno, imaju pet latica koje su obično ružičaste boje. Sitno sjeme ima strukture poput kukica, a u najvećim količinama proizvode se kao neobrađene biljke.

Najbolje uspijeva u vrućoj, vlažnoj klimi, s izravnom sunčevom svjetlošću i bogatim, dobro prorahljenim tlom. Nalazi se samoniklo u tropskim i umjerenim zonama Sjeverne i Južne Amerike te u Aziji, Indoneziji, Filipinima i Africi (Kumar i sur., 2015). Uzgajani usjevi, obično uzgajani kao jednogodišnje kulture, nalaze se uglavnom u slivu Konga i Srednjoj Africi, s manjim sadnjama u Brazilu, Indiji i Madagaskaru. Biljka daje vlakno visoke kvalitete. Stabljike biljaka režu se ručno, iznad drvenaste biljne baze.



Slika 9. *Urena lobata* L. (Ceaserweed)

Vlakna urene su sjajne i kremasto bijele ili blijedožute boje. Vlakna su dugačka oko 1 metar. Urenina vlakna su fina, mekana i fleksibilna te se lako boje (Arsene i sur., 2013). Urena se koristi poput jute, koja izgledom i snagom također podsjeća na urenu, a upotrebljava se za izradu konopa, vreća, tkanina za vreće i materijala za tepihe i često se miješa s jutom ili drugim vlaknima.

3.1.8. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L., Malvaceae)

Kenaf (slika 10.) jednogodišnja je kultura poput trske podrijetlom iz Azije i Afrike. Kenaf brzo raste i za 5 mjeseci doseže visine od 2,4 do 6 m. Nadalje, ima najveću apsorpciju ugljikovog dioksida od bilo koje biljke (1 tona kenafa apsorbira 1,5 tone atmosferskog CO₂), što je vrijedno svojstvo u prevenciji globalnog zatopljenja. Stabljike kenafa uglavnom su okrugle i sadrže bodlje koje, ovisno o sorti, variraju u veličini. Kenaf sadrži dvije vrste vlakana: duga vlakna smještena u kortikalnom sloju i kratka vlakna smještena u lignitnoj zoni (Friedrich i Breuer, 2015). Elementarna vlakna kenafa su kratka, između 1,5 i 6 mm, i poligonalna u poprečnom presjeku. Njihova je površina prošarana i nepravilna. Debljina lumena jako varira na različitim dijelovima stanice, a ponekad i posve nestaje. Kenaf je vlakno boje apale koje sadrži manje neceluloznih materijala od jute. Vlakna kenafa gruba su i lomljiva te ih je

teško obraditi. Imaju otpornu čvrstoću sličnu niskokvalitetnoj juti i slaba su samo kad su mokra (Mohanty i sur., 2005).



Slika 10. *Hibiscus cannabinus* L. (kenaf)

Cijela stabljika kenafa i njena vlakna imaju brojne potencijalne potrebe, uključujući papir, tekstil i kompozite. Korištenje vlakana od kenafa također je od posebnog značaja sa stajališta ekološke prihvatljivosti. Povijesno gledano, kenafova su se vlakna koristila za proizvodnju konopa, kanapa i vreća. Sada se pojavljuju razne nove primjene, uključujući one za proizvode od papira, građevinske materijale, upijajuće tvari i hranu za stoku, a razvijanjem tehnologije i daljnjim istraživanjima sigurno je da će se pojaviti i druge mogućnosti (Mohanty i sur., 2005). Ove će opcije uključivati pitanja u rasponu od osnovnih poljoprivrednih metoda proizvodnje do marketinga proizvoda od kenafa. Kenaf vlakna predviđena su za primjenu kao ojačavaća vlakna za polimere.

3.1.9. Sun (*Crotalaria juncea* L., Fabaceae)

Sun, (*Crotalaria juncea* L.), također nazvana san, jednogodišnja je biljka iz porodice mahunarki (Fabaceae). Potječe vjerojatno s indijskog potkontinenta, gdje se uzgaja od prapovijesti. Iako se negdje koriste nazivi kao konoplja i indijska konoplja, ne spada u porodicu konopljovki (Cannabaceae), niti bi se ti nazivi trebali kolokvijalno koristiti. Od vlakana se izrađuju konopci, ribarske mreže, tkanine za vreće, platno i prostirke te se koristi za proizvodnju proizvoda od papira kao što su cigarete i papirnati

ulošci (Rana i sur., 2014). U mnogim tropskim zemljama također se uzgaja i kao usjev zelenog gnojiva koji se ore pod gnojidbu tla.



Slika 11. Crotalaria juncea L. (sun)

Sun se uzgaja iz sjemena i gusto se sije kako bi se ograničilo grananje i omogućilo postizanje maksimalne visine. Najbolje uspijeva u ilovastom, dobro gnojnom tlu, ali prilagodljiv je lošim tlima i prilično sušnoj klimi te se često uzgaja u kombinaciji s kulturama poput riže, kukuruza i pamuka. Biljke dosežu visinu od oko 2,5 do 3 metra (Salem i sur., 2020). Listovi su svijetlozelene boje, šiljastog oblika i duljine od 5 do 7,5 cm (Latif i sur., 2019), a žuti cvjetovi su tipične građe za mahunarke.

Usjevi vlakana ili se izrezuju ili izvlače kad se sjemenke počnu stvarati, a sama vlakna dobivaju se postupkom odvajanja vlakana od stabljike nakon kojeg se vrši skidanje, pranje i sušenje. Finalni produkt su sjajna vlakna, bjelkaste, sive ili žute boje, a vlaknaste niti, duge oko 1 do 1,5 metara, sastoje se od pojedinačnih vlaknastih stanica cilindričnog oblika i s isprepletenim zadebljanjima stijenke. Sunova vlakna jaka su gotovo poput konopljinih i trajnija su od jutinih. Biljka ima veću snagu kad je mokra i prilično je otporna na plijesan (Kumar i sur., 2015).

3.2. Vlakna lista

3.2.1. Abaka (*Musa textilis* L., Musaceae)

Biljka abaka (obično poznata kao Manila konoplja), srodnica banane, raste do visine od 3 do 4 m. Porijeklom je s Filipina, ali je također nalazimo i u Indoneziji te Srednjoj i Južnoj Americi (Mohanty i sur., 2002). Filipini su najveći svjetski dobavljač vlakana i proizvoda od abake (slika 12.).



Slika 12. *Musa textilis* L. (abaka), cvijet

Abaka daje tvrdo vlakno žućkasto-bijele boje iz ovojnica listova, te se smatra najčvršćim biljnim vlaknom. Vlakna se odvajaju od biljaka otprilike na isti način kao i vlakna sisala (Rana i sur., 2014). Vlačna čvrstoća tri je puta veća od pamuka i dvostruko veća od sisala. Nadalje, vlakna abake, u prosjeku duga 2 do 3,5 metra, daleko su otpornija na razgradnju u slanoj vodi od većine ostalih biljnih vlakana. Pojedinačna vlakna su relativno glatka i ravna i imaju usko zašiljene krajeve. Pojedinačna vlakanca abake imaju duljinu od 4 do 6 mm i promjere između 17 i 21 μm (Kumar i sur., 2015). Vlakna abake uglavnom se koriste za proizvodnju užadi i rukotvorina, kao što su torbe, podmetači, papuče i otirači. U novije vrijeme istražuju se potencijalne primjene vlakana abaka kod armaturnih kompozita.

3.2.2. Sisal (*Agave sisalana* L., Asparagaceae)

Sisal (slika 13.) je porijeklom iz Meksika i Srednje Amerike, te su njena vlakna izolirana iz listova ondje koristili još i narodi Maye i Azteca za proizvodnju sirovih tkanina. Danas se široko uzgaja u tropskim zemljama Afrike, Zapadne Indije i Dalekog istoka. Biljka naraste do visine od oko 2 metra, a vlakna se ekstrahiraju iz svježeg lišća, zatim se isperu i osuše na suncu (Jarman i sur., 1978). Strojevi uklanjaju tkivo lista drobljenjem, struganjem i pranjem.



Slika 13. *Agave sisalana* L. (sisal)

Vlakno sisala je tvrdo i jedno je od četiri najčešće korištena biljna vlakna. Na njega otpada gotovo polovica ukupne proizvodnje biljnih vlakana. Godišnje se u cijelom svijetu proizvede gotovo 4,5 milijuna tona vlakana, s Tanzanijom i Brazilom kao glavnim globalnim proizvođačima (Zhao i sur., 2019). Dužina vlakna sisala varira između 0,6 i 1,5 m, a promjeri variraju od 100 do 300 μm (Latif i sur., 2019). Vlakno zapravo čini snop šupljih vlakanaca čije su stanične stijenke ojačane spiralno orijentiranom celulozom. Sastav vanjske površine stanične stijenke sloj je lignina i voštanih tvari koji vezuju stanicu na susjedne stoga ova površina ne stvara jake veze s polimernom matricom (Kumar i sur., 2015). Glatka i ravna vlakna sisala žute su boje i lako se razgrađuju u slanoj vodi. Vlačna svojstva vlakana sisala nisu jednaka po cijeloj njegovoj duljini – vlakna izvučena iz korijena ili donjeg dijela lista imaju manju čvrstoću, ali veću pukotinsku napetost, a vlakna postaju jača i tvrđa u srednjem dijelu lista dok vlakna

izvučena iz vrha imaju umjerena svojstva. Vlačna čvrstoća, modul i žilavost sisalovih vlakana smanjuju se s porastom temperature. Polimeri ojačani sisalovim vlaknima koriste se za unutrašnjost automobila (Salem i sur., 2020).

3.2.3. Kantala (*Agave cantala* (Haw.) Roxb. ex Salm-Dyck, Asparagaceae)

Kantala ili cantala (slika 14.) je tropska biljka iz porodice Asparagaceae s lišćem u obliku koplja koji izrasta izravno iz peteljke oblikujući gustu rozetu biljka. Debeli sivo-zeleni listovi obrubljeni su oštrim zubima mogu doseći oko 2 metra visine. Biljka je monokarpična, što znači da umire nakon cvatnje, a cvjetovi se nalaze na velikoj stabljici koja može biti viša od 8 metara.



Slika 14. *Agave cantala* (Haw.) Roxb. ex Salm-Dyck. (kantala)

Vjerojatno porijeklom iz Meksika, biljka se uzgaja na Filipinima od 1783. godine, a raste u Indoneziji i Indiji od ranih 1800-ih (Zhao i sur., 2019), poznata je kao Manila maguey ili Cebu maguey u komercijalnoj trgovini. Od vlakana kantale prave se grubi kanapi slični onima srodnih biljaka sisala (*A. sisalana*) i henekena (*A. fourcroydes*), ali su mekši i upijaju vodu (Jarman i sur., 1978). Lokalno se koristi za tkanine, a uglavnom se uzgaja na indijskom potkontinentu, u Indoneziji i na Filipinima. Vlakna se izoliraju mehaničkim uklanjanjem površine listova, a tradicionalni način na Filipinima uključuje struganje ili ljuštenjem koristeći slanu vodu što proizvodi prilično slaba i zamrljana vlakna. Niti fine teksture bijele su boje i duljine od 75 do 150 cm.

3.2.4. Heneken (*Agave fourcroydes* Lem., Asparagaceae)

Heneken ili henequen (slika 15.) bliki je srodnik sisala, a vlakna izolirana iz dugih kopljastih listova sastoje se od približno 60% celuloze, 25% hemiceluloze, 8% lignina i 2% voska (Arsene i sur., 2013). Uobičajeno se koriste u proizvodnji tekstilnih proizvoda, a već su ga Maya indijanci koristili za izradu kanapa, visećih mreža, odjeće i prostirki. Danas je industrija henekena (kao i sisala) koncentrirana u tropskim regijama Afrike, Srednje i Južne Amerike i Azije (posebno Kine) (Mohanty i sur., 2002). Usjevi se zbog vlakana uzgajaju u nekim od najsiromašnijih područja svijeta te je u mnogim slučajevima na tim područjima njihova proizvodnja jedini izvor prihoda i gospodarske aktivnosti. Stoga uzgoj henekena za vlakna može znatno pridonijeti naporima da se smanji siromaštvo i osigura ruralno zapošljavanje.



Slika 15. *Agave fourcroydes* Lem. (heneken)

Promjer vlakna najveći je pri bazi lista i smanjuje se prema njegovome vrhu, a također ga uvjetuje i mjesto uzgoja biljke (Zhao i sur., 2019). Poprečni presjek vlakna mijenja se od oblika snopa na baznom kraju do zaobljenog oblika na vrhu vlakna. Poput sisala, vlakna henekena glatka su i ravna te se lako razgrađuju u slanoj vodi. Imaju relativno veliku žilavost što ih čini pogodnima za ojačanje polimera (Kumar i sur., 2015) kao i dobru elastičnost što ih čini sve popularnijima.

3.2.5. Ananas (*Anannus comosus* (L.) Merr., Bromeliaceae)

Ananas se uzgaja u tropskim zemljama obično zbog konzumacije (slika 16.). Usjev ananasa ima vrlo kratku stabljiku koja prvo stvara rozetu od vlaknastih listova. Listovi su dugi oko 90 cm, široki od 5 do 7,5 cm i u obliku mača, tamnozeleno boje, a na rubovima nose bodlje (Arsene i sur., 2013). Od njih se mogu odvojiti jaka, bijela i svilenkasta vlakna. Vlakna ananasa (PALF) dobivaju se iz lišća biljke ananas (Latif i sur., 2019), a zbog nedostatka znanja o njihovoj ekonomskoj upotrebi ova vlakna nedovoljno su industrijski iskorištena. Tradicionalno se PALF koristi za proizvodnju tkanina, tepiha i zavjesa. PALF je višestanično vlakno koje se uglavnom sastoji od celuloze (70 –82%), polisaharida i lignina. Mekinje ananasa su voćni ostaci od pravljenja soka, sadrže puno vitamina A i koriste se u hrani za stoku.



Slika 16. *Anannus comosus* (L.) Merr s plodom

Vlakna imaju strukturu nalik vrpci i sastoje se od provodnog snopnog sustava koji je prisutan u obliku grozdova vlaknastih stanica koji se dobivaju nakon mehaničkog uklanjanja svih epidermalnih tkiva. PALF je dobre kvalitete, a za razliku od jute, njegova je struktura bez mreže dok je otpor PALF-a na savijanje i uvijanje usporediv s jutinim vlaknima. Superiorna mehanička svojstva PALF-a povezana su s visokim udjelom celuloze i razmjerno malim mikrofibrilarnim kutom (Jarman i sur., 1978). PALF je vrlo higroskopno vlakno te mu se čvrstoća smanjuje 50% kad je mokro. Prisutnost velike količine lignina i drugih voštanih tvari na PALF-u dovodi do bržeg izbljeđivanja boja u odnosu na pamuk (Arsene i sur., 2013). Relativno velika grubost PALF-a otežava prodiranje boje.

3.2.6. Uljana palma (*Elaeis guineensis* Jacq., Arecaceae)

Uljana palma višegodišnja je kultura koja je porijeklom iz zapadne Afrike i sliva Konga. U prošleme stoljeću uljana je palma bila predmet jednog od najuspješnijih programa unapređenja usjeva kultivirane palme (Mohanty i sur., 2002). Ulje mezokarpa i endosperma glavni su proizvodi uljanih palmi, dok ostali proizvodi uključuju palmino vino, hranu, lijekove, sirovine za kalijeva gnojiva, kotlovsko gorivo, građevinske materijale i širok spektar rukotvorina i predmeta, pa je uljana palma od velike gospodarske vrijednosti (Zhao i sur., 2019).

Afrička uljana palma (slika 17.) je klasična višenamjenska vrsta, za razliku od plantažnih palmi od kojih se uglavnom dobija samo palmino ulje. Industrija uljane palme stvara obilnu količinu raznih vlakana iz listova i debla (Salem i sur., 2020). Vlakna također treba očistiti od masnih i prljavih materijala, a neki od nusproizvoda izolacije vlakana, posebno kolač od palminog zrna i listova uljane palme, koriste se za prehranu goveda, ovaca i koza. Glavna komponenta vlakna je celuloza, ali sadrže i velike količine lignina. Vlakna su vrlo porozna i imaju presjek sličan lakuni, a njihovi promjeri uvelike variraju (Kumar i sur., 2015). Svi ovi čimbenici utječu na mehanička svojstva vlakana kao što je velika žilavost, ali ipak slabija čvrstoća od većine ostalih biljnih vlakana.



Slika 17. *Elaeis guineensis* Jacq. (uljana palma)

3.2.7. Mauricijska konoplja (*Furcraea foetida* (L.) Haw., Asparagaceae)

Mauricijska konoplja (*Furcraea foetida* (L.) Haw.), portugalska piteira ili francuska aloja, unatoč imenu, nije prava konoplja (Latif i sur., 2019) nit potječe s Mauricijusa. Porijeklom je iz Brazila, gdje je komercijalna proizvodnja vlakana započela oko 1875. godine (Kumar i sur., 2015), na Mauricijus je uvezena krajem 18. stoljeća, a uzgoj je uspostavljen u istočnoj Africi, na Cejlonu (danas Šri Lanka) i na Svetoj Heleni koncem 19. stoljeća. Njena lisna vlakna koriste se za izradu vreća i drugih grubih tkanina, a ponekad se miješaju s drugim biljnim vlaknima kako bi im se poboljšala svojstva. Biljka se na nekim mjestima uzgaja kao ukras.



Slika 18 Mauricijska konoplja (*Furcraea foetida* (L.) Haw.)

Biljka ima lišće u obliku koplja koje izrasta izravno iz kratke stabljike biljke u obliku guste rozete. Svjetlozeleni listovi dugi su 1,2 do 2,1 metara te mu je najširi dio oko 20 cm. Neki su obrubljeni trnovitim izbočinama. Cvjetna stabljika, koja se pojavljuje pred kraj života biljke, nekih 8 do 10 godina nakon sadnje, naraste do 12,2 metra i nosi bijele cvjetove duge oko 3,8 cm (Jarman i sur., 1978). Biljka se uzgaja uglavnom na velikim plantažama i daje lišće pogodno za žetvu u roku od tri do četiri godine nakon sadnje, a potom svakih 18 do 36 mjeseci te u svakoj berbi daje oko 25-30 listova.

3.3 Sjemenska vlakna i voćna vlakna

3.3.1. Pamuk (*Gossypium* spp., Malvaceae)

Pamučna vlakna sastoje se od jednoćelijskih sjemenskih dlačica u zdjelicama biljke pamuk. Plod pamuka pukne kad je zreo, otkrivajući pramen vlakana veličine šake duljine od 25 do 60 mm i promjera koji variraju između 12 i 45 μm . Pamuk je tropskog podrijetla, ali najuspješnije se uzgaja u umjerenj klimi s dobro raspoređenim kišama. Pamučna vlakna rana su društva koristila za proizvodnju tekstila (Arsene i sur., 2013).



Slika 19 Pamuk (Gossypium spp.)

Pamučna vlakna imaju izraženu troslojnu strukturu. Vanjski sloj voska štiti primarni zid. Sekundarni stanični zid sastoji se uglavnom od celuloze. Tercijarni zid okružuje lumen. Zrela pamučna vlakna imaju presjeke u obliku bubrega. Površinska kontura vlakana ravna je i uvijena, nalik rebru. Boja pamuka kreće se od kremasto bijele do prljavo sive, ovisno o uvjetima u kojima se proizvodi. Pamuk je hidrofilan, a vlakna znatno nabubre u vodi. Pamuk oslobađa znatnu količinu topline upijajući vlagu. Polako se suši. Stabilan je u vodi (Jarman i sur., 1978).

Čvrstoća pamuka niži su u usporedbi s vlaknima konoplje, dok su njegovo produljenje pri lomu, fleksibilnost i elastični oporavak veći. Vlakna su otporna na lužine. Otpornost pamuka na mikrobe je niska, ali vlakna su visoko otporna na moljce i bube. Pamuk lako i brzo gori, može se kuhati i sterilizirati,

a ne uzrokuje iritaciju kože ili druge alergije. Nebrojani proizvodi izrađeni su od pamuka, prvenstveno tekstila, konopa i užadi za automobilske gume (Mohanty i sur., 2002). Pamučna vlakna su okosnica svjetske trgovine tekstilom.

3.3.2. Kokosova ljuska ili vlakna kokosa (*Cocos nucifera* L., Arecaceae)

Vlakna kokosa dobivaju se iz vlaknaste ljuske (mezokarpa) koja obuhvaća plod kokosove palme, koji je nusprodukt postupka ekstrakcije kopre. Kokosove palme uzgajaju se u tropskim zemljama uglavnom zbog visokog sadržaja ulja u endospermi (kopri). Ulje se široko koristi u prehrambenoj i neprehrambenoj industriji (npr. u proizvodnji tenzida) (Kumar i sur., 2015). Velika proizvodna područja nalaze se duž obalnih regija u vlažnim tropskim područjima Azije na Filipinima, Indoneziji, Indiji, Šri Lanki i Maleziji. U tim zemljama milijuni ljudi žive od kokosove palme i mnogih njenih proizvoda. Međutim, Indija i Šri Lanka glavne su države u proizvodnji vlakana od kokosove ljuske. Nakon ručnog odvajanja orašastih plodova od ljuske, vlaknasta se ljuska može preraditi različitim tehnikama.

4. KOMPARATIVNI PRIKAZ BILJNIH VLAKANA

Osnovne kemijske strukture celuloze u svim biljnim vlaknima su slične, ali imaju različite stupnjeve polimerizacije, dok se geometrija stanica svake vrste celuloza razlikuje od vlakana. Različita vlakna, različiti uvjeti rasta i različite metode ispitivanja koje koriste različite studije znače da je teško predstaviti jednu tablicu koja sadrži sva svojstva vlakana (Salem i sur., 2020). Međutim, uobičajeni kemijski sastavi nekih lignoceluloznih vlakana navedeni su u sljedećoj tablici.

Celuloza je najvažnija strukturna komponenta biljnih prirodnih vlakana; međutim, toplinska otpornost celuloze je slaba. Ostali važni čimbenici koji određuju ukupna svojstva biljnih vlakana su njihova struktura, kemijski sastav, dimenzije stanica i nedostaci. Glavna ograničenja u primjeni prirodnih vlakana uključuju (Arsene i sur., 2013):

- velika zapaljivost prirodnih vlakana;
- ograničenja performansi, osobito vlačna, udarna čvrstoća i nizak toplinski otpor;
- osjetljivost na upijanje vlage;
- miris i zamagljivanje.

Važno je razumjeti pojedinačna svojstva i uvjete uzgoja široko korištenih biljnih vlakana kako bi se učinkovito koristili u primjeni kompozita.

Tablica 1. Kemijska svojstva nekih od uobičajenih prirodnih vlakana (Friedrich i Breuer, 2015).

Vlakno	Celuloza (%)	Hemiceluloza (%)	Lignin (%)	Vosak (%)
Bagasa (biomasa šećerne trske)	55.2	16.8	25.3	-
Bambus	26-43	30	21-31	-
Lan	71	18.6-20.6	2.2	1.5
Kenaf	72	20.3	9	-
Juta	61-71	14-20	12-13	0.5
Konoplja	68	15	10	0.8
Rami	68.6-76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
Abaka	56-63	20-25	7-9	3
Sisala	65	12	9.9	2
Coir	32-43	0.15-0.25	40-45	-
Uljna palma	65	-	29	-
Ananas	81	-	12.7	-
Curaua	73.6	9.9	7.5	-
Pšenična slama	34-45	15-31	12-20	-
Rižina ljuska	35-45	19-25	20	14-17
Rižina slama	41-57	33	8-19	8-28

Tablica 2. prikazuje kemijski sastav nekih biljnih vlakana i fizička svojstva biljnih vlakana. Ponovno se primjećuje da je celuloza glavni sastojak biljnih vlakana praćenih hemi-celulozama i ligninom, odnosno pektinom (Jarman i sur., 1978). Celuloza je također pojačanje za lignin, hemi-celulozu i pektin. Zbog toga biljna vlakna pokazuju karakteristike kompozitnog materijala.

Tablica 2. Kemijski sastav nekih biljnih vlakana (Mwaikambo, 2006)

Vrsta vlakna	Celuloza	Hemiceluloza	Lignin	Pektin
Abaka	61-64	21	12	0.8
Bagasa (biomasa šećerne trske)	32-48	21	19.9-24	10
Banana	60-65	6-19	5-10	3-5
Bambus	26-43	15-26	21-31	-
Coir	46	0.3	45	4
Pamuk	82-96	2-6	0.5-1	5-7
Lan	60-81	14-19	2-3	0.9
Konoplja	70-92	18-22	3-5	0.9
Juta	51-84	12-20	5-13	0.2
Kapok	13.16	-	-	-
Kenaf	44-57	21	15-19	2
Formij	67	30	11	-
Ananas	80-81	16-19	4.6-12	2-3
Rami	68-76	13-15	0.6-1	1.9-2
Sisala	43-78	10-13	4-12	0.8-2
Drvo	45-50	23-30	27	2-2.5

Fizička svojstva prikazana u Tablici 3 su svojstva jednostaničnih (ultimativnih) vlakana, tj. Fizička svojstva lisnatih i golih vlakana. Vlakna s najvećim odnosom stranica pokazat će najveća vlačna svojstva, a pružaju visoku površinu pogodnu za armiranje.

Tablica 3. Fizikna svojstva biljnih vlakana (Mwaikambo, 2006)

Vrsta vlakna	Promjer (micro m)	Dužina (mm)	Omjer	Kut mikrofibrile	Gustoća mase	Postotak vlage
Abaka	17.0-21.4	4.6-5.2	257	-	1500	14
Bagasa	20	1.7	-	-	550-1250	-
Banana	-	2-3.8	-	11-12	1300-1350	-
Bambus	10-40	2.7	-	-	1500	-
Coir	16.2-19.5	0.9-1.2	64	39-49	1250	13
Pamuk	11.5-17	20-64	2752	20-30	1550	8.5
Lan	17.8-21.6	27.4-36.1	1258	5	1400-1500	12
Konoplja	17.0-22.8	8.3-14.1	549	6.2	1400-1500	12
Juta	15.9-20.7	1.9-3.2	157	8.1	1300-1500	17
Kapok	15-35	8-32	724	-	384	10.9
Kenaf	17.7-21.9	2.0-2.7	119	-	1220-1400	17
Formij	15.4-16.4	5.0-5.7	337	-	-	-
Ananas	20-80	-	-	6-14	1520-1560	-
Rami	28.1-35.0	60-250	4639	-	1550	8.5
Sisala	18.3-23.7	1.8-3.1	115	10-22	1300-1500	14

5. ZAKLJUČAK

Biljna vlakna imaju mnogo značajnih prednosti u odnosu na sintetička vlakna. Neka biljna vlakna imaju nisku cijenu, nisku gustoću, imaju visoku specifičnu čvrstoću te posjeduju lakoću oblikovanja. Specifična svojstva biljnih vlakana usporediva su sa staklenim vlaknima. Tijekom obrade, prirodna vlakna nisu agresivna. Dalje je prednost što biljna vlakna ne uzrokuju iritaciju kože tijekom rukovanja i uporabe. Ova svojstva su posebno korisna u usporedbi biljnih vlakana sa staklenim vlaknima koja se u velikoj mjeri koriste kao ojačanje u polimernim kompozitima. Također, procijenjeno je da je količina energije potrebne za proizvodnju tekstila i tkanina od biljnih vlakana gotovo duplo niža nego za proizvodnju staklenih vlakana. Kao posljedica toga, biljna se vlakna koriste u širokom spektru proizvoda za tekstilnu i netekstilnu primjenu. Vlakna lista, lana, konoplje, jute, sisala i henekena ponovno se sve više koriste na svjetskom tržištu zbog svojih izvrsnih specifičnih svojstava.

Tekstilna industrija uglavnom koristi pamuk, ali također i vlakna lana, jute, ramije, konoplje i andzala, dok je uporaba vlakana dobivenih od slame uglavnom ograničena na papirnu industriju. Mnoga biljna vlakna također se koriste kao ojačanje za tzv. zelene kompozite. 'Zeleni' kompozitni materijali pronašli su primjenu koja ne uključuje vrlo velika naprezanja, na primjer, kao nestrukturni dijelovi za automobilsku i željezničku industriju. Glavni nedostatak biljnih vlakana je velika apsorpcija vlage, što dovodi do bubrenja vlakana i posljedično uzrokuje dimenzionalne varijacije konačnog materijala. Zbog nepravilne geometrije vlakana nedostaje modeliranje diskretnih količina "zelenih" kompozita. Proizvodi od biljnih vlakana ekološki su prihvatljivi, a njihova uporaba također je sve popularnija zbog rasta ekološke svijesti u potrošača. Najvažnije ekološke prednosti korištenja biljnih vlakana su: smanjenje emisije CO₂, mogućnost biorazgradivosti i recikliranja. Uz to, rast uporabe biljnih vlakana ima pozitivan utjecaj na dohodak poljoprivrednika, proizvođača vlakana i proizvođača materijala.

LITERATURA

1. Alila, S., Besbes, I., Vilar, M. R., Mutjé, P., Boufi, S. (2013). Non-woody plants as raw materials for production of microfibrillated cellulose (MFC): A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 41, 250-259. doi:10.1016/j.indcrop.2012.04.028
2. Arsene, M.A., Bilba, K., Savastano, H. & Ghavami, K. (2013). Treatments of non-wood plant fibres used as reinforcement in composite materials. *Mat. Res.* vol.16 no.4 São Carlos July/Aug. 2013 Epub.
3. Cappelletto, P., Mongardini, F., Brizzi, M., Skinner, J., Sebe, G., Hague, J. & Pasini, P. (2000). Plant Fibres in Composites. Comparative Results between Hemp, Kenaf and Flax Fibres. Preparation of Raw Material and Final Products, *Molecular Crystals and Liquid Crystals Science and Technology. Section A. Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 354:1, 391-399, DOI: 10.1080/10587250008023631
4. Friedrich, K., Breuer, U. (2015). Multifunctionality of polymer composites: Challenges and new solutions. Amsterdam: Elsevier Science.
5. Jarman, C.G., Canning, A.J., and Mykoluk, S. (1978). Cultivation, extraction and processing of Ramie fibre: a review, *Trop. Sci.*, 202, 91.
6. Kumar, S., Ramamoorthy, M., & Persson, A. (2015). A Review of Natural Fibers Used in Biocomposites: Plant, Animal and Regenerated Cellulose Fibers, *Polymer Reviews*, 55:1, 107-162, DOI: 10.1080/15583724.2014.971124
7. Latif, H., Wakeel, S., Khan, N.Z., Siddiquee, A.N., Verma, S.L., Akhtar-Khan, Z. (2019). Surface treatments of plant fibers and their effects on mechanical properties of fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*.
8. Lee, J. A. (2019). Plant Fibers. *CRC Handbook of Plant Science in Agriculture Volume II*, 173-182. doi:10.1201/9780429286735-11
9. Manaia, J. P., Manaia, A. T., Rodrigues, L. (2019). Industrial Hemp Fibers: An Overview. *Fibers*, 7(12), 106. doi:10.3390/fib7120106
10. Mohanty, A.K., Misra, M., and Drzal, L.T. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world, *J. Polym. Environ.*
11. Mohanty, K.A., Misra, M., Drzal, T.L. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Boca Raton, FL : Taylor & Francis
12. Mwaikambo, L. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. *African Journal of Science and Technology*. 7. 120-133.

13. Rana S., Pichandi S., Parveen S., Fanguero R. (2014) Natural Plant Fibers: Production, Processing, Properties and Their Sustainability Parameters. In: Muthu S. (eds) Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing. Textile Science and Clothing Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0_1
14. Rana, S., Pichandi, S., Parveen, S. & Fanguero, R. (2014). Natural Plant Fibers: Production, Processing, Properties and Their Sustainability Parameters. 10.1007/978-981-287-065-0_1.
15. Salem, T., Tirkes, S., Akar, A., & Tayfun, U. (2020). Enhancement of mechanical, thermal and water uptake performance of TPU/jute fiber green composites via chemical treatments on fiber surface, *e-Polymers* , 20(1), 133-143. doi: <https://doi.org/10.1515/epoly-2020-0015>
16. Smole, M.S., Hribernik, S., Kleinschek, K.S., Kreže, T. (2013). Plant Fibres for Textile and Technical Applications. Open access peer-reviewed chapter
17. Zhao, K., Xue, S., Zhang, P., Tian, Y., & Li, P. (2019). Application of Natural Plant Fibers in Cement-Based Composites and the Influence on Mechanical Properties and Mass Transport. *Materials* (Basel, Switzerland), 12(21), 3498. <https://doi.org/10.3390/ma12213498>

POPIS SLIKA I TABLICA

SLIKA 1. STRUKTURNA FORMULA CELULOZE	4
SLIKA 2. CVIJET LANA (LINUM USITATISSIMUM L.)	6
SLIKA 3. CANNABIS SATIVA L. (UZGOJENA KONOPLJA)	7
SLIKA 4. APOCYNUM CANNABINUM L. (INDIJSKA KONOPLJA)	9
SLIKA 5. CORCHORUS CAPSULARIS L. (BIJELA JUTA).....	10
SLIKA 6. BOEHMERIA SP. JACQ. (RAMIJA)	11
SLIKA 7. URTICA DIOICA L. (KOPRIVA).....	12
SLIKA 8. HIBISCUS SABDARIFFA L. (ROSELLE)	13
SLIKA 9. URENA LOBATA L. (CEASERWEED)	14
SLIKA 10. HIBISCUS CANNABINUS L. (KENAF).....	15
SLIKA 11. CROTALARIA JUNCEA L. (SUN).....	16
SLIKA 12. MUSA TEXTILIS L. (ABAKA), CVIJET	17
SLIKA 13. AGAVE SISALANA L. (SISAL).....	18
SLIKA 14. AGAVE CANTALA (HAW.) ROXB. EX SALM-DYCK. (KANTALA)	19
SLIKA 15. AGAVE FOURCROYDES LEM. (HENEKEN)	20
SLIKA 16. ANANNUS COMOSUS (L.) MERR S PLODOM.....	21
SLIKA 17. ELAEIS GUINEENSIS JACQ. (ULJANA PALMA)	22
SLIKA 18 MAURICIJSKA KONOPLJA (FURCRAEA FOETIDA (L.) HAW.)	23
SLIKA 19 PAMUK (GOSSYPIUM SPP.)	24
TABLICA 1. KEMIJSKA SVOJSTVA NEKIH OD UOBIČAJENIH PRIRODNIH VLAKANA (FRIEDRICH I BREUER, 2015). .	26
TABLICA 2. KEMIJSKI SASTAV NEKIH BILJNIH VLAKANA (MWAIKAMBO, 2006).....	26
TABLICA 3. FIZIKLNA SVOJSTVA BILJNIH VLAKANA (MWAIKAMBO, 2006).....	27

SAŽETAK

Prirodna vlakna privlače posebnu pozornost zbog povoljnih svojstava poput niske cijene, visokog omjera čvrstoće i mase, male gustoće po jedinici volumena, nekorozivnog svojstva te njihovih i razgradivih svojstava. U usporedbi sa sintetičkim vlaknima, prirodna su vlakna često dostupna po niskoj cijeni i uzrokuju manje problema po zdravlje i okoliš ljudima koji proizvode kompozite u usporedbi s kompozitima na bazi staklenih vlakana. Prirodna vlakna mogu se koristiti za razvoj visoko toplinski stabilnih i zvučno izolacijskih materijala. Moguće je proizvoditi vrlo izdržljive potrošačke proizvode od prirodnih vlakana koji se lako mogu reciklirati. Međutim, prirodna vlakna obično pokazuju lošu vodonepropusnost, nisku trajnost i slabo međusobno vezivanje što dovodi do gubitka konačnih svojstava kompozita i na kraju otežava njihovu industrijsku upotrebu. Ljudi su se tijekom povijesnih vremena koristili prirodnim vlaknima, no posljednjih godina primjena prirodnih vlakana u polimernim kompozitima povećala se zbog njihove dostupnosti kao obnovljivih materijala i povećane zabrinutosti za okoliš.

Ključne riječi: biljna vlakna, građa, uporaba, proizvodnja, kompoziti

SUMMARY

Natural fibers have numerous benefits due to their favorable properties, such as: very favorable price, extremely high strength ratio, low density, not subject to corrosion and have excellent degradable properties. If we compare natural fibers, for example, with synthetic fibers, natural fibers are generally available at an extremely affordable price and natural fibers cause much less problems for health and the environment, and are especially harmless to people involved in the production of composites as opposed to composites made using glass fibers. Natural fibers can be used for the purpose of developing thermal as well as sound insulation materials. It is also possible to produce extremely durable consumer products from natural fibers that are very easy to recycle, which is extremely socially acceptable. However, natural fibers also have their drawbacks, and show poor water resistance, low durability and poor interconnection, which results in the loss of the final properties of the composite and ultimately complicates their use in the production process. In recent years, the use of natural fibers in composites has seen an increase due to their advantages as renewable materials and ubiquitous environmental concerns.

Keywords: plant fibers, structure, use, production, utility, composition