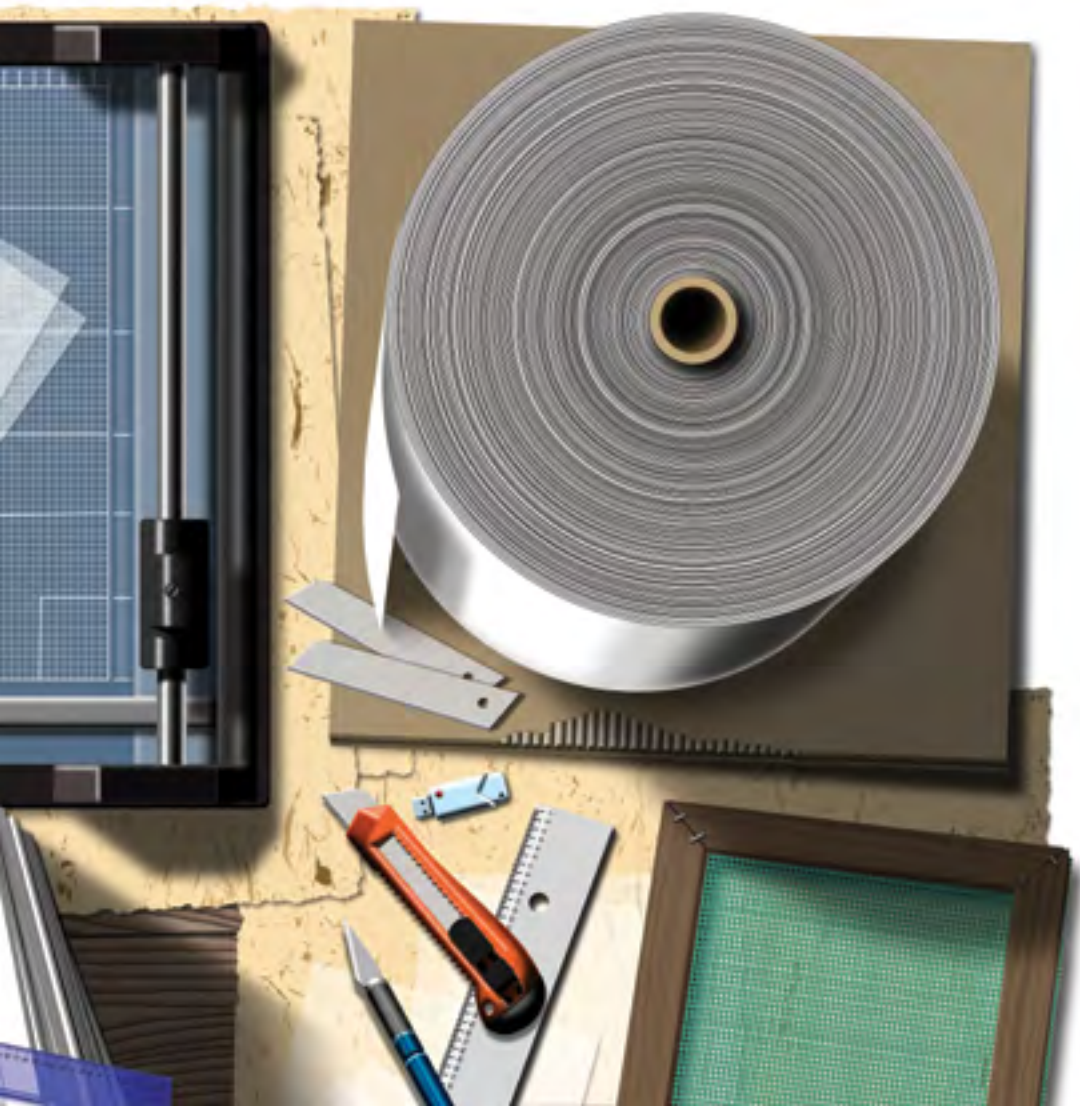


Učbenik za strokovni modul  
Priprava snovi v izobraževalnem programu  
Papirničar

# PRIPRAVA VLAKNINSKIH SNOVI ZA PROIZVODNJO PAPIRJA IN KARTONA





**Učbenik za strokovni modul  
Priprava snovi v izobraževalnem programu  
Papirničar**

# **PRIPRAVA VLAKNINSKIH SNOVI ZA PROIZVODNJO PAPIRJA IN KARTONA**

Aleš Knavs, Iris Gnjidič, Rok Šuštar

Učbenik za strokovni modul Priprava snovi v izobraževalnem programu Papirničar  
**PRIPRAVA VLAKNINSKIH SNOVI ZA PROIZVODNJO PAPIRJA IN KARTONA**

Avtorji: Aleš Knavs, Iris Gnjidič, Rok Šuštar

Urednice: Danuša Škapin, dr. Alenka Turičnik, Tamara Mušinić Zadravec

Recenzenta: dr. David Ravnjak, Lea Janežič

Lektorica: Danuša Škapin

Naslovna ilustracija: Vladimir Leben

Tehnične risbe: Aleš Knavs, Ksenija Konvalinka

Fotografije: Iris Gnjidič, Aleš Knavs, Goričane, tovarna papirja Medvode, d. d.,  
Rok Šuštar, Pixabay, Shutterstock, iStockphoto, Wikipedia

Oblikovanje: KOFEIN DIZAJN

Izdajatelj: Center RS za poklicno izobraževanje

Ljubljana, 2019



Učbenik je v elektronski obliki dostopen prek spletne knjižnice  
[www.izvirznanja.si](http://www.izvirznanja.si)



To delo je ponujeno pod **Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav 2.5 Slovenija licenco**

Strokovni svet Republike Slovenije za poklicno in strokovno izobraževanje je na 175. seji dne 20. decembra 2019 sprejel sklep številka 013-20/2019/4 o potrditvi učbenika Priprava vlakninskih snovi za proizvodnjo papirja in kartona za modul Priprava snovi v izobraževalnem programu Papirničar za čas veljavnosti do spremembe kataloga znanja.

Naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa 2014–2020, **prednostna os 10** – Znanje, spretnosti in vseživljenjsko učenje za boljšo zaposljivost, **prednostna naložba 10.2**. – Izboljšanje relevantnosti izobraževalnih sistemov in sistemov usposabljanja za trg dela, olajšanje prehoda iz izobraževanja v zaposlitev ter krepitev sistemov poklicnega izobraževanja in usposabljanja in njihove kakovosti, tudi z mehanizmi za napovedovanje potreb po spretnostih, prilagoditvijo učnih načrtov ter vzpostavitvijo in razvojem sistemov za učenje na delovnem mestu, vključno z dualnimi učnimi sistemi in vajeniškimi programi; **specifični cilj 10.2.1**. – Prenova sistema poklicnega izobraževanja in usposabljanja.

---

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici  
v Ljubljani

COBISS.SI-ID=302649856

ISBN 978-961-6904-74-2 (pdf)

# Kazalo

<b>1</b>	<b>OD SUROVIN DO PAPIRJA IN KARTONA</b>	<b>7</b>
1.1	Papirništvo nekoč in danes	10
1.2	Razvoj papirništva v Sloveniji	12
1.3	Izzivi sodobnega papirništva	14
<b>2</b>	<b>PRIPRAVA VLAKNIN</b>	<b>16</b>
2.1	Les	20
2.1.1	Celuloza	22
2.1.2	Lesovina	25
2.2	Reciklirane vlaknine	33
2.2.1	Postopek razčrniljenja (»deinking«)	33
2.2.2	Nadzor kakovosti recikliranih vlaknin	44
2.3	Vlaknine enoletnih rastlin	46
<b>3</b>	<b>RAZPUŠČANJE</b>	<b>51</b>
3.1	Postopek razpuščanja	52
3.2	Vrste razpuščevalnikov	52
<b>4</b>	<b>OBDELAVA CELULOZNIH VLAKNIN</b>	<b>55</b>
4.1.	Diskontinuirne mlevne naprave	56
4.2	Kontinuirne mlevne naprave	57
4.3	Mlevne garniture	59
4.4	Načini mletja	60
4.5	Kontrola mlevnega procesa	61
4.6	Mlevni sistemi	65
4.7	Dejavniki, ki vplivajo na mletje	66
4.8	Zagon, obratovanje in ustavitev mlevnih naprav	67
4.9	Blok shema mlevnih linij	68
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>71</b>
5.1	Vrste vlaknin – vrste papirjev	72
5.2	Dodatki	73
	Literatura	76
	Slikovno gradivo	76

## KAKO UPORABLJAMO UČBENIK?

Učbenik je napisan v skladu s katalogom znanj za strokovni modul Priprava snovi v izobraževalnem programu Papirničar, razporeditev poglavij pa sledi poteku procesa priprave vlakninske snovi za proizvodnjo papirja in kartona. Učbenik je prvenstveno namenjen dijakom in vajencem v izobraževalnem programu Papirničar, pa tudi vsem ostalim, ki jih zanima področje papirništva.

V poglavja so vključene kratke rubrike, v katerih najdemo:



### POMNI

vsebine, ki so pomembne za razumevanje snovi



### NALOGE

naloge za razmišljanje in nadaljnje delo



### PONOVIMO

vprišanja za preverjanje in utrjevanje znanja



### IZ PRAKSE

primeri iz delovnega okolja

### POJMI

razlaga novih izrazov, ki se pojavljajo v besedilu

### ALI VEŠ?

zanimivosti in dodatna pojasnila

# OD SUROVIN DO PAPIRJA IN KARTONA

Papir je porozen material, sestavljen iz prepletenih vlaknin rastlinskega izvora. Osnovna surovina za papir je les, iz katerega je treba najprej pridobiti vlakna. V tem gradivu bomo spoznali, kako pripravimo vlakninsko snov, iz katere izdelamo papir in karton, in sicer:

- katere surovine potrebujemo,
- od kod prihajajo te surovine in
- kako jih obdelamo, da pridobimo ustrezna vlakna za končni izdelek.

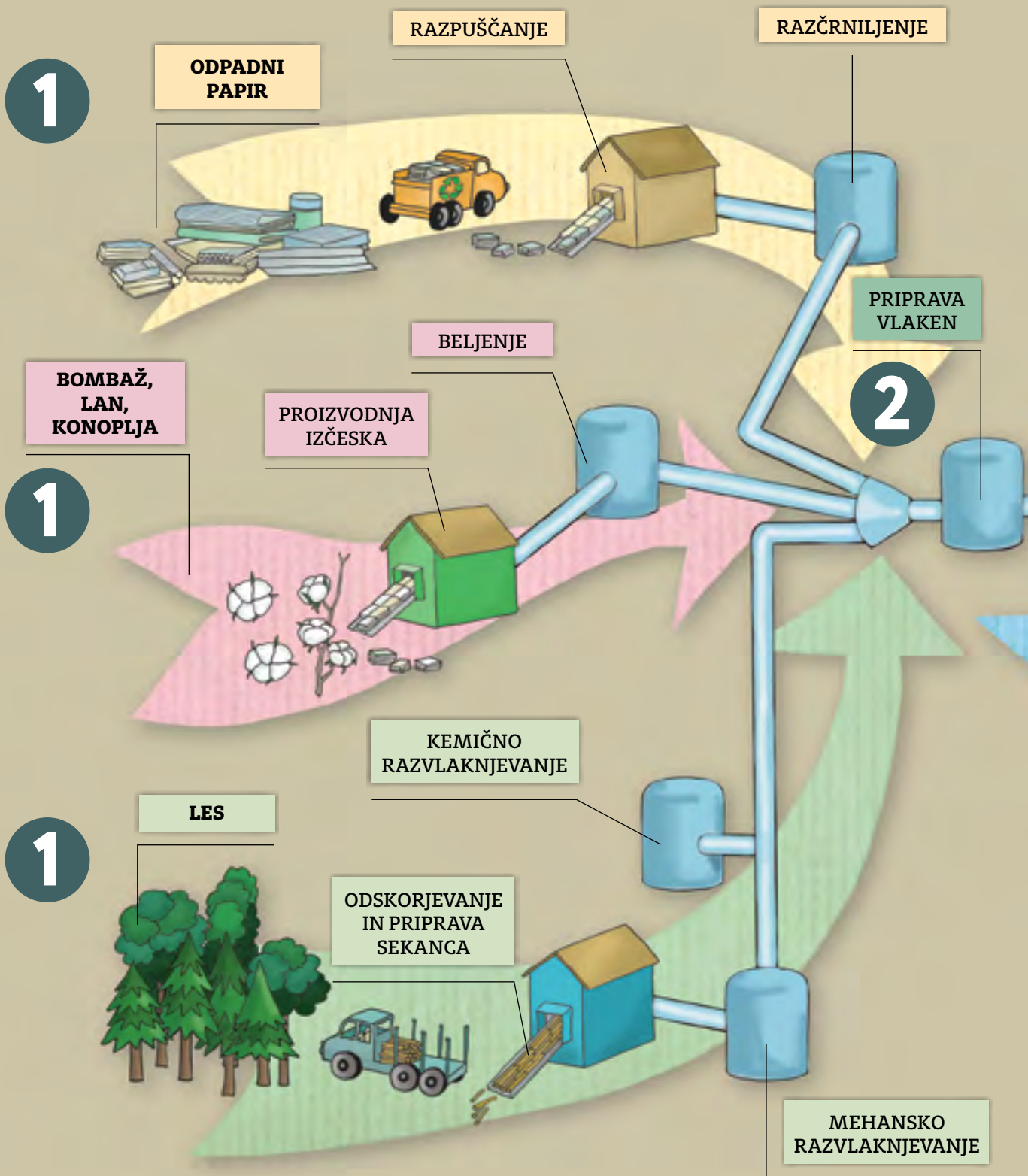
Vseskozi nam bo v pomoč shema, ki prikazuje celoten proces – od surovin do papirja in kartona.



1

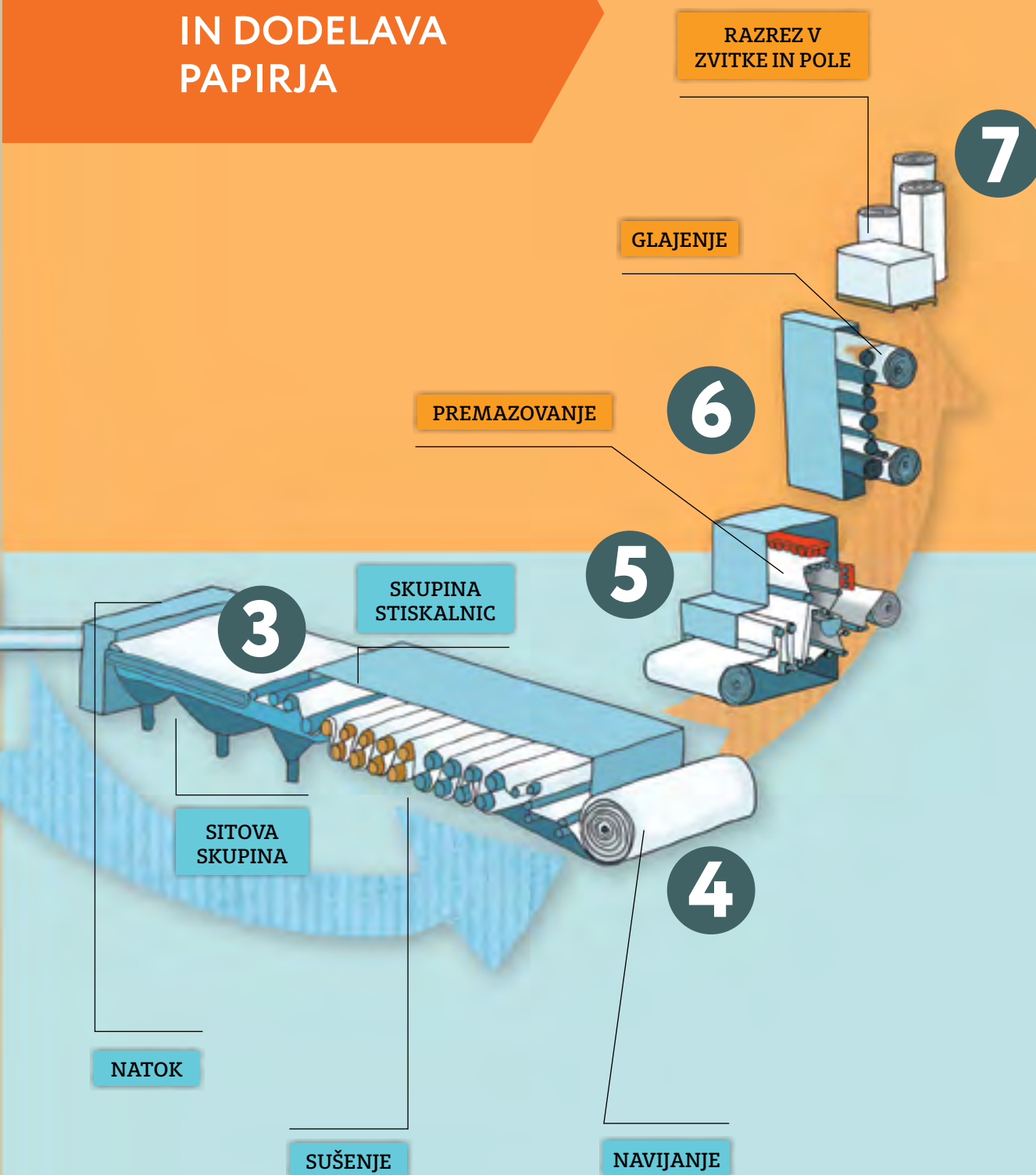
Slika 1.1: Od surovin do papirja in kartona

# PRIPRAVA SNOVI





## OPLEMENITENJE IN DODELAVA PAPIRJA



## IZDELAVA PAPIRJA

# 1.1 PAPIRNIŠTVO NEKOČ IN DANES

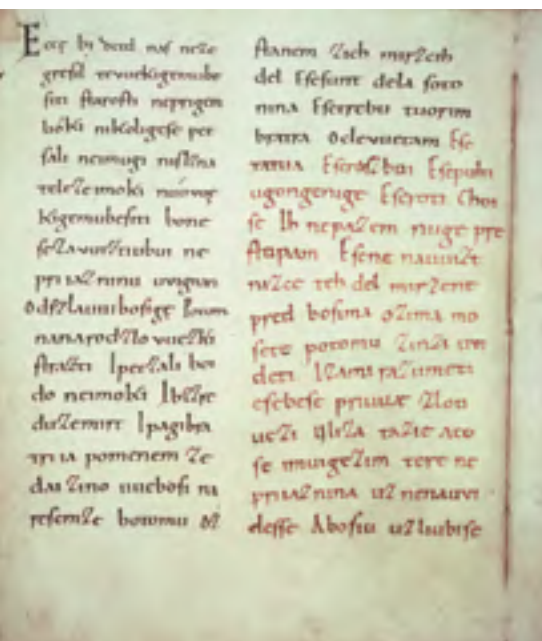
Potreba po zapisovanju informacij se je rodila že v prazgodovini. Namesto papirja so takrat uporabljali kamen, les, kovino, glino ipd. Še ne tako dolgo nazaj (pred 70 leti) so tudi pri nas v osnovni šoli za zapisovanje uporabljali lesene tablice.

Pred 5000 leti so stari Egipčani izdelali papirus, podlago za pisanje, podobno današnjemu papirju. Iz imena rastline papirus, ki je rasla ob močvirnih predelih reke Nil, izhaja tudi beseda za današnji papir. Stari Egipčani so rastlini odstranili ovoj in uporabili sredico, narezali trakove in jih tako obdelali, da je iz njih iztekla tekočina. Trakovi so se med seboj zlepili v liste, ki so jih posušili in gladili.

V 14. stoletju pr. n. št. so v Mali Aziji pričeli z izdelavo pergamenta, ki so ga pridobivali iz živalskih kož. Kože so za daljši čas potopili v apneno mleko in jih nato vpeli v lesen okvir. Več stoletij sta bila v uporabi tako papirus kot tudi pergament.

Za izumitelja izdelave papirja velja kitajski minister Cai Lun, za začetek vzpona v razvoju izdelave papirja pa leto 105 n. št. Cai Lun po vsej verjetnosti ni bil izumitelj, ampak je le zapisal postopke takratne izdelave papirja. Ta je veljala za umetnost, tako imenovano belo umetnost, in kar nekaj časa je trajalo, da se je razširila tudi v druge dele sveta.

Slika 1.2: Brižinski spomeniki in Trubarjev Katekizem



**ALI VEŠ?**  
Brižinski spomeniki (nastali v obdobju med letoma 972 in 1039), prvi ohranjeni zapisi v slovenskem jeziku, so bili napisani na pergament, Trubarjev Katekizem (1550), prva slovenska knjiga, pa je bil natisnjen na papir.



## POMNI

Preden so izumili papir, so ljudje zapisovali informacije na kamen, les, kovino, glino ipd. Stari Egipčani so pisali na papirus, srednjeveški rokopisi pa so bili napisani na pergament.

Šele 500 let po iznajdbi se je umetnost izdelave papirja prenesla na Japonsko, kasneje so jo prevzeli Arabci, v času kitajsko-arabskih vojn v 8. stoletju pa se je izdelava papirja razširila tudi v zahodno Evropo.

V Evropi so prvi pričeli z ročno izdelavo papirja Španci okrog leta 1140. 100 let kasneje je v Italiji pričela obratovati prva papirnica Fabriano, kjer so tudi izumili klejenje papirja in izdelavo vodnega znaka. Kot surovino so uporabljali pretežno tekstilne odpadke – lanene krpe. Že v tisti dobi pa so se uveljavili zaporedni postopki pri izdelavi papirja, ki jih poznamo še danes:

- razvlaknjevanje surovin,
- priprava vlaknin v papirno kašo,
- oblikovanje lista,
- oddvajanje lista od sita,
- stiskanje,
- sušenje,
- glajenje.

## POJMI

### Klejenje papirja:

dodajanje živalskega ali smolnega klejiva v papirno maso, s čimer dosežemo, da je možno na papir pisati s tekočim črnilom in da je za določen čas papir odporen proti vodi.

### Vodni znak:

znak, ki se naredi med oblikovanjem papirnega traku na situ z razrinjenjem ali kopičenjem papirne snovi in je viden zlasti pri opazovanju papirja proti svetlobi.

Slika 1.3: Eden izmed prvih papirnih strojev



## 1.2 RAZVOJ PAPIRNIŠTVA V SLOVENIJI

Na Slovenskem so prvi ročno izdelovali papir v Zgornji Hrušici pri Ljubljani leta 1544. Danes je v Sloveniji 6 velikih papirnic, ki imajo vse že dolgo tradicijo.

Slika 1.4: Papirniška industrija v Sloveniji



### ALI VEŠ?

Na lokacijo papirnic vpliva nekaj pomembnih dejstev: bližina osnovne surovine, vodni viri, oskrba z energijo, transportne poti ter razpoložljivost delovne sile. Vsa našeta dejstva so skupna tudi slovenskim papirnicam.

1736

#### Papirnica v Radečah

Proizvodnja papirja poteka na dveh papirnih strojih, proizvajajo zaščitene vrednostne papirje z vodnimi znaki, kopirne papirje, papirje za tisk. Osnovna surovina so bombažna vlakna in sveže vlaknine – kemijsko pridobljena celuloza. Letna proizvodnja: 40.000 ton.

1788

#### Papirnica v Goričanah

Proizvodnja poteka na enem papirnem stroju, proizvajajo nizkogramske brezlesne papirje, kot surovino uporabljajo sveže vlaknine. Letna proizvodnja: 82.000 ton.

1842

#### Papirnica v Vevčah

Proizvodnja poteka na enem papirnem stroju, so specialisti za etiketne papirje in papirje za gibko embalažo. Kot surovino uporabljajo sveže vlaknine. Letna proizvodnja: 110.000 ton.

1882

**Papirnica v Sladkem Vrhu**

Proizvajajo higienske papirje, ki jih predelajo v toaletni papir, kuhinjske brisače, serviete, robčke, medicinske brisače ... Kot surovino uporabljajo sveže vlaknine. Letna proizvodnja: 70.000 ton.

1920

**Papirnica na Količevem**

Je edina papirnica v Sloveniji, kjer proizvajajo karton, proizvodnja poteka na dveh papirnih strojih. Proizvajajo kartone iz svežih vlaknin kot tudi iz recikliranih vlaknin in lesovine. Letna proizvodnja: 260.000 ton.

1939

**Papirnica v Krškem**

Pretežno, preko 90 %, uporabljajo reciklirane vlaknine. V Sloveniji so edina papirnica z linijo za tako imenovani postopek razčrniljenja (*deinking*), proizvodnja poteka na 3 papirnih strojih. Letna proizvodnja je 120.000 ton časopisnega papirja in 90.000 ton grafičnih in ovojno-embalažnih papirjev.<sup>1</sup>

**NALOGE**

1. Izberi eno od papirnic in podrobneje razišči, katere surovine uporabljajo, kako poteka izdelava papirja in kaj so končni izdelki.

Papirnica:

---

Surovine	Izdelava papirja	Izdelki
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

2. V Sloveniji obstaja veliko podjetij, ki se ukvarjajo s predelavo papirja. Poišči vsaj tri in zapiši njihove proizvode.

Podjetje:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Proizvod:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Podatki o letni proizvodnji so pridobljeni s spletnih strani papirnic.

## 1.3 IZZIVI SODOBNEGA PAPIRNIŠTVA

### POJMI

**Certificiranje gozdov:** postopek pridobivanja certifikata (PEFC, FSC), ki izkazuje, da se z gozdovi gospodari trajnostno. S tem se zagotavljajo biotska raznovrstnost, proizvodnost, sposobnost obnavljanja in vitalnost gozdov. Tako bo tudi v prihodnje poskrbljeno za ohranjanje pomembnih okoljskih, socialnih in proizvodnih funkcij gozda na lokalni, nacionalni in svetovni ravni.

**Nanoceluloza:** nanomateriali, katerih osnova je celuloza; v papirni industriji se uporabljajo za izboljšanje mehanskih lastnosti papirja.

**Karbonska vlakna:** ogljikova vlakna, ki so zelo odporna in hkrati zelo lahka.

Papir nas spremlja vse življenje, rojstvo in smrt sta dokumentirana na papirju, opismenjevanje se začne s pomočjo papirja, slikarji ustvarjajo svoje prve umetnine na papirju, skratka, papir je naš pomemben sopotnik v življenju in nepogrešljivi del našega vsakdana.

Papir je prijazen do narave, lahko ga ponovno uporabimo, je biorazgradljiv izdelek iz obnovljivih surovin (odpadni papir, celulozna vlakna). V današnjem času težav s plastiko se vse bolj kaže, da je papir na nekaterih področjih uporabe težko zamenljiv, predvsem sta to embalaža in higiena. Papirna industrija je še vedno v porastu. V 70-ih letih so napovedovali drastičen padec porabe papirja v svetu zaradi razvoja digitalnih tehnologij, vendar so prav te tehnologije pripomogle tudi k njeni rasti. Manjša je poraba papirja v pisarnah, računi so v digitalni obliki, vendar pa nakupujemo iz domačega fotelja in vse pošiljke je treba dostaviti do kupcev, zaradi česar je narasla poraba embalažnih papirjev in kartonov.

Les kot osnovna surovina za proizvodnjo vlaknin (celuloza, lesovina) je obnovljivi vir. Proizvodnja celuloze je bila nekoč bolj obremenjujoča za okolje, sodobna proizvodnja celuloze pa je energetsko neodvisna in z izpusti CO<sub>2</sub> ne obremenjuje okolja. Papirna industrija iz leta v leto povečuje uporabo lesa iz certificiranih gozdov in tako spodbuja trajnostno gospodarjenje z gozdovi. Velike količine lesa za proizvodnjo papirja prihajajo s plantaž. Če ne bi bilo papirne industrije, ne bi bilo tudi milijonov dreves s plantaž, saj nihče ne bi gojil teh dreves za zabavo. Še eno pomembno dejstvo je, da papirna industrija večinoma uporablja manj kakovosten les, iz katerega izdelava izdelek z visoko dodano vrednostjo – papir ali karton. Pravimo, da je papirna industrija »metla za gozd«.

Papirna industrija v Sloveniji je dokaj razvita in je pomembna za slovensko gospodarstvo, saj je pomembna izvoznica in prispeva h gospodarski rasti. Slovenija je bogato pokrita z gozdovi in tukaj je priložnost tudi za papirno industrijo ter lastno porabo lesa kot surovine.

Papirna industrija je pomembna tudi za zaposlovanje. Delo v papirni industriji se je v zadnjih letih precej spremenilo, saj se močno pozna uvajanje avtomatizacije in uporaba računalnikov. Ne tako dolgo tega so se pomembne meritve in regulacije izvajale ročno, danes pa je delo papirničarja že bolj podobno delu računalniškega operaterja, stroj se vodi iz komandne sobe. Tudi število ljudi za strojem se je s tem močno zmanjšalo.

S posodobitvijo strojev se je zmanjšal tudi vpliv na okolje, kar je bila v preteklosti težava papirne industrije, saj je veljala za manj ekološko industrijo. Za proizvodnjo papirja je še vedno potrebna voda, vendar se je v zadnjih letih poraba vode na kilogram izdelanega papirja močno zmanjšala. Pred 40 leti je bila poraba še 60 l vode na 1 kg papirja, danes pa je v nekaterih papirnicah že pod 10 l vode na 1 kg papirja. Papirnice imajo čistilne naprave za odpadne vode, tako da z izpusti v reke ne obremenjujejo okolja.

Prihodnost papirne industrije je še naprej v avtomatizaciji in posodabljanju naprav, da bi porabili čim manj električne in toplotne energije. Prihajajo tudi novi materiali, kot so nanoceluloza, karbonska vlakna, kar bo zagotovo spremenilo tudi papirno industrijo.



### POMNI

Papir je prijazen do narave, lahko ga ponovno uporabimo, je biorazgradljiv izdelek iz obnovljivih surovin (odpadni papir, celulozna vlakna).



### NALOGE

1. Zakaj je papirna embalaža bolj prijazna do narave kot plastična?

---



---

2. Kako papirna industrija skrbi za čim manjšo obremenjenost okolja?

---



---

#### POSKRIBIMO ZA VARNOST IN ZDRAVJE PRI DELU!

Delodajalec mora vsakemu zaposlenemu zagotoviti varnost in zdravje pri delu. Pozanimaj se:

1. Kateri predpisi o varnosti in zdravju pri delu veljajo v papirnici?

---

2. Kakšne oznake opozarjajo na nevarnosti pri delu s stroji in nevarnimi snovmi v papirniškem poklicu?

---

3. Kako se pred temi nevarnostmi zaščitimo?

---

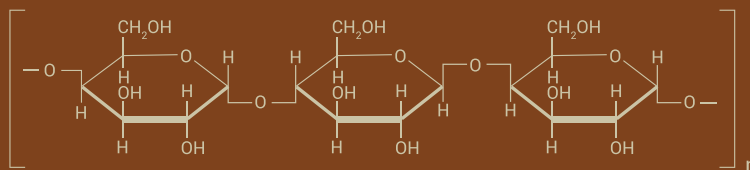
4. Kaj spada v varovalno opremo zaposlenih v papirnici?

---

# 2

## PRIPRAVA VLAKNIN

Najpomembnejša surovina za proizvodnjo papirja so vlaknine rastlinskega izvora, katerih glavni sestavni del je celuloza. Od 1200 do 1400 molekul celuloze se med seboj povezuje z vodikovimi vezmi v vlakna - mikrofibrile.



Slika 2.1: Kemijska formula celuloze je  $(C_6H_{10}O_5)_n$

V tem poglavju bomo spoznali:

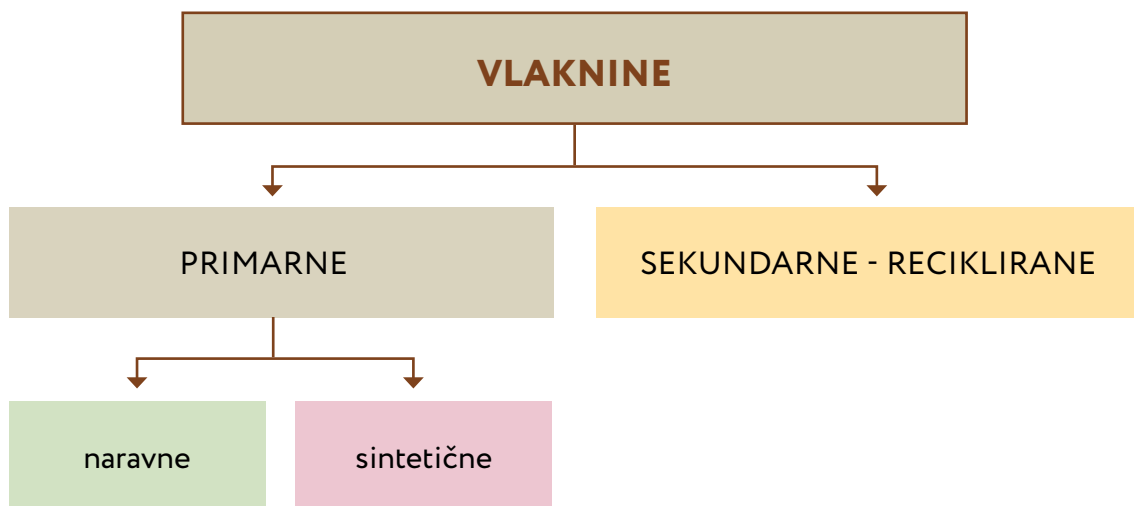
- kako delimo vlaknine,
- kako jih pridobivamo,
- katere lastnosti vlaknin so pomembne za papirničarje,
- katere so posebnosti pridobivanja posameznih vlaknin.



Vlaknine delimo na primarne in sekundarne. Primarne vlaknine so pridobljene neposredno iz lesa, bombaža in drugih rastlin, sekundarne vlaknine pa so pridobljene iz odpadnega papirja.

Obstajajo tudi sintetične oziroma kemične vlaknine, kot so najlonska poliamidna vlakna, akrilna vlakna, poliestrska vlakna ... , ki pa se uporabljajo zgolj izjemoma. Papirju dajejo boljše mehanske lastnosti. Papir in karton, izdelan iz sintetičnih vlaknin, je močnejši, bolj odporen na sončno svetlobo. Slaba lastnost sintetičnih vlaken je hidrofobnost (odbijajo vodo). Poleg tega povzročajo težave pri mletju, še posebej, če jih meljemo skupaj z naravnimi vlakninami.

Shema 2.1: Razvrstitev vlaknin za uporabo v papirni industriji



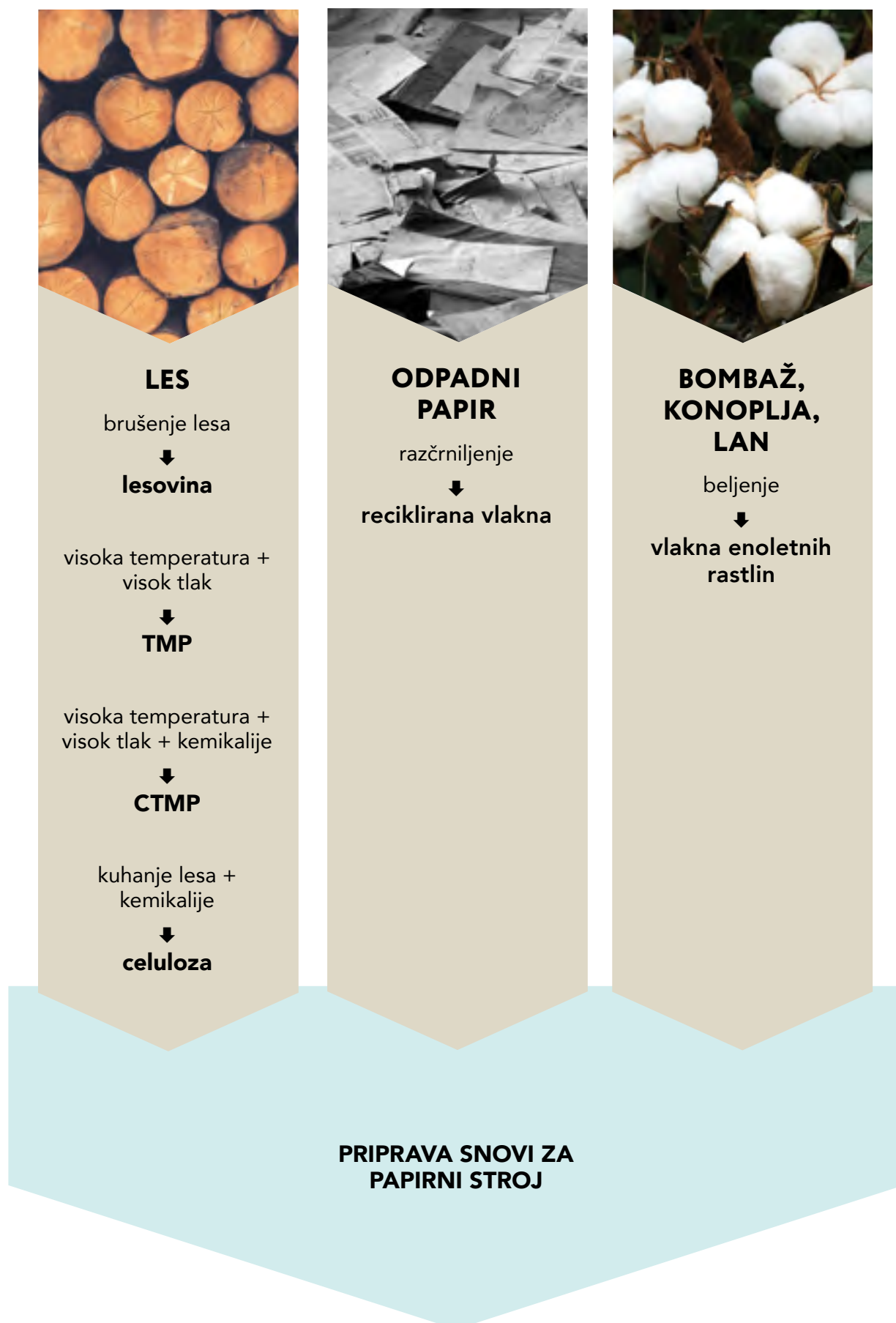
Slika 2.2: Vlaknine: lesovina (zgoraj), razčrniljena vlakninska snov (levo), celuloza (desno)

V papirni industriji za proizvodnjo papirjev, kartonov, higienskih papirjev in lepenke uporabljamo pretežno naslednje surovine:

- lesovino,
- termomehansko meljavino (TMP),
- kemijsko termomehansko meljavino (CTMP),
- kemijsko pridobljeno celulozo,
- reciklirane vlaknine (odpadni papir),
- vlaknine enoletnih rastlin (bombaž, konoplja, lan ...).

Za uporabo naštetih surovin so potrebni določeni postopki v papirnicah, ki jih bomo spoznali v naslednjih poglavjih.

Shema 2.2: Priprava vlakninske snovi za proizvodnjo papirja in kartona



**PONOVIMO**

Katere so osnovne surovine za pripravo vlaknin?

Kako delimo vlaknine glede na izvor?

Katere postopke pridobivanja vlaknin poznamo?

Katere vlaknine lahko pridobimo iz lesa glede na različne postopke pridobivanja?

**NALOGA**

1. Poišči podatke o eni od papirnic in naši glavne vrste vlaknin, ki jih v tej papirnici uporabljajo kot osnovno surovino.

Papirnica:

---

Vlaknine:

---

---

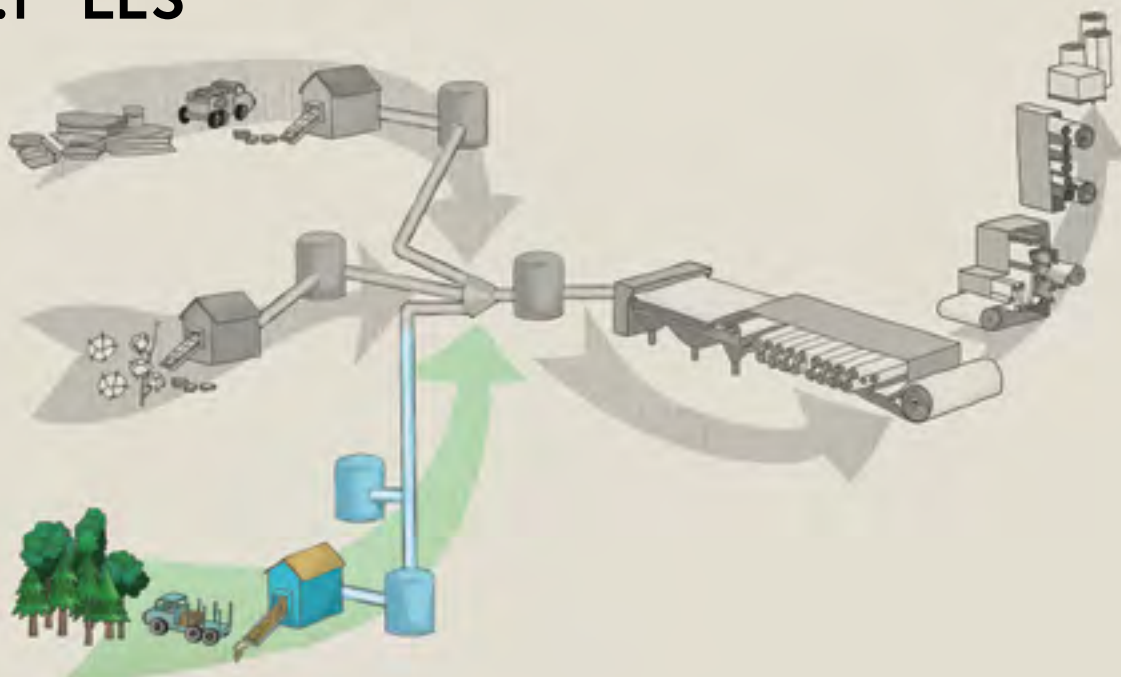
---

---

---

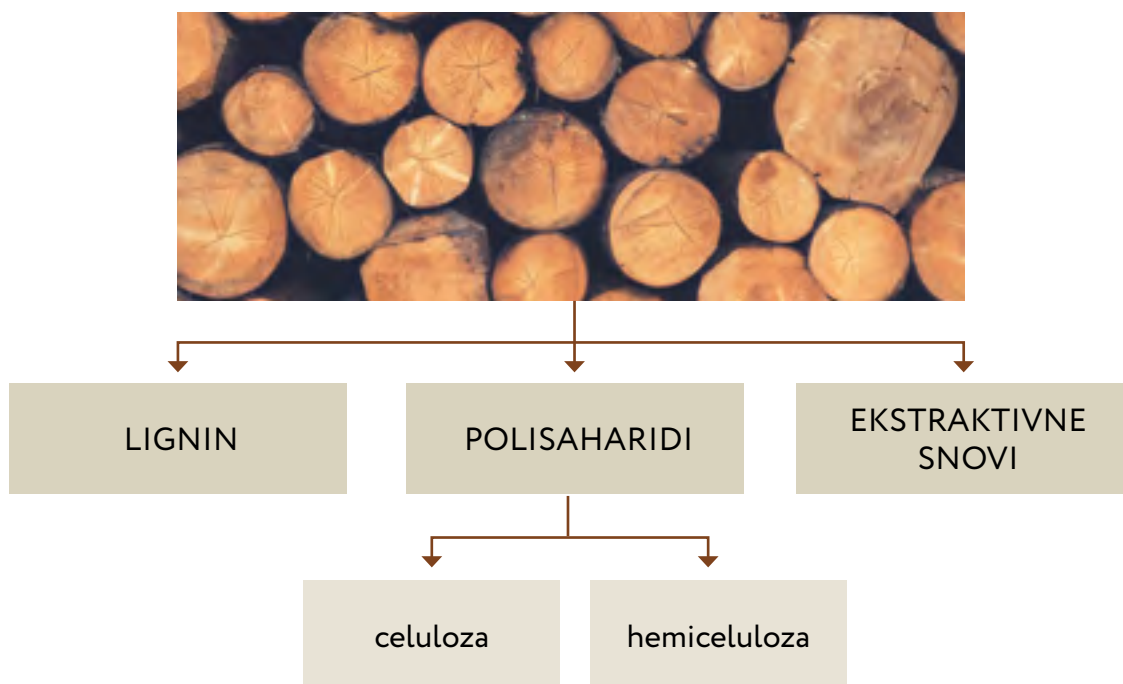
---

## 2.1 LES



Les je treba najprej pripraviti, šele nato ga lahko nadalje obdelamo in iz njega pridobimo različne vlaknine.

Shema 2.3: Osnovna sestava lesa



Lignin, celuloza, hemiceluloza in ekstraktivne snovi so kemijske sestavine lesa. Vsaka od teh sestavin ima v različnih vrstah lesa različen delež. Lignin predstavlja vezivo med vlakni v lesu in ga je 20–25 %, vsebnost celuloze se razlikuje glede na vrsto lesa in znaša v povprečju 45 %, hemiceluloze 20–25 %, ekstraktivnih snovi (škrob, smole, balzami, voski idr.) pa 2–8 %.

Vlaknine pridobivamo iz lesa s pomočjo mehanskih, termomehanskih in kemijskih postopkov. Glede na vrsto postopka, s katerimi je les obdelan, ločimo naslednje vlaknine:

- celuloza,
- lesovina,
- termomehanska meljavina (TMP),
- kemijska termomehanska meljavina (CTMP).

### ALI VEŠ?

Celuloza je najpogostejša organska snov na Zemlji. Rastline je proizvedejo približno 10 milijard ton na dan. Papirna industrija je največji porabnik celuloze.

Proces se začne v gozdu: drevesa posekamo in les transportiramo do tovarn, kjer ga pripravimo za proizvodnjo vlaknine. Oblike lesa, primerne za proizvodnjo kemijske celulozne vlaknine, so:

- sekanci (mere sekanca so 25 x 15 x 5 mm),
- ostanki pri žaganju – manj primeren les,
- daljši hlodi z lubjem (dolžina 3–6 m),
- krajši hlodi z lubjem (dolžina 1–2 m) – v zadnjem času vse manj v uporabi.

Postopki priprave lesa za pridobivanje vlaknin so naslednji:

- skladiščenje lesa z lubjem,
- krajšanje daljših hlodov na ustrezno dolžino (odvisno od premera bobna),
- odstranjevanje lubja,
- izdelava sekancev (pomembna je velikost in gladka površina sekancev),
- sortiranje sekancev (sortiramo na pravilne sekance, fino in grobo frakcijo),
- skladiščenje sekancev,
- transport do kuhalnika.



### POMNI

Kakovost sekancev je boljša iz svežega lesa.

### 2.1.1 CELULOZA

Celulozne vlaknine pridejo v papirnico v suhem stanju, v obliki bal večjega formata. Pred izdelavo papirja in kartona je treba vlaknine ustrezno pripraviti. Bale celuloze iz skladišč dostavljamo do razpuščevalnikov (*pulperjev*), kjer se pripravi vlakninska snov.

Celulozo, ki se uporablja v papirni industriji, pridobivamo s predelavo lesa. V glavnem za pridobivanje vlaken uporabljamo les iglavcev: smreke, jelke, bora. Od listavcev uporabljamo les bukve, breze, topola, evkaliptusa. Vlakna, pridobljena iz lesa iglavcev oz. listavcev, se razlikujejo predvsem po dolžini vlaken in debelini stene, kar daje papirju tudi različne lastnosti.

Za izdelavo papirja oz. kartona, kjer so potrebne dobre mehanske lastnosti (papir za vrečke ipd.), uporabimo večji delež iglavcev v surovinski sestavi, pri tiskovnem ali kopirnem papirju pa je delež iglavcev manjši.

Slika 2.3: Od lesa do celuloznih bal



#### POMNI

Vlakna, pridobljena iz lesa iglavcev oz. listavcev, se razlikujejo predvsem po dolžini vlaken in debelini stene, kar daje papirju različne lastnosti. Več o tem bomo spoznali v naslednjih poglavjih.

## Pridobivanje kemijske celulozne vlaknine

Cilj pridobivanja kemijske celuloze je odstranjanje in razgradnja lignina, obenem pa želimo ohraniti celulozna vlakna in hemicelulozo čim manj poškodovano. Dva najpomembnejša postopka pridobivanja celulozne vlaknine sta:

- hidrogensulfitni – kisli postopek,
- sulfatni – alkalni postopek.

Po končanem kuhanju sledi čiščenje celulozne vlaknine. Odstraniti je treba trdne nečistoče, saj kuhana snov vsebuje še veliko nepredelanih koščkov lesa, skupkov vlaken, pesek, kamenčke, kovinske delce.

### ALI VEŠ?

V zadnjem času se uveljavljajo tudi okolju bolj prijazni postopki pridobivanja celuloze.

Shema 2.4: Postopek pridobivanja kemijske celulozne vlaknine



Preglednica 2.1: Primerjava med glavnimi postopki pridobivanja celulozne vlaknine

	Sulfatni postopek	Sulfitni kisli postopek	Sulfitni magnefitni postopek
<b>Kemikalije</b>	natrijev hidroksid NaOH  natrijev sulfid Na <sub>2</sub> S	žveplasta kislina H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>  Mg-hidrogensulfit Mg(HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg-hidrogensulfit Mg(HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
<b>Čas kuhanja</b>	1–2 h	4–10 h	2–4 h
<b>Temperatura</b>	160–175 °C	125–140 °C	150–165 °C
<b>pH</b>	13+	1–2	3–5
<b>Izkoristek lesa</b>	45–50 %	45–50 %	50–55 %
<b>Trdnost vlaknine</b>	visoka	nizka	srednja

## POJMI

### **Belina:**

podatek, ki nam pove, koliko modre barve papir odbije s površine. Angleški izraz je "brightness", po slovensko bi temu rekli svetlost papirja. Belina se meri s spektrofotometrom po standardu ISO 2470.

Za beljenje celuloze se uporabljajo naslednja belilna sredstva: klor, klorov dioksid, natrijev hipoklorit, vodikov peroksid, kisik in ozon. Skupaj z njimi se uporabljajo še sredstva za odstranjevanje lignina: natrijev in magnezijev hidroksid.

## Beljenje celulozne vlaknine

Kemijsko pridobljena vlakna po končanem kuhanju in čiščenju celulozne vlaknine še niso primerna za uporabo pri proizvodnji belih papirjev in kartonov, saj je celuloznim vlakninam treba zvišati belino.

Nebeljena sulfatna vlaknina ima belino: 18 do 30 % ISO.

Nebeljena sulfitna vlaknina ima belino: 55 do 65 % ISO.

## ALI VEŠ?

V razvitih državah se za beljenje celuloze klor in klorov dioksid ne uporabljata več.

Beljenje poteka v več korakih. Pomembne spremenljivke v fazi beljenja so:

- količina in poraba kemikalij,
- čas,
- temperatura,
- koncentracija,
- pH vrednost ter
- mešanje.

## Odvodnjavanje, sušenje, pakiranje

Kadar se papirnica nahaja v neposredni bližini tovarne celuloze, lahko nebeljene ali beljene celulozne vlaknine prečrpavamo neposredno do papirnice, sicer pa jih posušimo do 90 % suhe snovi, zapakiramo in pripravimo za transport do papirnic.



## 2.1.2 LESOVINA

Z mehansko predelavo lesa, kjer ohranimo sestavine lesa skoraj v celoti, dobimo vlaknine z visokim izkoristkom lesne mase v primerjavi s kemijsko obdelanimi vlakninami.

Klasična bruševina je najstarejša vrsta lesovine, pridobivamo pa jo z brušenjem polen. Les mehansko zbrusimo na velikost, ki je zelo blizu velikosti celuloznih vlaken. Slaba stran lesovine je, da na svetlobi sčasoma porumeni zaradi prisotnosti lignina, zato jo uporabljamo predvsem za tiste vrste papirjev in kartonov, pri katerih je uporaba omejena na kratek rok.

Pri brušenju se med brusnim kamnom in lesom temperatura poveča tudi do 190 °C. Zaradi visoke temperature pride do mehčanja in prehoda snovi v plastično obliko. Zrnca na površini kamna povzročijo razvlakljenje lesa.

**Termomehanska meljavina (TMP)** je proizvedena pod tlakom in pri visoki temperaturi. Lesne sekance za kratek čas (do 3 minute) segrejemo na temperaturo 115–120 °C pri tlaku 200–250 kPa, nato se meljavina razvlakni na diskastem rafinerju (mline rafinerje bomo spoznali v naslednjih poglavjih).

**Kemijska termomehanska meljavina (CTMP)** je kombinacija različnih obdelav pri zvišanem tlaku, pri višji temperaturi in z dodanimi kemikalijami. V tem procesu lesnim sekancem dodajamo kemikalije, segrevamo jih s paro, sledi prva stopnja mletja na diskastem rafinerju pri temperaturi nad 100 °C in nato še druga stopnja mletja pod tlakom.

Slika 2.4: Žaga za krajšanje hlodov



Slika 2.5: Odstranjevanje lubja



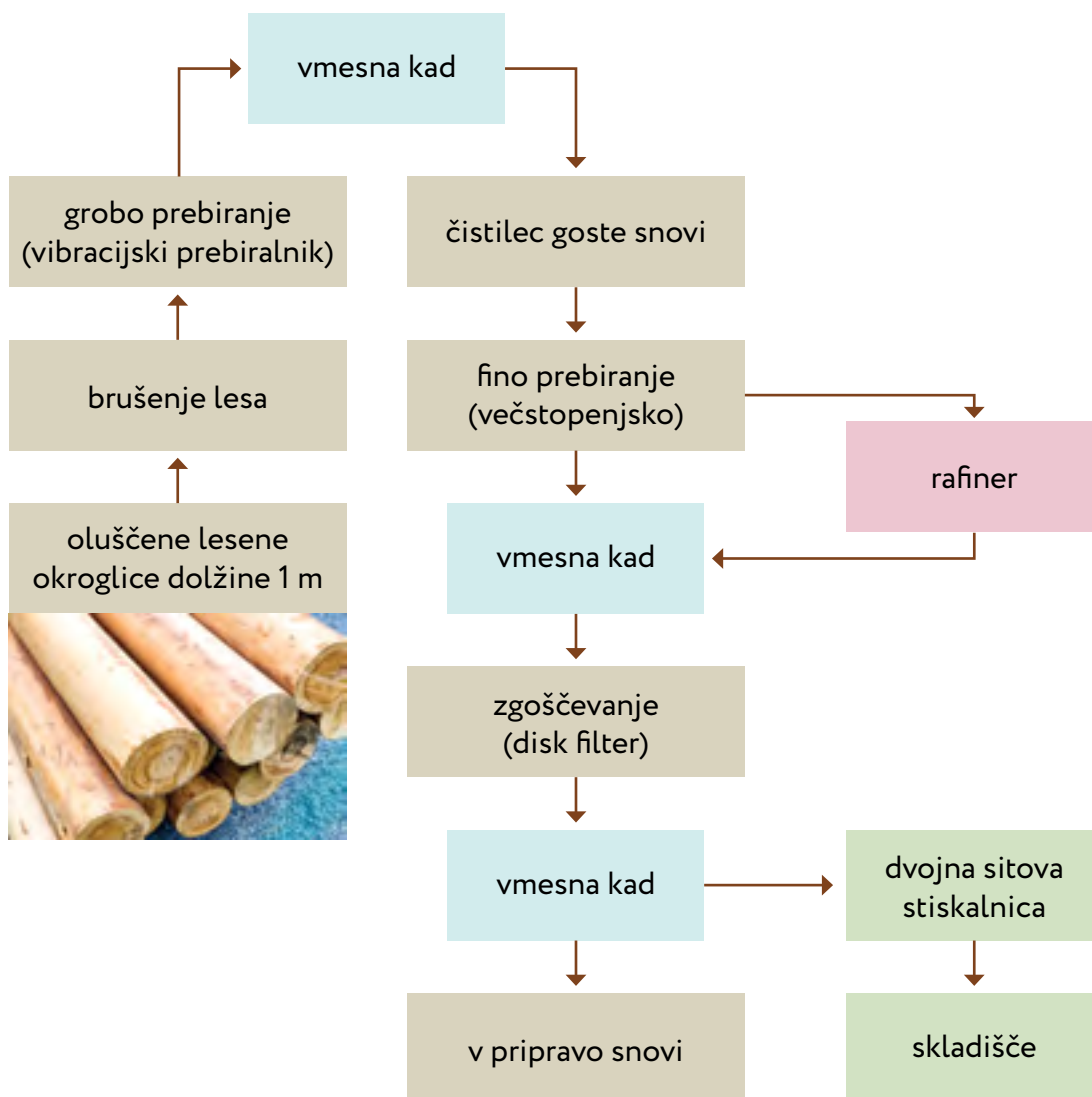
### POMNI

Pred predelavo moramo les pripraviti, to pomeni skrajšati hlode ter odstraniti lubje.

## Proces pridobivanja bruševine

Lesovina oz. bruševina se na papirnem stroju uporablja kot vhodna surovina. Njeno pridobivanje poteka v lesobrusilnici, kjer z uporabo brusilnikov, prebiralnikov in zgoščevalnih naprav izdelamo bruševino. Kvaliteta bruševine mora biti konstantna in mora ustrezati želenim standardom, da je proces proizvodnje papirja stabilen. Glede na željeno dolžino vlaken bruševino pridobivamo iz lesa iglavcev ali listavcev. Rezultat brušenja lesa iglavcev bodo daljša vlakna, medtem ko iz lesa listavcev dobimo krajša vlakna.

Shema 2.5: Postopek pridobivanja bruševine



### POMNI

Z brušenjem lesa iglavcev dobimo daljša vlakna, iz lesa listavcev pa krajša vlakna. Kako to vpliva na lastnosti papirja, pa bomo spoznali v naslednjih poglavjih.

## Brusilnik

Lesne okroglice, ki jih pred procesom brušenja razrežemo na dolžino 1 m ter oluščimo lubja, položimo v jašek širine 1–1,3 m na vrhu kontinuirnega brusilnika. Te okroglice se s pomočjo pogonskih verig s konstantnim pomikom transportirajo proti dnu jaška, kjer poteka proces brušenja na površini brusnega kamna s satastimi elementi iz korundnih zrn.

V postopku brušenja prihaja do dveh procesov, primarnega in sekundarnega procesa brušenja.

V primarni fazi brušenja pride do mehčanja oz. plastifikacije lignina (vezivne snovi med vlakni) zaradi toplote, ki se sprošča pri trenju. To povzroči, da se posamezna vlakna oz. skupki vlaken lažje ločijo od lesa.

V sekundarni fazi brušenja poteka ponovno razvlaknjevanje, ko brusni kamen vlakna oz. skupke vlaken prenese iz korita v brusilno cono. Ob tem skupki vlaken razpadejo na posamezna vlakna.

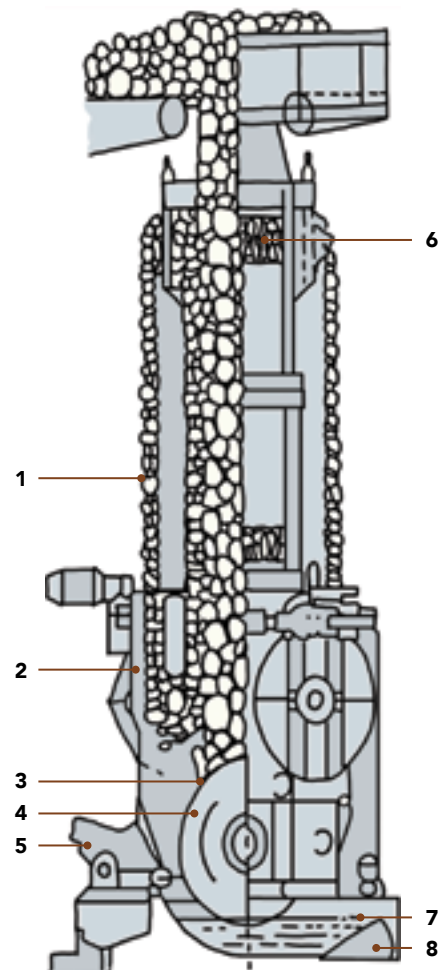
Slika 2.6: Brusilnik



Slika 2.7: Brusni kamen



Slika 2.8: Shema brusilnika



- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1 pogonska veriga   | 5 nastavitev       |
| 2 pogonsko kolo     | 6 lesni jašek      |
| 3 prijemalna plošča | 7 zajezev          |
| 4 brusni kamen      | 8 brušena lesovina |

## Prebiranje

Po procesu brušenja iz lesnih okroglic dobimo vlakna oz. vlakninsko suspenzijo, ki jo je treba prebrati, ločiti na vlakna ustrezne in neustrezne kvalitete ter odstraniti neželene snovi (grobi odpadki, težki delci). Grobi odpadki so največkrat majhni kamenčki, pesek z brusnega kamna, lubje ...

Ločimo grobo in fino prebiranje:

- rezultat **grobega prebiranja** je malo trsk in iveri v prečiščeni snovi, vendar veliko trsk in dobrih vlaken v grobih odpadkih,
- posledica **finega prebiranja** so trske v fini snovi, vendar manjša količina dobrih vlaken v grobih odpadkih.

Prebiranje vedno poteka od bolj grobega proti bolj finemu. Za to uporabljamo tri tipe prebiralnih naprav, in sicer:

- vibracijski prebiralnik,
- vrtinčni cevni čistilec,
- tlačni prebiralnik.

### Vibracijski prebiralnik

Vibracijski prebiralnik je namenjen najbolj grobem prebiranju. Postopek poteka v koritu s sitom, ki ima premer lukenj 3–6 mm ter pogon z ekscentrom, ki s pomočjo nihanja povzroča vibriranje oz. pomik korita s sitom v vodoravni smeri. Ob vibriranju se skozi luknje v situ izločajo prečiščene snovi. Grobe snovi, kot so trske in vlakninski skupki, pa potujejo po površini sita v napravo za drobljenje.

Naslednja stopnja prebiranja je čistilec goste snovi oz. cevni čistilec, kamor potuje prečiščena snov iz vibracijskega prebiralnika.

Slika 2.9: Vibracijski prebiralnik



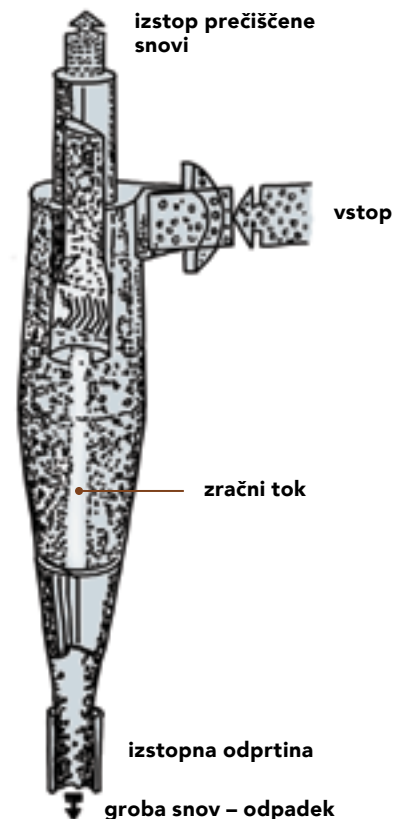
### Vrtinčni cevni čistilec

V cevnih čistilcih se pod vplivom centrifugalne sile izločijo gosti, specifično težji delci, kot so pesek, kamenčki ... To je stopnja pred finim končnim prebiranjem. Če se zahteva večja čistost vlakninske snovi, se cevni čistilniki lahko namestijo v več stopnjah. Pri tem je na zadnji stopnji nameščen čistilec s posodo za zbiranje umazanije, ki se prazni kontinuirano ali diskontinuirano.

Vlakninska snov s pomočjo črpalke vstopa tangencialno glede na obod v zgornji del posode, pri čemer začne, zaradi centrifugalne sile in tlačne razlike med vstopom in izstopom, krožiti ob steni cevne čistilca. Ob tem nastane vrtinec, ki potuje v cevi čistilnika proti dnu in se v najožjem delu obrne nazaj proti vrhu. Očiščen tok vlakninske snovi izstopa na vrhu čistilca. Specifično težja neočiščena snov pa se izloči na dnu čistilca preko izhoda na cevi in nadaljuje pot na naslednjo stopnjo.

Končno fino prebiranje poteka v tlačnih prebiralnikih.

Slika 2.10: Vrtinčni cevni čistilec



### Tlačni prebiralnik

Tlačni prebiralniki so sestavljeni iz ohišja, stabilno stoječe košare z luknjami oz. zarezi, ki se širijo v smeri izstopa vlakninske snovi, ter rotorja s posebno oblikovanimi krilci, ki se vrti tesno ob košari. Tlačno prebiranje poteka v več stopnjah, kjer so prebiralniki lahko vezani v različne tipe vezav (zaporedna, kaskadna, dvojno prebiranje).

Slika 2.11: Košara tlačnega prebiralnika



Slika 2.12: Rotor tlačnega prebiralnika



Vlkninska suspenzija vstopa preko vstopne odprtine v notranji prostor košare z luknjami oz. zarezami. Znotraj košare se vrti rotor s posebno oblikovanimi krilci, ki delujejo zelo blizu sita. Ta krilca povzročijo dviganje obloge vlkninske plasti, ki se nabere na posameznih mestih sita, in jo vrtinčijo. To preprečuje zamašitev lukenj v situ, istočasno pa se s pomočjo krilc in težnosti groba snov, ki je ostala na situ, odstrani skozi poseben izstop. Prečiščena vlkninska snov potuje skozi odprtine v situ v zunanji prostor košare in od tam v izstop.



## POMNI

Prebiranje vedno poteka od bolj grobega proti bolj finemu. Najbolj grobo prebiranje poteka v vibracijskem prebiralniku, sledi vrtinčni cevni čistilec, končno fino prebiranje pa poteka v tlačnih prebiralnikih. Vrtinčne cevne čistilce in tlačne prebiralnike srečamo tudi pri prebiranju recikliranih vlaknin.

## Mletje – rafiniranje

Mlini oz. *rafinerji* razvlknijo in razcepijo trske v uporabna vlakna, ki morajo biti čim daljša. Uporabljajo se enoploščni ali dvoploščni mlini.

Pri enoploščnih mlinih motor poganja eno ploščo rotorja (vrteči se del), ki se giblje ob statorju (mirujoči del) oz. dve nasprotno rotirajoči plošči rotorja. To povzroča velike strižne sile med ploščami, ki predelujejo skupke vlaken in trske.

Pri dvoploščnih mlinih se plošča rotorja, ki nosi dvostranski mlevni segment, vrti med dvema ploščama statorja, ki sta prav tako opremljeni z mlevnima ploščama. Tako dobimo zelo veliko površino mletja, zaradi česar so dvoploščni mlini bolj uporabni kot enoploščni.

Ko je vlkninska suspenzija bruševine prebrana in zmleta, je treba vlkninsko snov zgostiti.



## POMNI

Mletje je pomembna faza pri pripravi vlkninske snovi iz lesa, celuloze ter drugih enoletnih rastlin. Več o mletju bomo izvedeli v nadaljevanju tega učnega gradiva, v poglavju o obdelavi celuloznih vlaknin.

## Zgoščevanje

Zgoščevanje bruševine poteka na polidisk filtru, ki je sestavljen iz pokončno postavljenih diskov, kjer se na obeh straneh nahajajo filtrne površine. Diski so razdeljeni v segmente iz nerjavečega jekla ali poliestrskega materiala, ojačanega s steklenimi vlakni. Montirani so na skupno gred. Posamezni segmenti so s cevmi, ki se nahajajo v votli gredi, preko fiksne krmilne glave povezani z odtočno cevjo, v kateri je podtlak. Z zgoščevanjem dosežemo vsebnost suhe snovi med 8 in 12 %.

Zgoščeno bruševino nato shranjujemo v kadi, od koder se lahko črpa direktno za uporabo na papirnem stroju, lahko pa jo s pomočjo dvojne sitove stiskalnice dodatno zgostimo do vsebnosti suhe snovi 25–40 % ter shranjujemo v skladišču za nadaljnjo uporabo.

Slika 2.13: Polidisk



Slika 2.14: Dvojna sitova stiskalnica



Slika 2.15: Skladiščena stisnjena bruševina



### POMNI

Polidisk filter je naprava za zgoščevanje bruševine, uporabljamo pa jo tudi pri zgoščevanju snovi iz recikliranih vlaknin.



## PONOVIMO

Katere vrste vlaknin pridobivamo iz lesa?

V kakšni obliki dobijo papirnice celulozo?

Katere vlaknine imajo visok izkoristek lesne mase?

Opiši princip delovanja kontinuirnega brusilnika.

Naštej naprave za prebiranje lesovinskih vlaken v lesobrusilnici. Katere so namenjene grobemu, katere pa bolj finemu prebiranju?

Opiši princip delovanja cevne čistilnika.

Opiši postopek mletja vlaknin. S katerimi napravami meljemo lesovinska vlakna?

Zakaj je treba lesovino po prebiranju še zgostiti?



## NALOGE

1. Razišči, v katerih papirnicah kot surovino za izdelavo papirja uporabljajo celulozo? Od kod jo dobijo?

---

---

---

2. V katerih papirnicah predelujejo lesovino? Kako jo pripravijo za uporabo na papirnem stroju?

---

---

---

3. Za katere vrste izdelkov uporabljamo lesovino kot glavno surovino?

---

---



## 2.2 RECIKLIRANE VLAKNINE



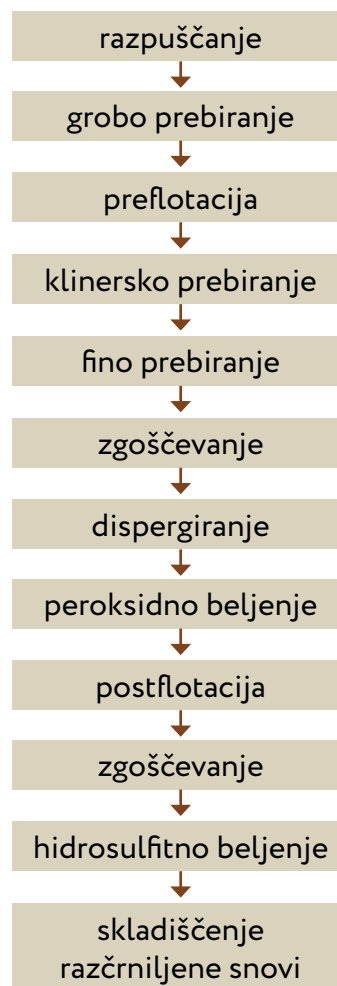
Reciklirane vlaknine pridobivamo iz odpadnega papirja, ki je v zadnjem času pomemben vir surovin v papirnicah. Odpadni papir ločimo po kvaliteti (potiskan, nepotiskan ...), vrstah (brezlesni, lesni, iz krp, ovojni, lepenka, karton), po klejnosti, po barvi, po čistoči, temu pa je prilagojen tudi nadaljnji postopek predelave. Iz recikliranih vlaken lahko izdelamo grafične in embalažne papirje, predvsem pa časopisni papir.

Slika 2.16: Od odpadnega papirja do časopisa in revij



### 2.2.1 POSTOPEK RAZČRNILJENJA («DEINKING«)

Shema 2.6: Postopek razčrniljenja (DIP)



## POJMI

### Rezanci:

odpadni papir, ki nastaja kot obrezni odpadek v tiskarnah ali pisarnah in ima obliko rezancev.

### Arhiva:

odpadni papir boljše kvalitete, ki vsebuje večji delež papirjev, narejenih iz celuloze in je rahlo potiskan.

## Razpuščanje

Osnovna surovina je potiskan odpadni papir različne kakovosti (revije, časopisi, mešanica, rezanci, arhiva ...). Ta surovina vsebuje veliko nečistoč (folija, kovina, les ...), ki jih med razpuščanjem izločimo kot neželene primesi.

Razpuščanje lahko poteka diskontinuirno (šaržno oz. s prekinitvami) ali kontinuirno (neprekinjeno). Procesna enota, v kateri poteka razpuščanje, se imenuje razpuščevalnik (*pulper*). V primeru odpadnega papirja uporabljamo ležeči bobnasti razpuščevalnik.

Glavne naloge razpuščevalnika so:

- omočiti vlaknino, da se zmanjšajo medsebojne privlačne sile med vlakni;
- razpustiti vlaknino na posamezna vlakna in manjše delce, tako da nastane vlakninska suspenzija, ki jo lahko transportiramo s črpalko;
- v primeru potiskanih papirjev z dodatkom kemikalij povzročiti odstopanje tiskarske barve (*detaching*) od vlaken;
- ločiti večje nečistoče oz. nepapirne primesi (folijo, plastiko, kovino ...);
- homogenizirati snov in jo pripraviti za naslednjo stopnjo.

V procesu razpuščanja predhodno stehtan odpadni papir preko transportnih trakov dovajamo v razpuščevalnik. Za razpuščanje je nujno potrebna voda, ki jo je treba segreti s paro na približno 50 °C, ter dodatek belilnih kemikalij.

## ALI VEŠ?

Papirnica v Krškem je velik porabnik odpadnega papirja v Sloveniji. V tovarno s tovornjaki in vagoni dnevno prispe približno 1000 ton odpadnega papirja različnih kvalitete. Odpadni papir se označuje s klasifikacijskimi številkami, ki so standardizirane. Skladiščenje glede na posamezno kvaliteto je ločeno, da operater lažje prilagodi vnos odpadnega papirja glede na ciljno kvaliteto proizvedenega papirja.

Razpuščanje poteka v bazičnem okolju, s pH vrednostjo med 8,7 in 9. Pri tej pH-vrednosti tiskarska barva odstopi od vlaken, papirna snov pa je pripravljena za naslednjo stopnjo odstranjevanja barvil.

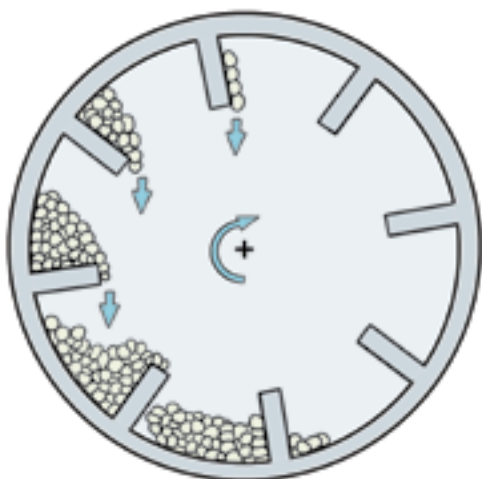
Preglednica 2.2: Belilne kemikalije

Kemijski simbol	Ime kemikalije	pH	Nevarnost
$H_2O_2$	vodikov peroksid	4	oksidativen, jedek, zdravju škodljiv
NaOH	natrijev hidroksid – lug	14	jedek
$Na_2SiO_3$	natrijev silikat – vodno steklo	12	

### Bobnasti razpuščevalnik (*drum pulper*)

Bobnasti razpuščevalnik ima obliko bobna v ležečem položaju, ki dosega dolžino tudi do 30 m. Njegov način delovanja zagotavlja veliko manjše sile na material, ki ga razpuščamo, zato je vpliv na razpad prisotnih nečistoč veliko manjši kot pri drugih vrstah razpuščevalnikov.

Boben je sestavljen iz dveh delov, od katerih je prvi del namenjen razpuščanju, v drugem delu pa poteka ločevanje večjih nečistoč od papirne suspenzije. Vlakninska snov se pomika skozi boben zaradi njegovega vrtenja. V prvem delu poteka razpuščanje pri koncentraciji snovi okrog 20 %, medtem ko v drugem delu poteka ločevanje nečistoč pri koncentraciji, nižji od 5 %. Zadnji del bobna je opremljen s sitom z luknjicami premera 6–9 mm.



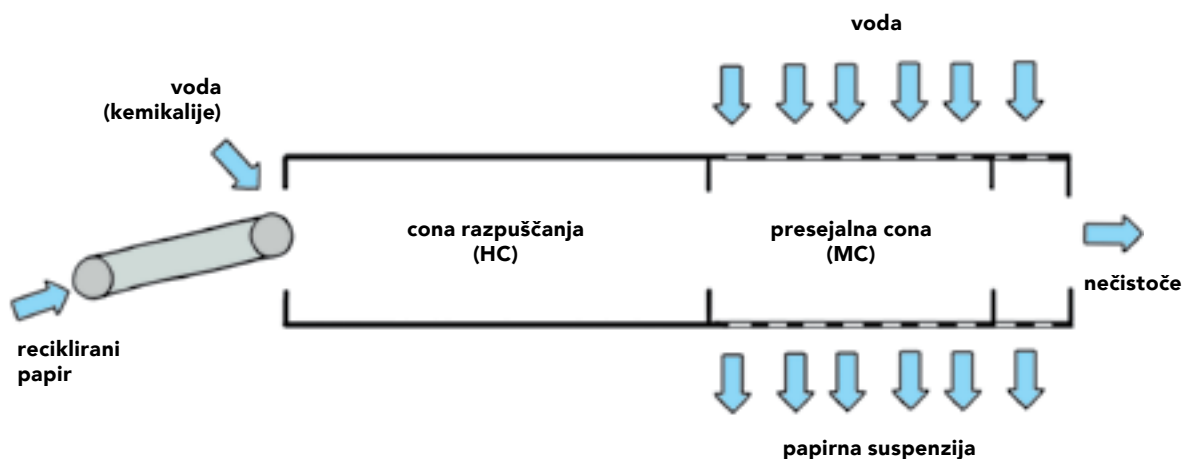
Slika 2.17: Gibanje snovi znotraj bobnastega razpuščevalnika

#### POJMI

**HC (angl. high concentration):** območje razpuščanja v prvem delu razpuščevalnika, kjer ima vlakninska snov visoko koncentracijo, približno 20 %.

**MC (angl. middle concentration):** območje razpuščanja v zadnjem delu razpuščevalnika, kjer ima vlakninska snov srednjo koncentracijo, približno 5 %.

Slika 2.18: Shematski prikaz delovanja bobnastega razpuščevalnika



## IZ PRAKSE

Po zastoju obrata za postopek razčrniljenja (DIP) se operaterja pripravljata na zagon. Posamezne procesne enote so vezane v skupine, te skupine pa tvorijo celoto, ki je potrebna, da proces nemoteno obratuje. V okviru ene skupine se preko avtomatske regulacije odprejo pripadajoči ventili, vzpostavijo se regulirani pretoki vode in kemikalij ter poženejo potrebne črpalke.

Lahko se zgodi, da se pri zagonu skupine razpuščevalnega bobna nivo vlakninske snovi v kadi pod bobnom ne ustali na nastavljeni vrednosti, ampak je višji in je v porastu. Merilniki pretoka in tlaka na naslednji stopnji grobega prebiranja kažejo precej nižje vrednosti od nastavljenih. Procesni računalnik ne daje nobene informacije, da bi kje prišlo do napake. Kako ravnamo v tem primeru?

Iz opisane situacije sledi, da vlakninska snov zaradi napake, ki je računalniški sistem ne zazna, ostaja v kadi in s precej nižjimi pretoki od nastavljenih prehaja na stopnjo prebiranja. Kje je lahko vzrok?

Odpraviti se moramo na mesto procesne enote in preveriti črpalke, ventile in cevi, ki bi lahko bili vzrok težave. V ročnem režimu obratovanja preverimo, ali črpalke dejansko obratuje. Preverimo pozicijo ventilov v polju, ali je ventil pod ukazom 'odprto' dejansko odprt. V opisanem primeru se je izkazalo, da se ventil po izstopu iz kadi ni v celoti odprl in je vlakninska snov le deloma prehajala na naslednjo stopnjo. Ventil je prejel ukaz za odpiranje, vendar je zaradi tujkov v cevi ostal deloma zaprt, kar lahko ugotovimo iz dejanske pozicije ventila v polju.

## Grobo prebiranje

Razpuščena papirna snov po razpuščanju potuje skozi stopnjo grobega prebiranja, več vzporedno in zaporedno vezanih tlačnih prebiralnikov, kjer se odstranijo delci nečistoč (plastika, folija ...).

Pri čiščenju papirne snovi iz odpadnega papirja se uporabljajo prebiralniki, ki imajo sita z luknjicami premera 2 mm. Tlačni prebiralniki so podobni kot pri pripravi snovi iz lesovine.

V sklopu obratovanja tlačnega prebiralnika merimo vstopni in izstopni tlak snovi ter računamo razliko v tlaku med njima. Če je večja od največje dovoljene razlike, pride do izpada obratovanja prebiralnika, da se zaščiti sito pred poškodbami.



### IZ PRAKSE

Med obratovanjem prebiralnika pride do nenadnega padca tlaka na izstopni cevi in do povečane razlike v tlaku med vstopno in izstopno papirno snovjo. Kaj storimo?

Če obstaja meritev pretoka, preverimo, ali se je zmanjšal tudi pretok. Če je prišlo do upada pretoka, lahko sklepamo na morebitno zamašitev prebiralnika. V tem primeru poskušamo najprej spirati prebiralnik z vodo. Če ne gre, je treba prebiralnik ustaviti, odpreti in odstraniti vzrok zamašitve.

Če meritev pretoka ostaja nespremenjena kljub padcu tlaka, je verjetno razlog okvara merilnika tlaka. Stopimo do lokalnega merilnika tlaka na poziciji, kjer je težava, in preverimo meritev tlaka ter jo primerjamo z meritvijo na računalniku. V primeru odstopanja v meritvah o tem obvestimo oddelek avtomatizacije, ki pokvarjen merilnik popravi oz. zamenja.

## Flotacija

Papirna snov po grobem prebiranju potuje na naslednjo stopnjo čiščenja snovi – flotacijo.

V procesu razčrniljenja se flotacija pojavi dvakrat, in sicer kot preflotacija in postflotacija. Postopek delovanja je enak, vendar se preflotacija pojavi pred fazo dispergiranja, postflotacija pa po dispergiranju.

Namen flotacije je odstraniti s površine vlaken barvo ter ostale neželene primesi (polnila, lepljive delce ...). Pogoj za uspešno flotacijo je ustrezno pripravljena snov v predhodnih fazah (alkalno okolje, *detaching* efekt).

Flotacija poteka v primarnih in sekundarnih celicah, ki so medsebojno povezane s črpalkami.

Slika 2.19: Flotacijske celice



## POJMI

### Alkalno okolje:

pH med 7 in 14, v postopku flotacije je pH približno 8.

### Detaching efekt:

v fazi razpuščanja z dodatkom kemikalij in s silami, ki delujejo na vlakna, povzročimo odstopanje barvil od vlaken.

### Rejekt:

papirna suspenzija, ki se obravnava kot odpadna suspenzija, ki jo je treba dodatno čistiti ali pa se v popolnosti zavrže kot odpadek procesa.

V stopnji flotacije papirni snovi dodajamo zrak in natrijevo milo, ki ima funkcijo kolektorja, zbiralca barve. Na osnovi razlik omočljivosti snovi (hidrofoben delec - delec, ki odbija vodo, in hidrofilen delec - omočljiv delec) se nečistoče s pomočjo zraka in mila dvigajo na površje ter se odstranjujejo kot pena s površine flotacijske celice. Pena, ki v tej fazi nastopa kot tekoči rejekt, se vrača na sekundarni del, s čimer zmanjšamo snovne izgube. Flotacija poteka pri koncentraciji papirne snovi okrog 1 %.

Slika 2.20: Pene na površini celice z veliko količino odstranjene tiskarske barve



## IZ PRAKSE

Prišlo je do nenadne okvare mešala v kadi pen tiskarske barve v fazi flotacije. Osebe iz oddelka vzdrževanja sprašujejo operaterja, v kolikšnem času bo kad prazna, da lahko pričnejo s popravilom.

Kad ima prostornino 50 m<sup>3</sup> in je polna do polovice. Kad lahko izpraznimo s črpalke, ki deluje s pretokom 4500 l/min. Izračunamo, v kolikšnem času se bo kad izpraznila.

Prostornina tekočine v kadi: 50 m<sup>3</sup> x 0,5 = 25 m<sup>3</sup>

Pretok črpalke: 4500 l/min = 4,5 m<sup>3</sup>/min

Čas praznjenja kadi:  $\frac{25 \text{ m}^3}{4,5 \text{ m}^3/\text{min}} = 5,6 \text{ min}$

Kad se bo izpraznila čez 5,6 min.



## POMNI

Proces flotacije je značilen za pripravo snovi iz odpadnega papirja. S flotacijo dosežemo višjo belino izdelkov ter zmanjšamo količino polnil, ki jih je treba dodati vlakninski snovi, da dosežemo večjo gladkost in boljšo potiskljivost izdelanega papirja.

## Klinersko prebiranje – vrtnični cevni čistilci

Papirna snov po flotaciji potuje do vrtničnih cevnih čistilcev, kjer se s pomočjo centrifugalnih sil ločijo specifično težji delci (steklo, pesek ...). Vrtnični cevni čistilci so podobni kot pri pripravi vlakninske snovi iz lesovine.

V procesu predelave odpadnega papirja deluje več stopenj vrtničnih cevnih čistilcev, vezanih zaporedno, kar zagotavlja optimalno odstranitev specifično težjih delcev. Delovanje posameznih stopenj klinerskega prebiranja je med seboj povezano tako, da rejekt (odpadek) predhodne stopnje vstopa na naslednjo stopnjo, medtem ko se dobra vlakninska snov vrača nazaj na predhodno. Klinersko prebiranje deluje pri koncentraciji snovi pod 1 %.

Slika 2.21: Vrtnični cevni čistilci – klinerji



## Fino prebiranje

Klinerskemu prebiranju sledi stopnja finega prebiranja. S predelavo odpadnega papirja vnašamo v sistem velike količine nepapirnih primesi, zato je tudi v fazi finega prebiranja potrebno večstopenjsko čiščenje.

Fino prebiranje je običajno sestavljeno iz dveh, ponekod tudi treh stopenj. V primeru treh stopenj so trije prebiralniki vezani zaporedno. Dobra vlakninska snov se pridruži glavnemu toku, medtem ko se rejekt vodi na naslednjo stopnjo. Prebiranje poteka z vstopnimi koncentracijami snovi do 0,9 %.

Samo delovanje prebiralnika je podobno kot pri pripravi vlakninske snovi iz lesovine. Sita in rotor se glede na vrsto in količino snovi med seboj razlikujejo po izvedbi in velikosti. Za fino prebiranje je značilno sito z regami širine okrog 0,15 mm.

## Zgoščevanje

Stopnjam čiščenja sledijo stopnje zgoščevanja vlakninske snovi na polidisk filtru (z 1 % na 10 %) ter polžni stiskalnici (z 10 % na 30 %). V fazah zgoščevanja se vlakninska snov tudi očisti, ker se del motečih snovi odstrani s filtratom. Zgoščevanje je priprava vlakninske snovi za nadaljnjo fazo dispergiranja in peroksidnega beljenja snovi.

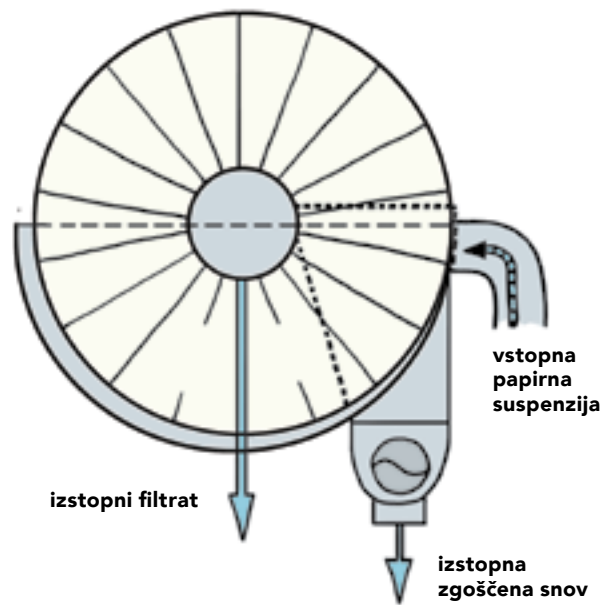
### POJEM

**Filtrat:**  
voda, ki se izloči na polidisk filtru iz papirne suspenzije pri zgoščevanju papirne snovi z 1 % na 10 %.

## Polidisk filter

Delovanje polidisk filtra je podobno kot pri pripravi snovi iz lesovine.

Slika 2.22: Polidisk filter



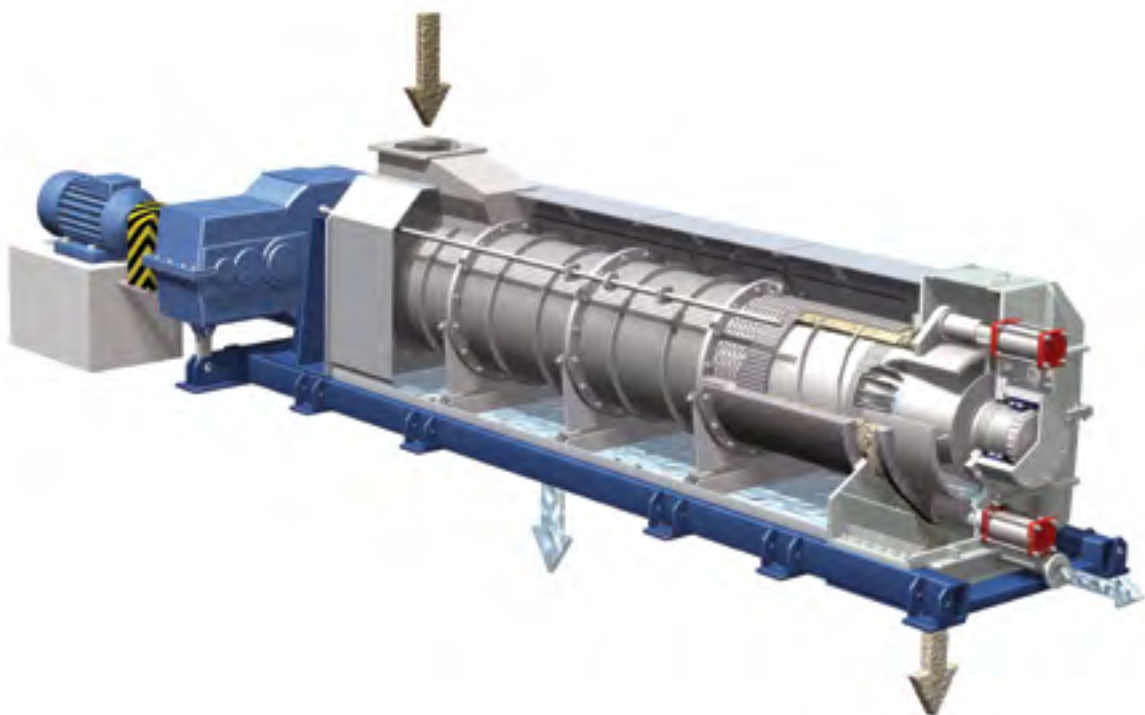
### POMNI

Naprave za prebiranje, vrtilne cevne čistilce in tlačne prebiralnike, ter polidisk filter za zgoščevanje smo spoznali že pri predelavi bruševine.

## Polžna stiskalnica

Polžna stiskalnica je sestavljena iz perforiranih sit in vrteče se polžnice, ki transportira papirno snov. Bat na koncu polžnice ustvarja protitlak, s pomočjo katerega se ustvarjajo sile na transportirano papirno snov, ki povzročajo odvodnjavanje in zgoščevanje snovi. Polžna stiskalnica je razdeljena na tri območja, glede na sile, ki delujejo na snov: nizkotlačno območje, srednjetačno območje in visokotlačno območje na koncu stiskalnice.

Slika 2.23: Polžna stiskalnica







## IZ PRAKSE

V času obratovanja prihaja do nenadnih zanihajev obratov polidisk filtra in posledično večjih obremenitev polžne stiskalnice. To lahko povzroči izpad procesa. Kaj se dogaja?

Večja nihanja so zagotovo odraz neenakomernega količinskega dotoka vlakninske snovi, ki je lahko posledica nedelovanja enega izmed glavnih merilnikov pretoka ali pa merilnika koncentracije. Najprej preverimo merilnike pretoka. Če so stabilni in delujejo v normalnih okvirih, je treba preveriti še glavni merilnik koncentracije vlakninske snovi. Na vzorčnem mestu v bližini merilnika vzamemo vzorec snovi, odčitamo vrednost koncentracije na merilniku ter izvedemo analizo koncentracije v laboratoriju. Glede na laboratorijsko vrednost popravimo koncentracijo v računalniškem programu.

### Dispergiranje

Dispergiranje je mehanska obdelava vlakninske snovi, kjer zgoščena papirna snov potuje skozi nastavljivo odprtino med statorsko in rotorsko ploščo, na katero delujejo strižne sile. Dispergiranje in peroksidno beljenje sta bolj optimalna pri višjih koncentracijah snovi, običajno nad 25 %.

Dispergiranje je faza, v kateri

- preostale nečistoče in lepljivke razbijemo na manjše delce, ki lahko flotirajo,
- povzročimo odstopanje še preostale tiskarske barve s površine vlaken ter
- vmešamo belilne kemikalije, s katerimi dosežemo povečanje osnovne beline.

Disperger je procesna enota z dvema medsebojno razmaknjenima ploščama, kjer ena predstavlja rotor (vrteči se del) in druga stator (mirujoči del). Plošči imata profil, s pomočjo katerega poteka dispergiranje vlakninske snovi.

Učinkovitost dispergiranja se meri s specifično porabo električne energije na tono dispergirane vlakninske snovi (50–80 kW/t). Temperatura pri dispergiranju znaša okrog 90 °C.



Slika 2.24: Disperger

## Peroksidno beljenje

Peroksidno beljenje je postopek, kjer s pomočjo dodatka belilnih kemikalij izboljšamo optične lastnosti razčrniljene ('deinkane') snovi. V postopku beljenja dodajamo vodikov peroksid ( $H_2O_2$ ), natrijev hidroksid (NaOH) in natrijev silikat ( $Na_2SiO_3$ ). Za optimalne pogoje beljenja moramo zagotoviti alkalno okolje (pH okrog 10), višje temperature (približno 90 °C) ter zadosten reakcijski čas (približno 1 h).

Vodikov peroksid ima funkcijo beljenja, natrijev hidroksid zagotavlja alkalno okolje, medtem ko natrijev silikat deluje kot stabilizator peroksida.

## Reduktivno (hidrosulfitno) beljenje

Pri reduktivnem beljenju uporabljamo natrijev hidrosulfit ( $NaHSO_3$ ). Raztopino kemikalije dodajamo papirni snovi. Za optimalnejše pogoje je treba zagotoviti višje temperature, zadosten zadrževalni čas in dobro mešanje. Zaželena je tudi višja koncentracija snovi s čim nižjo vsebnostjo kisika.



### POMNI

Postopek dispergiranja in beljenja poteka pri višji koncentraciji snovi, torej ko je vlakninska snov že zgoščena.

## Procesne vode in odpadne snovi

Krogotoki vod v procesu priprave vlaknin in delovanja papirnih strojev so zaprti, kar pomeni, da se vsa voda iz papirnih strojev vrača v proces priprave vlaknin. Na ta način se zmanjšuje poraba sveže vode in energije, ki se dodaja kot para za gretje. Procesne vode pa v določenih fazah procesa čistimo tudi s pomočjo polidisk filtrov in mikroflotacije ob dodatku ustreznih kemikalij za čiščenje vod.

V procesu razčrniljenja nastajajo trdne in tekoče odpadne snovi. Trdne odpadne snovi nastajajo v prvih dveh fazah procesa (razpuščanje in grobo prebiranje). Te snovi stiskamo, da dosežemo višjo vsebnost suhe snovi, ter odvažamo na sežig kot odpadek.

Tekoči odpadki nastajajo v fazi flotiranja, klinerskega čiščenja in finega prebiranja ter čiščenja procesne vode.



### POMNI

Krogotoki vod v procesu priprave vlaknin in delovanja papirnih strojev so zaprti, kar pomeni, da se vsa voda iz papirnih strojev vrača v proces priprave vlaknin.

## Čiščenje procesnih vod in obdelava tekočih rejektov

Procesne vode v procesu razčrniljenja čistimo s pomočjo mikroflotacije. Mikroflotacija je postopek, kjer se del še neprečiščenih vod pri visokem tlaku nasiti z zrakom. Neprečiščeni vodi se dodajajo kemikalije, flokulanti in koagulanti. S pomočjo zračnih mehurčkov in dodanih kemikalij se po postopku flotacije izločijo nečistoče v vodi (barvila, lepljivke, pepel, vlakna ...).

Tudi tekoče rejekte obdelamo s pomočjo kemikalij, flokulantov. Zgoščujejo se v mulj, ki ga v nadaljevanju procesa porabljamo kot gorivo v kotlu za proizvodnjo pare.

### POJEM

**Flokulanti in koagulanti:** snovi, ki jih dodamo suspenziji, da se manjši trdni delci sprimejo, združijo v večje (»flokule«) in da se tekočina zbistri.



### PONOVIMO

S pomočjo sheme na začetku poglavja o recikliranih vlakninah razloži postopek razčrniljenja. Katere naprave se pri tem postopku uporabljajo?

Zakaj je pomembno, da so krogotoki vod v procesu priprave vlaknin zaprti?



### NALOGA

1. Preglej primere iz prakse in naredi seznam dejavnikov, na katere moramo biti pri pripravi snovi iz recikliranih vlaken še posebej pozorni.

Dejavniki:

---



---



---



---



---



---



---

## 2.2.2 NADZOR KAKOVOSTI RECIKLIRANIH VLAKNIN

Kakovost recikliranih vlaknin opisujemo s sledečimi parametri:

- **Belina, rumenost**  
Stopnja beline (*angl. whiteness*) se lahko izraža v odstotku, po katerem se material približuje t. i. idealni belini, ki je belina magnezijevega oksida (MgO). Belina papirja se določa po standardu ISO11475. Meri se kot odboj bele svetlobe s površine papirja, pri čemer je papir osvetljen s stopnjo dnevne svetlobe. Najvišja belina ima stopnjo 100. Če je stopnja višja, pomeni, da so v papirno maso dodana optična belila.
- **Utržna dolžina**  
Utržna dolžina spada med mehanske lastnosti papirja. Gre za dolžino preizkušanca določene velikosti, ki prosto visi in se zaradi lastne teže pretrga v točki pritrditve. Enota je meter.
- **Stopnja odvodnjavanja (CSF) oz. stopnja mletja (°SR)**  
Stopnja odvodnjavanja (*CSF – Canadian Standard Freeness*), ki se meri v ml, nam pove, kako hitro voda odteče iz vlakninskega vzorca. Stopnja odvodnjavanja pada s stopnjo mletja in s količino fine snovi v vlakninskem vzorcu.  
  
Stopnja mletja (Schopper Riegler, enota: SR) je v tesni povezavi z stopnjo odvodnjavanja CSF. Stopnja mletja vpliva na sposobnost odvodnjavanja vlakninske suspenzije. Vrednost SR je obratno sorazmerna volumnu zbrane vode, deljena z 10.  
  
Več o stopnji mletja je napisano v poglavju *Obdelava celuloznih vlaknin*.
- **ERIC**  
ERIC (*Effective Residual Ink Concentration*) je koncentracija preostalega črnila na vlakninah. Sledi črnila, ki ostanejo po razčrniljenju, imajo velik vpliv na belino reciklirane vlaknine. ERIC se meri v številu delcev na milijon in se označi z mednarodno enoto ppm (*parts per million*).

Pogoje obratovanja spremljamo z naslednjima osnovnima parametroma:

- **Temperatura**  
Temperatura je fizikalna veličina, ki se izraža s toplotnim stanjem nekega telesa oz. snovi in se meri v °C. V papirni tehnologiji je temperatura velikega pomena za lažje odvodnjavanje, za optimalno delovanje flotacije ipd.
- **pH**  
pH je merilo za koncentracijo oksonijevih ionov ( $H_3O^+$  oz.  $H^+$ ) v raztopini in s tem posledično za njeno kislost oz. bazičnost/alkalnost. pH se izraža kot število med 0 in 14. Raztopine s pH, manjšim od 7, so kisle, pri pH = 7 so nevtralne, nad 7 pa bazične.



## IZ PRAKSE

### Belina

V okviru procesa razčrniljenja snovi dosegamo belino 61 % ISO, ki zadostuje kakovosti izdelave časopisnega papirja. Če pripravljamo vlakninsko snov za grafične papirje, kjer so zahtevane višje beline, pripravljamo snov z belino 66 % ISO.

### Utržna dolžina

Zaželena je čim višja utržna dolžina, saj prispeva tudi k boljši kakovosti papirja na papirnih strojih. Pri razčrniljeni snovi se v povprečju dosega utržna dolžina 4000 m, ker gre za reciklirana vlakna, medtem ko se pri svežih vlakninah, npr. pri celulozi, doseže utržna dolžina tudi 8000 m in več.

### Stopnja odvodnjavanja

S CSF faktorjem se lahko lepo opiše stopnjo brušenja lesa pri pripravi lesovine. Bolj grobo ko je brušenje, višji je CSF (110–130 ml), pričakujemo pa tudi nižje utržne dolžine. Pri finejšem brušenju je nižji CSF (70–90 ml) in pričakujemo lahko višje utržne dolžine.

### ERIC

Razpuščen odpadni papir ima vrednost ERIC med 350 in 750 ppm, kar predstavlja velik razkorak v kakovosti odpadnega papirja. Za doseganje višje beline končne snovi se razpušča odpadni papir s 350 ppm, medtem ko 750 ppm predstavlja že kritično slabo kakovost odpadnega papirja.



## POMNI

Za spremljanje kakovosti snovi iz recikliranih vlaknin so pomembni dejavniki belina, utržna dolžina, stopnja odvodnjavanja oz. stopnja mletja ter koncentracija preostalega črnila po razčrniljenju.



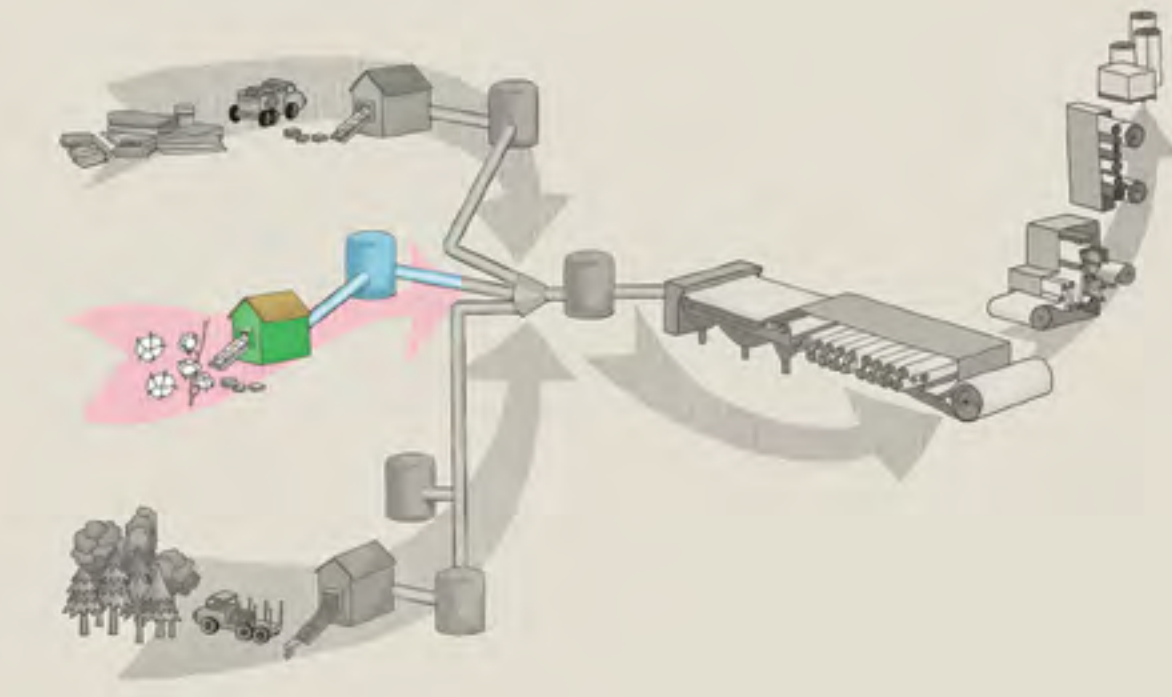
## PONOVIMO

Zakaj je za reciklirane vlaknine pomemben podatek o belini?

Kakšna je utržna dolžina časopisnega papirja v primerjavi z drugimi vrstami papirja in kartona?

Kako sta povezani stopnja mletja in stopnja odvodnjavanja vlakninskega vzorca?

## 2.3 VLAKNINE ENOLETNIH RASTLIN



V papirni industriji se poleg lesne celuloze uporabljajo vlaknine iz bombaža, pa tudi iz lana, jute in konoplje.

Slika 2.25: Od bombaža do papirja za bankovce



Shema 2.7: Postopek priprave vlaknin iz enoletnih rastlin za proizvodnjo papirja



Bombažna vlakna so v primerjavi z vlakni lesne celuloze daljša, zato se uporabljajo za specialne papirje, iz katerih so denar, potni listi, vize, diplome ipd. Specialni papirji morajo imeti dobre mehanske lastnosti, kar pomeni, da je tak papir težje raztrgati, zdrži več pregibov, ima daljšo življenjsko dobo. Cene bombažnih vlaknin so v primerjavi s celuloznimi vlakninami visoke, zato se te vlaknine uporabljajo izključno za papirje višjih cenovnih razredov.

### ALI VEŠ?

Specialne papirje iz bombažnih vlaken v Sloveniji izdelujejo v papirnici v Radečah.

Bombažna vlakna za izdelavo papirja pridobivamo v predilnicah, kjer tako imenovan izčesek (manj kvalitetna vlakna, ki niso primerna za tekstilne izdelke) uporabimo kot surovino za izdelavo specialnih papirjev.

Pri skladiščenju bombažnih vlaken je treba posvetiti posebno pozornost požarni varnosti, saj so bombažna vlakna v primerjavi s celulozo lažje vnetljiva. Uporaba odprtega ognja je strogo prepovedana, vzdrževalna dela v obratih pa potekajo ob prisotnosti oseb, ki so usposobljene za gašenje požarov.



### POMNI

Bombažna vlakna so v primerjavi z vlakni lesne celuloze daljša, zato se uporabljajo za specialne papirje, iz katerih so denar, potni listi, vize, diplome ipd. Takšni papirji imajo boljše mehanske lastnosti ter tako daljšo življenjsko dobo.

### Suhi trgalnik

Bale bombažnega izčeska, težke približno 300 kg, postavimo na transportni trak. Pred tem ročno odstranimo povezovalni trak in ovojnino ter izčesek enakomerno razporedimo po transportnem traku. Izčesek se enakomerno transportira v notranjost suhega trgalnika, kjer je nameščen valj z zobmi po površini. Njegova funkcija je, da rahlja bombažna vlakna in jih pripravi za transportiranje s pomočjo ventilatorja.



Slika 2.26: Suhi trgalnik

## Suho čiščenje

V sklopu suhega trgalnika poteka primarno oziroma suho čiščenje bombažnih vlaken, kjer s pomočjo otresanja, magnetov in ciklona odstranimo nečistoče, kot so smeti, plastika, bombažna semena, lupine semen, leseni in kovinski delci. Če ne bi izvajali čiščenja, bi bile v papirju prisotne smeti, kar pa za namen uporabe ne bi bilo primerno. Kovinski delci bi povzročili poškodbe ali uničenje strojne opreme.



### POMNI

Najprej pripravimo izčesek. Bombažna vlakna očistimo, da odstranimo nečistoče ter delce, ki za nadaljnjo uporabo niso primerni.

## Polnjenje košare – priprava za beljenje

S pomočjo ventilatorja bombažna vlakna vodimo v koš, ki ga napolnimo s 600 kg vlaken. Koš se med polnjenjem vertikalno vrti, da se vlakna čim bolj enakomerno razporedijo. Med polnjenjem vlakna ves čas omakamo z vodo.

## Beljenje – kuhanje

Koš, napolnjen z vlakni, s pomočjo dvigala prestavimo v kuhalnik. Dodamo vodo in kemikalije za beljenje. V kuhalniku s pomočjo pare vlakna segrejemo na 115 °C in kuhamo 1 uro pri konstantni temperaturi. Vlaknino po končanem kuhanju speremo s svežo vodo.

Slika 2.27: Koš, ki ga napolnimo z bombažnimi vlakni



Slika 2.28: Kuhalnik, v katerega postavimo koš, napolnjen z bombažem





### Mokri trgalnik

Kolač bombažnih vlaken, obeljen in spran z vodo, postavimo na mokri trgalnik, kjer vlakna s krtačnimi valji razvlaknimo in jih transportiramo do mlevnih naprav, kjer poteka prva stopnja mletja.

Slika 2.29: Mokri trgalnik



### Mletje (rafiniranje) – 1. stopnja

Prva stopnja mletja poteka v mlevnih napravah, tako imenovanih holandcih. Pri mletju v prvi stopnji vlakninam spreminjamo obliko in dolžino. V holandcih vlakna krajšamo.

Slika 2.30: Holandec



### Vmesna kad

Vmesna kad je namenjena samo za začasno skladiščenje snovi, kajti mletje v holandcih poteka diskontinuirno, to je s prekinitvami.

### Mletje – 2. stopnja

Naprave za drugo stopnjo mletja se razlikujejo od holandcev; to so lahko cilindrični, stožčasti ali ploščni mlini. Na teh napravah vlakninam spreminjamo debelino in obliko, govorimo o fibriliranju.

Slika 2.31: 2. stopnja mletja na cilindričnih mlinih



### POMNI

Mletje poteka v različnih mlevnih napravah, ki so podrobneje opisane v poglavju Obdelava celuloznih vlaken.

## POJEM

### Varnostne zaščite:

papirju zaradi večje varnosti pred ponarejanjem dodajamo kemične ali druge težje določljive primesi.

## ALI VEŠ?

Nekatere države uporabljajo plastične bankovce (Avstralija, Romunija ...). Bankovci iz plastike imajo trikrat daljšo življenjsko dobo kot papirni, so pa tudi dražji.

## Mešalna kad

V mešalni kadi se vlakna pomešajo v homogeno suspenzijo, kar je še posebej pomembno takrat, kadar imamo ločeno mletje različnih vlaknin (dolga, kratka vlakna in izmet). Nekatere vrste zaščitene papirjev proizvajamo z različnimi vlakninami (npr. 50 % celuloze in 50 % bombažnih vlaken). V mešalno kad dodamo tudi različne dodatke papirju, kot so klejiva, optična belila, niansirne barve. Za zaščitene papirje (npr. papir za bankovce, vrednostne papirje ...) dodamo tudi različne varnostne zaščite. V mešalni kadi se dodatki homogenizirajo z vlakninami.

## Strojna kad

Papirna suspenzija je v strojni kadi že pripravljena za doziranje na stroj. Pomembno je, da v njej ni nihanja nivoja in da je enakomerna koncentracija.



## PONOVIMO

Za izdelavo katere vrste papirjev uporabljamo vlakna enoletnih rastlin?

Zakaj je potrebno čiščenje bombažnih vlaken?

Postopke priprave vlaknin iz enoletnih rastlin postavi v pravilno zaporedje: mletje 2. stopnja, suhi trgalnik, mokri trgalnik, mletje 1. stopnja, polnjenje košare – priprava za kuhanje, čiščenje, beljenje- kuhanje

Od kod dobimo bombažna vlakna za proizvodnjo papirja?



## NALOGE

1. Na spodnjem naslovu si oglej video o pridobivanju bombažnih vlaken:

 [https://www.youtube.com/watch?v=Naz4oic-W\\_U](https://www.youtube.com/watch?v=Naz4oic-W_U)

2. Razišči, katere države proizvedejo največ bombaža.

---

# RAZPUŠČANJE

Ne glede na vrsto vlaken je treba vlaknino ustrezno pripraviti, tako da lahko na papirnem stroju proizvodnja teče čim bolj nemoteno. Priprava vlaknin se kar najbolje prilagaja zahtevam papirnih strojev glede na končno kakovost papirnega produkta.



3

## 3.1 POSTOPEK RAZPUŠČANJA

V procesu razpuščanja se predhodno stehtane vlaknine preko transportnih trakov dovajajo v razpuščevalnik. Za razpuščanje je nujno potrebna voda, pri nekaterih postopkih se dodajajo tudi kemikalije. Postopek razpuščanja (obratovanje transportnih trakov, dodajanje vode, kemikalij, mešanje, izčrpavanje suspenzije ...) upravljamo z računalniškimi sistemi, ki so povezani s preostalim delom procesa.

### POJMI

**Rinfuza:**

vse, kar je v razsutem stanju, torej ni pakirano.

**Mokromočnostni papirji:**

odpadni papir, ki ima posebne lastnosti neomočljivosti (etikete na steklenicah, denar ...) in se razpušča pod posebnimi pogoji.

**Fluting liner:**

karton, sestavljen iz več plasti.

## 3.2 VRSTE RAZPUŠČEVALNIKOV

Razpuščevalnik (*pulper*) je procesna enota, v kateri poteka razpuščanje snovi. Poznamo različne tipe razpuščevalnikov: HC, MC, LC in bobnaste razpuščevalnike. Bobnasti razpuščevalnik smo spoznali že v poglavju o odpadnem papirju. HC, MC in LC razpuščevalniki so dobili ime po koncentraciji snovi, ki se v njih pripravlja (*HC – high consistency, MC – medium consistency, LC – low consistency*). V preglednici 3.1 so prikazane glavne razlike med njimi.

Razpuščevalnik je sestavljen iz posode iz nerjavečega jekla ter rotorja na dnu oz. ob strani. Razpuščevalniki s sitom na dnu imajo poleg rotorja nameščene tudi nože, ki skrbijo za čisto površino sita. Sita na dnu imajo luknjice premera 6–20 mm, odvisno od vlaknin, ki jih razpuščamo. Na stenah posode so po navadi nameščeni tako imenovani motilni elementi, to so kovinski elementi (npr. letve) znotraj razpuščevalnika, ki pripomorejo k boljšemu mešanju snovi.

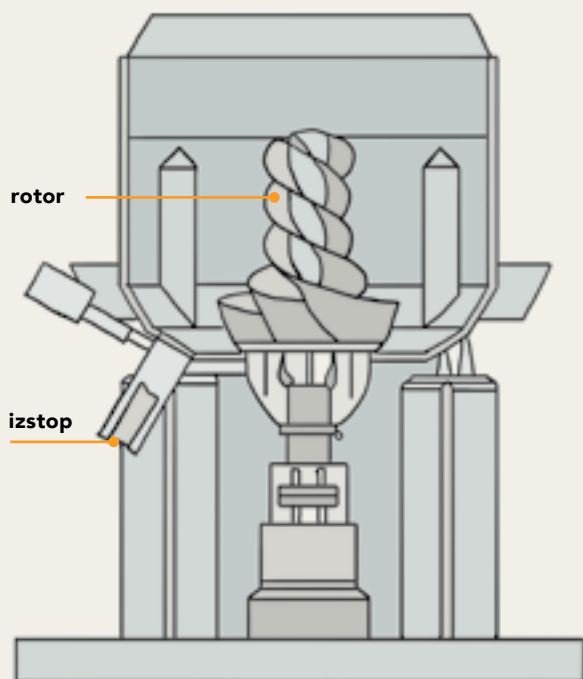


### POMNI

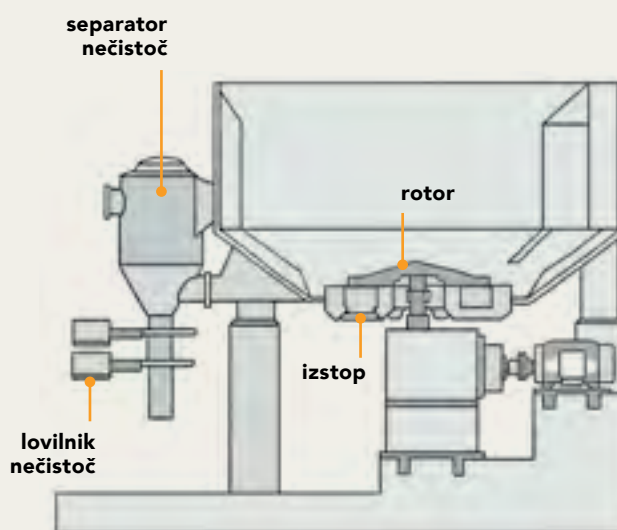
Razpuščanje je proces, v katerem s pomočjo vode pripravimo suspenzijo papirne snovi iz vlaknin, izmeta, odpadnega papirja.

Preglednica 3.1: Tipi razpuščevalnikov (pulperjev)

Tip razpuščevalnika	Vlaknina	Koncentracija (%)	Čas razpuščanja (min)	Obratovanje	Rotor	
<b>HC pulper</b>	časopisi revije	rinfuza ali v balah	< 19	15–25	šaržno	spiralni
<b>MC pulper</b>	časopisi revije	rinfuza ali v balah	< 12	20–30	šaržno	spiralni
<b>LC pulper</b>	fluting liner mokro- močnostni pirirji	rinfuza bale	< 6	5–40	kontinuirno	raven z lopaticami
<b>Drum pulper (bobnasti razpuščevalnik)</b>	časopisi revije fluting liner	rinfuza	< 20 (< 5)	20–40	kontinuirno	boben
<b>LC pulper</b>	celuloza	bale	5 do 9	20–40	kontinuirno ali šaržno	spiralni



Slika 3.1: HC pulper



Slika 3.2: LC pulper



## NALOGA

1. Pozanimaj se, katere tipe razpuščevalnikov uporabljajo v posameznih papirnicah. Pojasni, zakaj uporabljajo ravno tovrstne.

Papirnica:

Tip razpuščevalnika in razlog za uporabo:

<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

# OBDELAVA CELULOZNIH VLAKNIN

Sveže vlaknine prihajajo v papirnice neobdelane, zato jih je treba pred izdelavo papirja ustrezno pripraviti. Celulozne vlaknine so v suhem stanju, v obliki bal večjega formata. Te bale iz skladišč transportiramo do razpuščevalnikov (pulperjev), kjer se pripravi papirna snov – papirovina. Če bi uporabili neobdelana celulozna vlakna, bi imel izdelan papir ali karton slabe mehanske lastnosti, slabo formacijo in ne bi bil uporaben za nadaljnjo predelavo.



4

## POJEM

**Formacija:**  
razporeditev papirne snovi na situ, kjer se oblikuje papirni list.

Zelo pomemben postopek pri obdelavi celuloznih vlaken je mletje oz. rafiniranje, v katerem vlaknine dobijo zeleno dolžino in strukturo. Poznamo diskontinuirne in kontinuirne mlevne naprave, ki danes v papirnicah prevladujejo.

## 4.1. DISKONTINUIRNE MLEVNE NAPRAVE

### Holandec

Ena izmed prvih diskontinuirnih naprav je bila tako imenovani 'holandec'. To je mlevna naprava, sestavljena iz korita, mlevne naprave in pokrova.

Korito je lahko betonsko, iz litega železa ali nerjavnega jekla. Je ovalne oblike, na sredini ločeno s pregrado. Na dnu korita so nameščeni noži statorja, na vrhu pa je rotor z noži, ki se vrti in melje ter transportira vlakninsko suspenzijo. Pokrov holandca preprečuje škropljenje vlakninske snovi.

Holandec je energijsko potratna mlevna naprava in se danes le še redko uporablja za mletje vlaknin.

Razdelitev porabljenega dela pri holandcu je:

- 40 % za razpuščanje,
- 10 % za jalovo delo in transport papirne snovi,
- 50 % energije se porabi za mletje celuloznih vlaken.

Možne so pa tudi drugačne kombinacije, na primer če se razpuščanje opravlja v razpuščevalniku.

Slika 4.1: Holandec



### POMNI

Holandec je mlevna naprava, ki smo jo srečali že pri pripravi snovi iz bombažnih vlaknin.



## 4.2 KONTINUIRNE MLEVNE NAPRAVE

### Stožčasti mlin (rafiner)

Stožčasti mlin je kontinuirna mlevna naprava stožčaste oblike, v kateri se mlevna garnitura vrti okrog osi stožca.

V mlevni napravi tlak nastavimo tako, da po osi premaknemo stožec. To lahko naredimo ročno, vendar danes uporabljamo avtomatski premik s hidravliko, pnevmatiko ali z elektromotorjem. Pri avtomatskem stiskanju oz. odmikanju je pomembno, kako nastavimo končno izklapljanje. Če nastavitev ni ustrezna, lahko pride do poškodbe ohišja. Največkrat uporabljamo dve različni hitrosti (približevalna hitrost in hitrost odpiranja).

Prikazovalnik razmika nožev nam prikazuje mlevni razmik in s tem obrabo garnitur. Pomembno je, da pri menjavi garnitur na novo nastavimo prikazovalnik. S pomočjo prikazovalnika lahko kontroliramo obrabo nožev in pravočasno načrtujemo njihovo menjavo.

Značilnosti položnega stožčastega mlina:

- konusni kot: 15–20 °,
- področje gostote vlakninske snovi: 2,5–4,5 %,
- garniture: velika izbira različnih materialov nožev,
- posoda z mlevnimi noži: velik izbor vlitih materialov, obstajajo tudi varjeni nožni konusi, mogoča je hitra menjava garnitur.

Življenjska doba garniture je odvisna od vlakninske sestave in obremenitev, traja lahko tudi do 3 leta. Menjava garniture traja približno 1 dan.

**Stožčasti mlin s kratko površino** je relativno nov stroj, ki je bil razvit iz položnega stožčastega mlina. Ima večji kot odprtosti kot običajni stožčasti mlin. Pogonski motor je nameščen na večji strani rotorja, kar omogoča enostavno in hitro menjavo mlevnih garnitur.



Slika 4.2: Stožčasti mlin

## Ploščni mlin (refiner)

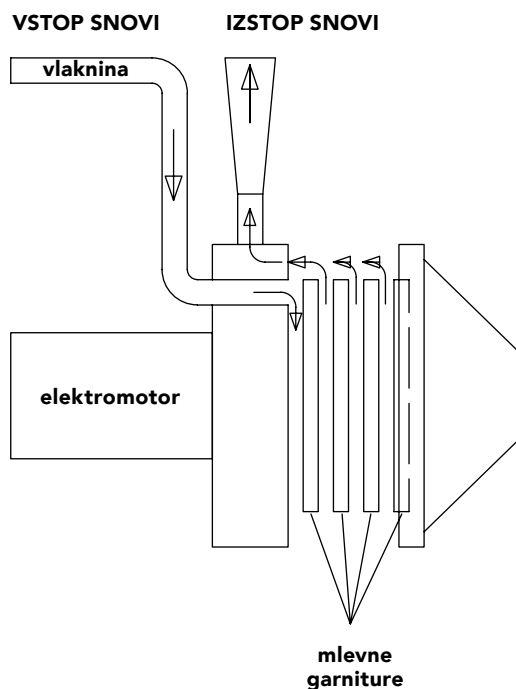
Poznamo enoploščni in dvoploščni mlin. Ploščni mlin se uporablja tudi v pripravi izmeta za izvajanje naknadnega mletja pri proizvodnji lesovine. Za obdelavo celuloze v pripravi snovi se uporablja predvsem dvoploščni mlin.

Dvoploščni mlin ima dve vzporedni coni, ki sta razdeljeni z rotorsko ploščo. Statorski del je osno nastavljiv, tako da lahko nastavimo ustrezen tlak pri mletju. Pri tem je pomembno, da je rotorska plošča tako uležajena, da se z gredjo premika.

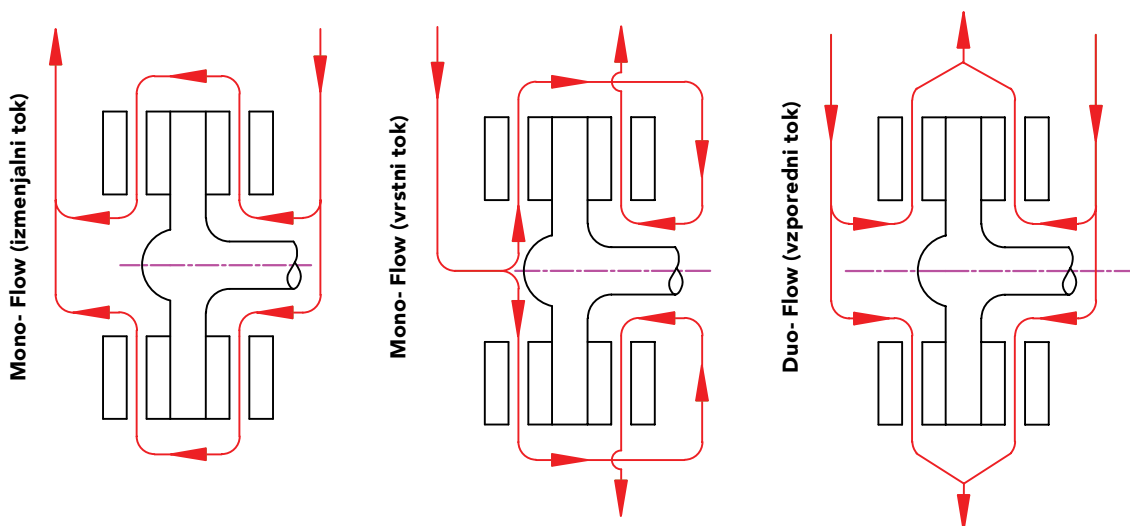
Na podlagi zvišanega tlaka mletja (premik statorja) na eni strani ter povečanja tlaka na vrtečo se mlevno ploščo se bo ta mlevna plošča odmikala, dokler se ne bo na drugi strani povečal protitlak. To povzroči, da je na obeh straneh enaka količina snovi. Če obe strani nimata enake količine snovi, lahko pride do uničenja mlevnih garnitur.

Obstajata dva načina dotoka snovi: Pri »duoflow« mlinu poteka dotok vlakninske snovi vzporedno iz centra do oboda. Pri »monoflow« mlinu pa snov vstopa na eni strani mlina, nato se vodi skozi prvo polovico in vstopa v drugo polovico, izstopa pa na drugi strani mlina. Prikaz je na spodnji sliki.

Slika 4.3: Dvoploščni mlin



Slika 4.4: Dotok snovi



### POMNI

Za mletje celuloznih vlaknin uporabljamo predvsem kontinuirne mlevne naprave, kot sta stožčasti in ploščni mlin. S takšnimi mlini smo se srečali že pri predelavi lesovine ter bombažnih vlaknin.

## 4.3 MLEVNE GARNITURE

Mlevne garniture so lite plošče ali posamezni segmenti, ki se razlikujejo po:

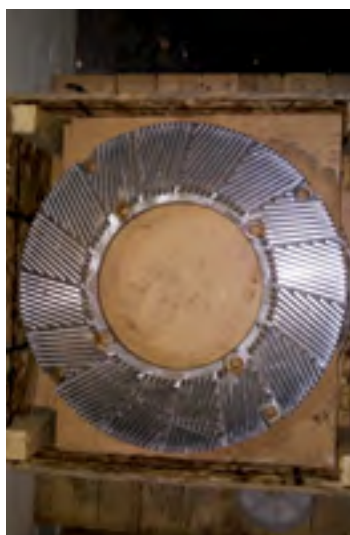
- materialu,
- širini noža – rezila,
- globini utora,
- naklonu (v smeri urinega kazalca ali v nasprotni smeri),
- naklonskem kotu,
- višini noža – rezila.

Z obliko mlevne garniture lahko vplivamo na način mletja in porabo električne energije. Nižje višine nožev zmanjšajo jalovo moč mlevne naprave, kar je še posebej pomembno v zadnjem času, ko ima energija velik pomen v proizvodnji papirja. Energija, vložena v mletje celuloznih vlaknin, predstavlja približno četrtno porabljene energije pri procesu proizvodnje papirja.

Slika 4.5: Mlevne garniture



Ožji noži – več rezne dolžine



Širši noži – manj rezne dolžine



Segmenti

### POJEM

**Jalova moč:**  
moč, ki je potrebna za samo obratovanje naprave, ni pa zmožna opravljati koristnega dela.

## 4.4 NAČINI MLETJA

### POJMI

**Voluminozen papir:** papir z večjim volumnom (z večjo prostornino); volumen izračunamo iz debeline in gramature.

**Dimenzijska stabilnost papirja:** papir je dimenzijsko stabilnejši, ko se manj razteza v vlažnem ozračju oziroma manj krči v suhem ozračju v okolici.

**Opaciteta:** neprosojnost papirja.

**Fibriliranje:** mletje celulozne snovi, pri katerem na površini debelejših vlaken ustvarimo zelo tanka vlakenca – fibrile.

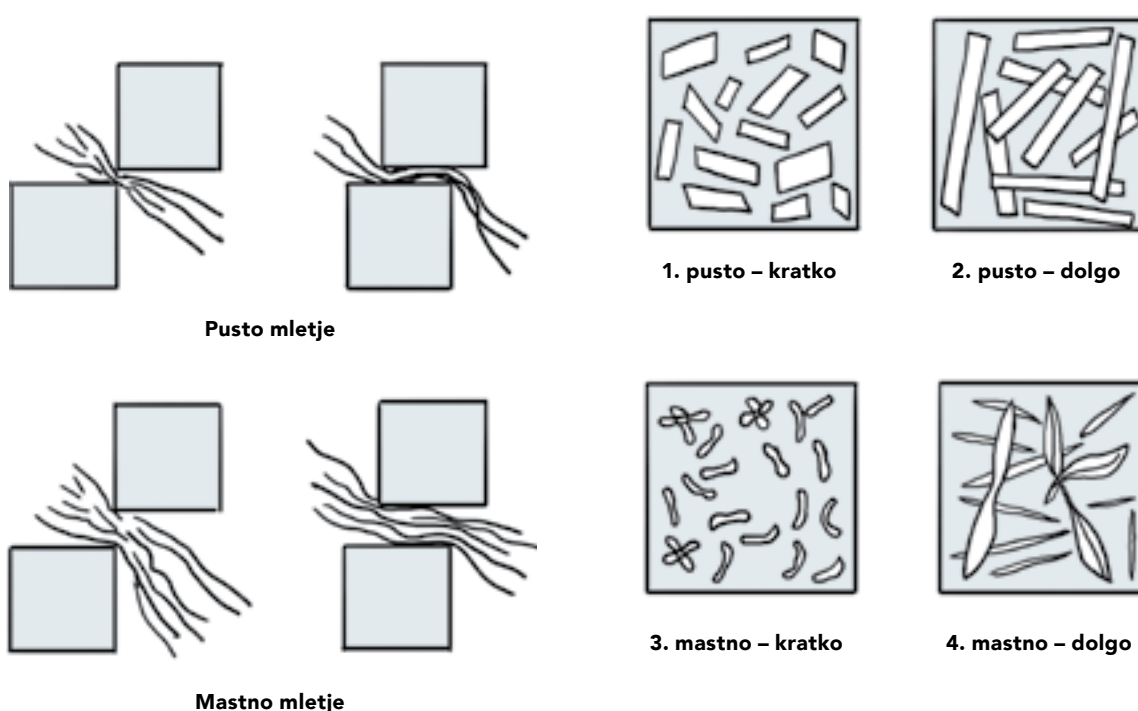
V papirnicah se pogosto govori o krajšanju vlaken in fibriliranem mletju, v osnovi pa delimo mletje na 4 vrste:

- kratko pusto,
- kratko mastno,
- dolgo pusto,
- dolgo mastno.

Pri **pustem mletju** se uporabljajo mlevne naprave z ozkimi noži. Melje se z nizko koncentracijo papirne snovi, med mlevnimi noži pa je majhna razdalja. Učinek mletja je predvsem rezanje in krajšanje vlaken. Papir, izdelan iz tako mletih vlaken, bo bolj voluminozen, dimenzijsko stabilnejši, dobro oblikovan, bolj opaciteten (manj prosojen), njegove mehanske lastnosti pa bodo slabše.

Pri **mastnem mletju** je razdalja med mlevnimi noži večja, uporabljajo se široke mlevne garniture, melje se pri višji koncentraciji papirne snovi. Pri takšnem mletju pride do gnetenja in fibriliranja vlaken, njihova površina se poveča. Papir, izdelan iz tako mletih vlaken, je gostejši, dimenzijsko nestabilen, bolj tog, bolj prosojen, vendar ima boljše mehanske lastnosti.

Dolga in kratka vlakna se različno meljejo, zato je potrebno ločeno mletje in mešanje v mešalni kadi.



Slika 4.6: Nastavitev nožev, štiri primeri različno zmletih vlaken

Pusto dolgo mletje uporabljamo pri izdelavi pivnikov, pusto kratko mleto snov za različne vrste tiskovnih papirjev, npr. za ofsetni tisk. Mastno kratko mleto snov uporabljamo za kopirne papirje, mastno dolgo snov pa za pergamin papirje.

Mletje je v večini primerov kombinacija obeh vrst mletja. Močnejše mletje s poudarjenim fibriliranjem se le redko uporablja, saj se za to porabi veliko energije.

Čim bolj mastno je mletje, težje se papirna snov odvodnjava na situ. To pomeni, da odstranjevanje vode iz papirne oz. kartonske suspenzije med oblikovanjem na situ poteka s pomočjo gravitacije in s sesanjem.

## 4.5 KONTROLA MLEVNEGA PROCESA

### Stopnja mletja

Stopnja mletja nam pove hitrost odvodnjavanja na situ, za merjenje pa uporabljamo napravo po imenu 'Schopper Riegler'. Naprava ima naslednje sestavne dele:

- polnilno komoro,
- tesnilni stožec,
- sito,
- ločilno komoro,
- iztok,
- odtok,
- merilni valj.

Slika 4.7: Naprava za merjenje stopnje mletja

### POJMI

**Pergamin:**  
gladek, prosojen, za zrak neprepusten embalažni papir.

**Pivnik:**  
debelejši list vpojnega papirja (npr. za pivnanje tekočega črnila).





## IZ PRAKSE

### Postopek meritve:

Pripravimo 0,2-odstotno vlakninsko suspenzijo in jo z večkratnim pretakanjem dobro homogeniziramo. Napolnimo polnilno komoro, malo počakamo in nato dvignemo tesnilni stožec. V merilnem valju odčitamo stopnjo mletja, odčitek je lahko v stopinjah SR (Schopper Riegler) ali tudi v CSF (Canadian Standard Freeness).



## NALOGA

1. Razvrsti različne vrste papirja glede na stopnjo mletja (pivnik, ofsetni papir, kopirni papir, pergamin ...). Katera vrsta papirja pri odvodnjavanju na situ doseže največjo hitrost?

Vrste papirja:

Papir z najvišjo hitrostjo:

---

---

---

---

---

---

---

### Specifična robna obremenitev (*SEL – specific edge load*)

Specifična robna obremenitev nam pove intenziteto dovedene energije za mletje. Mletje celulozne suspenzije je najpomembnejša stopnja predpriprave v procesu izdelave papirja, ker ima velik vpliv na lastnosti papirja.

Cilj mletja je zagotoviti zadovoljive mehanske lastnosti, primerno strukturo lista, enakomerne optične lastnosti (formacija, pregled in prosojnost), površinske lastnosti in doseganje dobrega odvodnjavanja na papirnem stroju.

Če želimo doseči optimalni proces mletja celuloze, moramo poznati vpliv porabe energije pri mletju, način mletja in lastnosti papirja.

Proizvajalci vlaknin podajajo priporočene specifične robne obremenitve za celuloze, nastavitve zelenih vrednosti pa se običajno prilagajajo gospodarskim in tehnološkim smernicam.

## Specifična poraba dela pri mletju

S specifično porabo dela pri mletju mislimo na porabljeno električno energijo za mletje absolutno suhe vlaknine. Izražamo jo v kilovatnih urah porabljene električne energije na tono absolutno suhe vlaknine (kWh/t). Razlikujemo med:

- skupno specifično porabo dela pri mletju in
- čisto specifično porabo dela pri mletju.

Skupna specifična poraba dela pri mletju nam pove, koliko dela pri mletju se nanaša na količino snovi, skupaj z jalovo (odpadno) energijo.

Čista specifična poraba dela pa nam pove, koliko porabljene električne energije se nanaša na enoto količine snovi, brez jalove energije.

Primerjava med čistim in skupnim delom pri mletju nam pove izkoristek mlina, ki je hkrati izkoristek električne energije.

## Pretok snovi

Količina pretoka absolutno suhe snovi skozi mlevno napravo ima vpliv tako na porabo električne energije kot tudi na kvaliteto zmlete vlaknine. Za zagotavljanje konstantne čiste specifične porabe dela pri mletju je treba zagotoviti konstanten pretok snovi s pretočnim regulatorjem. V primeru spremembe pretoka snovi skozi mlin je treba spremeniti obremenitev mlina tako, da ostane čista specifična poraba dela enaka.

## Koncentracija snovi

Sprememba koncentracije snovi vpliva na porabo električne energije. Za zagotavljanje konstantne čiste porabe dela pri mletju je treba ohranjati enako koncentracijo vlakninske snovi z regulatorjem. Če se spremeni koncentracija snovi pri konstantnem pretoku in želimo ohraniti enako čisto specifično porabo dela, je treba spremeniti obremenitev mlina.

Koncentracija vlakninske suspenzije je pomembna že pri razpuščanju celuloze. Če je koncentracija prenizka ali previsoka, to vpliva na kakovost mletja celuloznih vlaken. V primeru nenadne spremembe koncentracije na mlinih ima lahko neustrezna koncentracija za posledico spremembo razmika mlevnih plošč, kar lahko vodi tudi do poškodbe garnitur.



### POMNI

V procesu mletja celuloznih vlaken spremljamo stopnjo mletja, intenziteto in porabo energije za mletje ter pretok in koncentracijo vlakninske snovi.



## IZ PRAKSE

V razpuščevalnik vnesemo 25 m<sup>3</sup> vode in 1.800 kg celuloze. Pri izračunu upoštevamo 100 % a. s. (absolutno suho) celulozo.

1. Izračunamo masni delež suspenzije:  
Količina vode = 25 m<sup>3</sup> = 25.000 kg  
Količina celuloze = 1.800 kg  
25.000 kg vode + 1.800 kg celuloze = 26.800 kg suspenzije  
(1.800 kg celuloze / 26.800 kg suspenzije) x 100 = 6,71 %  
Masni delež je 6,71 %.
2. Izračunamo potrebno količino celuloze, da dobimo 6-odstotni masni delež suspenzije; količina vode je 25 m<sup>3</sup>.  
Količina vode = 25 m<sup>3</sup> = 25.000 kg  
25.000 kg vode je 94 % mase celotne suspenzije.  
Koliko celuloze potrebujemo za 6-odstotni delež suspenzije?  
25.000 kg x 0,06 / 0,94 = 1.596 kg  
Potrebujemo 1.596 kg celuloze.
3. Izračunamo potrebno količino vode, da dobimo 8-odstotni masni delež suspenzije; količina celuloze je 1.800 kg.  
1.800 kg celuloze je 8 % mase celotne suspenzije.  
1.800 kg / 0,08 = 22.500 kg (suspenzije)  
22.500 kg – 1.800 kg = 20.700 kg  
Potrebujemo 20.700 kg oz. 20.700 l vode.



## NALOGE

V razpuščevalnik (pulper) avtomatsko vnašamo 23.000 l vode in 1.500 kg celuloze.

1. Izračunaj masni delež snovi.

2. Izračunaj, koliko celuloze bi bilo treba vnesti, da bi dobili 5-odstotni masni delež.

3. Izračunaj, koliko vode bi bilo treba vnesti, da bi dobili 7-odstotni masni delež ob enaki masi celuloze – 1.500 kg.



## 4.6 MLEVNI SISTEMI

Poznamo različne mlevne sisteme, delimo jih glede na mešanico snovi, zato v glavnem govorimo o mešanem in ločenem mletju.

Pri **mešanem mletju** posamezne vlaknine v razpuščevalniku mešamo skupaj in vodimo na mlevne naprave. Proces mešanega mletja je enostavnejši od ločenega mletja. Uporablja se tam, kjer ni razlik, če se vlakninska snov v procesu mletja melje skupaj.

Mešano mletje uporabljamo pri takih načinih proizvodnje, kjer z ločenim mletjem posamezne komponente ne bi dosegali zelenih lastnosti oziroma bi lahko povzročilo nihanje kakovosti papirja v proizvodnji.

**Ločeno mletje** uporabljamo pri vlakninah, ki se zelo različno meljejo, npr. sulfatna in sulfitna celuloza ali dolga in kratka vlakna.

Če vlakna meljemo ločeno, dosežemo boljšo kakovost papirja. Z ločenim mletjem je mogoče posamezno vlaknino mleti z različnimi mlini in različnimi garniturami (krajšanje ali fibriliranje). Običajno pri takem načinu ločeno meljemo kratkovlaknato in dolgovlaknato celulozo. Kratkovlaknato celulozo praviloma fibriliramo.

Primerjava med ločenim in mešanim mletjem:

- Ločeno mletje nam omogoča večjo fleksibilnost, predvsem glede hitrosti popravkov.
- Ločeno mletje je v primerjavi z mešanim cenovno ugodnejše. Dolgovlaknata celuloza sicer zahteva višjo stopnjo mletja kakor pri mešanem mletju, vendar na račun manjše porabe pri mletju kratkovlaknate celuloze porabimo manj mlevnega dela.
- Pri ločenem mletju dosegamo višje mehanske vrednosti v končnem papirju
- Pri mešanem mletju dosegamo boljšo homogenost papirne snovi.
- Z ločenim mletjem lahko dosegamo boljše tehnološke lastnosti: višje vrednosti raztrga, višjo opaciteto, volumen in debelino, formacijo.



### POMNI

Različne vlaknine lahko meljemo skupaj – to je mešano mletje – ali pa vsako posebej – tu govorimo o ločenem mletju. Tudi izbira sistema mletja vpliva na izvajanje procesa, porabo dela pri mletju ter lastnosti končnih izdelkov.

## 4.7 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA MLETJE

### KONSTRUKCIJSKI DEJAVNIKI

izbira mlevnih garnitur

material mlevnih garnitur

koti rezanja

širina, dolžina in število nožev

oblika nožev

število obratov

### TEHNOLOŠKI DEJAVNIKI

mlevni tlak, obremenitev, čista moč mletja

specifično delo pri mletju

jalova moč

zadrževalni čas mletja

koncentracija snovi

specifična robna obremenitev

### OSTALI DEJAVNIKI

meljivost vlaken

omakanje

temperatura

pH-vrednost

mlevni dodatki



### PONOVIMO

Kakšen je vpliv navedenih dejavnikov na proces mletja?

## 4.8 ZAGON, OBRATOVANJE IN USTAVITEV MLEVNIH NAPRAV

Za zagon mlevnih naprav morajo biti zagotovljeni določeni pogoji, tako zaradi varnosti mlevne naprave in garnitur kot tudi zaradi kvalitete mletja.

Pri mletju nadziramo:

- koncentracijo vlakninske snovi,
- pretok vlakninske snovi,
- vhodni tlak,
- zaščito motorja (v primeru preobremenitve se mlevna naprava izklopi).

### Zagon

Za zagon mlevne naprave mora biti mlin napolnjen z vodo (velja za nekatere dvoploščne mline), da se plošče med razmikom sredinsko centrirajo. Nato:

1. preverimo, ali so ventili odprti (če so montirani ročni ventili, na vstopu in izstopu);
2. odpremo tesnilno vodo;
3. zaženemo mlin;
4. zaženemo snovno črpalko;
5. nastavimo mlevni tlak, začnemo pri zadnjem mlinu v liniji.

### Obratovanje in nadzor

Med obratovanjem morajo biti zagotovljeni naslednji robni pogoji:

- **Vstopni in izstopni tlak:**  
Vlakninska plast med ploščami mora biti konstantna, saj v nasprotnem primeru lahko pride do stika med ploščami, kar povzroči uničenje mlevnih garnitur. Tlak je odvisen od vsake naprave posebej.
- **Pretok:**  
Debelina vlakninske plasti mora biti zagotovljena. Če pretok pade pod minimum, se prav tako lahko uničijo mlevne garniture.
- **Koncentracija vlakninske snovi:**  
Zagotovljena mora biti stalna koncentracija vlakninske snovi, uravnavamo jo z regulatorji gostote. Če zaradi izpiranja nihata koncentracija in debelina snovne plasti med ploščami, lahko v nekem trenutku plasti med ploščami zmanjka, kar povzroči poškodbe mlevnih garnitur.

## Ustavitev mlevne naprave

Pri ustavitvah je treba upoštevati, da morata biti rotorska in statorska garnitura ločeni. Nato:

1. ustavimo dotok snovi;
2. operemo mlevne naprave;
3. zapremo izhodni ventil;
4. zapremo tesnilno vodo;
5. ustavimo mlevno napravo.

V veliki večini sodobnih mlevnih linij so pogoji zagonov avtomatizirani. Ne moremo npr. izvesti zagona snovne črpalke pred zagonom mlina ali obremeniti mlina, dokler v njem ni zagotovljen obratovalni tlak.



### POMNI

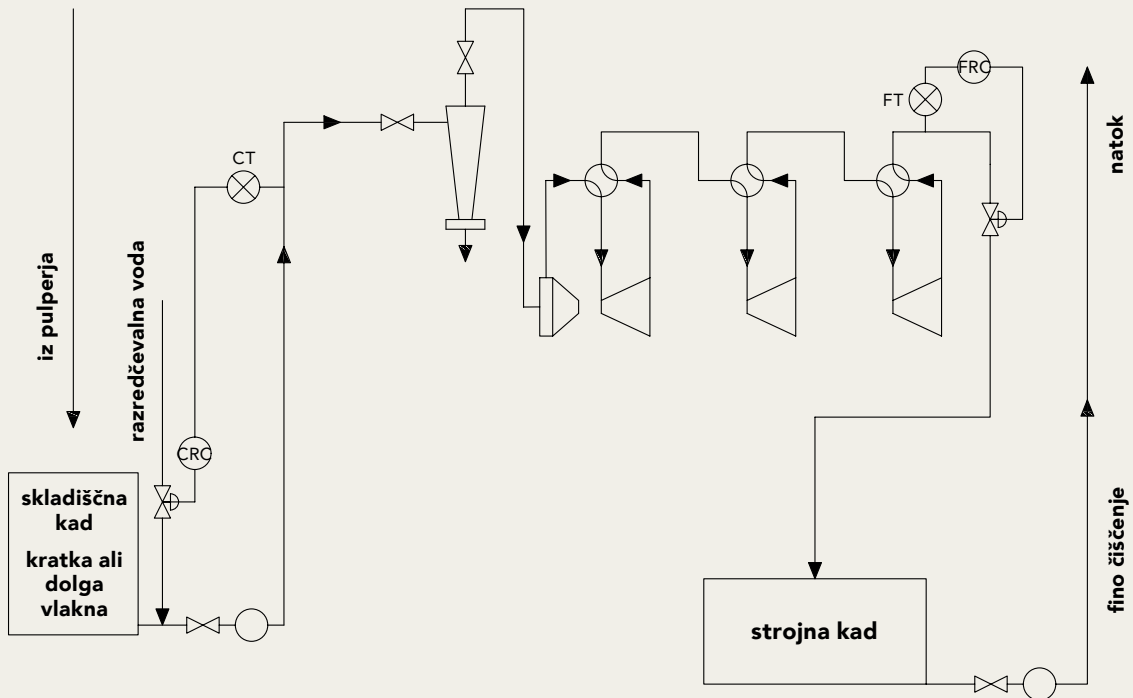
Za zagon, obratovanje in ustavitev mlevnih naprav morajo biti zagotovljeni določeni pogoji, tako zaradi varnosti mlevne naprave in garnitur kot tudi zaradi kvalitete mletja.

## 4.9 BLOK SHEMA MLEVNIH LINIJ

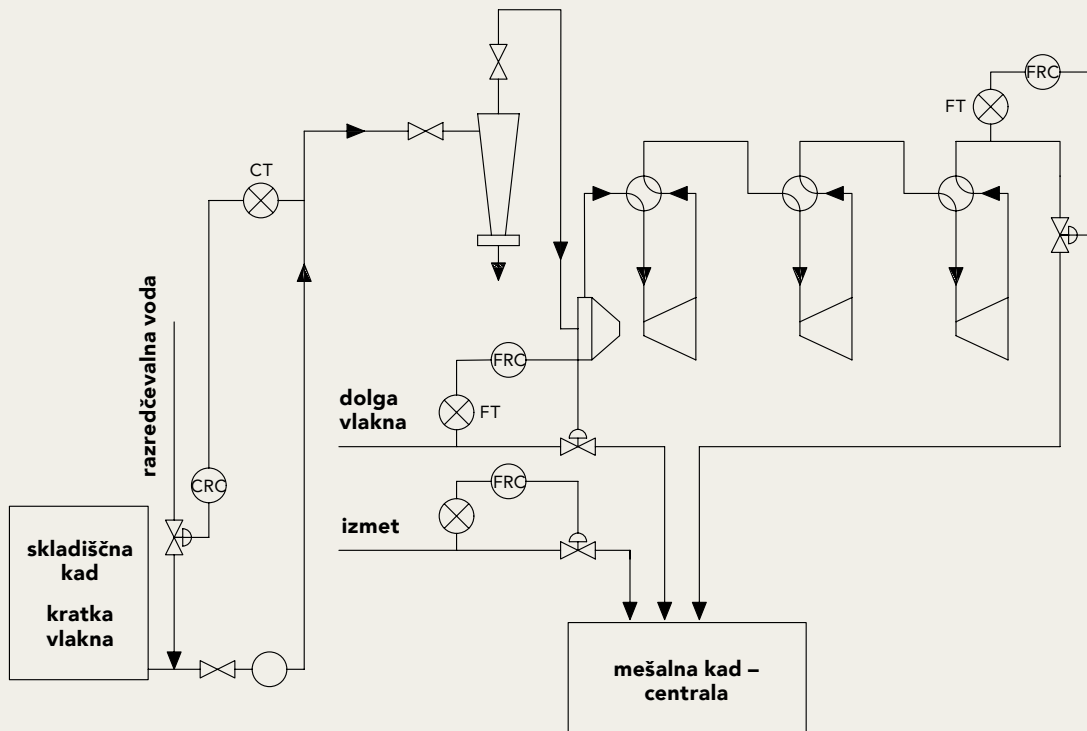
Desno sta prikazana dva primera sheme mlevnih linij. Poznavanje sheme je nujno pri upravljanju z mlevnimi napravami. Z blok shemo se srečujemo preko računalnika ali na komandnih ploščah.

Sheme prikazujejo potek papirne snovi iz skladiščnih posod oz. kadi s pomočjo črpalk preko čistilca za gosto snov na mlevne naprave in v strojno kad. Na shemi je tudi prikaz regulacijskih zank za pretok in uravnavanje koncentracije snovi.

Slika 4.8: Shema prikazuje mešano mletje snovi, brez mešanja v mešalni kadi, snov potuje direktno v strojno kad.



Slika 4.9: Shema prikazuje ločeno mletje snovi, dolga, kratka vlakna in izmet se dozirajo v mešalno kad.



CT, CRT oznaki za regulacijsko zanko koncentracije snovi  
 FT, FRC oznaki za regulacijsko zanko pretoka snovi



## PONOVIMO

Mletje je postopek, pri katerem: (Izberi ustrezno trditev.)

- čistimo celulozna vlakna.
- čistimo povratno vodo.
- vlakninam spreminjamo dolžino in strukturo.
- pripravljamo dodatke.

Na katere lastnosti papirja in kartona bistveno vpliva mletje? (Obkroži.)

- Formiranje lista – pregled papirja, kartona
- Barvno nianso in belino papirja, kartona
- Mehanske lastnosti
- Lastnosti površine in gostote lista
- Gramaturo papirja, kartona

Katere so naprave za mletje vlaknin?

Naštej 4 osnovne vrste mletja. V čem se razlikujejo?

Kakšne mlevne sisteme poznamo glede na mešanico snovi?

Kaj vse vpliva na mletje celuloznih vlaken?

Kaj je stopnja mletja in kako jo izmerimo?

Zakaj je pomembna koncentracija suspenzije pri mletju?



## NALOGA

1. Na podlagi blok sheme pojasni potek postopka mletja vlakninske snovi.

# ZAKLJUČEK

V predhodnih poglavjih smo spoznali glavne vlaknine za proizvodnjo papirja in kartona, to so kemijsko pridobljene celulozne vlaknine, lesovina, reciklirana vlakna in vlaknine iz enoletnih rastlin (obravnavali smo bombažna vlakna, obstajajo tudi vlaknine iz drugih vrst enoletnih rastlin). Spoznali smo, iz katerih osnovnih surovin pridobivamo te vlaknine, po čem se razlikujejo ter kakšni so postopki pridobivanja in same obdelave posameznih vlakninskih vrst.

Specifične lastnosti posameznih vrst papirja in kartona zahtevajo uporabo določene vlakninske vrste, saj imajo različne vlaknine različne vplive na kakovost izdelanega papirja oz. kartona.



5

Nekaj najpogostejših vplivov vlaknine na kakovost papirja:

- **Vlakna listavcev** (evkaliptus, bukev, breza, akacija ...) – z njimi dosežemo višjo gladkost, opaciteto, poroznost, vpojnost, lepšo formacijo – pregled papirja, voluminoznost, vendar ima papir oz. karton slabše mehanske lastnosti in večjo nagnjenost k prašenju.
- **Vlakna iglavcev** (smreka, jelka, bor, macesen ...) – z njimi dosežemo boljše mehanske lastnosti (utržna dolžina, razpočna trdnost, togost ...).
- **Lesovina** se uporablja pri kartonih, grafičnih papirjih, časopisnem papirju in še nekaterih drugih vrstah, delež je odvisen od zahtevanih lastnosti papirja. Z uporabo lesovine znižamo ceno izdelanemu papirju oz. kartonu.
- **Reciklirana vlakna** – kvaliteta je odvisna od števila recikliranj vlaknine, saj se z vsako ponovno uporabo zmanjša dolžina in debelina vlaken, s tem pa so mehanske lastnosti papirja slabše.

## 5.1 VRSTE VLAKNIN – VRSTE PAPIRJEV

Osnovne zahteve za **grafične papirje (tiskovni, časopisni in pisalni)** so predelavnost (*runnability*), ki jo dosežemo z vlaknino dolgih vlaken (sulfatna in sulfitna), in potiskljivost (*printability*), na katero vplivamo z vnosom vlaknine kratkih vlaken.

Za izdelavo časopisnega papirja uporabljamo pretežno reciklirane vlaknine z manjšim dodatkom svežih vlaken in lesovine.

**Embalažni in posebni papirji** so maščobno odporni in tehnični papirji – te lastnosti dosežemo s sulfitno vlaknino iglavcev in z dodatkom sulfatne vlaknine iglavcev.

Za izdelavo rjavih papirnatih vrečk uporabljamo predvsem nebeljeno ali polbeljeno celulozno vlaknino iglavcev.

**Kartoni** so največkrat izdelani iz več plasti, vendar so proizvodi različni (lepenka, kartonska embalaža za farmacijo in kozmetiko, karton za kozarce, igralne karte ...), zato so tudi specifične zahteve raznolike. Za zunanje plasti kartona največ uporabljamo sulfatno vlaknino iglavcev (beljeno ali nebeljeno), za srednje plasti pa nebeljeno sulfatno ali sulfitno celulozno ali polcelulozno vlaknino (s tem dosežemo višjo togost kartona).





**Za higienske brezlesne tissue papirje** uporabljamo mešanico celulozne vlaknine iglavcev in listavcev.

**Za specialne papirje** (papir za denar, potne liste, dokumente ...) uporabljamo pretežno bombažne vlaknine z dodatkom sulfatnih vlaknin iglavcev in tudi listavcev.



## 5.2 DODATKI

Pripravljeni vlakninski snovi je treba za izboljšanje lastnosti papirja in kartona dodati še določene dodatke, ki so prav tako odvisni od specifičnih zahtev papirjev. Glavni dodatki so:

**Polnila** dodajamo papirni snovi, da se zapolni prostor med vlakni, s čimer dosežemo bolj enakomerno in zaprto površino ter izboljšamo optične lastnosti in potiskljivost papirja. Z vnašanjem polnil pocenimo proizvod, vendar poslabšamo mehanske lastnosti, poveča se tudi prašenje papirja.

Z dodajanjem **klejiva** v suspenzijo snovi dosežemo, da po papirju lahko pišemo s tekočim črnilom in da je za določen čas odporen na vodo.

Vrste klejiv:

- smolna klejiva,
- reaktivna klejiva,
- polimerna klejiva.

Belino papirjev, ki je višja od naravne beline beljene celuloze, dosežemo z **optičnimi belilnimi sredstvi**. Optična belilna sredstva lahko dodajamo v papirno snov.

Za niansiranje danes uporabljamo v glavnem sintetična organska **barvila**, ki se uporabljajo za izdelavo barvnih papirjev in kartonov ali pa za niansiranje belih papirjev.

Dodajanje **škroba** papirni snovi izboljša lastnosti papirja, kot so togost, cepljenje, poleg tega pa tudi izboljša retencijo (zadrževanje fine snovi v papirni plasti, ki se oblikuje med odvodnjavanjem na situ). Dodajanje škroba na klejni stiskalnici izboljša gladkost, potiskljivost, klejenje in površino papirja.

Za povečanje mokromočnosti papirjev, ki v stiku z vodo ohranijo del svoje trdnosti, dodajamo **mokromočnostna sredstva**, kot sta urea in melamin.

Z dodajanjem **retencijskih sredstev** zadržimo fine snovi in polnila v papirni plasti na situ, vplivamo na flokulacijo in odvodnjavanje. Uporabljamo sintetične organske spojine, ki jih za optimalno delovanje močno razredčimo.



## POMNI

Specifične lastnosti posameznih vrst papirja in kartona zahtevajo uporabo določene vlakninske vrste, saj imajo različne vlaknine različne vplive na kakovost izdelanega papirja oz. kartona. Za izboljšanje lastnosti papirja in kartona pa papirni snovi dodajamo tudi posebne dodatke.



## IZ PRAKSE

### Recepture za različne vrste papirja

#### Kopirni papir:

- 67 % sulfatna celulozna vlaknina listavcev
- 17 % sulfatna celulozna vlaknina iglavcev
- 6 % CTMP
- 10 % lastni izmet
- Optično belilo
- Niansirne barve
- Škrob
- Klejivo
- Retencijsko sredstvo
- Polnilo – kalcijev karbonat

#### Časopisni papir:

- 90–95 % reciklirane vlaknine
- 5–10 % lesovina

#### Grafični papir:

- 65–70 % reciklirane vlaknine
- 15–25 % lesovina
- 5–15 % celuloza
- Dodatki: CaCO<sub>3</sub>, škrob, optična belila ...

**NALOGE**

1. Poišči še kakšno recepturo za druge vrste papirja oz. kartona.

**Receptura 1**

---

---

---

---

---

**Receptura 2**

---

---

---

---

---

**Receptura 3**

---

---

---

---

---

2. Izberi nekaj različnih izdelkov iz papirja. Opazuj lastnosti papirja, iz katerega so izdelki narejeni. S katerimi postopki in dodatki v pripravi vlakninske snovi so bile te lastnosti dosežene?

---

---

---

---

---

3. Papir ima pomembno vlogo pri kulturno-umetniškem in znanstvenem ustvarjanju. Razmisli o tej vlogi in navedi kak primer, kako papir podpira ustvarjalne dejavnosti.

---

---

---

---

---

# Literatura

Bajpai, P.: Recycling and Deinking of Recovered Paper. Elsevier Inc., 2014.

Höke, U., Schabel, S.: Recycled Fibre and Deinking. Puunjalostusinsinöörit, 2010.

Izobraževalni center avstrijske papirne industrije, Papirniška šola Steyrmühl: Sušenje. Gradivo za izobraževalni seminar za Papirnico Vevče.

Kampanja za promocijo kariere v papirništvu. Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za papirno in papirno predelovalno industrijo. <https://papirnicar.si/>

Novak, G. et al.: Grafični materiali. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2004.

Papirniški terminološki slovar. ZRC SAZU: Ljubljana, 1996.

# Slikovno gradivo

## Kazalo slik

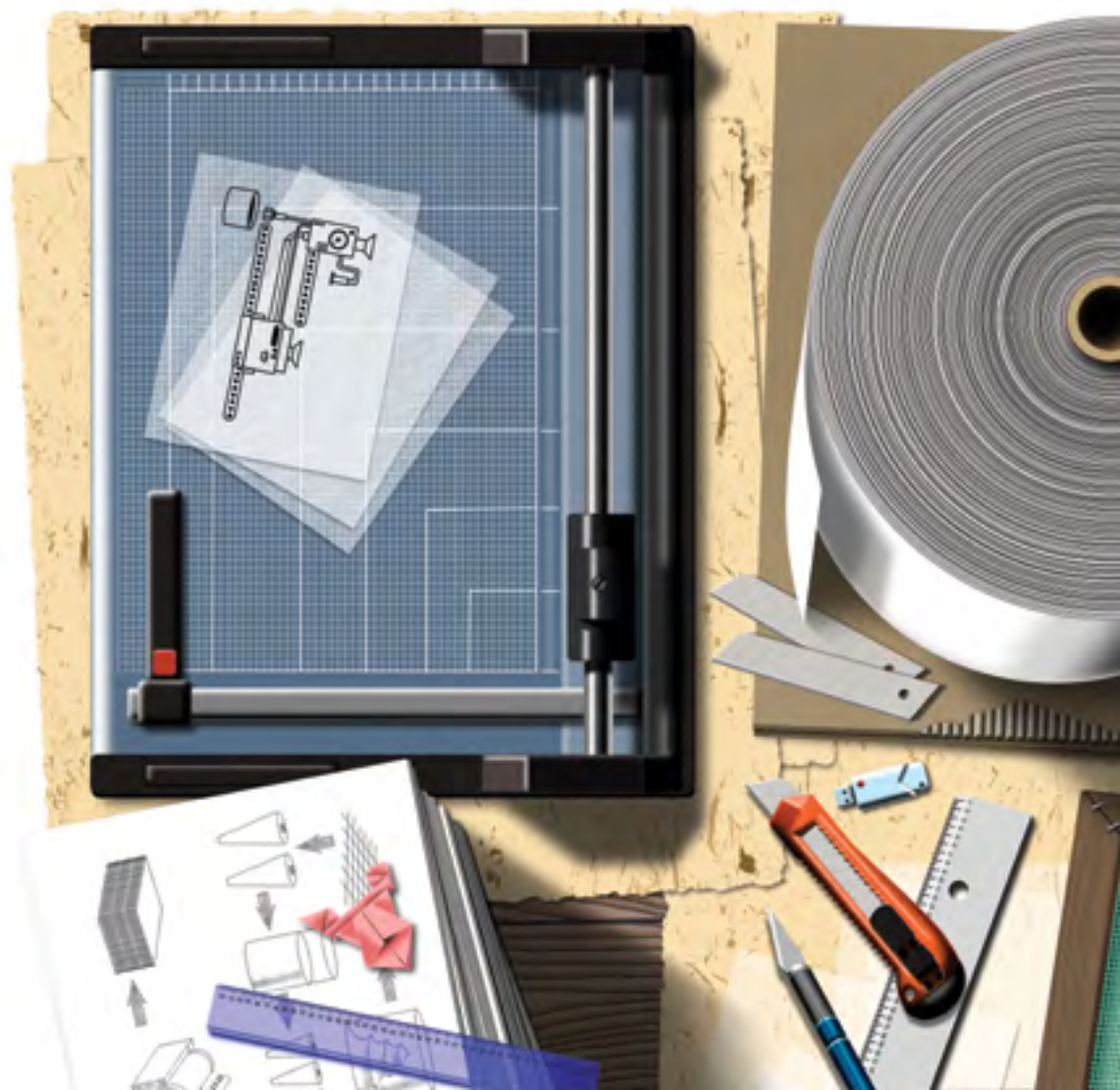
Slika 1.1:	Postopek izdelave papirja (vir: Ksenija Konvalinka)	8
Slika 1.2:	Brižinski spomeniki in Trubarjev Katekizem (vir: Wikipedia)	10
Slika 1.3:	Eden izmed prvih papirnih strojev (vir: Shutterstock)	11
Slika 1.4:	Papirniška industrija v Sloveniji (vir: Ksenija Konvalinka)	12
Slika 2.1:	Kemijska formula celuloze je $(C_6H_{10}O_5)_n$	16
Slika 2.2:	Vlakinne: lesovina (zgoraj), razčrniljena snov (levo), celuloza (desno) (vir: Iris Gnjiđič)	17
Slika 2.3:	Od lesa do celuloznih bal (vir: Pixabay)	22
Slika 2.4:	Žaga za krajšanje hlodov (vir: Rok Šuštar)	25
Slika 2.5:	Odstranjevanje lubja (vir: Rok Šuštar)	25
Slika 2.6:	Brusilnik (vir: Rok Šuštar)	27
Slika 2.7:	Brusni kamen (vir: Rok Šuštar)	27
Slika 2.8:	Shema brusilnika (vir: Ksenija Konvalinka)	27
Slika 2.9:	Vibracijski prebiralnik (vir: Rok Šuštar)	28
Slika 2.10:	Vrtinčni cevni čistilec (vir: Ksenija Konvalinka)	29
Slika 2.11:	Košara tlačnega prebiralnika (vir: Rok Šuštar)	29
Slika 2.12:	Rotor tlačnega prebiralnika (vir: Rok Šuštar)	29
Slika 2.13:	Polidisk (vir: Rok Šuštar)	31
Slika 2.14:	Dvojna sitova stiskalnica (vir: Rok Šuštar)	31
Slika 2.15:	Skladiščena stisnjena bruševina (vir: Rok Šuštar)	31

Slika 2.16:	Od odpadnega papirja do časopisa in revij (vir: Pixabay)	33
Slika 2.17:	Gibanje snovi znotraj bobnastega razpuščevalnika (vir: Ksenija Konvalinka)	35
Slika 2.18:	Shematski prikaz delovanja bobnastega razpuščevalnika (vir: Ksenija Konvalinka)	36
Slika 2.19:	Flotacijske celice (vir: sciencedirect.com)	37
Slika 2.20:	Pene na površini celice z veliko količino odstranjene tiskarske barve (vir: Wikipedia)	38
Slika 2.21:	Tri stopnje vrtničnih cevni čistilcev (vir: Iris Gnjudič)	39
Slika 2.22:	Polidisk filter (vir: Ksenija Konvalinka)	40
Slika 2.23:	Polžna stiskalnica (vir: www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/pulp-drying-finishing/dewatering-machines-fiber)	40
Slika 2.24:	Disperger s ploščami (vir: www.wotol.com)	41
Slika 2.25:	Od bombaža do papirja za bankovce (vir: Pixabay)	46
Slika 2.26:	Suhi trgalnik (vir: Aleš Knavs)	47
Slika 2.27:	Koš, ki ga napolnimo z bombažnimi vlakni (vir: Aleš Knavs)	48
Slika 2.28:	Kuhalnik, v katerega postavimo koš, napolnjen z bombažem (vir: Aleš Knavs)	48
Slika 2.29:	Mokri trgalnik (vir: Aleš Knavs)	49
Slika 2.30:	Holandec (vir: Aleš Knavs)	49
Slika 2.31:	2. stopnja mletja na cilindričnih mlinih (vir: Aleš Knavs)	49
Slika 3.1:	HC razpuščevalnik (vir: Ksenija Konvalinka)	53
Slika 3.2:	LC razpuščevalnik (vir: Ksenija Konvalinka)	53
Slika 4.1:	Holandec (vir: Aleš Knavs)	56
Slika 4.2:	Stožčasti mlin (vir: Aleš Knavs)	57
Slika 4.3:	Dvoploščni mlin (vir: Aleš Knavs)	58
Slika 4.4:	Dotok snovi (vir: Aleš Knavs)	58
Slika 4.5:	Mlevne garniture (vir: Aleš Knavs)	59
Slika 4.6:	Nastavitev nožev, štiri primeri različno zmletih vlaken (vir: Ksenija Konvalinka)	60
Slika 4.7:	Naprava za merjenje stopnje mletja (vir: Aleš Knavs)	61
Slika 4.8:	Shema prikazuje mešano mletje snovi, brez mešanja v mešalni kadi, snov potuje direktno v strojno kad (vir: Aleš Knavs)	69
Slika 4.9:	Shema prikazuje ločeno mletje snovi, dolga, kratka vlakna in izmet se dozirajo v mešalno kad (vir: Aleš Knavs)	69

## **Kazalo shem**

Shema 2.1:	Razvrstitev vlaknin za uporabo v papirni industriji	17
Shema 2.2:	Priprava vlakninske snovi za proizvodnjo papirja in kartona	18
Shema 2.3:	Osnovna sestava lesa	20
Shema 2.4:	Postopek pridobivanja kemijske celulozne vlaknine	23
Shema 2.5:	Postopek pridobivanja bruševine	26
Shema 2.6:	Postopek razčrniljenja (DIP)	33
Shema 2.7:	Postopek priprave vlaknin iz enoletnih rastlin za proizvodnjo papirja	46







**PRENOVA POKLICNEGA  
IZOBRAŽEVANJA**

V LETIH 2016-2021



**CPI**  
CENTER RS ZA  
POKLICNO  
IZOBRAŽEVANJE



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA  
EVROPSKI SKLAD  
SOCIALNI SKLAD  
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

