

Dorada i skladištenje lana za potrebe industrije

Metić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:502936>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Dorada i skladištenje lana za potrebe industrije

DIPLOMSKI RAD

Luka Metić

Zagreb, rujan, 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Mehanizacija

Dorada i skladištenje lana za potrebe industrije

DIPLOMSKI RAD

Luka Metić

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Ana Matin

Zagreb, rujan, 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Luka Metić**, JMBAG 0178111570 , rođen 07.06.1997. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

Dorada i skladištenje lana za potrebe industrije

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Luka Metić**, JMBAG 0178111570, naslova

Dorada i skladištenje lana za potrebe industrije

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. izv. prof. dr. sc. Ana Matin mentor

2. prof. dr. sc. Tajana Krička član

3. izv. prof. dr. sc. Aleksandra Perčin član

4. Mateja Grubor, neposredni voditelj

Zahvala

Zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Ani Matin na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada. Ujedno zahvaljujem i svim profesorima Agronomskog fakulteta u Zagrebu na susretljivosti i ustupljenim materijalima. Hvala svim kolegama i prijateljima te posebice obitelji koji su mi uvijek bili podrška u svim mojim odlukama za vrijeme studiranja.

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Cilj rada.....	2
3.	Lan.....	3
2.1.	Porijeklo i rasprostranjenost lana.....	3
2.2.	Proizvodnja i upotreba u svijetu.....	3
2.3.	Morfološke karakteristike lana.....	5
2.4.	Žetva lana.....	5
2.5.	Bolesti i štetnici lana	7
3.	Posliježetvena tehnologija lana- dorada i skladištenje.....	9
3.1.	Transport uzgojene kulture.....	9
3.2.	Prerada lana za vlakna.....	10
3.2.1.	Močenje lana.....	10
3.2.2.	Sušenje stabljika lana.....	12
3.2.3.	Dobivanje vlakana lana.....	13
3.2.4.	Skladištenje stabljika i vlakana lana.....	15
3.2.5.	Modifikacija lanenih vlakana i njihova primjena.....	18
3.2.6.	Primjena lana u (bio)kompozitima.....	20
3.3.	Prerada lana za ulje.....	23
3.3.1.	Hladno prešanje lanenih sjemenki	24
3.3.2.	Ostali načini dobivanja lanenog ulja.....	26
3.3.3.	Obrada lanenog ulja.....	27
3.3.4.	Skladištenje lanenog ulja	27

3.3.5. Pakiranje lana za maloprodaju	28
3.4. Skladištenje sjemenki lana.....	29
4. Zaključak.....	31
5. Popis literature.....	32
Životopis.....	34

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Luka Metić**, naslova

Dorada i skladištenje lana za potrebe industrije

Lan se već tisućljećima uzgaja prvenstveno zbog vlakana. Nutritivne vrijednosti njegova sjemena i ulja koje se od njega dobiva, sve više dobivaju na značenju u modernoj medicini i prehrani kao i hranidbi stoke. Procesi dorade i skladištenja uvelike pridonose zastupljenosti lana na tržištu i popularnosti. U posljednje vrijeme lan sve više koristi kao prirodni kompozit u izgradnji raznih materijala kao što su dijelovi automobila i slično. Dorada omogućuje uz modernu tehnologiju da vlakna lana postanu čvršća i dugovječnija te se time približava umjetno stvorenim materijalima, kao konkurent u tekstilnoj i građevinskoj industriji u budućnosti. Samom doradom utječemo i na kvalitetu ulja kako u medicinske svrhe tako i u prehrambenoj industriji. Razvojem tehnologije skladištenja lan prestaje biti kultura čija prerada završava kratko nakon žetve, već je poboljšanjem uvjeta skladištenja omogućena njegova dorada tokom čitava sezone sa minimalnom promjenom kvalitete što vlakana što sjemena za daljnju obradu.

Ključne riječi: lan, vlakna, ulje, skladištenje, dorada

Summary

Of the master's thesis - student **Luka Metić**, entitled

Finishing and storage of flax for the needs of industry

Flax has been grown for thousands of years primarily for its fiber, but the nutritional value of its seeds and the oils derived from it are gaining in importance in modern medicine and nutrition as well as in animal nutrition. Finishing and storage processes greatly contribute to the market presence and popularity of flax. So flax is increasingly used as a natural composite in the construction of various materials such as car parts and the like. Finishing enables, with modern technology, flax fibers to become stronger and more durable, thus approaching artificially created materials as a competitor in the textile and construction industry in the future. By refining, we also affect the quality of oil for both medical purposes and in the food industry. With the development of storage technology, flax ceases to be a crop whose processing ends shortly after harvest, but the improvement of storage conditions allows its processing throughout the season with minimal change in the quality of both fiber and seeds for further processing.

Keywords: flax, fiber, oil, storage, finishing

1. Uvod

Lan (*Linum*) je rod jednogodišnjih uljarica iz porodice lanova (*Linaceae*), s više od 200 različitih vrsta, a pretežito raširenih u umjerenom i suptropskom pojasu sjeverne polutke. (slika 1). Gotovo su sve vrste divlje dok se neke uzgajaju kao ukrasne biljke. Za proizvodnju vlakna i sjemena uzgaja se jedino obični ili pravi lan (*Linum usitatissimum*), s tankom uspravnom stabljikom, cjelovitim, uskim listovima i zrakasto simetričnim, peteročlanim, modrim ili bijelim cvjetovima. Plod je peterogradan, na vrhu zašiljen, okruglasti tobolac (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=35276>). U njemu se nalazi do 10 sjemenki. Po tipu grananja, visini stabljike i drugim osobinama razlikuju se:

- predivi lan – uzgaja se za vlakno iz stabljike (stabljika visine 60 do 120 cm, razgranata samo u vršnome dijelu, ima do 25 tobolaca po biljci).
- uljani lan – za ulje iz sjemena (kratka, razgranata stabljika (40 do 60 cm), s većim brojem tobolaca 35 do 50)

(<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=35276>).

Prelazni se lan upotrebljava za vlakno i dobivanje ulja. Naraste do 60 cm i manje se grana od uljanoga lana. Udio vlakna u stabljici prelaznog lana je između 16 i 18%.



Slika 1. Stabljike lana

Izvor: <https://agronomag.com/how-to-grow-flax/>

Lan nije posebno izbirljiv na tip tla i njegovu plodnost. Ipak, visoke i stabilne prinose daje samo na strukturnim tlima s dobrim vodno-zračnim osobinama. Poznato je da mu odgovaraju hladnija područja vlažnije i umjerene klime.

Kako navodi Butorac (2009.) lan se upotrebljava za dobivanje vlakna (za rublje, posteljenu, ručnike, odjeću, presvlake za namještaj, cerade, šatore, vreće i druge tkanine), kućine (u građevnoj i automobilskoj industriji), pozdera (ogrjevni i izolacijski materijal, papir) i sjemena sa 35- 47% ulja (prehrambena industrija, hrana za ptice, lanene pogače, sapun, boje, lakovi, linoleum, uljano platno, tiskarska tinta, umjetna koža, premazi za ceste otporni na sol i dr.).

Osnova lanenih vlakanaca jest celuloza s manjim udjelom hemiceluloze, lignina, pektina, ulja i voska. Tkanine izrađene od lana ugodne su za nošenje zahvaljujući brznoj adsorpciji i desorpciji vlage. Visoka kristaličnost celulozne komponente lanenih vlakanaca rezultira velikom nabranošću lanenih proizvoda, niskom rastezljivošću lanenog konca, visokom čvrstoćom vlakna i konca, relativno slabom otpornošću na habanje, visokim sjajem lanenih proizvoda, posebno konca proizvedenoga mokrim ispredanjem i estetski privlačnim naborima lanenih proizvoda (Butorac, 2009.).

1.1. Cilj rada

Cilj rada je prikupiti i obraditi podatke vezane uz doradu i skladištenje lana, a koji su povezani s procesima od žetve do finalnog proizvoda. Opisati će se doradbeni procesi ovisno o namjeni i vrsti finalnog proizvoda.

2. Lan

2.1. Porijeklo i rasprostranjenost

Linum usitatissimum, specifični je naziv za lan. Zapravo je ime *Linum* nastalo od keltske riječi lin ili nit, a naziv *usitatissimum* latinski je za najkorisnije (Kolodziejczyk i Fedec, 1955.).

Nema sigurnih dokaza o iskonskom podrijetlo kultiviranog lana. Prema Pasković, (1966.) lan potječe s dva područja. Jedno je jugoistočna Azija - za sitnosjemeni lan, a drugo je sjeverna Afrika ili sredozemno područje - za krupnosjemeni lan. Sigurno je da je lan kultiviran u davna prapovijesna vremena i u različitim oblicima. Pretpostavlja se da potječe iz neolitskog doba npr. u Švicarskoj su pronađeni pougljenjeni ostaci hrane od sjemenki lana, ostaci konca, užadi, mreža i tkanine od lanenog vlakna koji datiraju iz razdoblja 7 000 godina pr. Krista.

Šimetić (2008.) navodi kako je su kroz povijest lan uzgajali stari Egipćani, Grci i Rimljani. Stoga se smatra da je čovjeku poznat duže od 5 000 godina. Zbog svojih karakteristika lan je danas u svijetu zastupljen u biljnoj proizvodnji s vrlo širokom mogućnošću primjene, od lanenog vlakna, konca, platna, ulja, do cijelih paleta kozmetičkih i farmaceutskih proizvoda te u prehrani ljudi i hranidbi životinja.

2.2. Proizvodnja i upotreba u svijetu

Najvećih proizvođači lana u svijetu su Kanada, Kina, Kazahstan, Rusija i Sjedinjene Američke Države koje zajedno proizvode preko 2 207 000 tona lana godišnje što čini gotovo 84% ukupne svjetske proizvodnje (<https://www.worldblaze.in/largest-flax-producing-countries/>), jer je u 2020. godini ukupna svjetska proizvodnja iznosila oko 2 650 000 tona.

Analizom podataka o proizvodnji lana u svijetu Kanada je u posljednjih nekoliko desetljeća najveći svjetski proizvođač lana sa udjelom od oko 40% u svjetskoj proizvodnji, dok Kina, SAD i Indija zajedno čine 40% proizvodnje. No, u vrijeme covid pandemije, kada su opskrbeni lanci mirovali i kada je na globalnoj razini promet roba i ljudi bio sveden na minimum, Kazahstan se prometnuo u svjetskog lidera u proizvodnji lana s 740 000 tona proizvedenih u 2021. godini.

Kada je riječ samo o uljanom lanu Rusija je među tri najveća svjetska proizvođača nakon Kazahstana i Kanade. U razdoblju od 2009. do 2018. svjetska proizvodnja uljanog lana porasla je 1,5 puta na 3,5 milijuna tona. Prema statistikama FAO-a, Rusija je 2018. godine činila 16% svjetske proizvodnje (Kazahstan - 26%, Kanada - 19%).

Što se tiče proizvodnje u EU tu je najzastupljenija proizvodnja lana za vlakna. Najveći proizvođač je Francuska gdje je 2019. godine posijano 120 000 hektara. No i na njih je utjecala kriza uzrokovana covidom pa je tako potražnja za lanenim tekstilom u području Belgije, Nizozemske i okolnih zemlja značajno pala, a upravo je Francuska u te zemlje izvozila najveći dio svoje sirovine. To je dovelo do toga da su 2/3 vlakana lana ostale neobrađene u skladištima diljem Francuske.

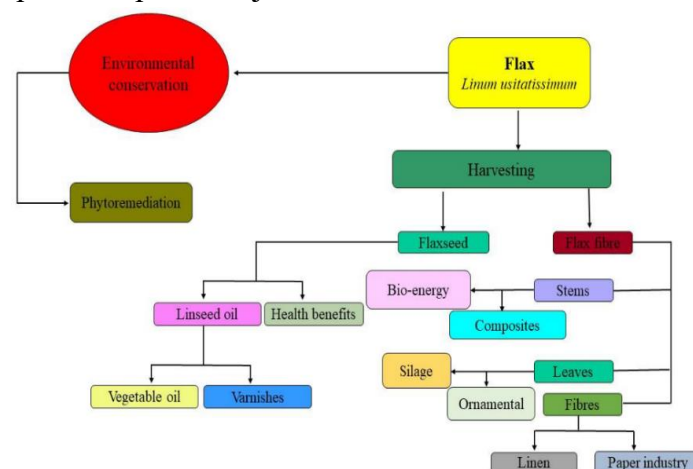
Butorac (2009.) navodi da su se u Hrvatskoj od 1930-ih godina postupno smanjivale površine zasijane lanom (od 4 793 ha u 1950. na 697 ha u 1987. godini), a proizvodnja je potpuno prestala 1988. godine. Zatvaranjem tvornice za preradu lana za vlakno i predionice lanene pređe u Črnkovicima prestaje uzgoj lana u Hrvatskoj (istočna Slavonija). Ta se tradicionalna kultura osim u Slavoniji, uzgajala u gotovo svim područjima Hrvatske (u Hrvatskom Zagorju, Posavini, Podravini, Lici i Banovini).

Lan se danas naširoko koristi u pekarskim proizvodima odnosno prehrambenoj industriji (slika 2.). Njegovo sjeme ima veliku količinu linolne kiseline zbog čega je ulje osjetljivo na oksidaciju što dovodi do lošeg ili ljutog okusa i užglosti. Mnoge studije dokazuju da laneno ulje ima potencijal za liječenje raka, srčanih bolesti, hiperglikemije, moždanog udara i tromboze. Laneno ulje je najčešće blijedo žute boje, a glavna primjena ovog ulja nalazi se u industrijskoj upotrebi, kao što su završni premaz za sušenje u obradi predmeta od drva, vezivo u bojama, plastifikator i proizvodnja drugih industrijskih otapala. Lan se također koristi kao vlakno za izradu tkanina (lana), visokokvalitetnog papira, vrećica čaja i lakirane kože (Butorac, 2009.)

Nakon ekstrakcije ulja iz lanenog sjemena dobiva se pogača i koristi se za hranidbu goveda, konja i peradi. Pogača sadrži 21,78% ne dušičnog ekstrakta, 29,37% lipida, 27,78% proteina, 7,02% vlakana, 3,40% pepela i 10,65% vlažnosti. Također se koristi kao komponenta hrane za pse i mačke (Qamar i sur., 2019.).

Meljavom lanenog sjemena nastaje laneno brašno. Šimetić (1995.) navodi da upotreba u stočarstvu bazira se na svojstvu lanenog brašna da djeluje blago i regulativno na probavni sistem. Većina stočara upoznata je s tom karakteristikom, pa uključuju malu količinu lanenog brašna u obroke. Komercijalni preparati koji sadrže visok postotak lanenog brašna korišteni su u obliku suplementarnih preparata na bazi obranog mlijeka za telad. Cijelo sjeme rado pak jedu ptice: golubovi, papagaji i ptice pjevice. Stoga nalazi masovnu upotrebu u svijetu kao jedna komponenta u smjesi za ptičju hranu. Lanena pljeva koja se dobije se pri vršidbi lana, omiljena je hrana za krave i konje.

Osim svega navedenog lan ima medicinske učinke. Tako se u medicini koristi sjeme, ulje, lanena pogača i lanena sluz – protiv kašlja, grčeva u želucu, žučnih kamenaca, hemoroida, čireva, opeklina i probadanja.



Slika 2. Upotreba lana

Izvor: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/4/496/htm>

2.3. Morfološke karakteristike lana

Kao i ostale uljarice tako i lan isto posjeduje određene morfološke karakteristike. Korijen lana je vretenast (Butorac, 2009.). Sastoji se od korijenova vretena na kojemu se nalazi splet korijenovih žila. Čini do 15% cjelokupne mase biljke.

Stabljika lana je okrugla, uspravna, glatka i šuplja (slika 3). Pri vratu korijena je najdeblja, a prema vrhu se sužava. Kod predivog lana grana se u gornjem dijelu biljke, a kod uljanoga lana već od podnožja biljke. Predivi lan naraste do 170 cm, a uljani do 50 cm. Debljina stabljike utječe na količinu i kvalitetu vlakna. Vrlo tanka i vrlo debela stabljika manje su vrijedne za tekstilnu namjenu.

Plod lana je tobolac najčešće je okruglog oblika, na vrhu zašiljen. Može biti različite veličine. Kod uljnog lana dug je od 8 do 15 mm i širok od 8 do 11 mm, a u predivog lana dužina i širina su mu od 5 do 8 mm. Podijeljen je na pet dijelova, a u svakom bi se dijelu trebale nalaziti dvije sjemenke (Butorac, 2009.).



Slika 3. Dijelovi stabljike lana

Izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Flax>

2.4. Uzgoj i žetva lana

Potrebe za toplinom ovise od vrste lana i faze rasta. Predivi lan ima manje potrebe glede toplote od uljanog. Odgovaraju mu umjereno topla i pro hladna, ali dovoljno vlažna područja, dok uljani zahtijeva više svjetlosti i toplote. Najveće potrebe lana za toplinom su u periodu oplodnje i zametanja sjemena i optimalne temperature su od 20 do 22 °C.

Predivi lan ima velike zahtjeve za vodom, naročito u vrijeme klijanja i nicanja, a zatim u periodu intenzivnog rasta i cvjetanja. Lan ima loše razvijen korijenov sustav i visok transpiracijski koeficijent (400-800), tako da neekonomično troši usvojenju vodu (Gadžo i sur., 2011).

Uljani lan je skromnijih zahtjeva za vlagom od predivog i bolje podnosi kraća sušna razdoblja. Zbog takvog korijenovog sustava lan ima kratak period usvajanja hranjiva, tako da ima visoke zahtjeve prema plodnosti zemljišta. Najbolje mu odgovaraju duboka i plodna

ravničarska zemljišta, dubokog humusnog sloja, povoljnih fizičkih osobina i osigurana lako pristupačnim hranjivima.

Lan treba uzgajati u plodoredu i na isto zemljište u pravilu ne bi trebao dolaziti u razmaku od 6 do 7 godina. Najbolji predusjevi za lan su žitarice, krumpir, mahunarke i crvena djetelina. Suncokret i šećerna repa su dobri predusjevi ukoliko se vodi računa o gnojidbi kalijem, kojeg ove kulture iz tla izvlače u velikim količinama (Gadžo i sur., 2011).

Nepovoljno reagira na loše obrađeno tlo. Nakon žetve žitarica obvezno je obaviti prašenje strništa ili plitko oranje do dubine od 12 do 15 cm odnosno do 20 cm. Na proljeće (početak ožujka) prije same sjetve sjetvo spremačem ili rotacijskom drljačom treba se pripremiti sjetveni sloj (slika 4.). Tlo se u površinskom sloju ne smije previše usitniti da se ne bi stvorila pokorica. Postoji negativna korelacija između dubine korijena i visine stabljike, što se rješava plićim oranjem. O kvaliteti pripreme tla ovisit će i kvaliteta sjetve, kao i kvaliteta čupanja lana (rad čupača). Herbicidi su učinkoviti samo na dobro obrađenom tlu (Butorac, 2009).



Slika 4. Rad sjetvospremača

Izvor: <https://www.profiland.hr/en/products/item/61-obrađa-tla>

Pri gnojidbi lana treba voditi računa da najvećoj količinu hranjiva usvaja od pupanja do početka cvjetanja. U ovom period, koji traje oko 15 dana, usvoji oko 40% dušika i 50% kalija od ukupno potrebne količine u toku vegetacije. Za sjetvu treba koristiti sjeme visoke kvalitete, koje treba postizati klijavost iznad 90%, čistoću 99%.

U umjerenj klimi lan se može sijati kao ozimi ili jari usjev. Optimalno vrijeme sjetve ozimog lana je krajem rujna, a jarog polovinom ožujka.

Zavisno od namjene proizvodnje, lan se žanje u više faza zrelosti. Žetva obično počinje u drugoj polovini lipnja i traje do polovine kolovoza. Predivi lan je najbolje žeti u ranoj žutoj zrelosti, a za sjeme i vlakno u žutoj zrelosti, dok se uljani lan žanje u punoj zrelosti. Lan se žanje kombajnima za lan koji čupaju biljke, a žetva može biti i ručna (Gadžo i sur., 2011).

Uljani lan se kosi/žanje. Žetva se može obavljati jednofazno kombajniranjem i dvofazno, košenjem i kosilicom u zbojeve, pa naknadno kombajniranjem. Jednofazna žetva kombajniranjem je brža i jednostavnija, a primjenjuje se tamo gdje je usjev jednolično dozrio i gdje u usjevu nema mnogo korova. Tobolci sa sjemenom sami od zrelosti ne pucaju, pa

gubitaka sjemena na taj način nema. Dvofazna žetva se primjenjuje kod usjeva koji nejednolično dozrijevaju i/ili koji je prorastao korovom. U tom slučaju treba usjev pokositi običnom traktorskom kosilicom za travu, kako bi se korovska zelena masa kao i zeleni lan prosušili prije kombajniranja. Pri kosidbi treba ostavljati strn u visini oko 15 cm da bi se omogućilo strujanje vjetrova između zemlje i otkosa, a time i kvalitetnije sušenje pokošene mase lana. Ovom metodom žetve dobiva se sjeme niže vlažnosti u odnosu na ono iz jednofazne žetve. Kombajniranju treba pristupiti kada je lan potpuno isušen i sjemenke zveckaju u tobolcu. Da bi se izbjegli gubici i oštećenja sjemena za vrijeme kombajniranja, mora se pravilno podesiti kombajn (Šimetić, 1995.)

Prema istome autoru predivi lan se čupa. Danas se to obavlja mehanizirano, specijalno konstruiranim strojevima za tu svrhu, "čupačima". Postoji više tipova čupača za lan, što je ovisno od proizvođača i godine proizvodnje. Ipak, zajednički im je princip rada, odnosno sustav rada i konstrukcije hedera koji stabljiku u radu prihvaćaju, uklješte i čupaju. Glavni radni dijelovi za čupanje su upareni beskonačnim remenjem, koje se vrti u suprotnim smjerovima- jedan prema drugom. Uz pomoć razdjeljivača, zahvaćenu masu stabljike zahvaća par dobro utegnutih remena, uklješte stabljiku i kretanjem prema zadnjem dijelu stroja čupaju.

Počupana masa lana ostaje u zbojevima na tlu 2-4 dana radi sušenja. Osušeni lan se potom mehanizirano veže u snopove ili balira. Postoje i posebno konstruirani podizači zboja počupanog lana (slika 5.), koji podižu zbijenu masu od tla. Osobito nakon kiše, čime se omogućuje bolje prozračivanje i sušenje. Takvi strojevi obično zahvaćaju dva počupana zboja lana, te se tako broj prohoda na tabli smanji u pola, a time i učinak poveća u usporedbi s radom stroja koji okreće zboj (Šimetić, 1995.).



Slika 5. Berba lana nakon čupanja
Izvor: <https://hr.asayamind.com/flax>

2.5. Bolesti i štetnici lana

Bolesti lana uglavnom uzrokuju gljivice, te nekoliko virusa i fitoplazma. Bakterije ili nematode ne izazivaju ozbiljne bolesti u lanu. Gljivični patogeni inficiraju sve vrste lana

uključujući laneno sjeme (industrijsko sjeme uljarice), solin lan (lan s malo linolenske kiseline/biljno ulje) i lan za vlakna. Mogu postojati razlike u reakciji na određene patogene ili rase istog patogena među sortama svake vrste lana. Pojava i ozbiljnost te važnost lanenih bolesti razlikuju se od regije do regije u područjima uzgoja lana u svijetu (Rashid, 2003.).

Jedan od najopasnijih štetnika koji se pojavljuje na lanu jest laneni buhač (*Longitarsus parvulus* Payk). U vrlo kratkom vremenu može potpuno uništiti usjev lana. Napad započinje na rubnim dijelovima parcela, pa su tu štete najveće. Štetnik napada mlade dijelove vegetativnog vrha stabljike lana od nicanja do cvatnje, što u predivog lana može dovesti do grananja stabljike. Mogu se povremeno pojaviti i ostali štetnici lana, primjerice stabljična nematoda (*Ditylenchus dipsaci* Kuhn.) i korijenova nematoda (*Heterodera radicola* Greeff.), laneni trips (*Trips linarius* Uzel.), sovica (*Heliothis dipsacea* L.), metlica (*Loxostege sticticalis* L.), laneni moljac (*Phalonia epillinana* Zell.) i brašnena grinja (*Tyroglyphus farinae* L.) (Butorac, 2009.).

3. Posliježetvena tehnologija lana – dorada i skladištenje

Prerada nakon žetve usmjerena je na očuvanje, preradu i dodavanje vrijednosti materijalu (slika 6.) koji je lakše upotrebljiv i ekonomski isplativ. Tehnologija nakon žetve dobiva na važnosti za povećanje poljoprivredne produktivnosti koja se primjenjuje na poljoprivredne proizvode nakon berbe za njihovu proizvodnju, skladištenje, konzerviranje, preradu, pakiranje, distribuciju i stavljanje u promet. Uključuje sve tretmane ili procese koji se odvijaju od trenutka berbe do krajnjeg proizvoda i samim time do krajnjeg potrošača. Učinkovite tehnike berbe, transporta, rukovanja, skladištenja, prerade/konzerviranja, pakiranja, marketinga i upotrebe komponente su posliježetvene tehnologije koja se odvija nakon žetve (Hasanzuman, 2014.).



Slika 6. Dodana vrijednost lana

Izvor: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/4/496/htm>

3.1. Transport sirovina

Transport od proizvodne površine do skladišta najčešće se izvodi prikolicama (traktorom ili kamionima), ali za relacije koje su udaljenije koristi se transport vlakom, brodom ili čak avionom pri čemu se mora obratiti pažnja na to da tokom transporta ne dođe do kontaminacije sirovine. Prilikom zaprimanja sjemena potrebno je smanjiti oštećenje te spriječiti mogućnost njegove kontaminacije raznim primjesama. Kako bi se olakšao posao i vrijeme manipulacije sirovinom smanjilo na minimum pri istovaru i daljnjoj distribuciji u skladište koriste se strojevi kao što su elevatori (slika 7.), pokretne beskonačne trake, pužni transporter, lančasti transporter, protočne cijevi i pneumatski transport. Svi ti transporteri korišteni u skladištima moraju biti izrađeni od materijala koji su pogodni za korištenje u prehrambenoj industriji kako bi se smanjila mogućnost onečišćenja koje bi kasnije moglo negativno utjecati na kvalitetu finalnog proizvoda.



Slika 7. Elevator za sjeme

Izvor: <https://www.tehnopan.com/w/transport-medija/elevatori/>

Hasanuzzaman (2014.) navodi kako su uzroci mehaničkih oštećenja: neoprezno rukovanje tijekom utovara i istovara, vibracije vozila.

3.2. Prerada lana za vlakna

Prirodna vlakna biljnog porijekla sastoje se uglavnom od celuloze, hemiceluloze, lignina i pektina. Suštinski visoka mehanička svojstva prirodnih vlakana proizlaze iz velike količine kristalne celuloze, orijentirane paralelno sa smjerom vlakana. Za uporabu u kompozitima, vlakna se moraju izvaditi iz biljke, očistiti i poravnati, što se može postići izvlačenjem, nakon čega slijedi postupak mehaničke ekstrakcije (De Prez i sur., 2018.).

3.2.1. Močenje lana

Močenje lana najsloženiji je zahvat u cijelom procesu prerade lana u vlakno. Tijekom močenja slojevi pektina koji vežu epidermu i stanice kore u stabljici razgrađuju se djelovanjem enzima močenja (to su uglavnom pektaze, pektinaze i pektat liaze). Time se stanice epiderme i parenhima kore pretvaraju u sluzavu tvar, a neoštećuju se stanice vlakana. Djelomično se mogu razgraditi i druge stanične stijenke putem hemicelulaze i celulaze, pa takva razgradnja mora biti kontrolirana da bi se zaštitila struktura i čvrstoća vlakna (Butorac, 2009.).

Postoji nekoliko načina močenja stabljike lana:

- a) močenje lana u polju;
- b) močenje lana u bazenima;
- c) kemijsko močenje lana;
- d) enzimsko močenje lana

Tradicionalno vađenje lana započinje procesom močenjem u bazenima ili rošenjem (močenjem) u polju (slika 8.). Mikroorganizmi prisutni u vodi ili biljkama razgradit će pektine

i hemiceluloze. Taloženjem vode dobivaju se vlakna dobre kvalitete, ali visoki troškovi. Zagađenje vode i miris koji potječu od proizvoda fermentacije učinili su ovu metodu manje privlačnom za velike korisnike. Tijekom rošenja, ubrani lan se rasipa po polju u tankim slojevima radi poticanja bržeg sušenja i djelovanja mikroorganizama, što provode gljivice prisutne u tlu i na biljkama.

Kvaliteta vlakana koja su dobivena močenjem općenito je niža u usporedbi s vlaknima dobivenim močenjem u bazenu, ali se troškovi i zagađenje vode značajno smanjuju dok se postiže veći prinos vlakana. Nažalost, učinkovitost ovisi o zemljopisnim uvjetima. Regije s odgovarajućim vlažnim i temperaturnim uvjetima bitne su za dobar rast mikroorganizama. Ovisnost o vremenu prema regijama rezultira varijabilnošću kemijskih i mehaničkih svojstava lanenih vlakana, a time i nedosljednošću kvalitete vlakana, što zahtijeva da industrija lana miješa vlakna kako bi ublažila te varijacije (De Prez i sur., 2018.).



Slika 8. Rošenje lana u polju i močenje lana u bazenima

Izvor: <https://www.shutterstock.com/editorial/image-editorial/agriculture-martainville-seinemaritime-normandie-france-21-jul-2020-10720363i>

Kemijsko močenje lana podrazumijeva razgradnju stabljika lana uz pomoć kemijskih svojstava (kiselina). Prednost tih metoda je brza razgradnja stabljike, nedostatak metode jest upotreba kemijskih sredstava koja onečišćuju okoliš i oštećuju vlakno lana.

Enzimsko močenje lana suvremena je metoda močenja uz pomoć enzima Flaxzyme kojim se drvenasti dio stabljike lana (pozder) odvaja od vlakna. Proizveden je od određenog soja *Aspergillus*. Uz pomoć njega moguće je zamijeniti enzim što ga izlučuju mikroorganizmi za vrijeme prirodnog močenja. Postiže se kontrolirani i ponovljivi postupak močenja koji traje manje od 24 sata. To je moderna verzija močenja u bazenu. Enzimska se otopina može reciklirati nekoliko puta, čime se povećava ekonomičnost postupka, a smanjuje količina onečišćenja pri klasičnome močenju u bazenu (Sharma i Sumere, 1992.). Enzimska obrada lana dobiva sve veći interes kao obećavajuća alternativa za močenje rošenjem, koja je poznata po svojoj ovisnosti o vremenu i klimi. Stoga su De Prez i sur. (2019.) proveli studiju o učinku enzimskih tretmana lana na učinkovitost međusobnog odvajanja vlakana i kemijskog sastava vlakana.. Tretiranje lana pektat liazom i poligalakturonazom rezultiralo je pročišćenim

vlaknima sa sadržajem celuloze od 78 i 79% i obećavajućim vrijednostima prinosa od 24 odnosno 17%.

U tretiranju enzimima (slika 9.) lanene stabljike se presavijaju kako bi se fizički poremetile zaštitne barijere biljke, a zatim se prskaju formulacijom enzima dok se ne namoče ili se nakratko urone. Lan se zatim inkubira na temperaturama optimalnim za aktivnost enzima, opere i osuši. Ispitivanja su pokazala da ova metoda učinkovito utječe na svojstva i količinu lanenih vlakana. Na prinos, čvrstoću i finoću vlakana značajno su utjecale varijacije u količinama enzimatskih kelatora (Akin i sur. 2003.).



Slika 9. Postupak enzimskog močenja

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Enzymatic-retting-process-which-is-currently-under-development-as-part-of-the-Flax-PP_fig1_282810077

3.2.2. Sušenje stabljika lana

Postupak sušenja utječe na kvalitetu vlakana koja se koriste za preradu biokompozita. Tijekom procesa sušenja dolazi do fizikalnih i kemijskih promjena koje mogu dovesti do promjena u fizičkim karakteristikama materijala kao što su čvrstoća, tekstura i boja. Lan se u početku nakon močenja sušio na polju, a kako je tehnologija napredovala i tržište potraživalo veće količine lanenih vlakna ubrzao se postupak sušenja.

Orošeni lan se podizao na polju, uzimao i vezao u snopove (slika 10.) kad se kora koja sadrži vlakna lako odvojila od drvenastog unutarnjeg dijela slame. Ako bi se pojavilo kišno vrijeme, prijeto opasnost od prevelike vlage u lanu.

Lan koji je namočen u bazenima morao se izvaditi iz spremnika i raširiti po tlu ili podići u stožac na terenu da se osuši. Stožac lana se sastojao u postavljanju svakog mokrog snopa namočenog lana s krajevima biljke naslonjenim na tlo, a oni su raspoređeni tako da omogućuju slobodnu cirkulaciju zraka. Prednost pri stavljanju lana u stožac je ta što se odvaja od zemlje u slučaju nepovoljnih vremenskih uvjeta i za sušenje je potrebno samo nekoliko sati sunca (Robinson, 1940.).



Slika 10. Sušenja lana u zbojevima na polju

Izvor: <https://www.dreamstime.com/photos-images/drying-flax-field.html>

Razvojem tehnologije i stjecanjem novih spoznaja o procesima prerade i dorade razvili su se moderniji načini sušenja, pa tako danas postoje:

1. konvekcijsko sušenje,
2. mikrovalno sušenje,
3. kombinirano sušenje (mikrovalno i konvekcijsko sušenje) i
4. mikrovalno-vakuumsko sušenje.

Kad je vlakno izloženo toplini, počinje toplinska razgradnja. Na 120 °C počinje raspadanje voska. Na temperaturi od oko 150-180 °C može doći do razgradnje pektina i 18 hemiceluloza. Na 350-500 °C dolazi do razgradnje celuloze. Utvrđeno je da se hemiceluloze razgrađuju na nižim temperaturama (250-350 °C) koje su uzrokovale razgradnju vlakana u celulozna mikrovlakana i dovele do slabije čvrstoće snopa vlakana (Tripathy, 2009.).

Powell i sur. (2002.) također su otkrili da se čisto laneno vlakno počinje razgrađivati na temperaturi od 200-210 °C i nastavlja se razgrađivati sve dok ne dosegne temperaturu od 400 °C. Trenutno postoji samo nekoliko metoda za sušenje prirodnih vlakana. To su konvekcijsko sušenje i mikrovalno sušenje.

Kad se stabljika umjetno osuši, moraju se uzeti u obzir i temperatura sušenja i vlažnost zraka, kako se ne bi pogoršala kvaliteta i smanjila čvrstoća vlakana. Kritične temperature koje djeluju na vlakna izravno ovise o vlažnosti zraka, tako da npr. sušenje pri vlažnosti zraka manjoj od 60% ne smije se izvoditi na temperaturama iznad 55-65 °C (Lazić, 2018.).

3.2.3. Dobivanje vlakana lana

Nakon močenja i sušenja lana najprije se od stabljike odvoji sjeme s tobojcima (vršidba, slika 11.). Konvencionalna metoda odvajanja sjemenki lana od stabljike vrši se ručno udaranjem stabljika po kamenju ili prolaskom traktora nekoliko puta preko biljaka. Zatim se sjeme lana vitla pomoću ručno upravljanoj stroja za čišćenje. Cilj vršidbe je odvojiti

tobolce od biljke, zatim odvojiti sjemenke od tobolca i očistiti sjeme od dijelova tobolca koji su ostali. Za odvajanje zrna od slame, a u ovom slučaju od tobolca, i drugih lakih materijala koristi se mlatilica. To je u osnovi proces u tri koraka:

1. u prvoj fazi snopovi zrna i slame ubačeni su u hranilicu (ili lijevak). Operater kontrolira brzinu ulaska stabljika u stroj kako bi spriječio preopterećenje;
2. u drugoj fazi, separator, brzo rotirajući set lopatica, prvo rastrga snopove zatim odvoji tobolce sa slame, zatim izmlati slamu i tobolce na ploči, izbijajući bez da ih zgnječi. Slama zatim prolazi preko rešetke za slamu koja je uklonila većinu slame iz zrna. Ostale primjese tzv. „piljevina“ skupa sa sjemenom padaju kroz više vibrirajućih sita, uklanjajući većinu preostale slame i pljeve iz zrna;
3. u trećoj fazi ono što je prošlo kroz sita strujom zraka se čisti od preostale slame i pljeve. Očišćena zrna tada padaju u lijevak kako bi se podigla u mjerni uređaj prije nego što se stave u vreće ili prebace u silos.



Slika 11. Rad stroja za vršidbu starije izvedbe

Izvor: <https://www.dreamstime.com/photos-images/antique-threshing-machine.html>

Nakon sušenja, odležavanja i vršidbe vrši se odvajanje drvenasti dijelovi stabljike (pozdera) vlakana mehaničkim postupcima: lomljenjem, trljanjem i grebanjem.

Ove se operacije mogu izvesti ručno ili mehanički. U ručnom postupku stabljika se obrađuje primitivnim uređajima, mlatilicama i stupovima, pri čemu se pozder lomi i uklanjaju se njegovi grublji dijelovi, a zatim se manji dijelovi pozdera uklanjaju povlačenjem stabljike kroz grebene.

Strojna obrada vrši se na odgovarajućim strojevima, drobilicama i brusilicama, koje se obično kombiniraju u jednu cjelinu. Zbog povećanja produktivnosti ovih strojeva i smanjenja troškova prerade, stalno se radi na poboljšanju ovih postrojenja. Prinosi prerade lana ovise o njegovoj kvaliteti i postupku obrade. Prema istraživanju Lazić, (2018) od 100 kg suhe stabljike lana dobiveno je 75-85 kg namočenog lana, što znači da je gubitak vlaženja oko 20%. Prinos vlakana tijekom trljanja iznosi 28-32%, od čega je 2/3 pruće, a 1/3 drijen, a preostalih 68-72% pozder. Pri češljanju urod se uvelike razlikuje ovisno o vrsti i sorti lana, uvjetima uzgoja, vlaženju i mehaničkoj obradi i iznosi oko 20% pruća, 60% kučine iz grebanja, do 75% pruća i 22% kučine.

Lomljenje je proces koji slijedi nakon močenja, a koji je sastavni dio izvlačenja vlakana iz stabljike (slika 12.). Sastoji se u osnovi od razbijanja drvenih dijelova slame na fine komade i u isto vrijeme odvajanja drvenog dijela stabljike od vlakana. U Sjedinjenim Državama i u zapadnoj Europi razbijanje se obično postiže prolaskom suhe slame između žljebastih valjaka. Vlakno je dovoljno čvrsto i fleksibilno da se odupre lomljenju i izlazi van kao dugo neslomljeno vlakno. Stabljika lana se propušta kroz niz valovitih valjaka nakon čega slijedi mlazni cilindar i obično uređaj za trešnju. Slama je toliko slomljena i potresena da vlakno izlazi bez odrvenjenih dijelova stabljike i „piljevine“ (Robinson, 1940.).



Slika 12. Žljebaste valjci u stroju za lomljenje i finalni proizvod

Izvor: <https://blog.libecohomestores.com/the-linen-craft/extract-flax-fiber/>

Butorac (2009.) navodi kako se u nastavku procesa duga vlakna odvajaju od kratkoga vlakna, tj. od kućine. Vlakna se sortiraju i posebno izlaze na krajevima turbina. Prikupljena kraća vlačanca i pozder se baliraju. U nekim europskim državama posebno se odvajaju kratka vlakna, koja se u daljnjem procesu spajaju i služe za izradu užadi, tepiha i dr. Dobivena dugačka vlakna služe za izradu konca u modernim predionicama u industrijskoj proizvodnji.

Lan se može svrstati u tri klase:

1. dugovlaknasti lan finoće do 25 tex
2. srednjevlaknasti lan finoće od 25 - 33 tex
3. kratkovlaknasti lan finoće od 33 tex

Teks (njem. Tex, izvedeno od Textil: tekstil) (znak tex), iznimno dopuštena mjerna jedinica duljinske mase tekstilnoga vlakna i pređe. Naziv je za gram po kilometru, tj. $\text{tex} = \text{g/km} = 10^{-6} \text{ kg/m}$ (Karačić, 2018.).

3.2.4. Skladištenje stabljike i vlakana lana

Skladištenje je vrlo bitan faktor u posliježetvenoj tehnologiji svih kultura. Pravilnim skladištenjem može se uvelike smanjiti utjecaj vanjskih čimbenika na kvalitetu uskladištene sirovine ili materijala. Pri skladištenju treba obratiti pažnju na to da su uvjeti prilagođeni uskladištenom proizvodu jer isti može biti u rasutom obliku, baliran, u vrećama, u kanistrima ili bačvama ako se radi o tekućinama itd.

Sama izvedba skladišta mora biti prema najvišim standardima pa tako treba voditi računa o prostoru odnosno da unutar skladišta postoji dovoljno prostora za izvođenje operacija kao što su ulaz i izlaz sirovine, manipulacija sirovine pomoću strojeva, mogućnost provedbe testova i analiza materijala za vrijeme njihova skladištenja. Pri izgradnji skladišta potrebno je koristiti visokokvalitetne materijale kako bi se smanjila mogućnost pojave pukotina na zidovima ili u podu jer sve to može utjecati na kvalitetu skladištenja (oscilacije u temperaturi, pojava vlage, pojava štetnika itd.). Kod podnih skladišta, ako se ne radi o rasutom materijalu, mogućnost je slaganja jedinica robe u blokove ili redove.

Kod regalnih skladišta (slika 13.) može se puno bolje iskoristiti prostor pogotovo u visinu, no to iziskuje dodatne troškove u vidu njegove izgradnje i dodatne skladišne opreme.

Higijena je najvažniji uvjet za čuvanje kakvoće uskladištenih poljoprivrednih proizvoda i moraju je održavati svi koji se brinu o čuvanju roba u skladištu, neovisno o količini uskladištenog proizvoda ili veličini skladišnog prostora. Za uspješno čuvanje u skladištima potrebno je i održavati povoljne uvjete da bi se spriječilo smanjenje kakvoće i gubitke u količini uskladištenih poljoprivrednih proizvoda.

Važno je promjenjivati mjere suzbijanja populacije štetnika i gljivica. Potrebno je povremeno informirati zaposlene i organizirati edukaciju o poboljšavanju uvjeta za čuvanje uskladištenih poljoprivrednih proizvoda. Kad se uoči porast temperature, može se pretpostaviti da je nazočna populacija kukaca ili je postojeća počela rasti i biti aktivnija. Također i nazočna populacija gljivica može uzrokovati porast temperature uskladištene robe. U površinskom sloju žitarica ili uljarica, ako nema termometra, može se uranjanjem ruke u uskladištenu masu odrediti zagrijava li se ona ili ne. Ako se na ruci osjeti toplina, znak je to da toplina robe prelazi 18 °C pa je potrebno poduzeti određene aktivnosti (hlađenje, prebacivanje, prozračivanje) dostupnim uređajima ili lopatanjem na malim gospodarstvima gdje se čuvaju male količine roba (Hamel, 2014.).

U slučaju lana stabljike se ne prerađuju odmah nego se ostavljaju vani, slažu se u kamare, koje se postavljaju na povišena ocjedita mjesta, sa podlogom od dobrog izolacijskog materijala, a to su drvene grede, ili u pomanjkanju istih mogu poslužiti snopovi kukuruzovine, granje ili suncokretove stabljike. Veličina kamare ovisi o količini lanenih stabljike, a i veličini prostora na kojem se namjeravaju složiti. Uobičajeni profil je nepravilan peterkut površine 12.5 m², tip "A", 28 m² tip "B", 42 m² tip "C". Kamare su različite dužine ovisno o količini stabljike, pa postoje tablice za njihovo izračunavanje. Kamare se slažu na podlogu, koja je obično stabljika III i IV kvalitete, a zatim ostale. Da bi se zadržao oblik profila, stabljike treba slagati tako, da dok dođemo do osnovice krova (gornjeg trokuta), stabljike strše pola metra na obje strane od podnice kamare. Osnovica krova (trokuta) uvijek je za 1 m šira od podnice kamare, iz razloga da se kamare zaštite od kiše. Nakon toga se slaže krov od stabljika lošije kvalitete, sa što više lišća, za zaštitu kamare od atmosferilija. Oko kamare kopa se jarak dubine 20-30 cm za odvodnju vode koja se cijedi sa kamara. Stabljike se isto tako mogu, ako se ne prerađuju odmah, moraju se uskladištiti na adekvatan način u zatvorenoj suhoj prostoriji s cirkulacijom zraka. Kod lana od cijele stabljike (s tobojcima i sjemenom) dobiva se oko 12% vlakna, a od stabljike s koje su skinuti tobolci nakon močenja dobiva se oko 20% vlakna. Dobiveno vlakno poslije prerade treba i uskladištiti, a ono ovisi o količini proizvedenog vlakna i o potražnji. Ako se vlakno čuva duže vrijeme, koristiti ćemo podna

skladišta. Skladišta moraju biti suha i tamna sa stalnom temperaturom (Rozman i Liška, 2019.).

Hamel (2014.) govori kako kod podnih skladišta (slika 13.) unutarnji zidovi moraju biti zaglađeni jer pore/otvori u zidovima postaju dobro sklonište za skladišne kukce, a veći otvori omogućuju sklanjanje glodavaca. Poželjno je koristiti premaze za zidove i podove koji omogućuju jednostavno održavanje pranjem. Bojenje zidova ili premazivanje vapnom prije unošenja nove sirovine pridonosi boljim uvjetima čuvanja. Budući da su metalni silosi izgrađeni od valovitog lima teško se čiste na unutarnjim stranama gdje se zadržava prašina i ostaci sirovine koja postaju podloga za razvoj i preživljavanje kukaca i gljiva i u praznom skladištu. Zaglađene i premazima zaštićene površine omogućuju lagano održavanje čistoće.



Slika 14. Podno skladište

Izvor: <http://www.ekozastita.com/silos-i-podna-skladista>

Laneno vlakno se osim u velikim skladištima i silosima može skladištiti ili pakirati u ambalažu. Pa se tako laneno vlakno može u prodaju plasirati namotano u lanenu pređu ili namotano kao konac, a sve ovisno o daljnjoj upotrebi.

3.2.5. Modifikacija lanenih vlakana i njihova primjena

Prema Lazić (2018.), pored upotrebe u njihovom izvornom obliku, prirodna celulozna vlakna i tekstilni materijali se često podvrgavaju različitim postupcima modificiranja kojima se nastoje poboljšati postojeća ili postići nova svojstva koja oni nemaju u svom izvornom obliku, a poželjna su za određenu upotrebu. Ovim postupcima se homogeniziraju struktura i svojstva vlakana, čisti njihova površina, smanjuje sadržaj neceluloznih supstanci, povećava hrapavost površine, mijenjaju mehanička i sorpcijska svojstva, ali i oksidira i aktivira površina vlakana. Postupke modificiranja treba provesti tako da se postigne željeni cilj, odnosno da se dobiju vlakna koja odgovaraju predviđenoj namjeni, ali da pri tome ne dođe do njihovog oštećenja.

Celuloza javlja samo u pamučnim vlaknima u gotovo čistom obliku, dok je u ostalim tekstilnim vlaknima biljnog podrijetla vezana na necelulozne komponente, što zahtijeva upotrebu posebnih postupaka za odvajanje celuloze od popratnih tvari. Obradom vlakana radi dobivanja vlakana definiranih svojstava potrebno je ukloniti necelulozne tvari bez oštećenja celuloze. Najveći problem je uklanjanje lignina, dok se ostale necelulozne nečistoće uspješno uklanjaju mokrom obradom na povišenim temperaturama. Koriste se različiti postupci fizičke i kemijske modifikacije koji podrazumijevaju fizičke i kemijske interakcije tekstilnih materijala s modifikacijskim sredstvima, što dovodi do promjena u strukturi i kemijskom sastavu, a posljedično i do svojstava materijala. Kad se u procesu modifikacije promijeni kemijski sastav, tj. stvore nove funkcionalne skupine, tada govorimo o funkcionalizaciji kao procesu modifikacije.

Metode izmjene materijala mogu se promatrati sa aspekta primijenjenog postupka izmjene ili sa aspekta funkcije ili namjene modificiranog materijala. Koriste se različite podjele procesa modifikacije, a ti se procesi često klasificiraju kao:

- mokri kemijski procesi, koji uključuju kemijske reakcije na površini vlakana, poput izbjeljivanja, oksidacije, taloženja spojeva na površini materijala, sol-gel postupci, impregnacija, enzimski modifikacija, funkcionalne modifikacije nanočestica itd.
- suhi fizikalni procesi kao što su modifikacija plazme, UV modifikacija, laserska modifikacija, toplinska obrada i drugi (Wei, 2009.).

Mokri kemijski procesi tradicionalno se koriste za uklanjanje neceluloznih tvari i poboljšanje kvalitete vlakana, prvenstveno finoće i mehaničkih svojstava, ali i za promjenu površinske napetosti i polariteta površine vlakana. Unatoč mnogim naporima da se kemijski procesi u preradi lana i drugih vlaknastih vlakana zamijene fizičkim ili biološkim procesima, kemijski tretmani i dalje su najizravniji i najučinkovitiji način uklanjanja neceluloznih tvari i poboljšanja kvalitete vlakana. Kemijski tretmani koji se najčešće koriste za uklanjanje neceluloznih tvari i poboljšanje kvalitete prirodnih celuloznih vlakana su alkalizacija i oksidacija. Mercerizacija je metoda kemijske modifikacije vlakana koja se koristi jako dugo i vrlo često za obradu prirodnih celuloznih vlakana, gdje postignuti učinci ovise o vrsti i koncentraciji lužnate otopine, njezinoj temperaturi, vremenu obrade, materijalu napetosti i dodanih aditiva. Njegova primjena uklanja određenu količinu lignina, masti i voska koji

prekrivaju vanjsku površinu stanične stijenke vlakana, što uzrokuje fibrilaciju i odvajanje snopova vlakana te smanjenje njihovog promjera. Mercerizacija također utječe na vrlo važnu promjenu mikrostrukture celuloznih vlakana, što je prevođenje native celuloze I u celulozu II. Važna izmjena postignuta alkalnom obradom je prekidanje mreže vodikovih veza, što povećava hrapavost površine. Optimalni uvjeti mercerizacije trebali bi osigurati poboljšanje svojstava materijala koji se obrađuje, prvenstveno sorpcijskih i mehaničkih svojstava (Lazić, 2018.).

Suhi fizikalni procesi kao što su istezanje, kalandriranje (proces oblikovanja materijala u tanke filmove (foliju) njegovim provlačenjem između zagrijanih valjaka), širenje parom, termička obrada, ultrazvučni tretmani i proizvodnja hibridnih pređa tretmani su koji mijenjaju strukturu i površinska svojstva vlakana bez uporabe kemijskih sredstava. Osim navedenog, električni pražnjenje (korona i niskotemperaturna plazma). Glavni razlozi za primjenu fizikalnih tretmana na prirodnim vlaknima su: odvajanje snopova vlakana na pojedina vlakna i površinska modifikacija, najčešće za uporabu u kompozitima (Mukhopadhyay i Fanguerio., 2009.).

Proces eksplozije parom odvaja lignocelulozni materijal na njegove glavne komponente, posebice na celulozna vlakna, amorfnu lignin i hemicelulozu. Međutim, proces eksplozije pare ima nedostatak proizvodnje relativno kratkih vlakana. To čini kompozite ojačane vlaknima, a dobivenih eksplozijom pare lošija u određenim svojstvima. Termomehanički procesi također nude dobru alternativu za razdvajanje na pojedinačne niti. Kada se termički obrađuju vlakana oko temperature staklastog prijelaza lignina, pretpostavlja se da će se lignin otpuštati iz snopova vlakana bez utjecaja na ostale sastavne dijelove vlakana koji stvaraju pojedinačna vlakna koja će imati veću čvrstoću i krutost od vlakana. U literaturi su vrijednosti temperature staklenog prijelaza lignina navedene prema prirodi lignina.

Modifikacijom lanenih vlakana u većoj ili manjoj mjeri uklanjaju se popratne tvari te se dobivaju čišća i kraća vlakna veće finoće. Svaki od postupaka izmjene, ovisno o definiranim parametrima, može izvršiti potpunu individualizaciju vlakana ili ih u određenoj mjeri odvojiti jedno od drugog. Ovisno o stupnju odvajanja vlakana, visokokvalitetna fina pređa može se dobiti pređenjem ili se dobivaju grublje pređe u slučaju nedovoljnog odvajanja vlakana. Dobivena rafinirana vlakna lakše se obrađuju u procesu pređenja na rotorima koji zahtijevaju veću finoću i visoki stupanj čistoće vlakana kako bi se spriječila kontaminacija rotora centrifuge nečistoćama prisutnim na vlaknima. Ta se vlakna, koja su po svojim karakteristikama slična pamuku, mogu miješati s pamučnim vlaknima i predanim pređama dobrih svojstava za proizvodnju kvalitetnih tkanina i trikotaže (Lazić, 2018.).

3.2.6. Primjena lana u (bio)kompozitima

Kompozitni materijali (kompoziti) građeni su od međusobno čvrsto spojenih različitih materijala radi dobivanja novoga, drugačijega materijala, s fizikalnim ili kemijskim svojstvima koja nadmašuju svojstva pojedinačnih komponenata ili sa svojstvima koja te komponente same nemaju. Pritom se ne radi samo o poboljšanju preradbenih i uporabnih svojstava (npr. povećanje specifične čvrstoće i specifičnoga modula elastičnosti, toplinske postojanosti, otpornosti prema abraziji i puzanju), nego i transportnih, skladišnih, reciklažnih svojstava uključujući konačno i cijenu. Većina kompozita sadrži jedan materijal kao kontinuiranu fazu (matricu), a u nju su uklopljeni odvojeni dijelovi druge faze, koja najčešće ima funkciju ojačala. Razlikuju se kompoziti ojačani vlaknima, kompoziti ojačani česticama i strukturni kompoziti (slika 14.) (Karačić, 2018.).

Vlaknima ojačani kompoziti (VOK) sastoje se od vlakna koja se nalaza unutar matrice ili su vezana na nju, a granica između njih jasno je određena. I vlakna i matrica u toj kombinaciji zadržavaju svoj fizički i kemijski integritet, a postižu se svojstva materijala koja se ne mogu dobiti samo jednom komponentom. Vlakna su u VOK-u ojačala, odnosno element koji nosi opterećenje, dok su glavni zadaci matrice: držati vlakna u željenoj poziciji, prenositi opterećenje i štiti vlakna od vanjskih utjecaja (npr. sunčevog zračenja, visokih temperatura i sl.) (Konjevod, 2018.).

Prema Konjevod (2018.) u vlaknima ojačanim kompozitima vlakna služe kao ojačala. Vlakno je oblik tvari kod kojeg je poprečni presjek puno manji od duljine. Ta razlika mora biti najmanje 1:100. Vlakna zauzimaju najveći volumni udio VOK-a i nositelji su glavine opterećenja. Vrsta korištenih vlakana, njihova duljina, volumni udio i orijentacija odredit će svojstva kompozita kao što su gustoća VOK-a, vlačna čvrstoća, savojna čvrstoća, modul elastičnosti, zamor materijala, tvrdoća, vodljivost i cijena. Najčešće se koriste vlakna visokih mehaničkih svojstava i finoće kao što su ugljikova, aramidna, staklena, politetrafluoretilenska (PTFE) i druga vlakna, a u novije vrijeme i prirodna vlakna.



Slika 14. Različite vrste biokompozita.

Izvor: <https://bioplasticsnews.com/2019/06/18/biocomposites-enter-more-markets/>

Lan je jedno od najčešće korištenih bio-vlakana. Među različitim biljnim vlaknima, ima visoka mehanička svojstva usporediva sa staklenim vlaknima i visoku sposobnost

upijanja vibracija. Lanena vlakna također nude izvrsnu kombinaciju niske cijene, laganog materijala i značajne krutosti za različite primjene poput infrastrukture, automobila i proizvoda široke potrošnje. Oni imaju sposobnost osigurati povećanu krutost i amortizaciju vibracija po nižoj cijeni od staklenih vlakana. Općenito, krutost i čvrstoća lanenih vlakana su niže od onih staklenih vlakana. Međutim, kada se uzme u obzir gustoća lanenih vlakana (gotovo dva puta manja od staklenih vlakana), tada su lanena vlakna usporediva sa staklenim vlaknima po specifičnoj krutosti (sila potrebna da bi se postigla jedinična deformacija). Osim toga, visokokvalitetna lanena vlakna dostupna su u velikim količinama. Najveći proizvođač lanenih vlakana je Europa, gdje se godišnje proizvede više od 150.000 tona (80% svjetske godišnje proizvodnje) izmrvljenih lanenih vlakana. Manji utjecaj na okoliš (na primjer, potreba za energijom (oko 10 MJ / kg) za proizvodnju usitnjenih lanenih vlakana iznosi 1/5 energije (oko 50 MJ / kg) staklenih vlakana) je još jedan pozitivan aspekt lana (Rahman, 2021.)

Lan se češće koristi u obliku tehničkog vlakna, nego elementarnog. Neki od svojstava lanenih vlakana su: duljina vlakna (tehničko vlakno nalazi se u rasponu od 300 do 900 mm, a elementarno ovisi o dijelu biljke iz kojeg potječe i može biti od 4 do 65 mm), finoća vlakna (tehničko vlakno je grubo i ima finoću u rasponu od 14 do 40 dtex, dok se za elementarno vlakno finoća kreće od 15 do 22 μm), čvrstoća (prosječna čvrstoća lanenog vlakna iznosi 3-6 cN/ dtex, rastezljivost mu je slaba te je slabo savitljiv pa se laneni proizvodi lako gužvaju), repriza to jest pokazatelj svojstva upijanja vlage (vrijednost reprize kreće se od 5 do 20%), dugotrajno izlaganje sunčevim zrakama i atmosferskom utjecaju dovodi do starenja lana koji gubi čvrstoću i uporabnu vrijednost, lan je djelomično otporan na djelovanje hladnih i razrijeđenih kiselina i lužina (Konjevod, 2018.).

Lanena vlakna kao ojačalo u biokompozitima rabljena su već tijekom Drugog svjetskog rata u izgradnji aviona tipa Spitfire. Danas takvi biokompoziti nalaze široku primjenu na području automobilske, avio i građevinske industrije. Mnogi proizvođači automobila (npr. Mercedes-Benz) ugrađuju biokompozite s lanenim vlaknima u svoje automobile. Ovi kompoziti posebno su prikladni za izradu unutarnjih dijelova automobila, npr. zamjenjuju staklena vlakna u kompozitima od kojih su izgrađeni unutarnji paneli vrata, pregradne police, nasloni sjedala, pokrov rezervne gume te ostale unutarnje presvlake (Brunšek R. i sur, 2015.).

Polimerni kompoziti pojavili su se u automobilima ubrzo nakon završetka Drugoga svjetskog rata. Upotreba im je u početku bila ograničena na male i sporedne komponente. Velik korak naprijed bilo je osobno vozilo Chevrolet Corvette, proizvedeno 1953., čiji su dijelovi karoserije bili izrađeni od poliestera ojačana staklenim vlaknima. U Istočnoj Njemačkoj se 1950-ih počeo proizvoditi Trabant, koji predstavlja početak upotrebe biljnih vlakana jer mu je šasija bila napravljena od pamučnih vlakana u poliesterskoj matrici. Izravno prešanje osmoljenog lista (SMC) počinje 1972. U kasnim 1970-ima zbog potrebe za manjom masom automobila razvijene su mnoge nove primjene kompozitnih materijala te je upotreba znatno povećana. Kompoziti, koji su do tada uglavnom izgrađivali kozmetičke dijelove, počeli su se ozbiljno razmatrati kao materijal za strukturne komponente. Izgrađivali su nosače hladnjaka, potpore za prinos, lisnate opruge i kotače. Injekcijsko prešanje primijenjeno je 1984. u izgradnji drugoga visokoserijskog automobila čija je cijela karoserija bila izgrađena od kompozita, Pontiac Fiero. Početkom 1990-ih posredno prešanje pokazalo se kao pogodan

postupak proizvodnje karoserije komercijalnih automobila manjih serija kao što je Dodge Viper.. Naglasak se stavlja u prvom redu na dobit, ali i na zaštitu okoliša. Stoga se provode brojna istraživanja i sve više raste upotreba biomaterijala u kompozitima (slika 15.). Za modele kod kojih cijena nije ograničavajući faktor upotrebljavaju se kompoziti od epoksidne duromerne matrice i ugljikovih vlakana. Osim razvoja lakših kompozita s boljim mehaničkim svojstvima radi se na razvoju uporabe svih komponenata u kompozitu (Milardović, 2011.).



Slika 15. Upotreba biokompozita u autoindustriji.

Izvor: <https://renewable-carbon.eu/news/biocomposites-in-the-automotive-industry-potential-applications-and-benefits/>

Prema Milardoviću (2011.) lanena vlakna među najboljim su vlaknima dobivenima od biljaka koje rastu u umjerenj klimi. Lanena vlakna postojana su na razrijeđene slabe kiseline te lužnate otopine. Ne podnose vruće razrijeđene kiseline, hladne koncentrirane kiseline, a na suncu postupno gube čvrstoću. Lanena su vlakna skupa zbog mnogih koraka u proizvodnji koji zahtijevaju ljudski rad. Koriste se kao ojačavala za kompozite koji izgrađuju proizvode visoke vrijednosti gdje je potrebno podnijeti malo do srednje opterećenje. Posebno su pogodna za izradu dijelova unutrašnjosti automobila, npr. zamjenjuju staklena vlakna u kompozitima od kojih su građeni unutrašnji paneli vrata, pregradne police, nasloni sjedala, pokrov rezervne gume te ostale unutrašnje presvlake. Odnedavno velike svote ulažu se u istraživanja vezana za primjenu kompozita ojačanih lanenim vlaknima u eksterijerima automobila. Dva su glavna postupka proizvodnje takvih kompozita. Prvi se sastoji od miješanja vlakana s polietilenom ili polipropilenom te se formira prepreg koji se koristi u više različitih slojeva. Alternativno se netkani mat okruži raspršenim polipropilenskim vlaknima te polipropilen povezuje slojeve netkanog materijala nakon prešanja u vrućoj preši. Drugi se postupak temelji na upotrebi duromernih matrica koje zagrijavanjem omekšaju, upiju se u prepreg te se prešaju i hlade da bi se dobio gotovi proizvod. Rabe se epoksidne i poliuretanske matrice.

3.3. Prerada lana za ulje

Kvaliteta sirovine podrazumijeva: osiguravanje kvalitete tijekom proizvodnje same sirovine, očuvanje kvalitete prilikom skladištenja sve do prerade, očuvanje kvalitete sirovine kod pripreme za izdvajanje ulja, sprječavanje kontaminacije sirovine nepoželjnim ili toksičnim tvarima. Da bi ovi uvjeti bili ispunjeni tijekom cijelog ciklusa od proizvodnje sirovine pa do finalnog proizvoda, mora se voditi računa o:

- odabiru sirovine (vrsta, sorta, hibrid i sl.);
- uvjetima proizvodnje sirovine (organska proizvodnja, zaštita bilja i dr.);
- uvjetima žetve, transporta, čišćenja, sušenja i sl.;
- primjeni kontroliranih uvjeta skladištenja sirovine i
- kontroli kvalitete sirovine do i tijekom prerade (Dimić, 2005.).



Slika 16. Laneno ulje

Izvor: <https://www.verywellhealth.com/flaxseed-oil-health-benefits-how-to-use-and-cautions-4178046>

Sjeme lana u svijetu se upotrebljava na različite načine. Zbog svoje višestruke upotrebe zaslužuje više pozornosti nego se to trenutno kod nas čini. Ipak, u svijetu se proizvodi uglavnom zbog visokog sadržaja ulja. Sjeme uljanog lana (slika 16.) sadrži 37 do 45% ulja. U komercijalnom pogledu, nakon procesa istiskivanja dobije se oko 34,4 ili 45,6 litara ulja iz 100 kg sjemena. Ovo je i odraz kvalitete kultivara (sorte), jer kultivari se razlikuju po sadržaju ulja i jodnom broju. Ova svojstva su također i pod utjecajem klimatskih prilika u kojima se kultivar uzgaja. Tako sjeme lana uzgojeno u hladnom sjevernom području ima viši sadržaj ulja nego sjeme uzgojeno u toploj klimi. Sjeme predivog lana sadrži najčešće 33 do 38% ulja. Može se upotrebljavati u iste svrhe kao i sjeme uljanog lana. Laneno ulje se koristi u velikoj mjeri za proizvodnju boja i lakova, uključujući nove emulzijske boje koje se brzo suše i prave tvrd sloj, te za zaštitne premaze. Ona je tipični predstavnik lako sušivih ulja zbog visokog sadržaja nezasićenih masnih kiselina. Od njih najveću ulogu ima linolenska kiselina koja ima veliku sposobnost vezanja kisika. Što je u ulju veći sadržaj nezasićenih masnih kiselina, to je i jodni broj veći, a time se i ulje brže suši i omogućuje tanji namaz lakova i uljanih boja. Jodni broj u lanenom ulju kreće se od 170 do 200. Prosječni

saponifikacijski broj (broj koji nam kaže koliko je grama NaOH ili KOH potrebno za osapunjenje 1 grama pojedinog ulja ili masti) je povoljan i u prosjeku iznosi 193. Zbog takvih osobina, ulje se koristi u industriji za razne potrebe: u proizvodnji linoleuma, uljanog platna, tiskarske tinte, sapuna, kitova, imitacija kože, kao osnova ulje za proizvodnju pješćanih kalupa za lijevanje metala, te kao namaz otporan na sol za zaštitu cementnih površina na pločnicima i autoputevima (Šimetić, 1995.).

Prema Šimetiću (2008.) ulje se iz sjemena dobiva hladnim prešanjem, jer bi zagrijavanjem gubilo svoja pozitivna svojstva.

Ostaci poslije izdvajanja ulja, sačma, koristi se kao stočna hrana bogata proteinima, ali je neophodna hidrotermička obrada sačme kako bi se uklonio linamarin. To je cijanogeni glukozid koji pod određenim uvjetima može stvoriti HCN, sačma sa više od 250 mg HCN/kg nije za stočnu hranu (Dimić, 2005.).

Potrošnja lanenog ulja u svijetu u posljednje se vrijeme smanjila. Ovo je uzrokovano korištenjem zamjena u različitim područjima primjene lanenog ulja. U proizvodnji boja se sada često koriste ulja niže kvalitete, ali jeftinija kao što su sojino i palmino ulje. Također su i sintetičke boje oštro smanjile potražnju za lanenim uljem. Industrija općenito kupuje ulje na bazi cijene, a ne nužne kvalitete, što čini traženijim jeftinije sojino i palmino ulje. Činjenica je da uljani lan prirodom ne drži korak s prirodom drugih kultivara (Šimetić, 1995.).

3.3.1. Hladno prešanje lanenih sjemenki

Hladno prešana biljna ulja proizvode se postupkom mehaničkog prešanja, bez zagrijavanja, kako bi se održala potpuna kvaliteta i nutritivna vrijednost. Kod proizvodnje hladno prešanih ulja važna je kvaliteta sirovine. Sirovina prije nego ode na prešanje mora proći proces čišćenja, ljuštenja, usitnjavanja. Hladno prešana biljna ulja mogu se pročišćavati isključivo pranjem vodom, taloženjem, filtriranjem i centrifugiranjem (Panak, 2014.).

Priprema se sastoji od nekoliko procesa bez kojih se sirovina ne može dovesti u optimalno stanje za daljnju preradu, a to su:

1. čišćenje sjemenki
2. sušenje sjemenki
3. ljuštenje sjemenki
4. mljevenje sjemenki
5. prešanje sjemenki

Čišćenje sjemenki važno je i prije skladištenja i prije same prerade, kako bi se uklonile nečistoće koje mogu štetno utjecati na uskladištenu sirovinu, pogoršati kvalitetu ulja ili oštetiti uređaje pri preradi. Čišćenje sjemenki je operacija koja se zasniva na principima razdvajanja, a najčešće se obavlja:

- prosijavanjem (odvajanjem na bazi različitih dimenzija sjemenki i nečistoća);
- odvajanjem na bazi magnetizma i
- odvajanjem aspiracijom (odvajanje na bazi različitih aerodinamičnih svojstava sjemenki i nečistoća) (Dimić, 2005.).

Glavni cilj sušenja je sniziti udio vode u sjemenu zbog usporavanja biološke ili kemijske aktivnosti te očuvanja kvalitete. Kritični sadržaj vlage za lan iznosi 10,5 %. Za proizvodnju hladno prešanog ulja kvaliteta sjemenki mora biti na prvom mjestu bez obzira na troškove sušenja i skladištenja.

Prema načinu dovođenja i predaje topline materijalu koji se suši moguća su tri teoretska načina sušenja (Moslavac, 2013.):

1. Sušenje kontaktom – materijal je u neposrednom dodiru s toplim grijućim ploham.
2. Sušenje konvekcijom – zagrijavanje materijala s toplim zrakom ili plinovima koji sagorjevaju
3. Sušenje zračenjem – isijavanjem infracrvenih zraka iz žarulja ili odgovarajućih tijela.

Neposredno prije same prerade provodi se ljuštenje. Ljuska ima funkciju zaštite sjemenki od klimatskih promjena i drugih čimbenika. Ovisno o tvrdoći ljuske i njenoj priljubljenosti na jezgru sjemena koriste se različiti uređaji koji su podešeni po vrstama uljarica, obliku, veličini i karakteristikama ljuske. Uređaji za ljuštenje su: valjci, rotirajuće ploče, ljuštenje sjemena na principu pneumatskog udara. Cilj ljuštenja je poboljšanje kvalitete proizvedenog ulja (Moslavac, 2013.).

Skidanje ljuske s uljarica može poboljšati prinose i kvalitetu ekstrakcije ulja. Glavne tvari u ljusci lanenog sjemena su sluz i sirova vlakna. Razvijeno je nekoliko procesa ljuštenja lanenog sjemena, kao što su suhi mehanički postupak, mokri postupak (uz pomoć mehaničkih sredstava) i proces klijanja. Tradicionalno se sluz uklanja mokrim postupkom uz mehaničko miješanje. Ekstrakcija visokom temperaturom može poboljšati količinu sluzi za razliku od ekstrakcije hladnom vodom. Međutim, postupak mokre ekstrakcije nije dobar izbor za uklanjanje ljuske lanenog sjemena jer ima previše dijelova samog procesa. Stoga je potrebno razviti druge metode uklanjanja ljuske (Tang i sur., 2021.)

Prešanje je tehnološki proces kojim se iz sirovina izdvaja sirovo ulje, mehaničkim putem, primjenom visokog tlaka. Prešanje se može provoditi na pužnim ili hidrauličnim prešama, iako se danas više koriste pužne preše. One se mogu upotrijebiti za predprešanje, pri čemu se iz materijala uklanja samo dio ulja, ili za završno prešanje gdje se uklanja skoro cjelokupna količina ulja i pri tome zaostaje pogača sa oko 5% zaostalog ulja (Dimić, 2005.)

Među najstarije uređaje za proizvodnju biljnih ulja spadaju diskontinuirane hidraulične preše (slika 17). Princip rada zasniva se na Pascalovu zakonu – da pomoću malih sila nastaju veliki tlakovi, te da se tlak u tekućini širi podjednako na sve strane. Ulaskom vode pod tlakom u cilindar klip se podiže i nastaje visok tlak koji uzrokuje cijedenje ulja. Preše ovakve konstrukcije mogu biti otvorenog ili zatvorenog tipa. Druga vrsta preše koja se koristi, a ima kontinuiran način rada zove se pužna preša (Čorbo, 2008.).

Dok je princip rada pužne preše transport sjemenki iz većeg slobodnog zatvorenog prostora u manji. Pri tome raste tlak i cijedi se ulje. Preša se sastoji od puža, koša koji je oko puža, uređaja za punjenje i doziranje materijala, uređaj za regulaciju debljine pogače, zupčastog prijenosnika i kućišta. Tijekom prešanja dolazi do porasta temperature što je posljedica visokog trenja materijala, a najviša temperatura što smije biti kod hladno prešanog ulja je 50 °C. Debljina izlazne pogače regulira se radnim tlakom koji se zapravo regulira na izlazu konusa preše primjenom nastavka različitog promjera (mm) (Dimić, 2005.).



Slika 17. Preša KEK-P0020

Izvor: http://www.keller-kek.de/en/home_eng.html

Prilikom prešanja dolazi do porasta temperature, to je posljedica visokog trenja materijala. Trenje može povisiti temperaturu materijala i do 170 °C, to se nikako ne bi smjelo dogoditi, jer kod proizvodnje hladno prešanih ulja temperatura sirovog ulja ne bi smjela biti viša od 50 °C. Da bi se to postiglo potrebne su preše posebne konstrukcije, ili se prešanje mora provesti pri nižem tlaku. Tada je prinos ulja manji, odnosno više je zaostalog ulja u pogači (Bockish, 1998.)

Zbog visoke razine ALA(alfa-linolenska kiselina) u lanenom ulju, potrebno je izbjeći visoku temperaturu tijekom prešanja. Općenito, laneno ulje dobiveno hladnim prešanjem ima visoku razinu ALA. Razvijeno je nekoliko vrsta preše za laneno ulje, koje se kreću od jednostavne hidraulične preše do sofisticiranijih kontinuiranih preša. Međutim, hladno prešanje također može negativno utjecati na kvalitetu ulja. Zbog niske temperature prešanja, mikroorganizmi se tijekom prešanja ne mogu potpuno ubiti, što može smanjiti kvalitetu lanenog ulja. Dodatno, zbog niskog prijenosa mase pri hladnom prešanju, sadržaj vitamina, fosfolipida, fitosterola i antioksidansa u ulju je manji. Ovi spojevi pridonose stabilnosti lanenog ulja. Dakle, kako bi se produljio rok trajanja lanenog ulja, preporučljivo je da se laneno ulje čuva u posudi tamne boje i pomiješa s antioksidansima. Kako bi se prevladali nedostaci hladnog prešanja, usvojeni su novi načini prešanja lanenih sjemenki u agresivnijim uvjetima, zagrijavanje ili enzimskom obradom lanenog sjemena prije prešanja (Tang i sur., 2021.)

3.3.2. Ostali načini dobivanja lanenog ulja

Trenutno se laneno ulje uglavnom ekstrahira iz lanenog sjemena ekstrakcijskom prešom i ekstrakcijskim otapalima. Ekstrakcija prešom često je povezana s manjim prinosom i većom potrošnjom energije, dok ekstrakcija otapalima često uključuje duže vrijeme ekstrakcije. Korištenje velikih količina organskih otapala nije poželjno i može biti štetno za ljude i okoliš. Štoviše, laneno ulje je termički nestabilno i može se razgraditi pri višim temperaturama. Iz tih je razloga poželjna poboljšana ili bolja tehnika ekstrakcije. Tako se mogu dodatno razviti tehnike ekstrakcije superkritične tekućine, vodene enzimske ekstrakcije i ekstrakcije uz pomoć ultrazvuka (UAE). Nedavna istraživanja pokazala su da ekstrakcija uz

pomoć ultrazvuka može poboljšati učinkovitost ekstrakcije akustičnom kavitacijom i nekim mehaničkim učincima. Akustična kavitacija može poremetiti stanične stijenke olakšavajući otapalu prodiranje u biljni materijal i dopuštajući oslobađanje unutarstaničnog proizvoda. Drugi mehanički učinak uzrokovan ultrazvukom može biti i miješanje otapala koje se koristi za ekstrakciju, čime se povećava površina kontakta između otapala i ciljanih spojeva omogućujući veći prodor otapala u matricu uzorka. Stoga glavne prednosti ekstrakcije uz pomoć ultrazvuka uključuju skraćeno vrijeme ekstrakcije i smanjenu potrošnju otapala. Osim toga, ekstrakcija uz pomoć ultrazvuka može se provesti na nižoj temperaturi koja može izbjeći toplinska oštećenja ekstraktata i smanjiti gubitak bioaktivnih spojeva (Zhang i sur., 2008.)

3.3.3. Obrada lanenog ulja

U sirovom ulju nalaze se primjese koje se moraju ukloniti. Te primjese obuhvaćaju mehaničke (netopljive) nečistoće, vodu i sluzave tvari, koje mogu nepovoljno utjecati na kvalitetu i senzorska svojstva ulja. Pod netopljivim nečistoćama podrazumijeva se masna prašina, sitniji ili krupniji dijelovi sjemenke ili ploda (jezgra, ljuska). Količina nečistoća u ulju ovisi o konstrukciji preše, finoći usitnjavanja materijala prije prešanja, tlaku u preši, vrsti sirovine itd. Netopljive nečistoće iz sirovog ulja se mogu izdvojiti primjenom odgovarajućih tehnika:

- taloženjem (sedimentacijom);
- filtracijom i
- centrifugalnim separatorom.

Taloženje je najjednostavniji način odvajanja nečistoća, ali i najdulji. U praksi traje nekoliko dana, pa čak i tjedana. Zbog toga bi najbolje bilo kada bi se taloženje odvijalo u rezervoarima koji na raznim visinama imaju slavine za ispuštanje već bistrnih gornjih slojeva ulja (Dimić, 2005.).

Kod filtracije se sirovo ulje propušta kroz filter na kojem zaostaju mehaničke nečistoće. Kao filtersko sredstvo koriste se tkanine od pamuka, lana, sintetičkih vlakana ili fina metalna sita. Filtracija se provodi na uređajima kao što su: vibracijska sita, filter preše, filtracijske centrifuge ili centrifugalni separatori. Filtracija se može prema potrebi i ponavljati, kapacitet filtracije je proporcionalan veličini filtracijske površine i brzini filtracije. Brzina filtracije ovisi o veličini pora filtera, viskozitetu ulja i talogu koji zaostaje. Može se povećati dodatkom pomoćnog filtracijskog sredstva (Dimić, 2005.).

3.3.4. Skladištenje lanenog ulja

Jestiva biljna ulja se trebaju pakirati i skladištiti pri određenim temperaturama, bez prisutnosti svjetla i ulaza stranih tvari te vlage. Skladišta moraju biti suha, prozračna i bez direktnog dnevnog svjetla. Ambalaža mora biti čista i suha. Najčešće se koristi ambalaža od stakla, polimera, kombiniranih materijala te spremnici od nehrđajućeg čelika. Boca od obojenog stakla je prikladna jer ne propušta svjetlo te tako štiti ulje od oksidacije. Lako se održava higijena, ali je lako lomljivo i teško pa zahtjeva čvrsto pakiranje radi transporta (Biondić, 2018.).

Prilikom izbora ambalažnog materijala za pakiranje prehrambenih proizvoda važno je ispuniti sljedeće uvjete:

- onemogućiti interakciju s proizvodom;
- potpuna zaštita proizvoda;
- otpornost na plinove, vodenu paru, svjetlost i otopine;
- termokemijska otpornost kod prerade i punjenja;
- dobra fizikalno-mehanička svojstva;
- mogućnost jednostavnog otvaranja i
- pružanje potrebnih informacija (Curaković i sur., 1996.)

Tekućini poput ulja neophodno je osigurati prikladnu ambalažu jer se na taj način sačuva vrijednost i svježina proizvoda. Pri transportu i manipulaciji koristi se transportna ambalaža, najčešće željezna ili plastična te staklene posude i boce. U komercijalnu ambalažu spada ambalaža koja se koristi pri neposrednoj prodaji kupcima, a tu se koriste boce i staklenke. Budući da jestivo biljno ulje u prisustvu kisika, temperature i svjetlosti mijenja svoja svojstva i gubi na kvaliteti, važno je paziti kako i na koji način rukovati s istim, ali i na higijenske zahtjeve prilikom izbora ambalaže (Tadejević i Jakovlić, 1971.).

3.3.5. Pakiranja lana za maloprodaju

Laneno ulje se u ljekovite svrhe najčešće prodaje u kapsulama (slika 18.). Kapsule se nalaze unutar tamne staklene bočice kako bi se smanjio utjecaj svjetlosti i temperature na svojstva lanenog ulja.



Slika 18. Lan za ljekovite svrhe.

Izvor: <https://www.tvornicazdravehrane.com>

Isto tako laneno ulje se prodaje u bočicama u tekućem obliku (slika 19.), a princip pakiranja je isti. No, za razliku od kapsula, nakon otvaranja bočice ulja valja ga dalje čuvati u frižideru jer je podložnije oksidaciji i promjeni sastava.



Slika 19. Lan u bočici

Izvor: <http://www.mediflor.at/Laneno-ulje%E2%80%93Lan-0-mega-125ml>

Sjeme lana se prodaje u vrećicama raznih materijala (slika 20.), one su bolji izvor vlakana za razliku od ulja.



Slika 20.

Izvor: <https://www.biofarm.hr/product/bio-lan-sjemenke-nutrimedica/>

3.4. Skladištenje sjemenki lana

Čuvanje odnosno pravilno skladištenje sjemena lana za reprodukciju važan je korak u proizvodnji. Sjeme lana služi kao reproduksijski materijal za proizvodnju lana i preradu u vlakna. Ono je jajolikog produljenog oblika, i pljosnatog izgleda. Vlaga se kreće od 3,5- 9%, ovisno o stupnju zrelosti i klimatskim prilikama za vrijeme žetve. Sjeme lana ima specifični kemijski sastav, sadrži bjelančevine, globuline, albumine, peptini lecitine, a od enzima su prisutni lipaza i proteaza. Laneno sjeme obavija sluzasta tvar, koja pritjecanjem vlage jako bubri, što omogućava bržu klijavost. Ima također osobinu da lako izdrži i niske temperature (-20 °C), te visoke (preko 100 °C), a da ne izgubi klijavost. Sušenje sjemena lana obavlja se u sušarama (28-40 °C) i prirodnim putem. Ustanovljeno je da sjeme sušeno visokim temperaturama postaje snažnije, nego sušeno prirodnim putem (viša temperatura uništava klijavost slabijeg sjemena - selekcija). U nekim zemljama (Engleska) sjeme se suši i na dimu

(radi slabijeg fungicidnog djelovanja), a time se obavlja i konzerviranje klijavosti. Ustanovljeno je također da je starije sjeme prikladnije za sjetvu (nego svježije - jednogodišnje), i ima bolju klijavost. Poslije skidanja sjemena i sušenja, ono mora odležati izvjesno vrijeme u skladištu u neočišćenom stanju, a tijekom zime se postepeno čisti i skladišti u prikladnim podnim skladištima, uglavnom u vrećama, rjeđe u rinfuzi, u tankom sloju, uz prebacivanje - lopatanje. Prikladnim skladištenjem, sjeme lana može održati klijavost i do 7 godina (Rozman i Liška, 2019.)

Temperatura je najvažniji faktor u održavanju kvalitete nakon žetve. Skladištenje u hladnim prostorijama usporava mnoge elemente pogoršanja kvarljivih usjeva kao što su starenje uslijed sazrijevanja, omekšavanja i promjena u teksturi i boji sirovine, nepoželjne metaboličke promjene i stvaranje respiratorne topline, gubitak vlage itd., kvarenje uzrokovano bakterijama, gljivicama i kvascima. Jedna od najvažnijih funkcija hlađenja je kontrola stope disanja usjeva. Što je viša temperatura skladištenja, to će biti veća brzina tog procesa. Da bi hlađenje bilo učinkovito u sprječavanju pogoršanja, važno je da se temperatura u prostorima za skladištenje održava što je moguće konstantnijom. Skladišne prostorije moraju biti dobro izolirane i odgovarajući rashlađene te trebaju omogućiti cirkulaciju zraka kako bi se spriječile promjene temperature (Hasanuzzaman, 2014.).

4. Zaključak

Lan u svijetu predstavlja jednu od glavnih sirovina za dobivanje visokokvalitetnih vlakana, a potom i kao sirovina za dobivanje ulja. Nema prevelike zahtjeve pri uzgoju, a mehanizacija koja se koristi za uzgoj je lako dostupna. On se kao kultura u potpunosti može iskoristiti na kvalitetan način poglavito za potrebe tekstilne, prehrambene, građevinske, automobilske industrije ili drugih industrija koje kao sirovinu koriste lan. No, kako bi ta iskoristivost bila na najoptimalnijoj razini, potrebno je nastaviti istraživati lan te raditi na dodanoj vrijednosti koja je generator ekonomske isplativosti. Razvijanjem novih spoznaja o njegovom uzgoju pa do dorade možemo utjecati na visinu njegova prinosa te na kvalitetu sjemena i vlakana za potrebe industrije. Pravilnim izborom procesa za doradu, a kasnije i pravilnim odabirom i izvedbom skladišta može se postići kvalitetniji finalni proizvod uz minimalne gubitke uzrokovane bolestima, štetnicima, kvarenjem pri skladištenju ili transportu. Isto tako se pravilnim izborom može utjecati na ekonomsku isplativost prerade.

Uzgoj lana za vlakna rastuća je industrijska grana jer je njihova primjena u punom zamahu u raznim biokompozitima, ali i u tekstilnoj industriji jer radi se o visokokvalitetnom materijalu koji lako postiže visoku cijenu pa je sama proizvodnja ekonomski vrlo isplativa i ekološko prihvatljiva sirovina koja u bliskoj budućnosti može zamijeniti plastiku u raznim primjenama. No, na temelju proučavane literature može se zaključiti kako sam proces dobivanja vlakana može i dalje napredovati kako je i napredovao od njegovih začetaka pa sve do danas. Modernizacijom u mehanizaciji i procesima skladištenja sjeme lana, ponajviše laneno ulje, dobiva na sve većoj popularnosti u prehrambenoj industriji.

5. Popis literature

1. Akin, D. E., Gunnar Henriksson, Jeff D. Evans, Anders Peter S. Adamsen, Jonn A. Foulk i Roy B. Dodd (2003). Napredak u enzimskoj doradi lana, *Journal of Natural Fibers*, 1:1, 21-47
2. Biondić, A. (2018.) Utjecaj hladnog prešanja i antioksidansa na proizvodnju stabilnog lanenog ulja, Završni rad, Veleučilište u Požegi
3. Bockisch, M. (1998). Priručnik za masti i ulja
4. Brunšek, R., Pavunc, M., Vujasinović, E., (2015). Tradicijski lan za sigurnu budućnost // Zbornik radova 8. znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, str. 116-119
5. Butorac, J. (2009). Predivo bilje. Kugler, d. o. o., Zagreb.
6. Curaković, M., Lazić, V., Gvozdanović, J.: Osnovne karakteristike ambalažnih materijala za pakovanje ulja, Zbornik radova, Budva, 1996.
7. Čorbo, S. (2008): Tehnologija ulja i masti. Sarajevo: Bemust
8. De Prez, J., Van Vuure, A. W., Ivens, J., Aerts, G., and Van de Voorde, I. (2019). Učinak enzimske obrade lana na kemijski sastav i opseg odvajanja vlakana, *BioRes.* 14(2), 3012-3030.
9. De Prez, J., Willem Van Vuure, A., Ivens, J., Aerts, G., Van de Voorde, I. (2018). Enzimska obrada lana za uporabu u kompozitima, *Biotehnološka izvješća*, svezak 20
10. Dimić, E. (2005). Hladno cijedena ulja, Tehnološki Fakultet, Novi Sad, 88-91
11. Gadžo, D., Đikić, M., Mijić, A. (2011.): Industrijsko bilje. Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu
12. Hamel, D. (2014). Higijena u skladištima poljoprivrednih proizvoda, *Glasilo biljne zaštite*, Vol. 14 No. 4
13. Hasanuzzaman, M. (2014). Posliježetvena tehnologija
14. Karačić, M. (2018). Svojstva i primjena lanenim vlaknima ojačanih biokompozita, Master's thesis (Bologna) , Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje
15. Kolodziejczyk P.P., Fedec P. (1995). Dorada lanenih sjemenki za ljudsku prehranu
16. Konjevod, L. (2018). Izrada i karakterizacija polimernih kompozitnih materijala ojačanih tkanim lanenim i staklenim ojačalima, diplomski rad, diplomski, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb
17. Lazić, Biljana D. (2018). Utjecaj različitih postupaka fizičko-kemijskog modificiranja na strukturu i svojstva vlakana lana
18. Milardović, G. (2011). Kompoziti u automobilskoj industriji, *Polimeri* 32(2011)3-4
19. Moslavac, T. (2013) Tehnologija ulja i masti, Osijek, Prehrambeno-tehnološki fakultet u Osijeku
20. Mukhopadhyay, S., Fanguero, R. (2009). Fizička modifikacija prirodnih vlakana i termoplastične ovojnice za biokompozite

21. Panak, J. (2014). Proizvodnja i stabilizacija hladno prešanog lanenog ulja (Diplomski rad)
22. Pasković, F. (1966). Predivo bilje I. dio
23. Powell, T., Panigrahi, S., Ward, J., Tabil, L. G., Crerar, W. J., Sokansanj, S. (2008). Inženjerska svojstva termoplastike ojačane lanenim vlaknima i lanenim vlaknima pri rotacijskom kalupljenju
24. Rahman, M. Z. (2021). Mehaničke i prigušne performanse kompozita od lanenih vlakana
25. Rashid, K. Y. (2003). Primarne bolesti lana
26. Robinson, B. B. (1940). Proizvodnja lanenih vlakana
27. Rozman, V., Liška, A. (2019). Skladištenje ratarskih proizvoda; priručnik za vježbe. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
28. Sharma, H.S.S., Van Sumere, C.F. (1992). Biologija i prerada lana. M. Publications, Belfast, 576 pp
29. Šimetić, S. (1995). Mogućnost proizvodnje sjemena lana i njegova upotreba, Sjemenarstvo, Vol. 12 No. 2-3, 1995.
30. Šimetić, S. (2008). Lan u proizvodnji i upotrebi (Stručni rad). Sjemenarstvo 25 (2008) 3-4
31. Tadejević, V. i Jakovlić, V. (1971): Poznavanje robe s osnovama tehnologije i nauke o ishrani. Zagreb: Školska knjiga
32. Tang, Z., Ying, R., Lv, B., Yang, L., Xu, Z., Yan, L., Bu, J., Wei, Y. (2021.) Laneno ulje: ekstrakcija, zdravstvene prednosti i proizvodi Vol. 13 No. 1 (2021): QASCF
33. Tripathy, A. C. (2009). Karakterizacija lanenih vlakana i učinak različitih metoda sušenja za izradu biokompozita
34. Zhang, Z., Wang L., Li, D., Jiao, S., Dong Chen, X., Mao, Z. (2008). Ultrazvučno potpomognuta ekstrakcija ulja iz lanenog sjemena, odvajanje i pročišćavanje, Technology
35. Qamar, H., Ilyas, M., Shabbi, G., Irshad, G., Nisar, F., Muhammad Abbas, S., Ghias. M. i Arshad, A. (2019). Lan: Od stare do moderne hrane, Pure Appl. Biol., 8(4): 2269-2276
36. Wei, Q. (2009). Površinska modifikacija tekstila 1. izdanje

Internetska literatura:

- (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=35276>)
 (<https://www.worldblaze.in/largest-flax-producing-countries/>)

Životopis

Rođen sam u Zagrebu 07.06.1997. godine u kojem sam pohađao osnovnu školu te završio srednjoškolsko obrazovanje u gimnaziji Lucijana Vranjanina na Malešnici. Tokom osnovne i srednje škole aktivno sam se bavio sportom točnije nogometom u nekoliko zagrebačkih klubova. Nakon završene srednje škole i pristupanja državnoj maturi upisujem Agronomski fakultet na Sveučilištu u Zagrebu smjer poljoprivredna tehnika koji i završavam 2019. godine na temu ekstrakcije bioaktivnih spojeva pomoću pulsirajućeg električnog polja. Iste godine upisujem diplomski smjer mehanizacije na istom fakultetu. Za vrijeme trajanja studija radio sam preko student servisa u obrtu za hortikulturu i postavljanje sustava za navodnjavanje. Praksu koja je vezana uz preddiplomski studij odrađivao sam u vrtnom centru podružnice zagrebačkog holdinga Zrinjevcu. Nakon toga zapošljavam se na OPG-u Vrabc Goran (Volim Ljuto) gdje i danas radim preko student servisa te u isto vrijeme odrađujem praksu.