

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miroslav MALIŠ

**KAKOVOST MELJAVINE IN VPLIV NA LASTNOSTI  
KARTONA IN PAPIRJA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miroslav MALIŠ

**KAKOVOST MELJAVINE IN VPLIV NA  
LASTNOSTI KARTONA IN PAPIRJA**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**QUALITY OF PULP AND ITS INFLUENCE  
ON CHARACTERISTICS OF PAPERBOARD AND PAPER**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Inštitutu za celulozo in papir v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico diplomskega dela imenoval prof. dr. Vesno Tišler, za somentorico dr. Vero Rutar, za recenzenta pa prof. dr. Marka Petriča.

Mentorica: prof. dr. Vesna Tišler

Somentorica: dr. Vera Rutar

Recenzent: prof. dr. Marko Petrič

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Miroslav Mališ

### KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
- DK UDK 630\*861
- KG les/vlakno/meljavina/mletje/kakovost/papir/mehanske lastnosti
- AV MALIŠ, Miroslav
- SA TIŠLER, Vesna (mentorica)/RUTAR, Vera (somentorica)/PETRIČ, Marko (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2008
- IN KAKOVOST MELJAVINE IN VPLIV NA LASTNOSTI KARTONA IN PAPIRJA
- TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
- OP XI, 64 str., 26 pregl., 50 sl., 19 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Fizikalno mehanske lastnosti vlaknine se z mehansko obdelavo spreminja. Če vlaknina ni mleta, ima list, izdelan iz takšne vlaknine, zelo slabe mehanske lastnosti. To velja tudi za papir, katerega vlaknine smo le malo mleli. Z napredujočim časom mletja raste stopnja mletja. Istočasno tudi mehanske lastnosti rastejo do določene maksimalne vrednosti, nato pričnejo upadati. Krivulja rasti mletja kot tudi mehanskih lastnosti je odvisna od vrste in kakovosti vlaknine. Če hočemo določiti kakovost vlaknine, moramo le-to podvreči laboratorijskemu mletju na standardiziranih mlelnih aparatih pri standardiziranih pogojih. S standardiziranimi metodami določimo tudi fizikalno mehanske lastnosti vlaken. Oboje je predpogoj, da rezultate, dobljene pri analizi iste ali različne vlaknine, medsebojno primerjamo.

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

DN Vs

DC UDC 630\*861

CX wood/fibre/pulp/grinding/quality/paper/mechanical characteristics

AU MALIŠ, Miroslav

AA TIŠLER, Vesna (supervisor)/RUTAR, Vera (co-supervisor)/PETRIČ, Marko  
(co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science  
and Technology

PY 2008

TI QUALITY OF PULP AND ITS INFLUENCE ON CHARACTERISTICS OF  
PAPERBOARD AND PAPER

DT Graduation Thesis (Higher professional studies)

NO XI, 64 p., 26 tab., 50 fig., 19 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Mechanical treatment changes physically-mechanical characteristics of fibrin. The paper made from fibrin, which is not ground, has very bad mechanical characteristics. These apply also to papers, made of fibrin, which is only less ground. The degree of grinding grows parallelly to increasing time of grinding. At the same time, mechanical characteristics also grow to a certain maximum value, then they start to decrease. Curve of grinding growth, so as that of mechanical characteristics, depends on kind and qualities of fibrin. To define the quality of fibrin it must be subjected to laboratorial grinding using standard grind machines at standard conditions. Physically-mechanical characteristics of fibrin are to be defined with standard procedures as well. They both are prerequisite for the results gained by analysing the same or a different fibrin are mutually compared.

## KAZALO VSEBINE

	str.
<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE.....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC.....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK.....</b>	<b>IX</b>
<b>1 UVOD IN POSTAVITEV PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>2 SPLOŠNI DEL.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 SUROVINE.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1 Les in lesne vlaknine.....</b>	<b>2</b>
2.1.1.1 Vlakna lesa iglavcev in listavcev.....	3
2.1.1.2 Vlaknine visokega dobitka .....	3
2.1.1.3 Celulozna vlaknina .....	4
2.1.1.4 Polcelulozna vlaknina.....	5
2.1.1.5 Lastnosti vlaknin .....	5
<b>2.1.2 Druge vlaknine.....</b>	<b>6</b>
2.1.2.1 Sekundarne vlaknine .....	6
2.1.2.2 Tekstilne vlaknine .....	6
2.1.2.3 Vlaknine enoletnih rastlin.....	7
2.1.2.4 Sintetične (kemične) vlaknine .....	7
<b>2.1.3 Polnila .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4 Klejiva.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.5 Pomožna sredstva .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 POSTOPKI PROIZVODNJE VLAKNIN .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1 Skladiščenje in čiščenje lesa.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2 Lesovina.....</b>	<b>10</b>
2.2.2.1 Klasična lesovina – bela bruševina.....	11
2.2.2.2 Rjava bruševina .....	13
2.2.2.3 TGW – termična bruševina .....	13
2.2.2.4 PGW – tlačna bruševina .....	14
2.2.2.5 Vpliv dejavnikov na kakovost bruševine .....	14
2.2.2.6 Rafinerska lesovina – meljavina.....	15
2.2.2.7 TMP – termomehanska meljavina.....	15
2.2.2.8 CTMP – kemijska termomehanska meljavina.....	16
<b>3 EKSPERIMENTALNI DEL .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 MATERIALI .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 METODE DELA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1 Testiranje vlaknin.....</b>	<b>17</b>
3.2.1.1 Določanje suhe snovi.....	17
3.2.1.2 Laboratorijsko mletje vlaknine .....	18
3.2.1.3 Stopnja mletja.....	19
3.2.1.4 Porazdelitev dolžine vlaken.....	21

<b>3.2.2 Izdelava listov.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.3 Fizikalno mehanske lastnosti listov.....</b>	<b>26</b>
3.2.3.1 Belina lista .....	27
3.2.3.2 Debelina lista .....	29
3.2.3.3 Masa lista .....	31
3.2.3.4 Gramatura lista .....	33
3.2.3.5 Prostorninska masa lista .....	35
3.2.3.6 Utržna sila, utržna dolžina, utrg indeks in raztezek lista .....	37
3.2.3.7 Raztržna odpornost lista, raztrg indeks .....	41
3.2.3.8 Razpočna odpornost lista, razpok indeks .....	44
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>47</b>
4.1 VLAKNINE .....	47
4.1.1 Primerjava CTMP in TGW vlaknine pred in po dodatnem mletju .....	47
4.1.2 Primerjava CTMP vlaknine z TGW vlaknino.....	47
4.2 LABORATORIJSKI LISTI.....	51
4.2.1 Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov izdelanih iz CTMP in TGW vlaknine pred mletjem in po dodatnem mletju .....	51
4.2.2 Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov izdelanih iz CTMP vlaknine z listi izdelanimi iz TGW vlaknine .....	52
<b>5 RAZPRAVA.....</b>	<b>60</b>
5.1 VPLIV MLETJA NA MORFOLOGIJO VLAKEN .....	60
5.2 VPLIV MLETJA NA FIZIKALNO MEHANSKE LASTNOSTI PAPIRJA .....	60
<b>6 SKLEPI .....</b>	<b>61</b>
<b>7 POVZETEK .....</b>	<b>62</b>
<b>8 VIRI .....</b>	<b>63</b>
<b>ZAHVALA</b>	

**KAZALO PREGLEDNIC**

str.

Preglednica 2.1: Razvrstitev vlaknin .....	2
Preglednica 2.2: Belina nebeljenih in različno beljenih celuloznih vlaknin .....	5
Preglednica 2.3: Primerjava vsebnosti celuloze različnih rastlin .....	7
Preglednica 2.4: Koeficienti sipanja in absorpcije svetlobe za celulozo, lesovino in polnila.....	8
Preglednica 2.5: Postopki za proizvodnjo vlaknin visokega dobitka.....	10
Preglednica 2.6: Oznake brusnih kolutov .....	12
Preglednica 3.1: Stopnja mletja.....	19
Preglednica 3.2: Povprečna dolžina vlaken in količina vlaken, ki so krajša od 0,2 mm....	21
Preglednica 3.3: Belina lista.....	27
Preglednica 3.4: Debelina lista.....	29
Preglednica 3.5: Masa lista.....	31
Preglednica 3.6: Gramatura lista .....	33
Preglednica 3.7: Prostorninska masa lista.....	35
Preglednica 3.8: Utržna sila, utržna dolžina, utrg indeks, raztezek .....	38
Preglednica 3.9: Raztržna odpornost, raztrg indeks.....	42
Preglednica 3.10: Razpočna odpornost, razpok indeks.....	45
Preglednica 4.1: Primerjava lastnosti CTMP vlaknine pred in po dodatnem mletju .....	47
Preglednica 4.2: Primerjava lastnosti TGW vlaknine pred in po dodatnem mletju .....	47
Preglednica 4.3: Primerjava lastnosti CTMP (0) vlaknine z TGW (0) vlaknino .....	47
Preglednica 4.4: Primerjava lastnosti CTMP (1500) vlaknine z TGW (1500) vlaknino ....	47
Preglednica 4.5: Primerjava lastnosti CTMP (3000) vlaknine z TGW (3000) vlaknino ....	48

Preglednica 4.6: Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP vlaknine pred mletjem in po dodatnem mletju.....	51
Preglednica 4.7: Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz TGW vlaknine pred mletjem in po dodatnem mletju.....	51
Preglednica 4.8: Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP (0) vlaknine in TGW (0) vlaknine .....	52
Preglednica 4.9: Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP (1500) vlaknine in TGW (1500) vlaknine .....	52
Preglednica 4.10: Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP (3000) vlaknine in TGW (3000) vlaknine.....	52

**KAZALO SLIK**

	str.
Slika 2.1: Shema kemijske predelave lesa (Novak, 1998) .....	4
Slika 2.2: Shematski prikaz postopkov za pridobivanje vlaknin visokega dobitka (Novak, 1998) .....	11
Slika 3.1: Kemijska termomehanska meljavina – CTMP (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	17
Slika 3.2: Laboratorijski mlin PFI (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	18
Slika 3.3: Merilnik stopnje mletja Schopper-Riegler (Schopper-Riegler, 2007) .....	19
Slika 3.4: Stopnja mletja .....	20
Slika 3.5: Merilnik porazdelitve dolžine vlaken Kajaani FS-200 (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	21
Slika 3.6: Povprečna dolžina vlaken AAV .....	22
Slika 3.7: Povprečna dolžina vlaken LWAV .....	23
Slika 3.8: Količina vlaken < 0,2 mm .....	23
Slika 3.9: Laboratorijski oblikovalnik listov Rapid-Koethen (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	24
Slika 3.10: Hidravlična stiskalnica (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	24
Slika 3.11: Sušilni valj (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	25
Slika 3.12: Razrez vzorčnega lista (Iglič, 1988) .....	26
Slika 3.13: Optični spektrofotometer Elrepho-Datacolor 450× (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	27
Slika 3.14: Belina lista .....	28
Slika 3.15: Mikrometer L&W (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	29
Slika 3.16: Debelina lista .....	30

Slika 3.17: Tehnica Sauter (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	31
Slika 3.18: Masa lista .....	32
Slika 3.19: Gramatura lista .....	34
Slika 3.20: Prostorninska masa lista.....	36
Slika 3.21: Dinamometer Alwethron TH-1 (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir).....	37
Slika 3.22: Utržna sila lista.....	39
Slika 3.23: Utržna dolžina lista .....	39
Slika 3.24: Utrg indeks .....	40
Slika 3.25: Raztezek lista .....	40
Slika 3.26: Merilnik raztržne odpornosti Elmendorf (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	41
Slika 3.27: Raztržna odpornost lista.....	42
Slika 3.28: Raztrg indeks.....	43
Slika 3.29: Merilnik razpočne odpornosti Mullen (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir) .....	44
Slika 3.30: Razpočna odpornost lista .....	45
Slika 3.31: Razpok indeks .....	46
Slika 4.1: Primerjava stopnje mletja med CTMP in TGW.....	48
Slika 4.2: Primerjava povprečne dolžine vlaken AAV med CTMP in TGW.....	49
Slika 4.3: Primerjava povprečne dolžine vlaken LWAV med CTMP in TGW .....	49
Slika 4.4: Primerjava količine vlaken krajsih od 0,2 mm med CTMP in TGW.....	50
Slika 4.5: Primerjava beline lista med CTMP in TGW .....	53
Slika 4.6: Primerjava debeline lista med CTMP in TGW .....	54
Slika 4.7: Primerjava mase lista med CTMP in TGW .....	54

Slika 4.8: Primerjava gramature lista med CTMP in TGW .....	55
Slika 4.9: Primerjava prostorninske mase lista med CTMP in TGW.....	55
Slika 4.10: Primerjava utržne sile lista med CTMP in TGW .....	56
Slika 4.11: Primerjava utržne dolžine lista med CTMP in TGW .....	56
Slika 4.12: Primerjava utržnega indeksa med CTMP in TGW .....	57
Slika 4.13: Primerjava raztezka lista med CTMP in TGW .....	57
Slika 4.14: Primerjava raztržne odpornosti lista med CTMP in TGW.....	58
Slika 4.15: Primerjava raztržnega indeksa med CTMP in TGW .....	58
Slika 4.16: Primerjava razpočne odpornosti med CTMP in TGW .....	59
Slika 4.17: Primerjava razpočnega indeksa med CTMP in TGW .....	59

## 1 UVOD IN POSTAVITEV PROBLEMA

Papirna industrija uporablja danes skoraj izključno vlakna, ki jih pridobiva iz lesa in enoletnih rastlin. V zelo majhnih količinah predeluje tudi nekatera druga vlakna kot npr.: vlakna krp, v katerih so bombaž, lan, konoplja, izjemoma tudi volna, azbest in v novejšem času celo sintetična vlakna. Glede na strukturo in obliko vlaken ter postopek pridobivanja delimo vlakna na: lesovino, kemično lesovino, polcelulozno vlaknino in celulozno vlaknino.

Vse surovine, ki jih danes predelujemo v vlakna za papirno industrijo, pa naj bo to les iglavcev (smreka, jelka, bor) ali listavcev (topol, bukev, vrba) ter enoletnih rastlin in slame, imajo vlknato strukturo. Vlakna, ki jih uporabljamo niso enakomerne in homogene strukture, temveč so mešanice različnih vlknatih elementov, ki se razlikujejo med seboj po zgradbi in funkciji, ki jo opravljam v lesu. Tako ločimo traheidne celice, libriformska vlakna, lesni parenhim, parenhimske celice v strženu in strženovih kanalih ter traheje. Les iglavcev in listavcev ima zelo različno zgradbo in različno vsebnost navedenih elementov.

Papir je ploščat, porozen material, sestavljen pretežno iz prepletenih vlaknin rastlinskega izvora. Osnovna surovina za papir je les, ki je prav tako sestavljen iz vlaknin, vendar je les neporozen, vlakna pa so tesno strnjena in večinoma strogo paralelna uravnana, le manjši delež vlaken, ki s hrano oskrbujejo jedro debla, je usmerjenih radialno.

Za proizvodnjo papirja je potrebno iz lesa ali enoletnih rastlin pridobiti vlakna in iz njih izdelati porozen, ploskoven in anizotropen izdelek, v katerem so vlakna naključno porazdeljena in tudi medsebojno prepletena. Kakovost vlaken je odvisna od vrste in kakovosti lesa. Z mešanjem velikega števila posameznih vlaken iz velikega števila dreves uspevajo papirničarji proizvajati vedno enako kakovost papirja.

Namen diplomske naloge je raziskati kakovost kemijsko termomehanske meljavine (CTMP) in njen vpliv na lastnosti papirja ter oceniti fizikalno mehanske lastnosti izdelanega papirja in jih primerjati z lastnostmi papirja izdelanega iz klasične lesovine – termične bruševine (TGW).

Primerjamo tudi lastnosti vlaknine, ki je bila dodatno mleta pri dveh različnih vnosih energije z lastnostmi, ki jih dobi mleta vlaknina z industrijskim mletjem.

## 2 SPLOŠNI DEL

Vlaknine lesovinskega tipa, ki jih predeluje papirna industrija zavzemajo kljub nglemu naraščanju recikliranja vse pomembnejše mesto. Temu je tako, ker imajo tovrstne vlaknine zaradi visokih dobitkov lesne surovine dobre ekonomske učinke. Vlaknine lesovinskega tipa zavzemajo pomembne deleže vnosa vlaknin ne le pri izdelavi masovnih izdelkov, kot so npr. do 85 % v časopisnem papirju, ampak so jim našli uporabo tudi pri izdelavi tiskovnih papirjev, puhaste celuloze, itd.

### 2.1 SUROVINE

#### 2.1.1 Les in lesne vlaknine

Najpomembnejša surovina za proizvodnjo papirja so vlaknine. Razvrščajo jih v dve osnovni skupini:

- primarne vlaknine
- sekundarne vlaknine

Primarne vlaknine razvrščamo v naravne in sintetične (kemične), kot prikazuje spodnja preglednica.

**Preglednica 2.1:** Razvrstitev vlaknin (Novak, 1998)

VLAKNINE	
Primarne vlaknine	Sekundarne vlaknine
Naravne vlaknine	Sintetične vlaknine
Rastlinske vlaknine (les)	Anorganske vlaknine
Živalske vlaknine (volna)	Organske sintetične vlaknine
Anorganske vlaknine	

V svetu pridobivajo kar 90 % vlaknin za papir iz različnih vrst lesa iglavcev (smreka, jelka, bor) in listavcev (bukev, breza, topol). Glede na sestavo gozda in razpoložljivost posameznih vrst lesa uporabljajo v različnih državah tudi nekoliko različne deleže lesnih vrst za proizvodnjo vlaknin. Kljub temu je povprečni delež lesa iglavcev precej večji (okrog 80 %) od deleža lesa listavcev (okrog 20 %).

Za pridobivanje vlaknin iz ekonomskih razlogov uporabljajo v glavnem debla dreves, ki imajo redkokdaj premer, večji od 20 cm. Deblo ima na zunanjji strani skorjo in pod skorjo plast kambija, s pomočjo katerega deblo drevesa radialno raste. Lesna snov je sestavljena iz aksialno usmerjenih vlaknin, katerih naloga je vzdolžni transport hrane in le nekaj je radialno usmerjenih vlaken, ki preskrbujejo jedro drevesnega debla. (Novak, 1998)

### 2.1.1.1 Vlakna lesa iglavcev in listavcev

Vlakna iglavcev so sestavljena približno iz 87–95 % traheid, ki prevajajo vodo in dajejo trdnost lesu, ter iz 5–12 % parenhimskih celic, ki ležijo v eni ali več plasteh druga ob drugi in ki prevajajo sokove ter ustvarjajo hranilne rezerve.

Večinski del vlaken listavcev so libriformska vlakna, ki predstavljajo 26–78 % delež vlaken. Transport vode oskrbujejo cevčaste celice – traheje ali sodčki, ki ležijo vzdolž debla in se običajno držijo druga druge ter so pokrite z različnimi porami. Te pore so pri različnih vrstah lesnih vlaknin različne in zato je mogoče vlaknine razlikovati med seboj prav po teh porah. Parenhimske celice, ki sestavljajo 3–21 % delež, se pojavljajo v več plasteh in prevajajo ter skladiščijo sokove (smole, maščobe). Les vsebuje približno 40–56 % celuloze, 20–30 % lignina, 25–35 % hemiceluloz in 2–8 % estraktivnih snovi. (Novak, 1998)

Les lahko z različnimi postopki (mehanskimi, kemičnimi in kombinacijami teh postopkov) predelajo v lesne vlaknine. Glede na vrsto proizvodnega postopka razvrstimo vlaknine v naslednje skupine:

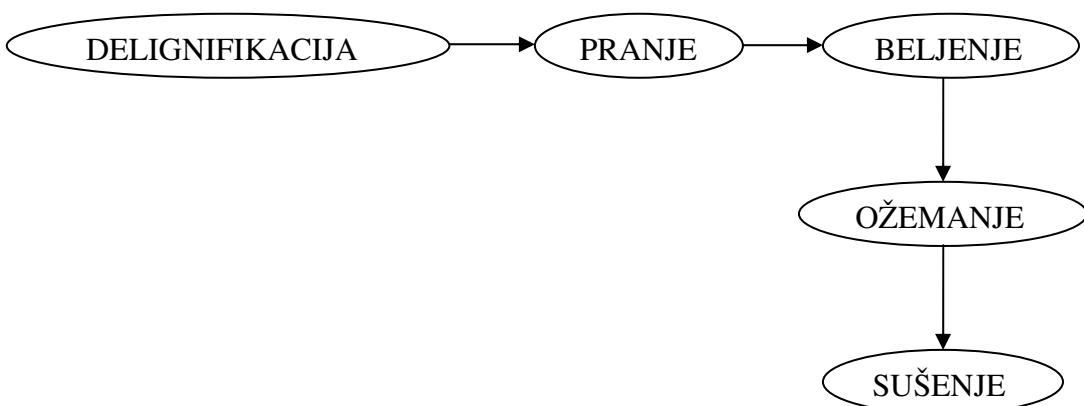
- vlaknine visokega dobitka
- polcelulozne vlaknine
- celulozne vlaknine

### 2.1.1.2 Vlaknine visokega dobitka

Vlaknine visokega dobitka proizvajajo z mehansko predelavo lesa v glavnem v celoti. Zato je dobitek lesne mase bolj ali manj visok v primerjavi s kemijsko obdelanimi vlakninami oziroma celulozno vlaknino, kjer pride do bolj ali manj kvantitativnega odstranjevanja lignina in ekstraktivnih snovi iz lesne mase.

### 2.1.1.3 Celulozna vlaknina

Za pridobivanje polcelulozne in celulozne vlaknine je potrebno do manjše ali večje mere odstraniti iz lesnega sekanca lignin (delignificirati). To izvedejo v postopku kuhanja s kemikalijami – kislinami ali lugim – pri višji temperaturi in povišanem tlaku. V takem postopku se vodonetopni lignin iz lesa pretvorji v vodotopno obliko tako, da ga s pomočjo izpiranja bolj ali manj izločijo iz sistema. Tak postopek imenujemo kemijska predelava lesa.



**Slika 2.1:** Shema kemijske predelave lesa (Novak, 1998)

Glede na večji ali manjši delež odstranjenega lignina proizvedejo bolj ali manj čisto celulozno vlaknino. Če lesni sekanec s kemikalijami samo minimalno obdelajo tako, da se lignin še ne raztopi, temveč postane samo plastičen in ga mehansko razvlaknijo, proizvedejo tako imenovano polcelulozno vlaknino, šele v primeru večje ali manjše odstranitve lignina proizvedejo bolj ali manj čisto celulozno vlaknino.

V glavnem razlikujemo dva najpomembnejša postopka pridobivanja celulozne vlaknine in sicer hidrogensulfitni (kisli, magnefitni) in alkalni (soda in sulfatni) kuhalni postopek ali postopek delignifikacije lesa. Novejša postopka pridobivanja celulozne vlaknine, ki naj bi bila bolj okolju prijazna in ki sta še v razvoju sta Asam in organocelni postopek. Oba potekata v organskih topilih.

Pri kuhanju lesa in pridobivanju celulozne vlaknine pa se ne odstranjuje samo lignin, temveč se spreminja tudi celuloza in hemiceluloze.

Celulozno vlaknino običajno še belijo. Pri beljenju se razgradijo in odstranijo ostanki lignina in obarvanih snovi. Dobitek se zato pri beljenju še zniža, saj znaša izguba pri beljenju 5–6 %. Beljenje poteka v belilnih stolpih večstopenjsko z različnimi kemikalijami. Za beljenje se predvsem uporablja vodikov peroksid, natrijev peroksid, kisik in ozon. Pomagajo pa si tudi z uporabo encimov. Vlaknina in papirni proizvodi ne smejo vsebovati organsko vezanega klora. Med posameznimi stopnjami in na koncu celulozno vlaknino izperejo.

Z različno stopnjo beljenja dosežejo različne beline celuloznih vlaknin, kot je prikazano v naslednji preglednici.

**Preglednica 2.2:** Belina nebeljenih in različno beljenih celuloznih vlaknin (Novak, 1998)

CELULOZNA VLAKNINA	BELINA (%)
Nebeljena hidrogensulfitna celulozna vlaknina	55–65
Polbeljena hidrogensulfitna celulozna vlaknina	70–85
Polno beljena hidrogensulfitna celulozna vlaknina	87–92
Visoko beljena hidrogensulfitna celulozna vlaknina	93–95
Nebeljena sulfatna celulozna vlaknina	30–40
Polno beljena sulfatna celulozna vlaknina	70–85
Visoko beljena sulfatna celulozna vlaknina	87–92

#### 2.1.1.4 Polcelulozna vlaknina

Po tem postopku predelujo les (lahko pa tudi enoletne rastline) z blago obdelavo s kemikalijami in mehanskim razvlaknjevanjem. Bistvo postopka je v tem, da se lignin ne raztopi, kot se to zgodi pri kemijskem kuhanju in pridobivanju celulozne vlaknine, temveč samo nabrekne in postane plastičen, tako da se lesna snov lahko razvlakni. Zato se les listavcev, ki vsebuje manj lignina, lažje predeluje v polcelulozno vlaknino kot les iglavcev. Prednosti polcelulozne vlaknine pred tehnično celulozo sta visok izkoristek lesne masse (od 65–80 % za nebeljeno in 55–60 % za beljeno polcelulozno vlaknino) in manjša poraba kemikalij. Polcelulozna vlaknina izboljša tiskovnost papirja. Njena slaba stran je temna barva in večja poraba belilnih kemikalij.

Za kuhanje uporabljajo največkrat nevtralni sulfitni postopek. Temperatura kuhanja je 170–180 °C in čas kuhanja 0,5 do 6 ur pri tlaku 800 kPa. Zaradi blagih kemijskih in fizikalnih pogojev obdelave je poškodovanost vlaken minimalna.

#### 2.1.1.5 Lastnosti vlaknin

Za vsako vrsto papirja obstaja določena optimalna količina hemiceluloz v vlaknih. Za papir visoke gostote in opacitete je primerna velika vsebnost hemiceluloz. Za vpojen, porozen papir je primerna nizka vsebnost hemiceluloz.

Lignin je pretežno hidrofoben in zavira nabrekanje vlaken. Ker ne more tvoriti vodikovih mostičkov, lignin ne prispeva k jakosti vezi med vlakni. Ker v prisotnosti kisika lahko lignin tvori kromoforne skupine, papir, ki vsebuje lignin, hitro porumeni.

Pri proizvodnji papirja je pomembna morfologija vlaknin. Cilj papirničarja je, da pripravi vlaknine tako, da tvorijo čimvečjo površino med vlakni. To je mogoče doseči pri vlaknilih, ki imajo veliko površino in tanko steno.

Dolžina vlaken in debelina stene sta prav tako zelo pomembni za kakovost papirja. Za medvlakninsko povezavo je potrebna določena minimalna dolžina vlaken. Dolžina vlaken je prenosorazmerna z utržno jakostjo papirja. Pri prenizki debelini stene vlakna pride lahko do popolnega sploščenja vlaken, kar seveda ni zaželeno. Iz debelejših vlaken proizvajajo lahko voluminozni, absorptiven papir z nizko razpočno in utržno jakostjo, vendar z visoko raztržno odpornostjo. (Novak, 1998)

## 2.1.2 Druge vlaknine

### 2.1.2.1 Sekundarne vlaknine

Recikliranje starega časopisnega papirja za proizvodnjo novega časopisnega papirja je znano že vrst let. V zadnjih desetih letih pa se je predvsem v Evropi, pa tudi v ZDA močno povečala uporaba starega papirja tudi za proizvodnjo boljših pisalnih in tiskovnih papirjev. Deloma je to zaradi vsaj občasno visoke cene svežih vlaknin, deloma pa tudi zaradi politike varovanja okolja.

Stari papir prihaja nazaj v proizvodnjo predvsem iz pisarn in gospodinjstev. Zato ga je potrebno primerno organizirano zbirati, sortirati, čistiti in razbarvati. Zaradi sorazmerno dolgotrajnih in dragih postopkov se zgodi, da postane stari papir celo dražja surovina kot sveže vlaknine.

Za proizvodnjo 1000 kg novega papirja je potrebnih približno 1330 kg starega papirja. Kakovost starega papirja je zelo različna. Od popolnoma čistih papirjev (odpadki pri rezanju listov iz zvitkov) do močno onesnaženih s tudi okoli 3 % nečistoč. Razvlaknjevanje starega papirja poteka v razpuščevalniku z dodatkom vode. Bolj problematično je odstranjevanje tiskarskih barv ali tako imenovani razsivitveni (deinking) postopek. Pri tem postopku je potrebno uporabiti različne kemikalije in topila.

Ker se pri recikliranju pa tudi pri ponovni predelavi vlaknin (razvlaknjevanje, sušenje, premazovanje, ponovno sušenje, rezanje) vlaknine sčasoma poškodujejo, jih neskončnokrat ne moremo reciklirati. Raziskovalci so dokazali, da je možno reciklirati vlakna največ sedemkrat.

Pri recikliranju starega papirja ostane od 10 do 40 % trdnih ali tekočih odpadkov, ki jih je treba deponirati oziroma odstraniti. Odstranjevanje odpadnih materialov postaja vedno dražje in težje.

### 2.1.2.2 Tekstilne vlaknine

Zaradi visoke cene danes uporablajo tekstilna vlakna kot so bombaž, lan, juta, in konoplja, samo za vrednostne, biblijske in specialne reprezentativne papirje, pri katerih so potrebne izjemno dobre jakosti, prožnost in obstojnost. Tekstilne odpadke morajo pred tem prebrati glede na vrsto vlaknin, njihov način tkanja in barvanja. Nato jih očistijo in izločijo sintetične tkanine, ki jih v nadaljnjem klasičnem procesu kuhanja ne morejo predelati. Sledi kuhanje pod tlakom 300–350 kPa nekaj ur v lužnati raztopini. Ker pri tem postopku ni potrebno izluževanje in odstranjevanje odvečnih snovi, pridobijo tako odlične, čiste vlaknine za papir.

### 2.1.2.3 Vlaknine enoletnih rastlin

Slama enoletnih rastlin, kot so različne žitarice (rž, pšenica, ječmen) je uporabna surovina za papir. Uporabljajo jo predvsem v državah, kjer pridelajo dovolj žitaric, hkrati pa imajo premalo gozda za pridobivanje lesnih vlaknin.

Vlakno enoletnih rastlin je precej kraje, saj ima dolžino samo 0,5–2 mm in premer 0,010–0,020 mm. Kljub temu dodatek teh vlaken daje papirju posebne lastnosti: ima dobro zaprto površino, dobro se po njem piše in briše, je trši in dobiva zvok. Ta vlakna uporabljajo v pisalnih, risalnih in kartotečnih papirjih.

Vsebnost celuloze je v različnih rastlinah različna, kot prikazuje naslednja preglednica.

**Preglednica 2.3:** Primerjava vsebnosti celuloze različnih rastlin (Novak, 1998)

RASTLINA	VSEBNOST CELULOZE (%)
Bombaž	okrog 90 %
Lan	okrog 80 %
Smreka, bor	okrog 60 %
Slama	okrog 30 %

### 2.1.2.4 Sintetične (kemične) vlaknine

V skupino sintetičnih vlaknin prištevamo regeneratna vlakna in popolnoma sintetična oziroma kemična vlakna. Ker nimajo sposobnosti fibriliranja, sintetična vlakna ni mogoče predelovati skupaj z naravnimi vlakni. Kljub temu so jih zaradi izrednih fizikalnih in kemijskih lastnosti poizkušali uporabljati pri proizvodnji papirja. Pri tem so naleteli na težave, saj so ta vlakna tudi zelo hidrofobna, delajo težave pri mletju (predvsem vlakna z nizkim tališčem, kot na primer poliamidna), kjer pride do segrevanja.

V to skupino lahko štejemo tudi steklena vlakna. V ZDA so izdelali steklena vlakna premera 0,5–0,75 µm, ki so videti kot svilena. Dodajajo jih k celuloznim vlaknom ali izdelujejo iz njih papir, da dosežejo nekatere specialne lastnosti kot so: zmanjšanje gorljivosti, povečanje obstojnosti pri višji temperaturi, povečanje dimenzionalne stabilnosti, boljše dielektrične in elektroizolacijske lastnosti. Dodatek steklenih vlaken vpliva tudi na odpornost na kemikalije, svetlobo, atmosfero, mikroorganizme, insekte, poveča poroznost in zato so taki papirji uporabni tudi za filtriranje plinov in tekočin. (Novak, 1998)

### 2.1.3 Polnila

V papirništvu uporabljajo kot polnilo predvsem kaolin in naravni mleti kalcijev karbonat (kalcit, marmor, kreda). Samo v specialnih papirjih uporabljajo titan dioksid (za povečanje beline in opacitete), sintetični kalcijev karbonat (za povečanje beline), barijev sulfat (za fotopapirje), magnezijev silikat (za povečanje sijaja).

Pisalni papirji vsebujejo do 15 %, tiskovni pa celo do 30 % polnil (to so utežni deleži na 100 utežnih deležev vlaknin). Zato so polnila takoj za vlakninami najvažnejša surovina za papir. Kot že ime pove, polnila zapolnijo pore med vlakni, vplivajo pa tudi na povečanje opacitete (neprozornost), gladkosti, sijaja in izboljšanje tiskovnosti. Negativna stran dodatka polnil je znižanje mehanskih jakosti papirja predvsem pri višjem dodatku, saj se polnila namestijo na stičišče vlaknin. Povečajo tudi debelino lista.

Da polnila pozitivno vplivajo na izboljšanje optičnih lastnosti papirja, to je beline in opacitete, je razlog v njihovem mnogo večjem koeficientu sisanja v primerjavi z vlakninami.

V naslednji preglednici sta podana koeficient sisanja  $s$  in absorpcija svetlobe  $k$  za vlaknine in polnila.

**Preglednica 2.4:** Koeficienti sisanja in absorpcije svetlobe za celulozo, lesovino in polnila (Novak, 1998)

VLAKNINA / POLNILO	s (m <sup>2</sup> /kg)	k (m <sup>2</sup> /kg)
Beljena celuloza	22–35	0,1–0,2
Lesovina	50–75	0,7–5
Polnila	110–150	0,1–0,5

### 2.1.4 Klejiva

Ker so vlaknine po naravi zelo vpojne, je iz njih izdelan papir brez dodatkov tudi zelo vpojen. Za nekatere papirje (pivnik, filtrski papirji) je vpojnost zaželena, za večino pa ne. Tako je za papir za globoki tisk potrebna določena vpojnost, medtem ko mora biti papir za offsetni tisk (zaradi uporabe vlažilne tekočine) za vodo bolj ali manj nevpojen. Naravno vpojnost vlaknin in papirja znižajo z dodatki klejiva. Že prvi ročno izdelani papirji so bili na površini prevlečeni ali pa impregnirani z živalskim klejem, če so po njih želeli pisati.

Danes papir klejijo v snovi (klejivo dodajajo že v papirovinu med postopkom proizvodnje) in na površini (gotov papir premažejo po površini).

Pri klasičnem kislem postopku proizvodnje papirja uporabljajo kot klejivo največkrat smolno klejivo. To je v natrijevem lugu popolnoma ali delno umiljena kolofonija v obliki mlečno bele emulzije, katere sestavni del je abietinska kislina, ki ji dodajajo aluminijev sulfat, da se lahko veže na vlakna.

Glede na vrsto in količino dodanega klejiva je lahko papir bolj ali manj klejen in govorimo o polnoklejenem, tričetrt klejenem, polklejenem in četrt klejenem papirju. Čim bolj klejen je papir, manjša je njegova vpojnost.

### 2.1.5 Pomožna sredstva

V proizvodnji papirjev se uporablajo še razna pomožna sredstva, ki na tak ali drugačen način vplivajo na lastnosti papirja.

To so:

- aluminijev sulfat (vpliva na klejenje, na boljšo retencijo vlaknin in boljše oblikovanje lista)
- kationski škrob (dodajajo ga za boljše vezanje vlaken med seboj)
- urea in melamin-formaldehidne smole (povečajo jakost papirja)
- modra barvila (prekrijejo naravno rumeno barvo papirja z modrikasto, kar daje opazovalcu občutek bolj bele barve)
- optična belila (absorbirajo nevidno ultravijolično sevanje in ga pretvorijo v vidno svetlobo – tak papir je videti bolj bel)
- voda (primerena je voda enakomerne kakovosti in čim nižje trdote ter brez nečistoč)

Za proizvodnjo 1 kg celuloze je potrebnih kar 200 L vode, za 1 kg papirja pa je potrebno 50–100 L vode. V gotovem papirju ostane okrog 5 % vode. V svetu obstajajo prizadevanja proizvajati papir z manj vode, saj cena sveže vode narašča, stroški čiščenja tehnoloških voda pa prav tako.

## 2.2 POSTOPKI PROIZVODNJE VLAKNIN

### 2.2.1 Skladiščenje in čiščenje lesa

Les prihaja v tovarno kot dolg les premora 10–40 cm, kot okroglice dolžine 2 m, mnogokrat pa tudi kot cepanice ali okroglice dolžine 1 m, lahko v skorji in liki ali pa že v gozdu očiščen kar je danes zelo redko.

Medtem ko v srednjeevropskem prostoru les skladiščimo izključno na suhih lesnih prostorih bodisi v obliku skladovnic ali v novejšem času tudi sekancev, pa v Skandinaviji in Kanadi ter tudi ponekod drugod, zlasti tam kjer prihaja les v tovarno po vodnih poteh, skladiščimo les v vodi.

Osnovno načelo skladiščenja je, da se les pri skladiščenju ne sme kvariti. Skladiščen mora biti tako, da ga ne napadajo razni mikroorganizmi in plesni, ki povzročajo njegovo razgradnjo.

Les moramo pred uporabo očistiti, odstraniti moramo skorjo in liko.

Oskorjevanje poteka v različnih napravah, vendar se danes najbolj uporablja postopek s trenjem, po katerem les dolžine 1 ali 2 m oskorujejo v odskorjevalnih bobnih.

Odskorjena in očiščena debla, razžagana na dolžino 1 m, gredo takoj na brušenje, ali pa jih sekajo v sekance za izdelavo meljavine in celulozne vlaknine. (Iglič, 1988)

### 2.2.2 Lesovina

Med vlaknine visokega dobitka prištevamo vse vrste lesovin od klasične bruševine do različnih meljavin, proizvedenih iz lesa pod tlakom, pri visoki temperaturi ali delno celo s kemijsko obdelavo in kombinacijo različnih obdelav pod tlakom, pri višji temperaturi in s kemikalijami.

Naslednja preglednica prikazuje različne vrste vlaknin visokega dobitka in postopke proizvodnje.

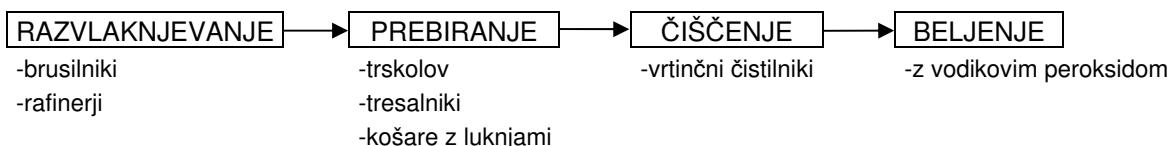
**Preglednica 2.5:** Postopki za proizvodnjo vlaknin visokega dobitka (Novak, 1998)

POSTOPEK Z BRUSNIM KAMNOM		POSTOPEK Z RAFINERJEM	
-pri atmosferskem tlaku:	klasična bruševina (SGW)	-brez predobdelave:	RMP
-pri nadtlaku:	PGW	-termična predobdelava:	TMP
		-kemična predobdelava:	CMP/CTMP

Za lažje razumevanje bomo pojasnili kratice, ki prihajajo iz angleščine:

1. SGW = stone groundwood
2. PGW = pressurised groundwood (tlačna bruševina)
3. TGW = thermo mechanical groundwood (termična bruševina)
4. RMP = refined mechanical pulp (rafinerska mehanična meljavina)
5. TMP = thermo mechanical pulp (termična meljavina)
6. CMP = chemical mechanical pulp (kemijsko mehanska meljavina)
7. CTMP = chemical thermo mechanical pulp (kemijsko termomehanska meljavina)
8. APMP = alkaline peroxide mechanical pulping (alkalni peroksidni meh. postopek)

Glavni postopki pri proizvodnji vlaknin visokega dobitka so prikazani na naslednji shemi:



Slika 2.2: Shematski prikaz postopkov za pridobivanje vlaknin visokega dobitka (Novak, 1998)

Kakovost vlaknin visokega dobitka je močno odvisna od vrste lesa in pogojev brušenja oziroma razvlaknjevanja v rafinerjih.

Zaradi vsebnosti lignina te vrste vlaknin po določenem času porumenijo. Da bi se temu izognili, vlaknine belijo. Danes ne uporabljajo več klora in klorovih spojin za beljenje, temveč predvsem peroksid ali ditionit. Belilne kemikalije ne spremeniijo kemijske sestave vlaknin, temveč oksidirajo ali reducirajo kromofoorne molekulske skupine in zato je njihovo delovanje samo začasno.

Glede na način pridobivanja lesovine ločimo:

- čisto mehanski postopek: bela bruševina, bela meljavina (rafinerska lesovina)
- termo mehanski postopek: rjava bruševina, TMP lesovina
- kemijsko termomehanski postopek: kemična lesovina, CTMP lesovina

#### 2.2.2.1 Klasična lesovina – bela bruševina

To je najstarejša vrsta lesovine, ki jo pridobivajo s klasičnim brušenjem polen. Zato je jasno, da ostanejo v njej vse lesne sestavine. Les se samo mehansko zbrusi na velikost, ki je blizu velikosti celuloznih vlaken. Delčki lesovine so voluminozni in krhki, vendar dajejo papirju visoko opaciteto. Slaba stran lesovine je, da ima rumenkasto barvo, ki na svetlobi zaradi vsebnosti lignina tudi kljub morebitnemu beljenju lesovine še vedno porumeni.

Kljub nekaterim slabim lastnostim pa je cena lesovine za proizvajalce papirja privlačna, saj je izkoristek lesne mase skoraj 100 %.

Odskorjena in očiščena polena brusijo v brusilniku. Od začetka, ko je Nemec Keller leta 1840 izumil prvi brusilnik, do danes se je tehnologija brušenja oziroma priprave mehanske lesovine močno razvila.

V današnjem času se uporablajo brusilniki za prečno brušenje polen, saj se je v preteklosti izkazalo, da drugačen način brušenja (npr. vzdolžno brušenje, brušenje pod kotom) ni bil primeren.

Brusni kamni so bili izdelani iz naravnega kamna, danes pa so iz delcev kremena, korunda ali sintrane keramike.

Klasični postopek pridobivanja bele bruševine poteka tako, da okroglice lesa mehanično ali hidravlično pritiskamo na vrteč se brusni kolut, ki se vrti pravokotno na smer vlaken v lesu. Specifični tlak pri brušenju znaša 80 do 120 kPa.

Brusni kolut (kamen) ima premer 1,5–1,8 m ter širino 1–1,1 m. Uporablja se klasični brusni koluti, ki vsebujejo v brusni plasti kremenčeva zrnca različne granulacije, ki so povezana s cementno vezavo in brusni koluti, ki vsebujejo namesto kremenčevih zrn, zrnca silicijevega karbida (karborunda) ali aluminijevega oksida vezanih s keramičnim vezivom. Število obratov brusnega koluta je konstantno ter znaša obodna hitrost 20–25 m/s, pri keramičnih brusnih kolutih pa tudi do 30 m/s.

Kakovost brusnih kolutov in njihovo uporabnost za izdelavo bruševine različne kakovosti označujejo posamezni proizvajalci s črkami ali rimskimi številkami. (Iglič, 1988)

Naslednja preglednica prikazuje označitve brusnih kolutov podjetja Herkules:

**Preglednica 2.6:** Oznake brusnih kolutov (Iglič, 1988)

OZNAKA	VRSTA BRUŠEVINE
G	Najfinejša lesovina za papir
A <sub>000</sub>	Zelo fina lesovina za papir
A <sub>00</sub>	Fina lesovina za papir
A <sub>0</sub>	Lesovina za papir
A	Srednjefina lesovina za papir in lepenko
A <sub>1</sub>	Groba lesovina za lepenko
A <sub>11</sub>	Zelo groba lesovina za lepenko

Za brušenje uporabljam različne brusne stroje in sicer komorne, verižne, obročne in v zadnjem času brusne stroje, ki brusijo pod parnim tlakom.

Finost lesovinskih vlaken je odvisna od finosti zrn brusilnika. Brušenje je fizikalni proces, pri katerem pride v brusni coni med lesom in površino brusnega kamna do povečanja temperature tudi do 190°C. Primarni proces je mehčanje, prehod v plastično obliko snovi, ki je pretežno sestavljena iz lignina zaradi visoke temperature. Nato pride do dejanskega razvlaknjevanja lesa, kar povzročajo zrnca na površini brusnega kamna.

Z brušenjem dobijo mešanico, ki sestoji iz iveri (ki so nezaželene in jih je treba ponovno zmanjšati) v velikosti 200–4500 µm, fine snovi v velikosti 30–200 µm (to je sluzasta snov, močno nabrekle fibrile) in praškaste snovi v velikosti 20–30 µm. Najboljša so dolga, tanka in mehka vlakna, ki jih dobijo iz svežega lesa in lesa, ki je bil skladiščen v vodi. Večja vsebnost fine snovi do neke mere poveča jakost papirja. Za časopisni papir je primerna lesovina z 52–56 % fine snovi.

Tako proizvedeno lesovino nato vodijo na grobo in fino prebiranje, da izločijo velike nerazvlaknjene dele lesa (trskolov), ostalo suspenzijo vlaken pa vodijo na fino prebiranje na prebiralnikih (centrifugalni, pretočni, tlačni) in vrtinčnih čistilnikih. S kombinacijo teh prebiralnikov so sestavljeni različni prebiralni sistemi, odvisno od vrste lesovine in želenega učinka, rejekt prebiralnikov, ki vsebuje trščice in ne dovolj razvlaknjene delce, naknadno razvlaknijo v rafinerjih in vračajo v ponovno prebiranje.

Končno lesovino odvodnjavajo na posebnem stroju s siti ali polžem tako, da dobijo iz 0,4–0,6 % vodne suspenzije vlažno lesovino s 30–35 % suhe snovi, ki jo lahko navijajo v bale ali celo pnevmatsko transportirajo, če je papirnica v bližini. (Iglič, 1988)

#### 2.2.2.2 Rjava bruševina

Rjavo bruševino dobimo tako, da okroglice lesa pred brušenjem parimo pri višji temperaturi določen čas in nato brusimo na brusilniku. Rjava bruševina ima boljše mehanske lastnosti kot bela bruševina in jo uporabljamo za izdelavo rjave lepenke ali nekaterih ovojnih papirjev. Zaradi termične predobdelave pride do zrahljanja stukture lesa in do delne kondenzacije lignina kar ima za posledico močno porjavitev lesa.

#### 2.2.2.3 TGW – termična bruševina

Termo postopek brušenja je v tem, da vzdržujemo temperaturo v brusni coni pri 95–98 °C s tem, da vzdržujemo v verižnem brusilniku nad brusno cono stolpec vode višine 40–50 cm, v katerem kondenzirajo parni hlapi, ki nastajajo v brusni coni. S tem pride do dviga na potrebno temperaturo in se ohranja vlažnost lesa v brusni coni. Poseben regulator t.i. stabilitetni regulator skrbi za uravnavanje temperature v brusni coni ter preprečuje, da tam ne pride do temperature vrela vode.

Termo bruševina je kakovostnejša od klasične bruševine. Vsebuje večji odstotek dolgih vlaken ter se lahko po svojih lastnostnih celo približa tlačni bruševini oziroma dosega celo njene spodnje vrednosti.

#### 2.2.2.4 PGW – tlačna bruševina

Kakovost bruševine je dobra zlasti zaradi večje vsebnosti dolgih vlaken. Pozitiven učinek povišanega tlaka se odraža na kakovosti bruševine kot posledica višje temperature v brusni coni in višje temperature povratne vode ( $95\text{--}98\ ^\circ\text{C}$ ), zaradi česar pride do zrahljanja strukture lesa in do večjega plastificiranja lignina, kar ima za posledico lažje torej manj nesilno odbrušenje vlaken ob tudi manjši porabi energije. Po brušenju teče bruševina skozi mlin – kladivar, ki drobi večje ostanke lesa, nato v ciklon, kjer se sprosti para in končno na tlačni filter, kjer pride do zgostitve bruševine in ločitve povratne vode.

#### 2.2.2.5 Vpliv dejavnikov na kakovost bruševine

Na kakovost bruševine, količino proizvodnje in porabo električne energije vpliva vrsta dejavnikov.

Glavni so:

- kakovost lesa
- velikost brusne ploskve
- struktura brusne ploskve
- specifični pritisk pri brušenju
- obodna hitrost brusnega koluta
- temperatura v brusni coni in pod brusnim kolutom
- temperatura povratne vode

Med temi posameznimi dejavniki vlada določena odvisnost, in sicer čim bolj groba je brusna ploskev tem večja bo proizvodnja bruševine, tem slabša bo njena kakovost in tem manjša bo specifična poraba električne energije in obratno, čim finejša bo struktura površine brusne ploskve, torej čim manjša bodo zrnca v njej, tem manjša bo proizvodnja, tem boljša bo kakovost bruševine in tem večja bo specifična poraba električne energije. Zrnca v brusni ploskvi se med brušenjem stalno obrabljajo, brusni kolut se tudi zamaže, zato moramo kakovost bruševine in porabo električne energije stalno nadzorovati in v slučaju prevelike specifične porabe in nastajanja prefine lesovine brusno ploskev znova naosrtiti – to je postopek, ki ga imenujemo klepanje. Pritisk pri brušenju moramo prilagoditi vrsti lesa, zahtevani kakovosti bruševine, geometriji zrnca v brusni ploskvi in obodni hitrosti brusnega koluta. V principu velja pravilo, da je za želeno doseganje enake kakovosti bruševine potrebno specifični pritisk brušenja znižati, če je obodna hitrost brusnega koluta večja in obratno zvišati, če je obodna hitrost brusnega koluta manjša.

Temperatura v brusni coni se giblje med  $160$  in  $190\ ^\circ\text{C}$ , temperatura povratne vode pa ima pri klasičnem brušenju okoli  $45\ ^\circ\text{C}$ . Pri postopku brušenja pod tlakom so te temperature mnogo višje.

Brušenje samo delimo v dve fazih: v primarno, v kateri pride do plastificiranja lignina (temperatura v brusni coni je 160–190 °C) in odbrušenja skupkov vlaken ter v sekundarno, v kateri potujejo skupki vlaken in vlakna sama po brusni ploskvi med lesom in površino brusnega koluta. Pri tem prehodu pride do razvlaknjevanja skupkov vlaken in do fibriliranja posameznih vlaken. To fazo imenujemo tudi mletje. Če je površina brusnega koluta bolj fino zrnata ali bolj gladka poteka fibriliranje pred krajšanjem in obratno, če pa je površina brusnega koluta bolj groba, torej grobo zrnata ali na novo naostrena (naklepana) prevladuje krajšanje pred fibriliranjem.

Velikost brusne ploskve ima podoben vpliv. Če je ta velika pride do poudarjenega fibriliranja in do kakovostno dobre lesovine, ki ima boljše mehanske lastnosti in obratno, če je manjša t.i. kratka, dobimo manj fibrilirano bruševino s slabšimi mehanskimi lastnostmi. Glede na pogoje brušenja ima bruševina različno sestavo posameznih frakcij vlaken.

Odvisno od količine posameznih frakcij ima bruševina tudi različne mehanske lastnosti in tudi različen namen uporabe. Medtem, ko mora imeti bruševina, ki jo uporabljamo za izdelavo časopisnega papirja večjo vsebnost dolgih vlaken, ker so ta odgovorna za mehanske lastnosti papirja, pa mora imeti lesovina za srednjefine tiskovne papirje ali pa lesovina za dodatek k brezlesnim papirjem večji odstotek fine snovi. Bruševina za izdelavo kartonov mora biti bolj groba kar podeljuje kartonu želen volumen. (Iglič, 1988)

#### 2.2.2.6 Rafinerska lesovina – meljavina

Pri tem načinu pridobivanja lesovine lesni sekanec razvlaknimo eno ali dvostopenjsko v rafinerjih (diskastih mlinih), ki sestoji iz rotorja in statorja, oba opremljena s koncentrično razporejenimi mlelnimi noži. Polžni podajalnik potiska lesni sekanec skozi rotor med mlelne nože, pri čemer pride ob dodajanju vode do razvlaknjevanja. Tako pridobljeno lesovino uporabljamo prvenstveno za izdelavo časopisnega papirja in za ilustracijske papirje.

Določena slabost tovrstne lesovine je v tem, da daje papirje z večjo poroznostjo in volumnostjo, ki imajo slabo gladkost ter se nagibajo k prašenju.

#### 2.2.2.7 TMP – termomehanska meljavina

Pri tem postopku uporabljamjo kot izhodno surovino lesni sekanec (na majhne koščke zrezan les). Lesni sekanec segrejejo za kratek čas (1–3 min) na temperaturo 115–120 °C pri tlaku 200–250 kPa in nato razvlaknijo v diskastem rafinerju (eno ali dvostopenjsko). Rafiner je naprava, ki ima vgrajena dva diska, od katerih je eden statično vgrajen, drugi pa rotira vzporedno z njim. Delci lesa se med obema ploščama razvlaknijo.

Namen obdelave s paro je v tem, da se lignin deloma plastificira ter se pridobi tako večja količina dolgih vlaken in manj trsk. Taka lesovina ima boljše mehanske lastnosti kot bruševina.

Razvlaknjevanje v diskastem rafinerju poteka pod tlakom. Sejanje, čiščenje in beljenje poteka kot pri bruševini. Ker lignin v lesu s segrevanjem zmehčajo, so najprej mislili, da bo poraba energije manjša kot pri klasični bruševini. Vendar danes vedo, da je ta postopek energetsko zelo zahteven.

#### 2.2.2.8 CTMP – kemijska termomehanska meljavina

Pri tem postopku dodajo kemikalije lesnim sekancem pred ali med obdelavo s paro pri temperaturi nad 100 °C. Nato sledi prva stopnja rafiniranja pri temperaturi nad 100 °C in druga stopnja rafiniranja pod atmosferskimi pogoji.

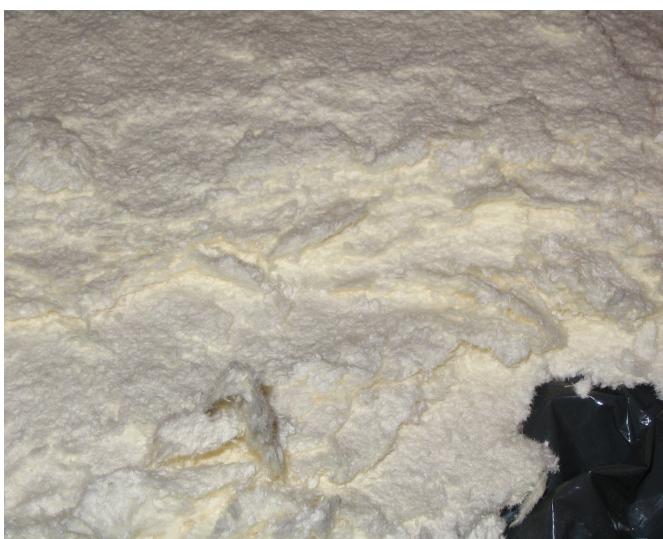
Tako pripravljena lesovina je dolgovlknata, ima visoko jakost in jo je mogoče uporabiti za proizvodnjo časopisnega papirja na papirnih strojih visokih hitrostih. Prednost tega postopka je, da lahko na ta način predelujejo les listavcev, ki imajo krajša vlakna in tudi sicer slabše mehanske jakosti.

Izkoristek lesne mase je 80–90 %. Dodatek te vrste vlaknin v papirju povečuje jakost papirja v mokrem, zmanjšuje dvostranost papirjev, izboljšuje učinek glajenja in tiskovnost.

### 3 EKSPERIMENTALNI DEL

#### 3.1 MATERIALI

Za preizkušanje lastnosti vlaknine smo uporabili beljeno kemijsko termomehansko meljavino (CTMP) iz lesa iglavcev.



**Slika 3.1:** Kemijska termomehanska meljavina - CTMP (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

#### 3.2 METODE DELA

##### 3.2.1 Testiranje vlaknin

###### 3.2.1.1 Določanje suhe snovi

Pri določanju suhe snovi vzamemo poljubno maso lesovine, v našem primeru 33,71 g zračno suhe snovi, jo razredčimo z vodo, vse skupaj zmešamo, nato prefiltriramo in ostanek vlaknaste suspenzije porabimo za izdelavo vzorčnega lista. List nato damo sušit do absolutno suhe mase. Sušimo ga pri temperaturi 105 °C.

Absolutno suh list ima maso 31,48 g, iz tega sledi izračun:

$$\frac{31,48}{33,71} = 0,9338 \times 100\% = 93,38\%$$

Delež suhe snovi v kemijsko termomehanski meljavini (CTMP) je 93,38 %.

Določanje suhe snovi se opravlja po standardni metodi SIST EN 20638.

### 3.2.1.2 Laboratorijsko mletje vlaknine

Mletje je mehanska obdelava celuloznih, mehanskih vlaken z namenom izboljšanja procesnih lastnosti in fizikalno mehanskih lastnosti končnega papirja ali kartona.

Lesovinska vlakna smo še dodatno mleli pri dveh različnih vnosih energije (povečanje intenzivnosti mletja in vnosa energije za pripravo vlaknine) ter lastnosti dodatno mlete vlaknine primerjali z lastnostmi vlaknine, ki je bila mleta na industrijskih mlinih (rafiner).

Vlakna so bila dodatno mleta v laboratorijskem mlinu in sicer z dvema različnima vnosoma energije:

- 1500 obr/min
- 3000 obr/min

Za mletje smo uporabili laboratorijski mlin PFI:



**Slika 3.2:** Laboratorijski mlin PFI (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Mletje vršimo tako, da nastavimo rotor točno na 1500 obr/min oziroma 3000 obr/min in nato odvzamemo vlaknino iz aparata mlelne posode v določenih časovnih presledkih po 10 minut.

Zmleto vlaknino iz vsake mlelne posode prenesemo v egalizirno mešalko in razredčimo z vodo do koncentracije 2,4 g/L. Tako pripravljena vlakninska suspenzija nam služi nato za določitev stopnje mletja in za izdelavo listov.

Laboratorijsko mletje vlaknine se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 5264/2.

### 3.2.1.3 Stopnja mletja

V Evropi uporabljamo za določitev stopnje mletja skoraj izključno Schopper-Riegler aparat, v Ameriki in Kanadi pa Freeness aparat. Oba aparata nam dajeta vpogled v to, kako hitro zmleta vlaknina oddaja vodo do določene stopnje mletja.



**Slika 3.3:** Merilnik stopnje mletja Schopper-Riegler (Schopper-Riegler, 2007)

Stopnjo mletja smo določali s pomočjo Schopper-Riegler aparata:

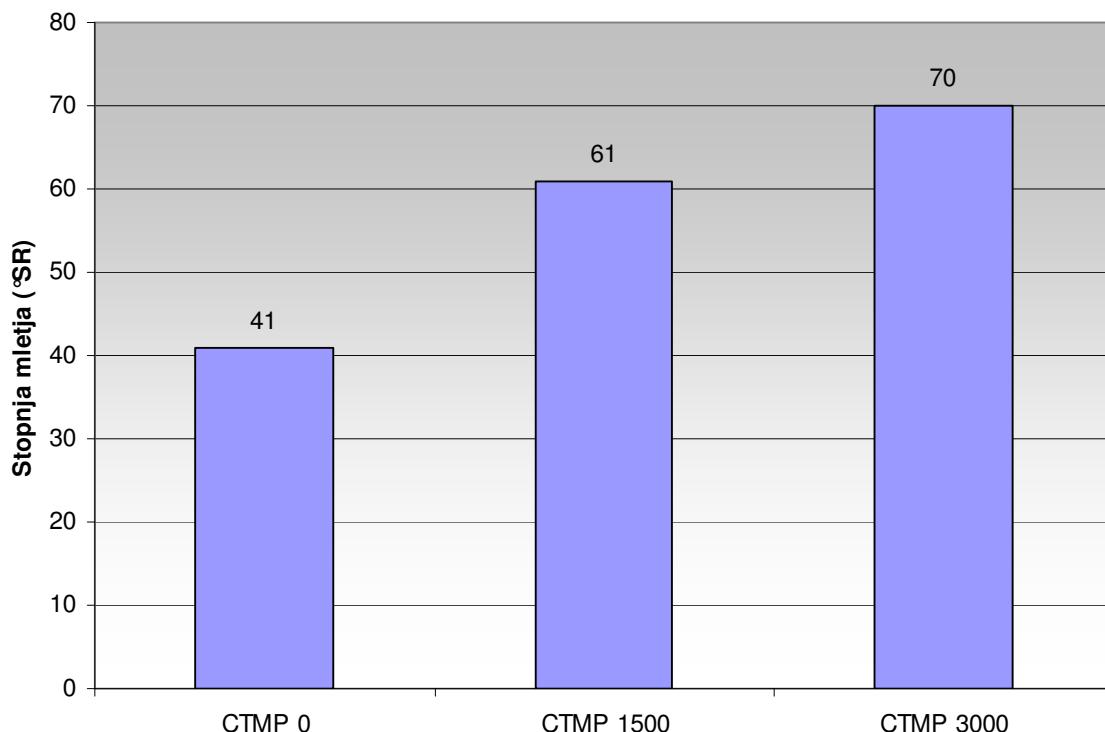
Od pripravljene vlakninske suspenzije koncentracije 2,4 g/L odvzamemo za določitev stopnje mletja 835 mL, razredčimo z vodo na 1000 mL, tako da dobimo vlakninsko suspenzijo koncentracije 2,0 g/L. Cilindrično posodo SR aparata zatesnimo s tesnilnim batom, vlijemo v njo 1000 mL vlakninske suspenzije, počakamo 5–6 sekund, nato sprostimo zatič tako, da se tesnilni bat dvigne. Na situ nastane vlakninska plast. Voda odteka skozi sito v spodnji konični del aparata s hitrostjo, ki je odvisna od stopnje mletja vlaknine. Ker ima normirani iztok določeno propustnost, prepušča samo določeno količino skozi sito in plast vlaknine pritekajoče vode v spodaj stoječo stekleno posodo, višek vode pa odteka skozi stranski odtok v merilni cilinder. Če je ta odtok velik, to se pravi, da plast vlaknine hitro oddaja vodo tedaj je njena stopnja mletja nizka in obratno, če je ta dotok majhen, pomeni, da plast vlaknine počasi oddaja vodo in je stopnja mletja visoka.

Po končani meritvi snamemo nastalo plast vlaknine s sita s pomočjo stehtanega sušilnično suhega filter papirja, damo v sušilnik s temperaturo 105 °C, posušimo do konstantne teže ter stehtamo. Če teža vlakninske plasti odstopa od 2 g, tedaj s pomočjo korigirne krivulje korigiramo odčitano stopnjo mletja na tisto, ki bi jo imela vlakninska plast, če bi bila njena teža točno 2 g. Rezultat podamo v °SR.

**Preglednica 3.1:** Stopnja mletja

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
Stopnja mletja ( $^{\circ}$ SR)	41	61	70

Iz preglednice grafično ponazorimo stopnjo mletja za kemijsko termomehansko meljavino.

**Slika 3.4:** Stopnja mletja

Določanje stopnje mletja se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 5267/1.

### 3.2.1.4 Porazdelitev dolžine vlaken

Porazdelitev dolžine vlaken smo določali na aparatu imenovanem Kajaani FS-200. Postopek merjenja dolžine vlaken je laserski (optični).



**Slika 3.5:** Merilnik porazdelitve dolžine vlaken Kajaani FS-200 (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Princip meritve temelji na štetju posameznih delcev v vlakninski suspenziji, ki prehaja skozi kapilaro ter določitvi dolžine oziroma velikosti teh delcev, ki pri prehodu skozi kapilaro prekinjajo laserski žarek. Določili smo povprečno dolžino vlaken (statistično izračunana povprečna dolžina) AAV, ki v končni vrednosti upošteva vse delce, tudi fino frakcijo (pri merjenju povprečne dolžine vlaken v papirovini se v končni vrednosti upoštevajo tudi delci polnila, zato je povprečna dolžina vlaken nižja) in LWAV, ki v končni vrednosti upošteva samo vlakna.

Naslednja preglednica prikazuje povprečno dolžino vlaken AAV in LWAV, ter količino vlaken, ki so krajsa od 0,2 mm (fina snov).

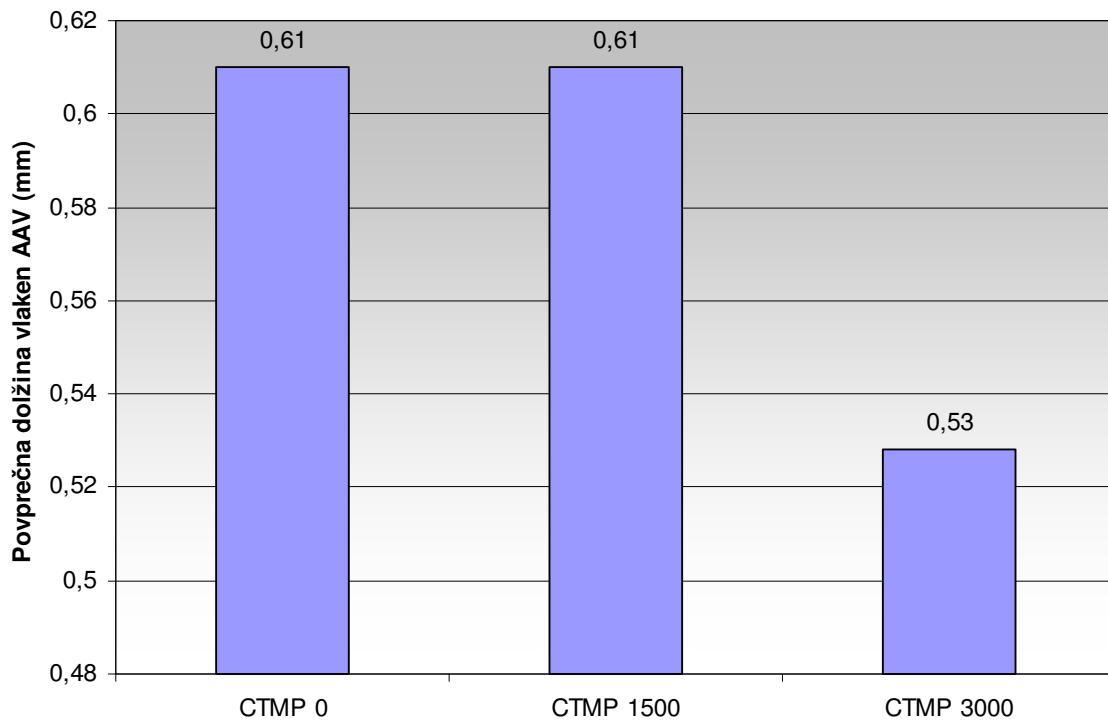
**Preglednica 3.2:** Povprečna dolžina vlaken in količina vlaken, ki so krajsa od 0,2 mm

	<b>CTMP 0</b>	<b>CTMP 1500</b>	<b>CTMP 3000</b>
AAV (mm)	0,61	0,61	0,53
LWAV (mm)	1,44	1,29	1,12
Količina vlaken < 0,2 mm (%)	28,77	29,33	33,26

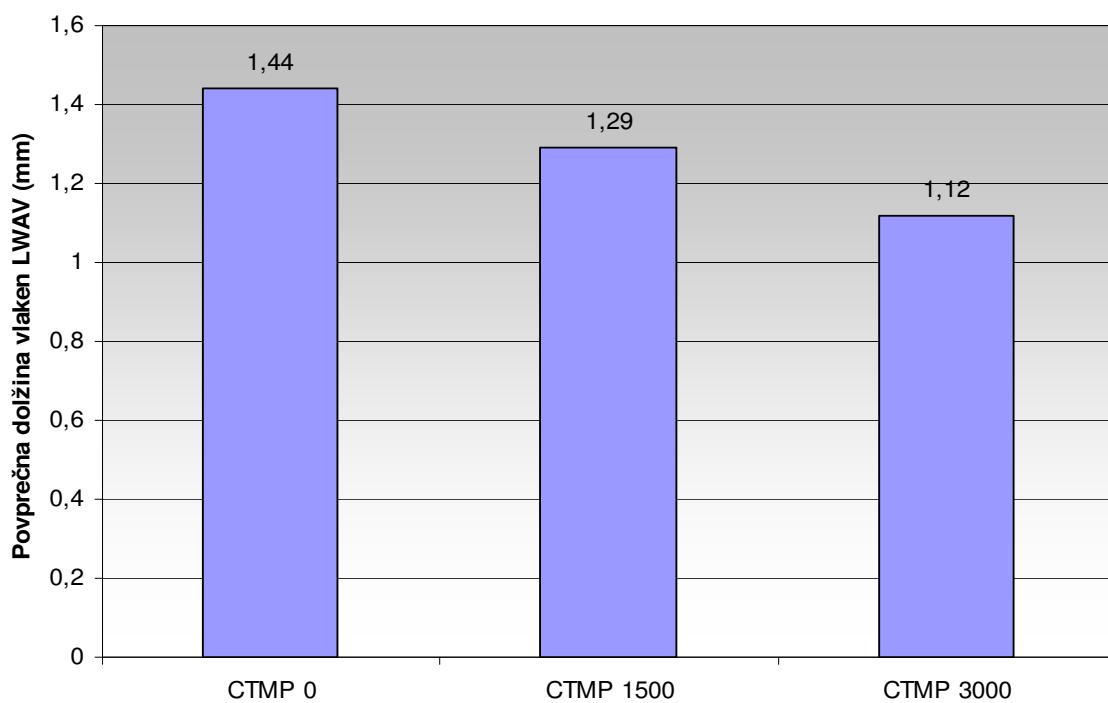
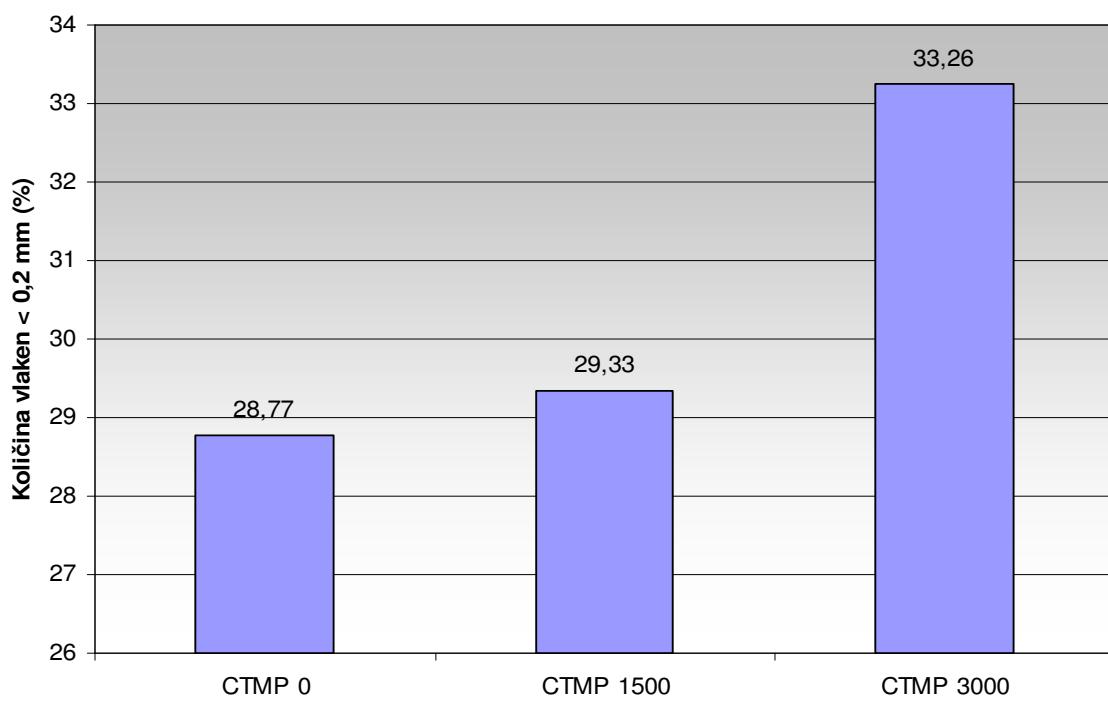
AAV – ARITHMETIC AVERAGE

LWAV – LENGTH WEIGHTED AVERAGE

Iz preglednice grafično ponazorimo povprečno dolžino vlaken AAV in LWAV, ter količino vlaken krajših od 0,2 mm za kemijsko termomehansko meljavino.



**Slika 3.6:** Povprečna dolžina vlaken AAV

**Slika 3.7:** Povprečna dolžina vlaken LWAV**Slika 3.8:** Količina vlaken < 0,2 mm

### 3.2.2 Izdelava listov

Suspenzijo, ki je ostala po določitvi stopnje mletja, smo porabili za izdelavo vzorčnih listov na laboratorijskem oblikovalniku Rapid-Koethen.



**Slika 3.9:** Laboratorijski oblikovalnik listov Rapid-Koethen (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Za vsak list odvzamemo iz egaliziranega mešalnika po 1,96 g vlakninske suspenzije, tako da znaša gramatura izdelanih listov približno  $65 \text{ g/m}^2$ . Površina obrezanih vzorčnih listov je  $317 \text{ cm}^2$ .

Tako izdelane liste nato stisnemo v hidravlični stiskalnici pri tlaku 500 kPa. Čas stiskanja je 5 minut.



**Slika 3.10:** Hidravlična stiskalnica (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Po končanem stiskanju jih posušimo na sušilnem valju pri temperaturi 65° C.



Slika 3.11: Sušilni valj (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Za vsako določitev izdelamo po 5 vzorčnih listov. Pred določitvijo fizikalno mehanskih lastnosti moramo vzorčne liste kondicionirati v prostoru, v katerem je relativna zračna vlažnost 50 % in temperatura 23° C. Čas kondicioniranja je najmanj 24 ur.

Izdelava vzorčnih listov se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 5269/2.

### 3.2.3 Fizikalno mehanske lastnosti listov

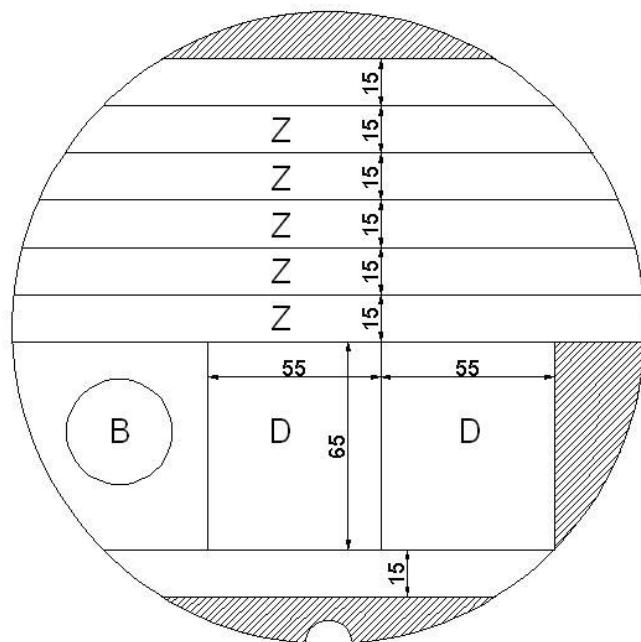
Vse fizikalno mehanske lastnosti lista ocenjujemo na podlagi hitrosti mletja vlaknine. Tako bomo primerjali lastnosti listov, katerih vlakna so bila mleta s hitrostjo 1500 obr/min, 3000 obr/min ter liste, katerih vlakna niso bila dodatno mleta. Za preizkušanje mehanskih lastnosti uporabimo po pet izdelanih listov vsake hitrosti mletja in nato izračunamo povprečje.

Vse določitve fizikalno mehanskih lastnosti izvršujemo v klimatiziranem prostoru pri relativni zračni vlažnosti 50 % in temperaturi 23 °C.

Določali smo naslednje lastnosti laboratorijsko izdelanih listov:

- Belina
- Debelina
- Masa
- Gramatura
- Prostorninska masa
- Utržna sila
- Raztržna odpornost
- Razpočna odpornost

Za določitev fizikalno mehanskih lastnosti papirja vzorčne liste obrežemo na premer 201 mm oz. 317 cm<sup>2</sup> ter nato razrežemo kot kaže spodnja slika.



Slika 3.12: Razrez vzorčnega lista (Iglič, 1988)

B...razpočna odpornost

D...raztržna odpornost

Z...utržna jakost

### 3.2.3.1 Belina lista

Belino lista merimo z optičnim spektrofotometrom (Elrepho-Datacolor 450x) in jo izražamo v odstotkih. Spodnja slika prikazuje aparaturo za merjenje beline.



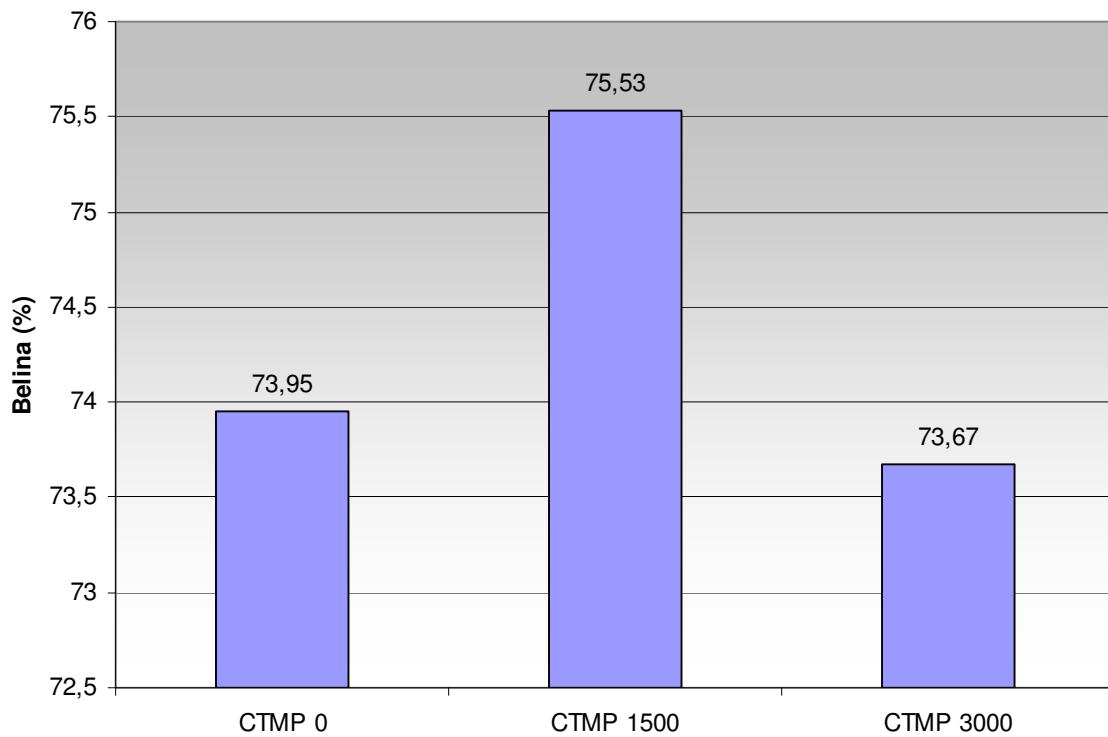
**Slika 3.13:** Optični spektrofotometer Elrepho-Datacolor 450x (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Meritve izvedemo na vseh petih listih ter izračunamo srednjo vrednost. Rezultat podamo v odvisnosti od hitrosti mletja vlaknine. Rezultati so podani v tabeli.

**Preglednica 3.3:** Belina lista

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
Belina ISO (%)	73,95	75,53	73,67

Iz preglednice grafično ponazorimo belino lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.

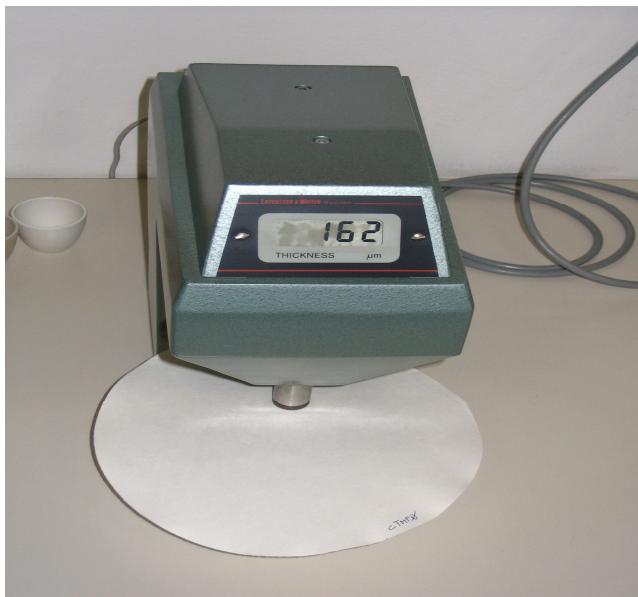


**Slika 3.14:** Belina lista

Določanje beline laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST ISO 2470.

### 3.2.3.2 Debelina lista

Debelino lista določimo z mikrometrom kot prikazuje spodnja slika.



**Slika 3.15:** Mikrometer L&W (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

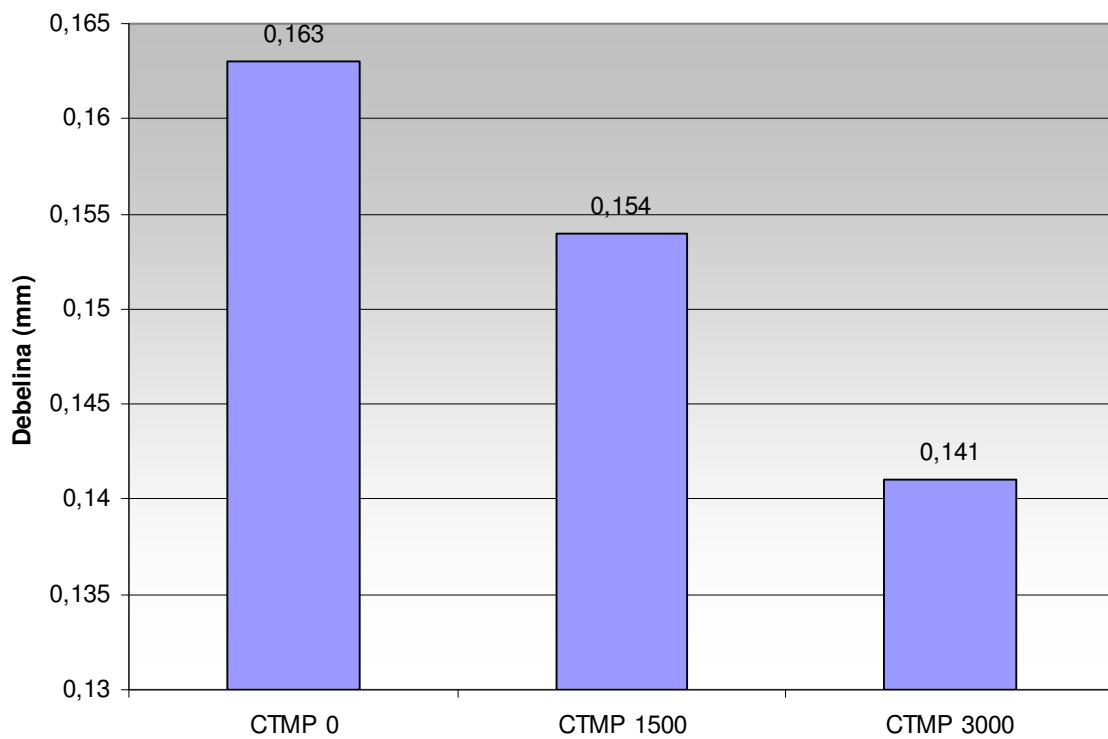
Površina meritne ploskve znaša  $2 \text{ cm}^2$  in pritisk znaša  $1 \text{ N/cm}^2$ . Debelino izmerimo na vsakem listu posebej in podamo kot srednjo vrednost v mm.

Pri zelo tankih papirjih izmerimo debelino petih listov skupaj in dobljeno vrednost v mm preračunamo na en list.

**Preglednica 3.4:** Debelina lista

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
Debelina (mm)	0,162	0,154	0,139
	0,164	0,156	0,141
	0,160	0,150	0,133
	0,168	0,155	0,145
	0,162	0,156	0,139
Srednja vrednost	<b>0,163</b>	<b>0,154</b>	<b>0,141</b>

Iz preglednice grafično ponazorimo debelino lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.



**Slika 3.16:** Debelina lista

Določanje debeline laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 534.

### 3.2.3.3 Masa lista

Maso listov določimo tako, da vsak list posebej stehtamo na štiri decimalke natančno in nato določimo srednjo vrednost izraženo v gramih. Liste stehtamo na precizni tehnicni imenovani Sauter kot kaže slika.

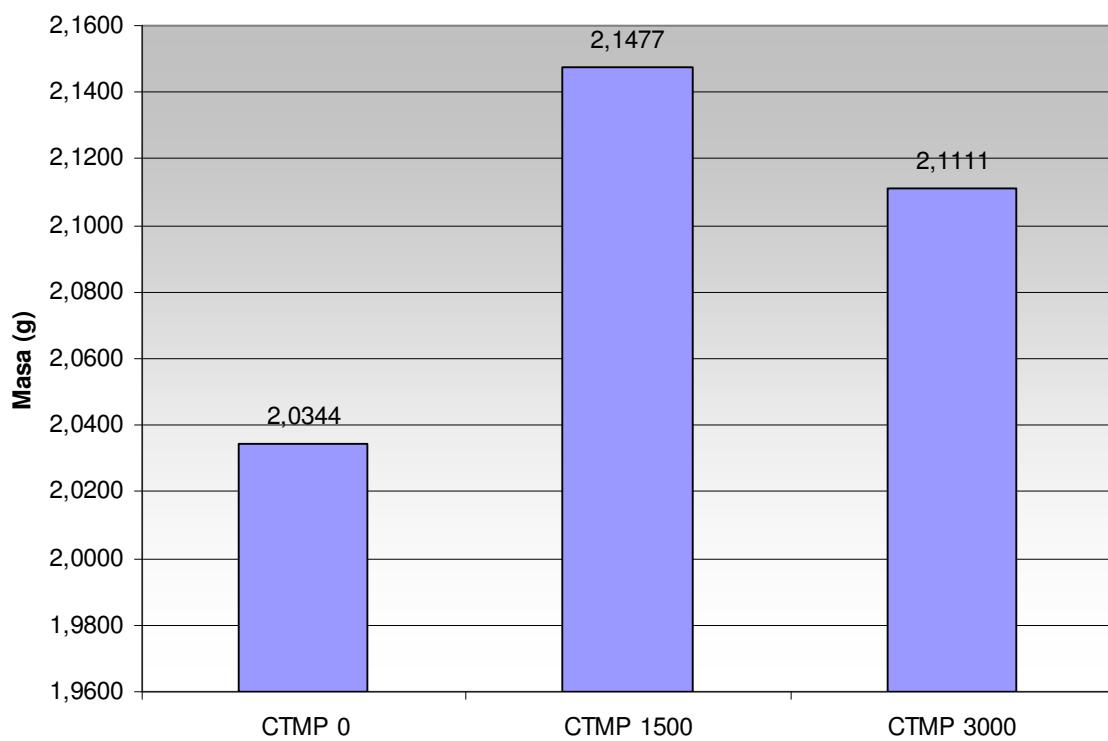


**Slika 3.17:** Tehnica Sauter (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

### Preglednica 3.5: Masa lista

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
Masa (g)	2,0392	2,1290	2,0891
	2,0350	2,1514	2,1477
	2,0207	2,1707	2,1028
	2,0340	2,1249	2,1097
	2,0433	2,1624	2,1063
Srednja vrednost	<b>2,0344</b>	<b>2,1477</b>	<b>2,1111</b>

Iz preglednice grafično ponazorimo maso lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.



**Slika 3.18:** Masa lista

### 3.2.3.4 Gramatura lista

Pod gramaturo razumemo težo 1 m<sup>2</sup> lista papirja izraženo v gramih. Določimo jo tako, da stehtamo poznano površino papirnega lista na 0,1 g natančno ter preračunamo dobljeno težo na površino 1 m<sup>2</sup>. Površina lista znaša 0,03 m<sup>2</sup>. Gramaturo izračunamo za vsak list posebej ter določimo srednjo vrednost.

$$G = \frac{m}{A} \text{ [g/m}^2\text{]}$$

G...gramatura (g/m<sup>2</sup>)

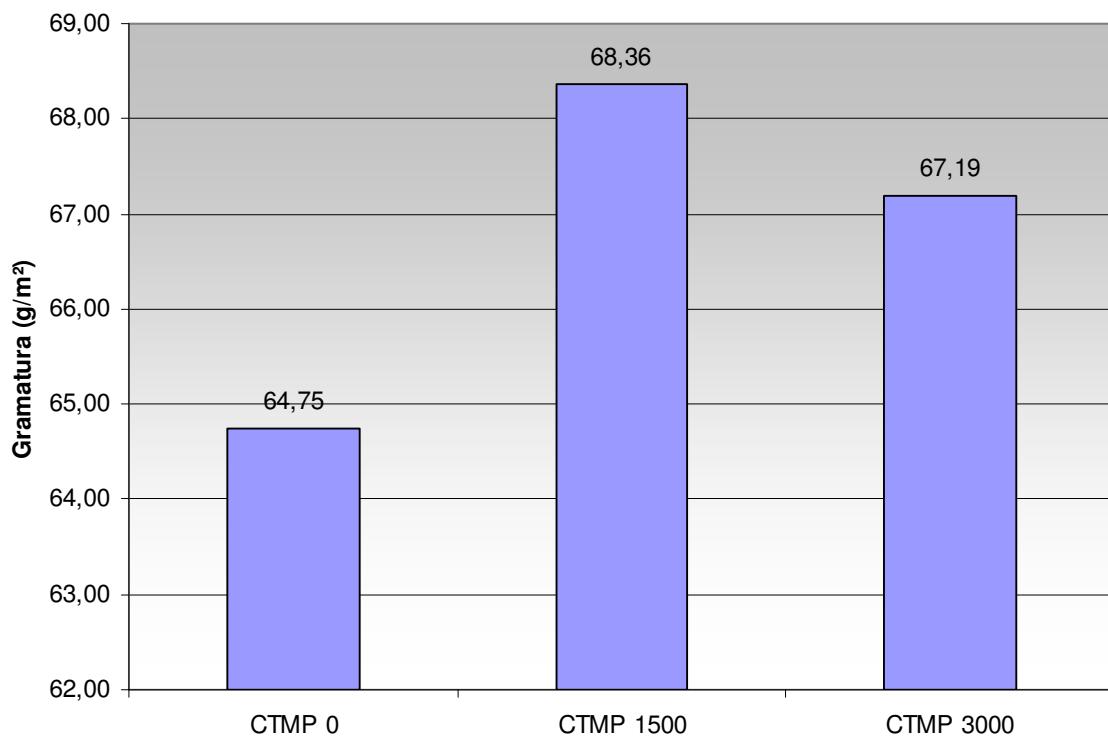
A...površina lista (m<sup>2</sup>)

m...masa lista (g)

**Preglednica 3.6:** Gramatura lista

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	64,90	67,76	66,49
	64,77	68,48	68,36
	64,32	69,09	66,93
	64,74	67,63	67,15
	65,04	68,83	67,04
Srednja vrednost	<b>64,75</b>	<b>68,36</b>	<b>67,19</b>

Iz preglednice grafično ponazorimo gramaturo lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.



**Slika 3.19:** Gramatura lista

Določanje gramature laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 536.

### 3.2.3.5 Prostorninska masa lista

Prostorninska masa lista oziroma gostota lista je razmerje med gramaturo lista ter njegovo debelino. Prostorninsko maso določimo za vsak list posebej ter izračunamo srednjo vrednost.

$$\rho = \frac{G \times 10^{-3}}{d \times 10^{-3}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$\rho$ ....prostorninska masa ( $\text{kg/m}^3$ )

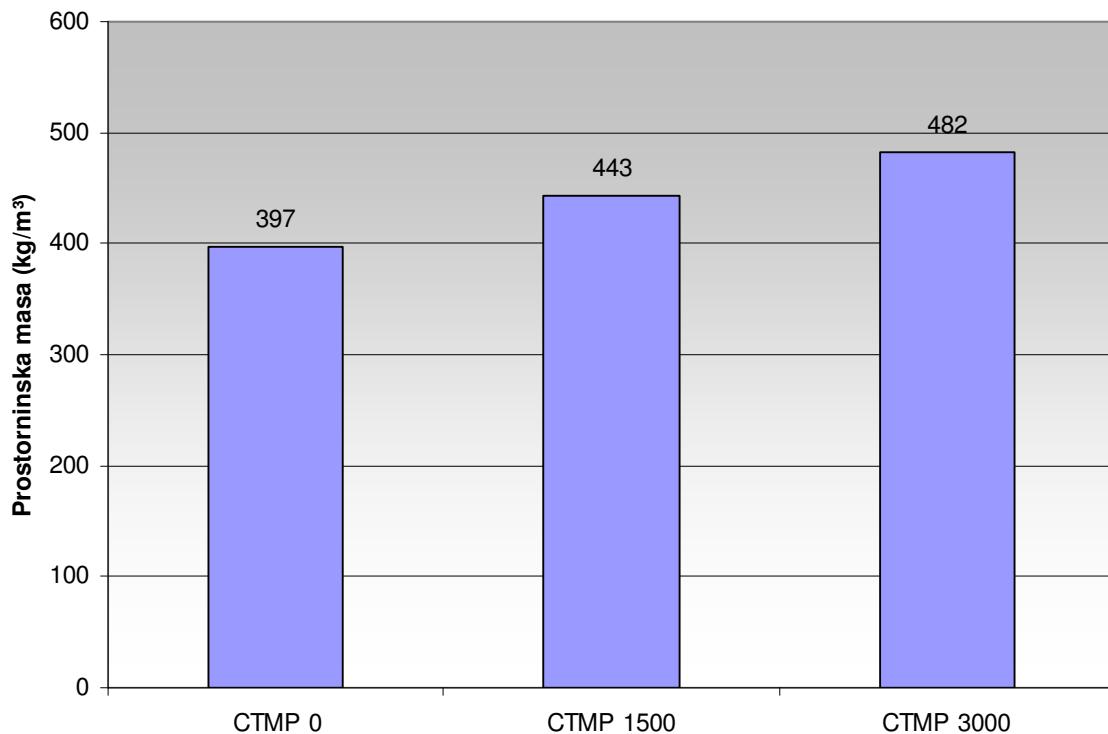
G...gramatura ( $\text{g/m}^2$ )

d....debelina lista (mm)

**Preglednica 3.7:** Prostorninska masa lista

	<b>CTMP 0</b>	<b>CTMP 1500</b>	<b>CTMP 3000</b>
Prostorninska masa ( $\text{kg/m}^3$ )	401	440	478
	395	439	485
	402	461	503
	385	436	463
	401	441	482
Srednja vrednost	<b>397</b>	<b>443</b>	<b>482</b>

Iz preglednice grafično ponazorimo prostorninsko maso lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.



**Slika 3.20:** Prostorninska masa lista

Določanje prostorninske mase laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 534.

### 3.2.3.6 Utržna sila, utržna dolžina, utrg indeks in raztezek lista

Pod utržno silo razumemo tisto silo v N, ki je potrebna, da se trak papirnega lista širine 15 mm in dolžine 180 mm pretrga. Določitev izvedemo z dinamometrom, v katerega vpnemo med sponki trak zgoraj navedenih dimenzijs. Trak nato obremenjujemo toliko časa dokler se ne pretrga in zabeležimo silo (N), pri kateri se je papirni trak odtrgal. Na dinamometru odčitamo tudi raztezek papirnega traku. Hitrost obremenitve znaša  $20 \pm 5$  sekund. Ta čas mora preteči od začetka obremenjevanja do pretrga. Izvedemo deset meritev za vsako določitev ter izračunamo srednjo vrednost.

Naslednja slika prikazuje dinamometer Alwethron TH-1.



**Slika 3.21:** Dinamometer Alwethron TH-1 (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Iz dobljene utržne sile in teže papirnega traku med sponkama izračunamo utržno dolžino. Utržna dolžina pomeni tista dolžina 15 mm traku, ki bi se zaradi svoje lastne teže, če bi bil enostransko vpet, odtrgal.

$$U = \frac{F \times l \times 10^{-3}}{m \times 10^{-3} \times 9,81} \text{ [m]}$$

U...utržna dolžina (m)

F... utržna sila (N)

l.....dolžina papirnega traku med sponkama (mm)

m...povprečna teža enega papirnega traku med sponkama (g)

Indeks utrga izračunamo po naslednji enačbi:

$$X = \frac{F}{G} \text{ [Nm}^2/\text{g]}$$

X...utrg indeks ( $\text{Nm}^2/\text{g}$ )

F....utržna sila (N)

G...gramatura ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

Raztezek je razmerje med povečanjem prvotne dolžine vzorca in prvotno dolžino vzorca ter ga izračunamo po naslednji enačbi:

$$R = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \text{ [%]}$$

R.....raztezek (%)

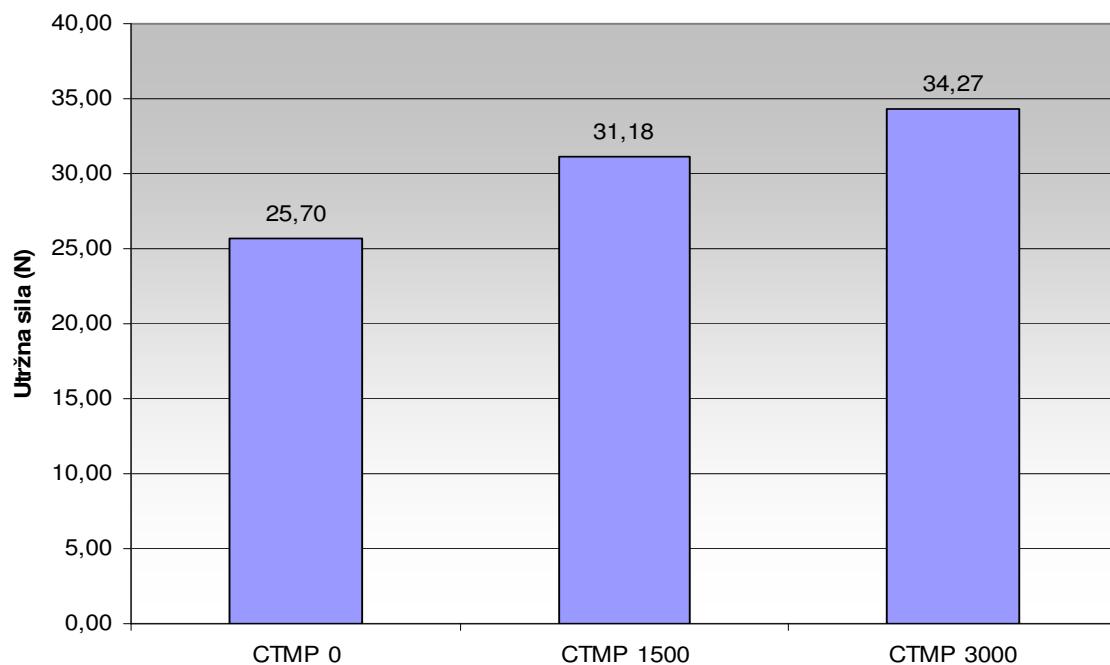
$\Delta L$ ...povečana prvotna dolžina (mm)

$L_0$ ...prvotna dolžina (mm)

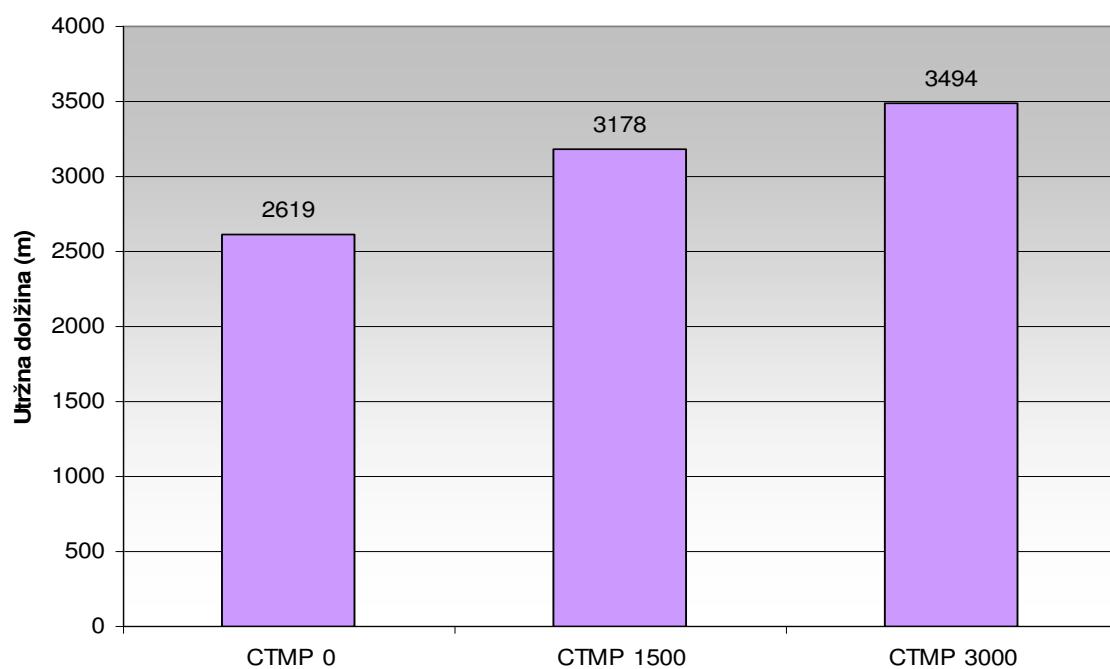
**Preglednica 3.8:** Utržna sila, utržna dolžina, utrg indeks, raztezek

	<b>CTMP 0</b>	<b>CTMP 1500</b>	<b>CTMP 3000</b>
Utržna sila (N)	25,70	31,18	34,27
Utržna dolžina (m)	2619	3178	3494
Utrg indeks ( $\text{Nm}^2/\text{g}$ )	0,39	0,45	0,51
Raztezek (%)	1,94	1,76	1,92

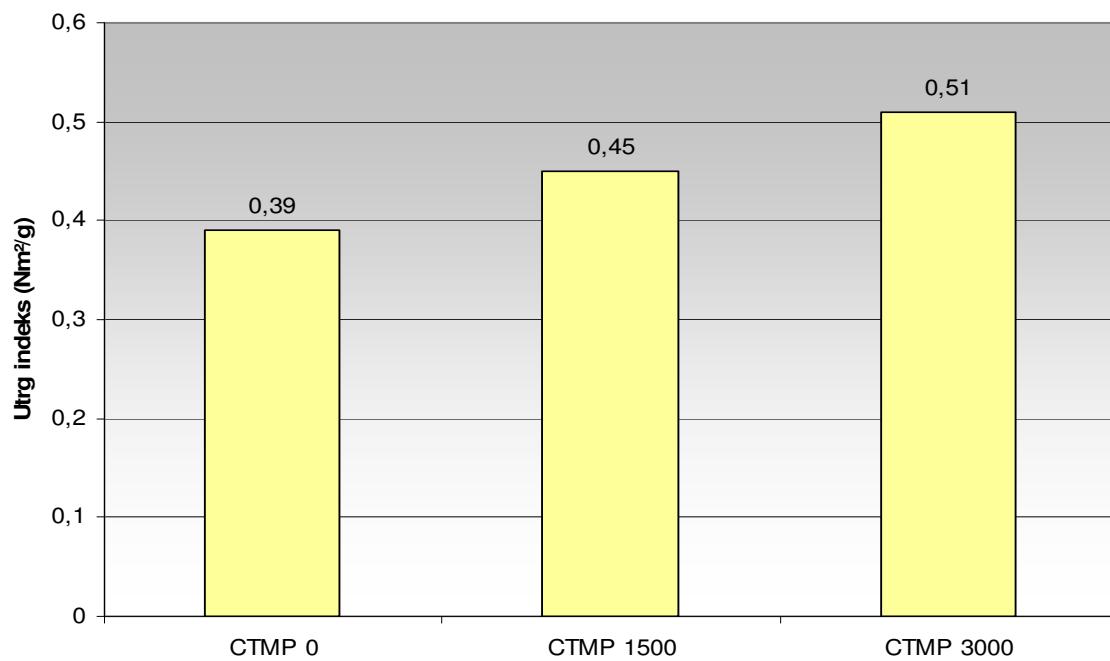
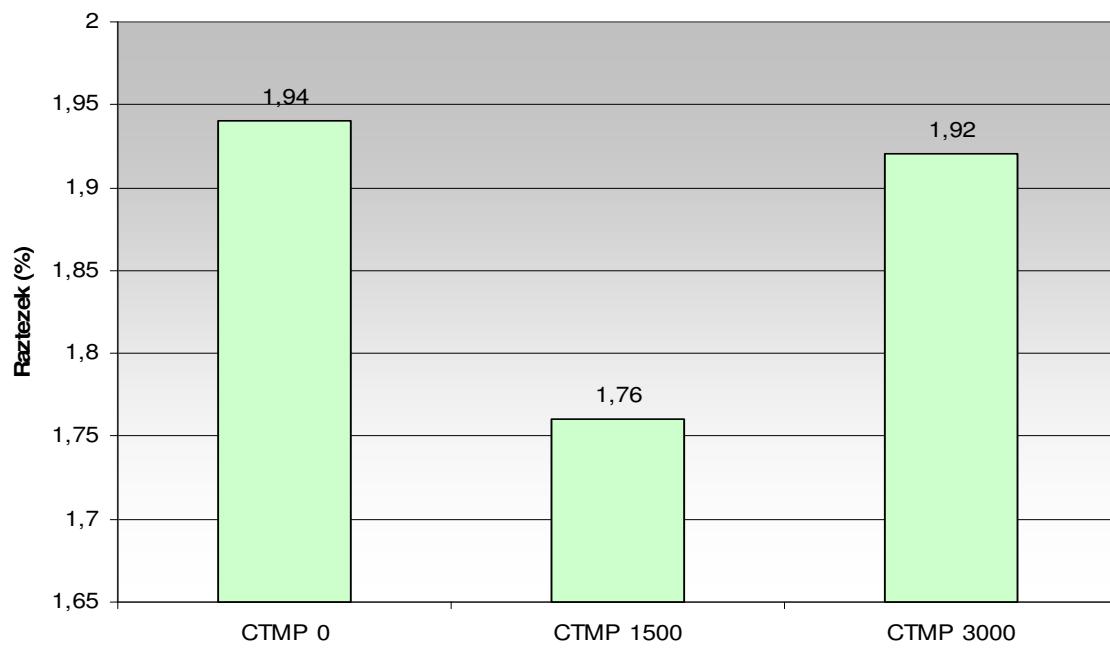
Iz preglednice grafično ponazorimo utržno silo, utržno dolžino, utržni indeks in raztezek lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.



**Slika 3.22:** Utržna sila lista



**Slika 3.23:** Utržna dolžina lista

**Slika 3.24:** Utrg indeks**Slika 3.25:** Raztezek lista

Določanje utržne sile in utržne dolžine laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 1924.

### 3.2.3.7 Raztržna odpornost lista, raztrg indeks

Pod raztržno odpornostjo razumemo tisto silo (mN), ki je potrebna, da se določeno število papirnih listov vpetih med sponke aparata in zatrganih, nadalje trga. Velikost listov mora biti 65 mm × 55 mm. V aparatu vstavimo istočasno po štiri lističe. Meritev izvedemo z Elmendorf aparatom, ki je prikazan na spodnji sliki.



**Slika 3.26:** Merilnik raztržne odpornosti Elmendorf (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Raztržno odpornost izračunamo po sledeči formuli:

$$E = \frac{p \times f}{n} \text{ [mN]}$$

E...raztržna odpornost (mN)

p...odčitek na aparatu (mN)

f....faktor merilne skale

n...število lističev

Opravimo pet meritev ter določimo srednjo vrednost. Nato izračunamo indeks raztrga.

$$X = \frac{E}{G} \text{ [mNm}^2/\text{g]}$$

X...raztrg indeks (mNm<sup>2</sup>/g)

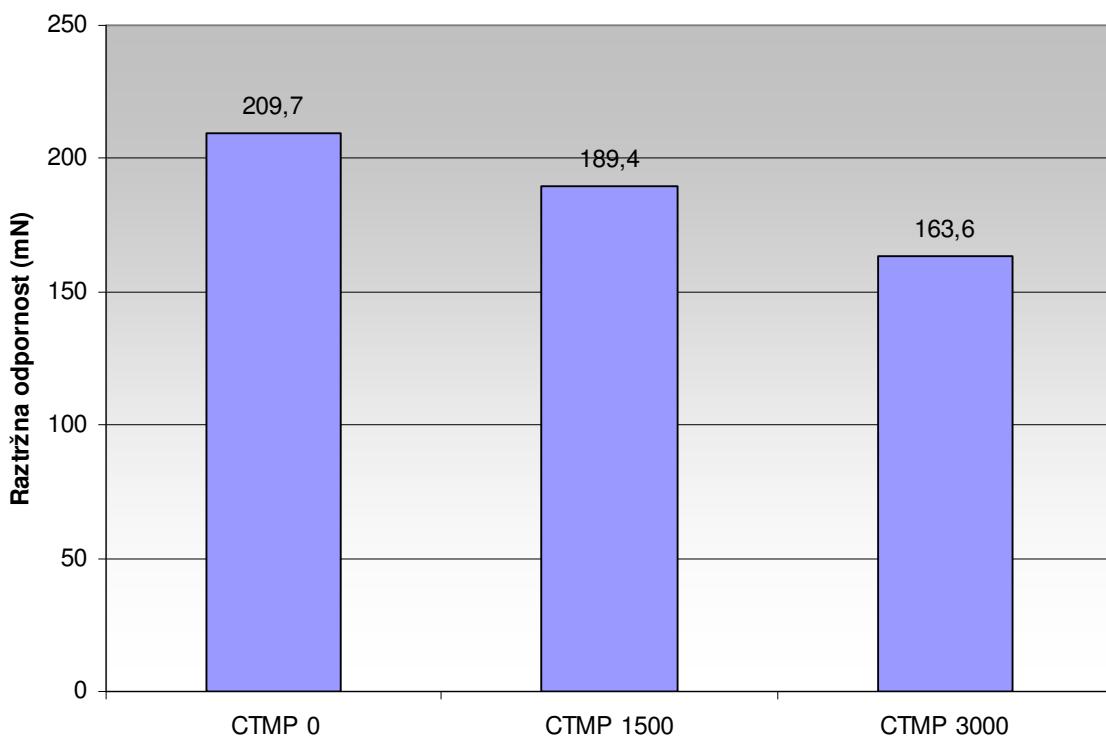
E...raztržna odpornost (mN)

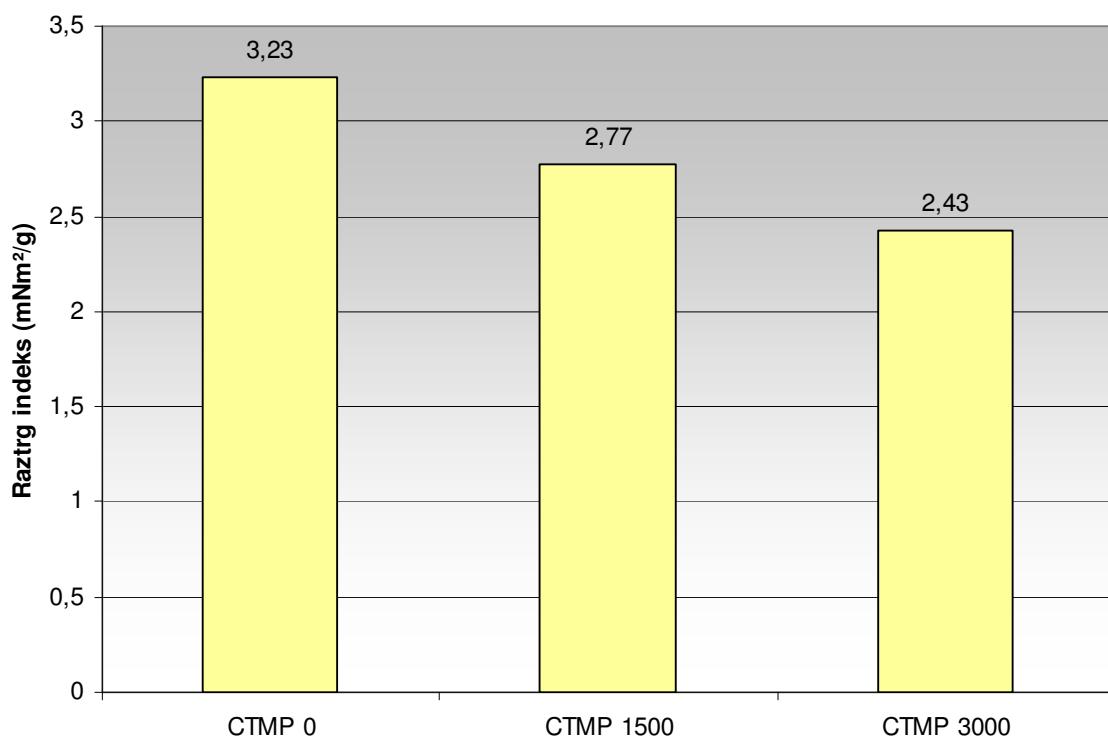
G...gramatura (g/m<sup>2</sup>)

**Preglednica 3.9:** Raztržna odpornost, raztrg indeks

	<b>CTMP 0</b>	<b>CTMP 1500</b>	<b>CTMP 3000</b>
Raztržna odpornost (mN)	205,7	205,1	160,0
	205,4	190,2	165,7
	200,6	185,6	165,6
	220,9	175,4	165,8
	215,7	190,8	160,8
Srednja vrednost	<b>209,7</b>	<b>189,4</b>	<b>163,6</b>
Raztrg indeks (mNm <sup>2</sup> /g)	<b>3,23</b>	<b>2,77</b>	<b>2,43</b>

Iz preglednice grafično ponazorimo raztržno odpornost in indeks raztrga lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.

**Slika 3.27:** Raztržna odpornost lista



**Slika 3.28:** Raztrg indeks

Določanje raztržne odpornosti laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST ISO 1974.

### 3.2.3.8 Razpočna odpornost lista, razpok indeks

Razpočna odpornost nam pove tlak (kPa), ki je potreben, da se vzorec papirja, ki je vpet v aparatu za določitev razpočne odpornosti raztrga (poči). Velikost ploskve na katero deluje tlak je  $10 \text{ cm}^2$ . Razpočno odpornost odčitamo na merilni skali. Aparat za določanje razpočne odpornosti se imenuje Mullen in je prikazan na spodnji sliki.



**Slika 3.29:** Merilnik razpočne odpornosti Mullen (laboratorij za testiranje vlaknin in papirja, Inštitut za celulozo in papir)

Opravimo pet meritev ter izračunamo srednjo vrednost. Ko določimo povprečno razpočno odpornost lahko izračunamo indeks razpoka.

$$X = \frac{P}{G} \text{ [kPam}^2/\text{g]}$$

X...razpok indeks ( $\text{kPam}^2/\text{g}$ )

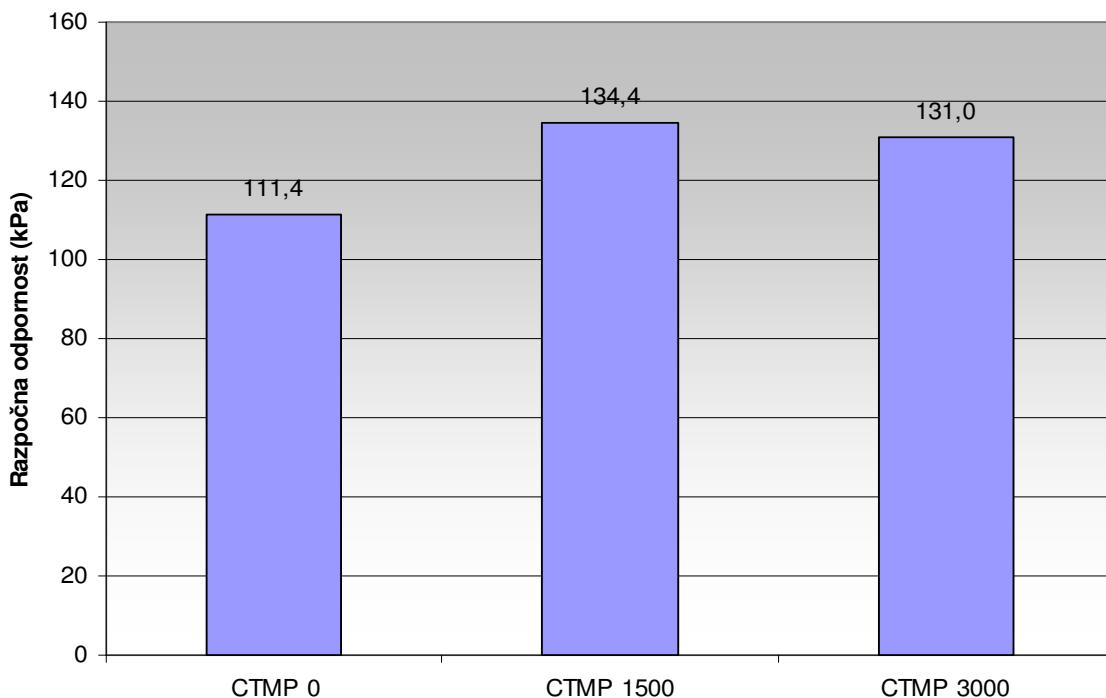
P... razpočna odpornost (kPa)

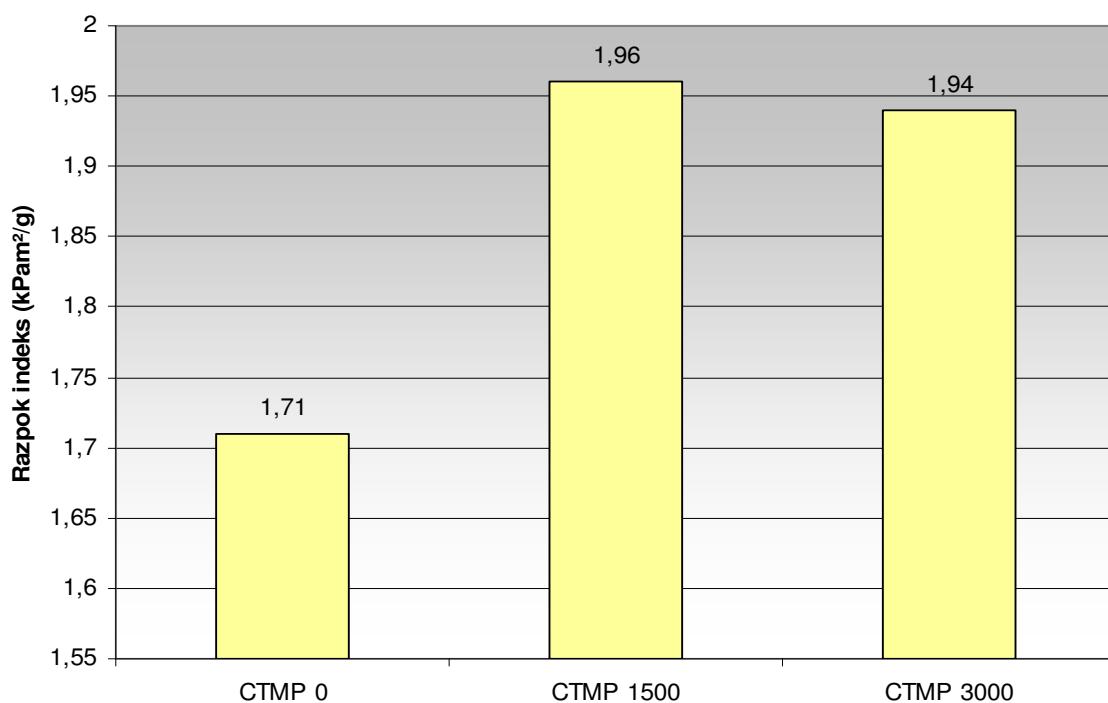
G...gramatura ( $\text{g/m}^2$ )

**Preglednica 3.10:** Razpočna odpornost, razpok indeks

	<b>CTMP 0</b>	<b>CTMP 1500</b>	<b>CTMP 3000</b>
Razpočna odpornost (kPa)	105	131	132
	116	128	130
	119	140	123
	109	142	134
	108	131	136
Srednja vrednost	<b>111,4</b>	<b>134,4</b>	<b>131,0</b>
Razpok indeks (kPam <sup>2</sup> /g)	<b>1,71</b>	<b>1,96</b>	<b>1,94</b>

Iz preglednice grafično ponazorimo razpočno odpornost in indeks razpoka lista, izdelanega iz kemijsko termomehanske meljavine.

**Slika 3.30:** Razpočna odpornost lista



Slika 3.31: Razpok indeks

Določanje razpočne odpornosti laboratorijskih listov se opravlja po standardni metodi SIST EN ISO 2758.

## 4 REZULTATI

### 4.1 VLAKNINE

#### 4.1.1 Primerjava CTMP in TGW vlaknine pred in po dodatnem mletju

**Preglednica 4.1:** Primerjava lastnosti CTMP vlaknine pred in po dodatnem mletju

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
STOPNJA MLETJA (°SR)	41	61	70
AAV (mm)	0,61	0,61	0,53
LWAV (mm)	1,44	1,29	1,12
Količina vlaken < 0,2 mm (%)	28,77	29,33	33,26

**Preglednica 4.2:** Primerjava lastnosti TGW vlaknine pred in po dodatnem mletju

	TGW 0	TGW 1500	TGW 3000
STOPNJA MLETJA (°SR)	81	86	88
AAV (mm)	0,32	0,30	0,26
LWAV (mm)	0,85	0,72	0,59
Količina vlaken < 0,2 mm (%)	51,54	54,09	56,65

#### 4.1.2 Primerjava CTMP vlaknine z TGW vlaknino

**Preglednica 4.3:** Primerjava lastnosti CTMP (0) vlaknine z TGW (0) vlaknino

	CTMP 0	TGW 0
STOPNJA MLETJA (°SR)	41	81
AAV (mm)	0,61	0,32
LWAV (mm)	1,44	0,85
Količina vlaken < 0,2 mm (%)	28,77	51,54

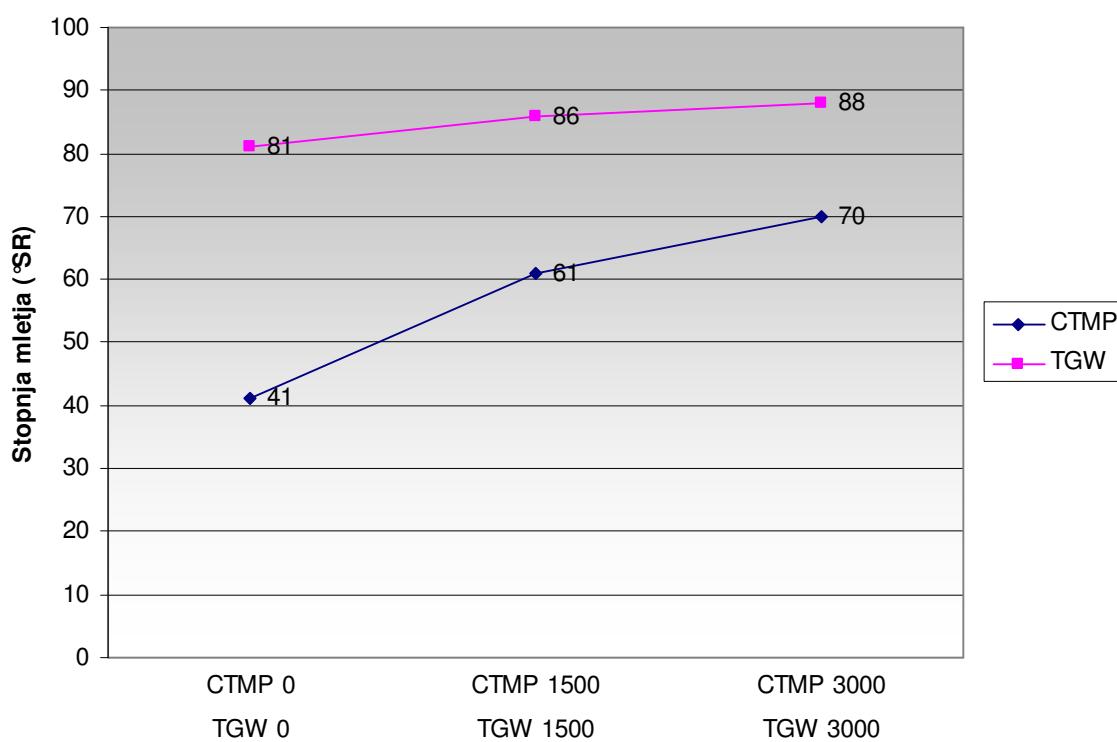
**Preglednica 4.4:** Primerjava lastnosti CTMP (1500) vlaknine z TGW (1500) vlaknino

	CTMP 1500	TGW 1500
STOPNJA MLETJA (°SR)	61	86
AAV (mm)	0,61	0,30
LWAV (mm)	1,29	0,72
Količina vlaken < 0,2 mm (%)	29,33	54,09

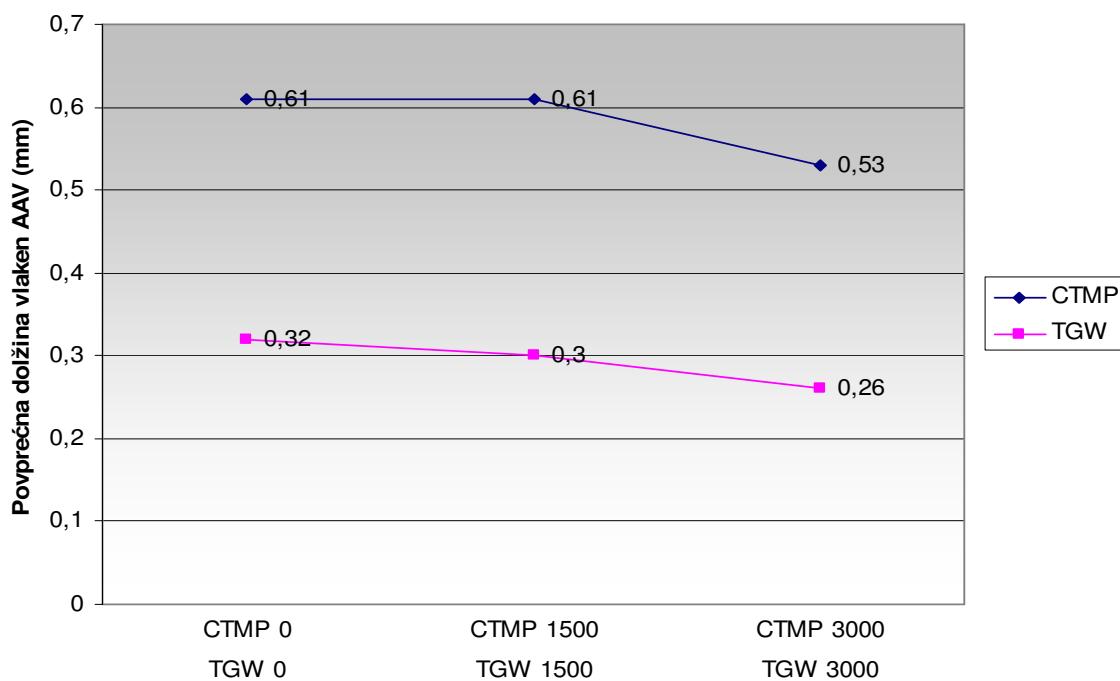
**Preglednica 4.5:** Primerjava lastnosti CTMP (3000) vlaknine z TGW (3000) vlaknino

	<b>CTMP 3000</b>	<b>TGW 3000</b>
STOPNJA MLETJA (°SR)	70	88
AAV (mm)	0,53	0,26
LWAV (mm)	1,12	0,59
Količina vlaken < 0,2 mm (%)	33,26	56,65

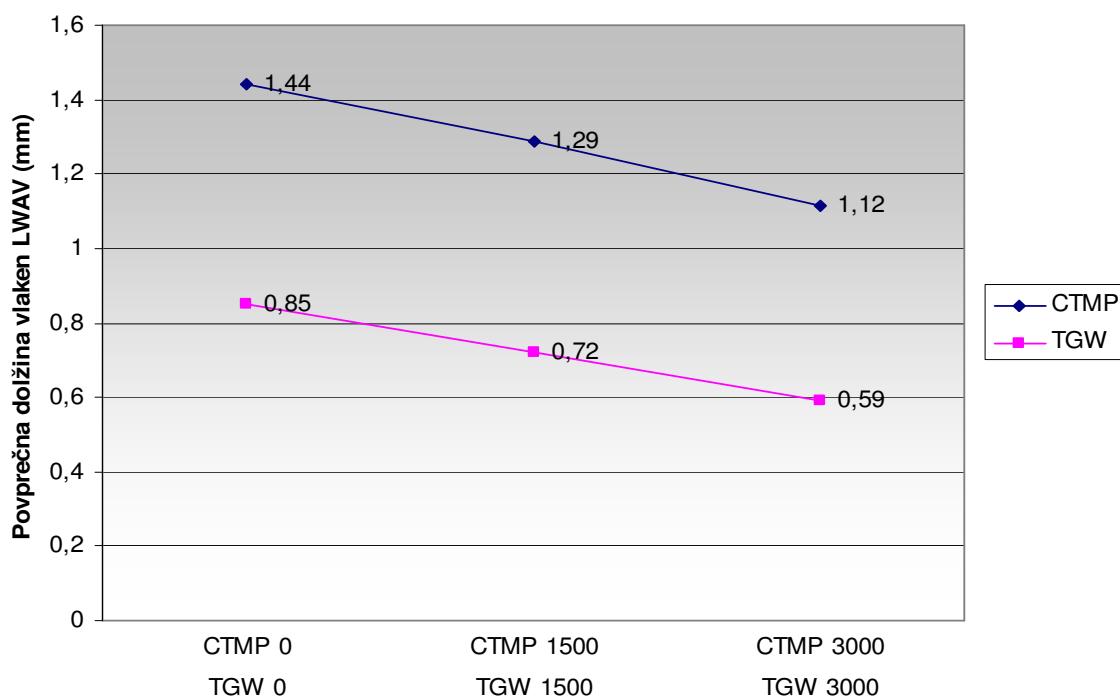
Iz preglednic grafično ponazorimo primerjavo lastnosti vlaknine med kemijsko termomehansko meljavino (CTMP) in termično bruševino (TGW).



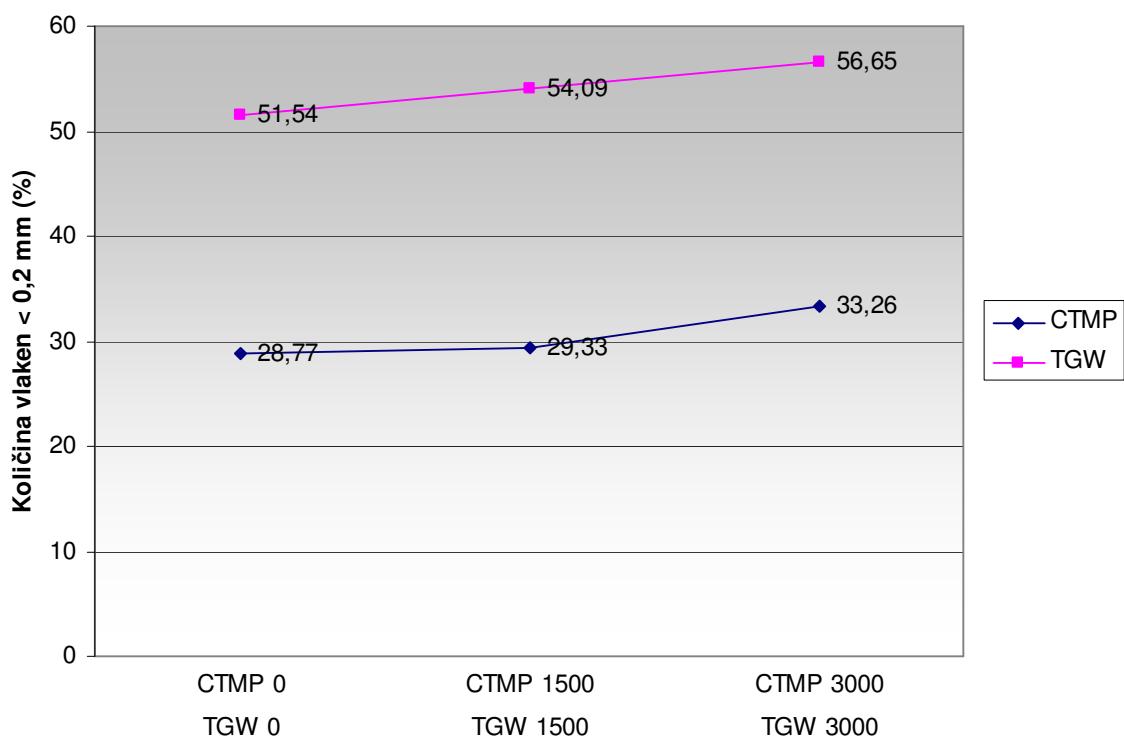
**Slika 4.1:** Primerjava stopnje mletja med CTMP in TGW



**Slika 4.2:** Primerjava povprečne dolžine vlaken AAV med CTMP in TGW



**Slika 4.3:** Primerjava povprečne dolžine vlaken LWAV med CTMP in TGW



**Slika 4.4:** Primerjava količine vlaken krajših od 0,2 mm med CTMP in TGW

## 4.2 LABORATORIJSKI LISTI

### 4.2.1 Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov izdelanih iz CTMP in TGW vlaknine pred mletjem in po dodatnem mletju

**Preglednica 4.6:** Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CTMP vlaknine pred mletjem in po dodatnem mletju

	CTMP 0	CTMP 1500	CTMP 3000
BELINA (%)	73,95	75,53	73,67
DEBELINA (mm)	0,163	0,154	0,141
MASA (g)	2,0344	2,1477	2,1111
GRAMATURA (g/m <sup>2</sup> )	64,75	68,36	67,19
PROSTORNINSKA MASA (kg/m <sup>3</sup> )	397	443	482
UTRŽNA SILA (N)	25,70	31,18	34,27
RAZTRŽNA ODPORNOST (mN)	209,7	189,4	163,6
RAZPOČNA ODPORNOST (kPa)	111,4	134,4	131

**Preglednica 4.7:** Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz TGW vlaknine pred mletjem in po dodatnem mletju

	TGW 0	TGW 1500	TGW 3000
BELINA (%)	61,18	60,38	59,58
DEBELINA (mm)	0,179	0,168	0,149
MASA (g)	2,1338	2,1716	2,2050
GRAMATURA (g/m <sup>2</sup> )	67,74	68,94	70,02
PROSTORNINSKA MASA (kg/m <sup>3</sup> )	378	432	471
UTRŽNA SILA (N)	29,26	33,38	36,57
RAZTRŽNA ODPORNOST (mN)	259,5	232,2	190,8
RAZPOČNA ODPORNOST (kPa)	116,4	132,7	139,8

#### 4.2.2 Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov izdelanih iz CTMP vlaknine z listi izdelanimi iz TGW vlaknine

**Preglednica 4.8:** Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP (0) vlaknine in TGW (0) vlaknine

	<b>CTMP 0</b>	<b>TGW 0</b>
BELINA (%)	<b>73,95</b>	<b>61,18</b>
DEBELINA (mm)	<b>0,163</b>	<b>0,179</b>
MASA (g)	<b>2,0344</b>	<b>2,1338</b>
GRAMATURA (g/m <sup>2</sup> )	<b>64,75</b>	<b>67,74</b>
PROSTORNIINSKA MASA (kg/m <sup>3</sup> )	<b>397</b>	<b>378</b>
UTRŽNA SILA (N)	<b>25,70</b>	<b>29,26</b>
RAZTRŽNA ODPORNOST (mN)	<b>209,7</b>	<b>259,5</b>
RAZPOČNA ODPORNOST (kPa)	<b>111,4</b>	<b>116,4</b>

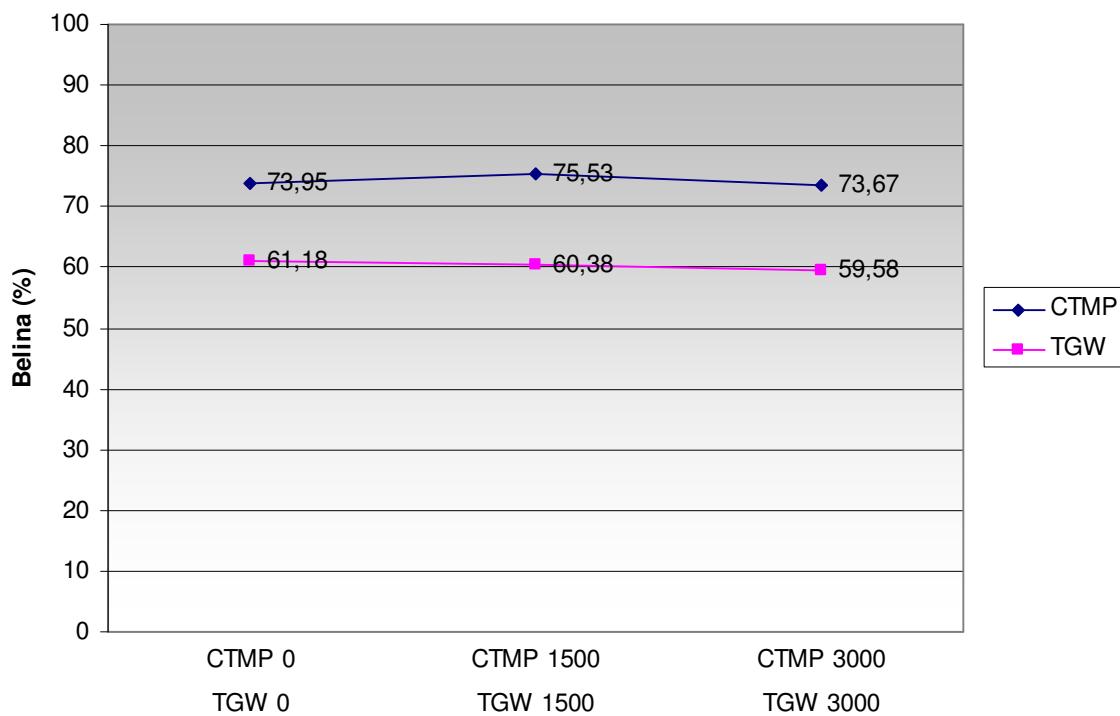
**Preglednica 4.9:** Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP (1500) vlaknine in TGW (1500) vlaknine

	<b>CTMP 1500</b>	<b>TGW 1500</b>
BELINA (%)	<b>75,53</b>	<b>60,38</b>
DEBELINA (mm)	<b>0,154</b>	<b>0,168</b>
MASA (g)	<b>2,1477</b>	<b>2,1716</b>
GRAMATURA (g/m <sup>2</sup> )	<b>68,36</b>	<b>68,94</b>
PROSTORNIINSKA MASA (kg/m <sup>3</sup> )	<b>443</b>	<b>432</b>
UTRŽNA SILA (N)	<b>31,18</b>	<b>33,38</b>
RAZTRŽNA ODPORNOST (mN)	<b>189,4</b>	<b>232,2</b>
RAZPOČNA ODPORNOST (kPa)	<b>134,4</b>	<b>132,7</b>

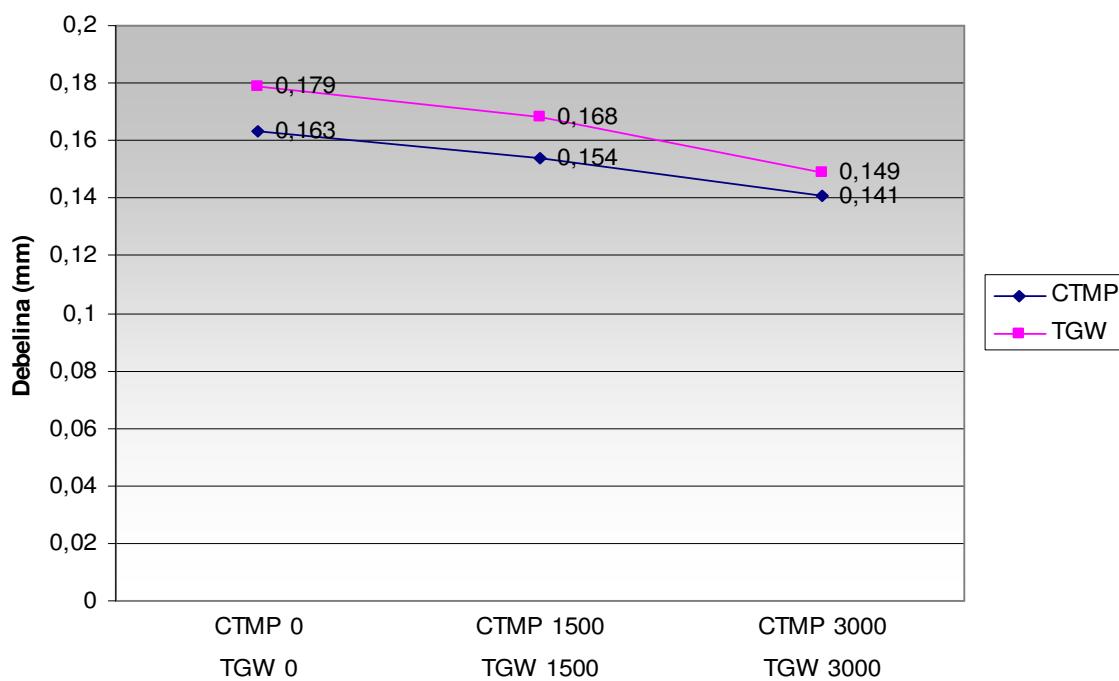
**Preglednica 4.10:** Primerjava fizikalno mehanskih lastnosti listov iz CMTP (3000) vlaknine in TGW (3000) vlaknine

	<b>CTMP 3000</b>	<b>TGW 3000</b>
BELINA (%)	<b>73,67</b>	<b>59,58</b>
DEBELINA (mm)	<b>0,141</b>	<b>0,149</b>
MASA (g)	<b>2,1111</b>	<b>2,2050</b>
GRAMATURA (g/m <sup>2</sup> )	<b>67,19</b>	<b>70,02</b>
PROSTORNIINSKA MASA (kg/m <sup>3</sup> )	<b>482</b>	<b>471</b>
UTRŽNA SILA (N)	<b>34,27</b>	<b>36,57</b>
RAZTRŽNA ODPORNOST (mN)	<b>163,6</b>	<b>190,8</b>
RAZPOČNA ODPORNOST (kPa)	<b>131</b>	<b>139,8</b>

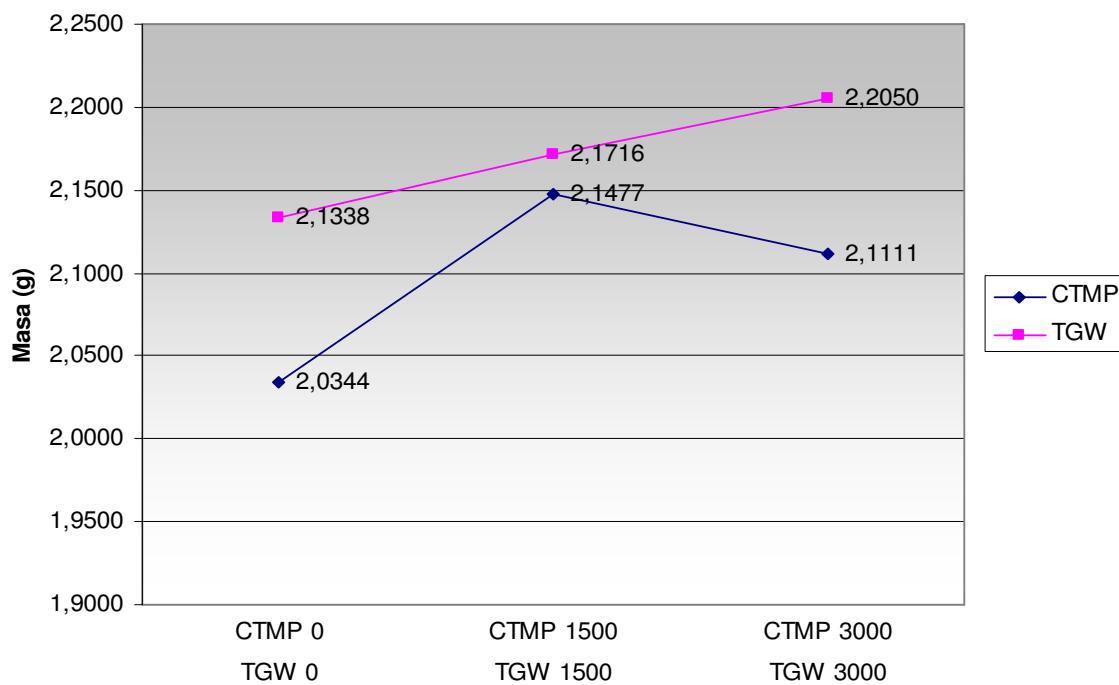
Iz preglednic grafično ponazorimo primerjavo lastnosti laboratorijskih listov, izdelanih iz kemijsko termomehansko meljavine (CTMP) in listov, izdelanih iz termične bruševine (TGW).



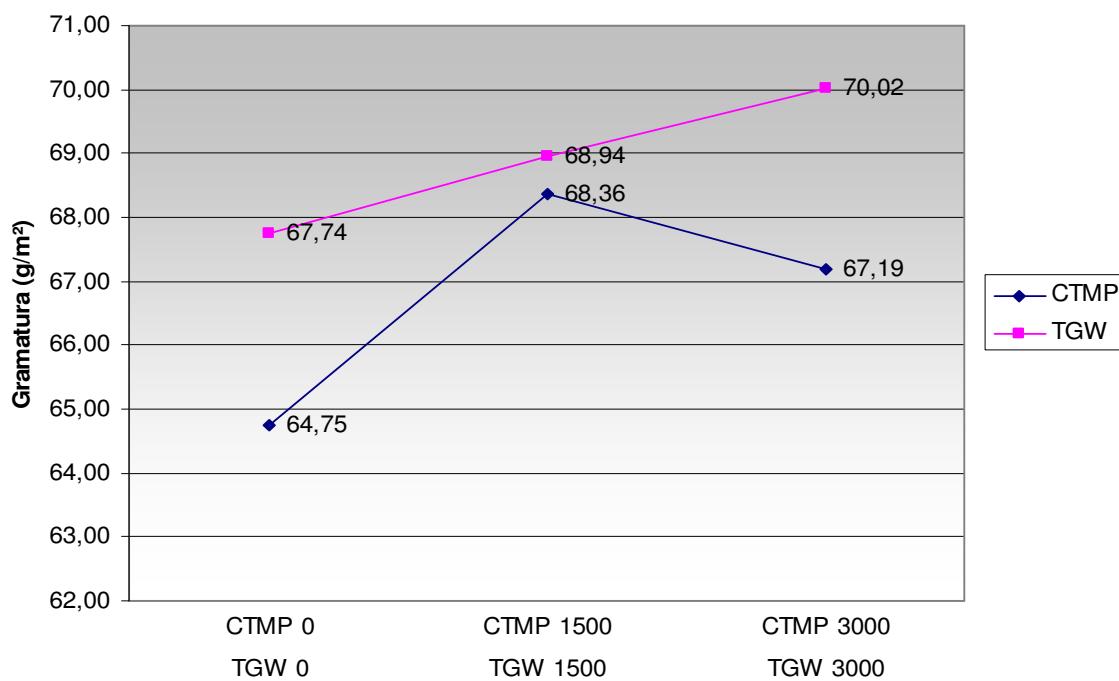
**Slika 4.5:** Primerjava beline lista med CTMP in TGW



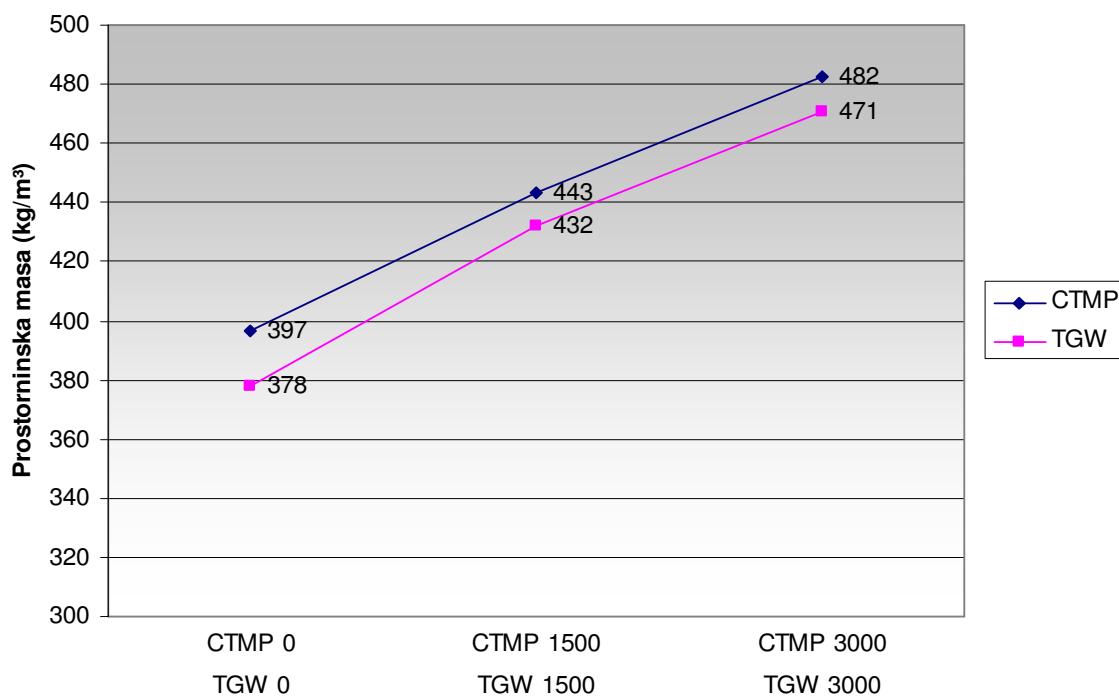
**Slika 4.6:** Primerjava debeline lista med CTMP in TGW



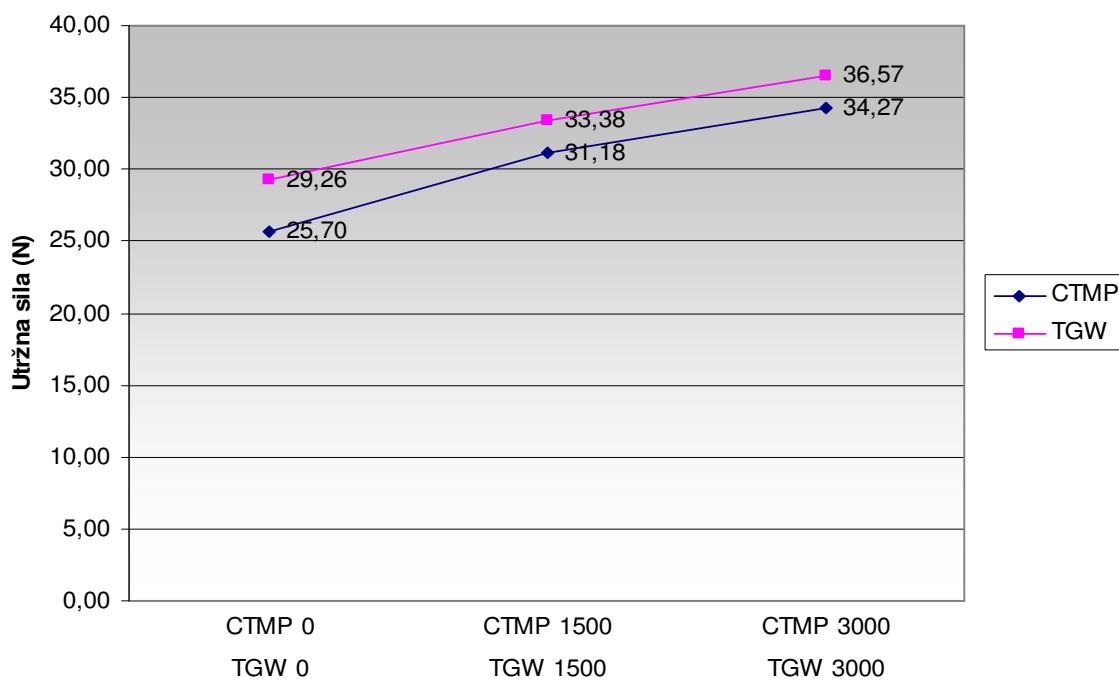
**Slika 4.7:** Primerjava mase lista med CTMP in TGW



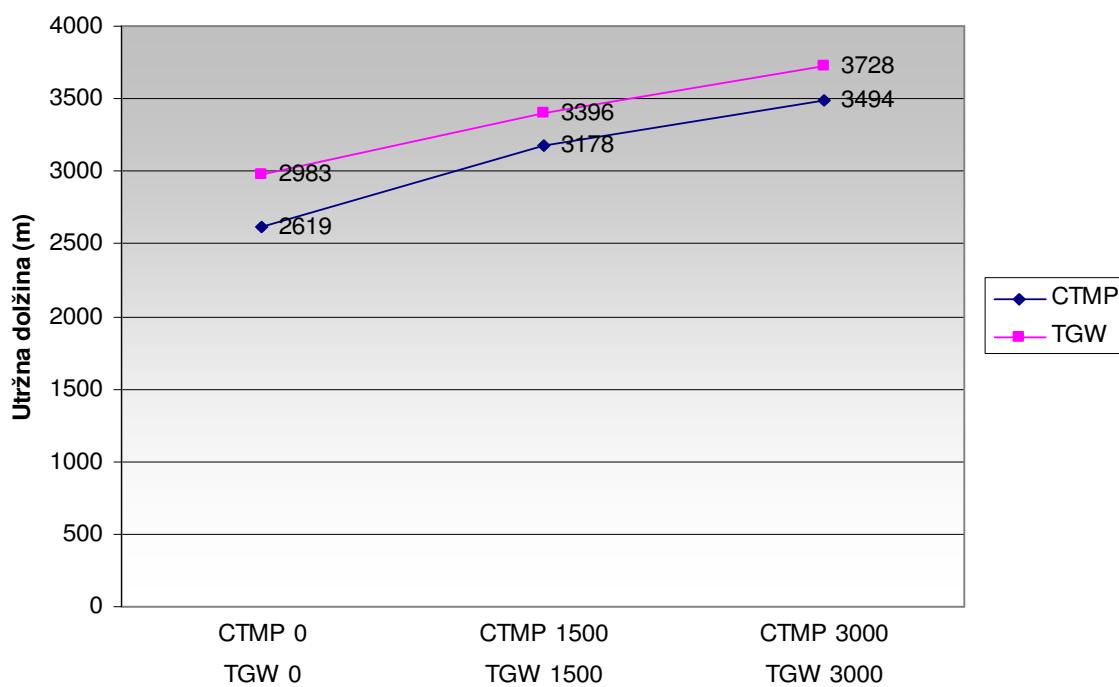
**Slika 4.8:** Primerjava gramature lista med CTMP in TGW



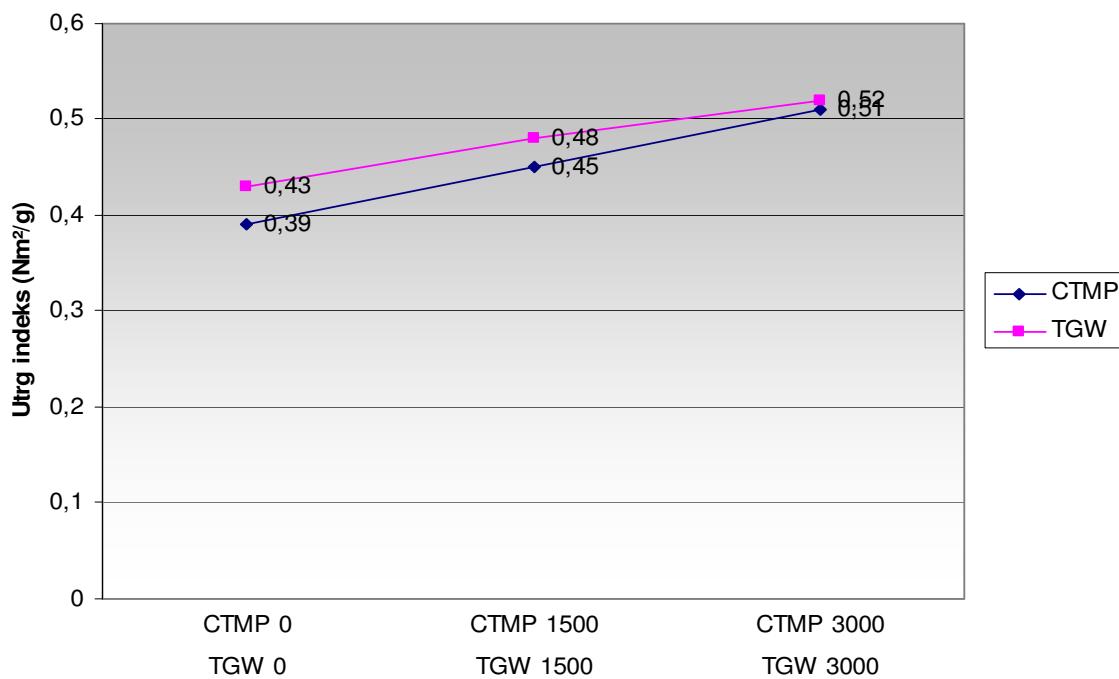
**Slika 4.9:** Primerjava prostorninske mase lista med CTMP in TGW



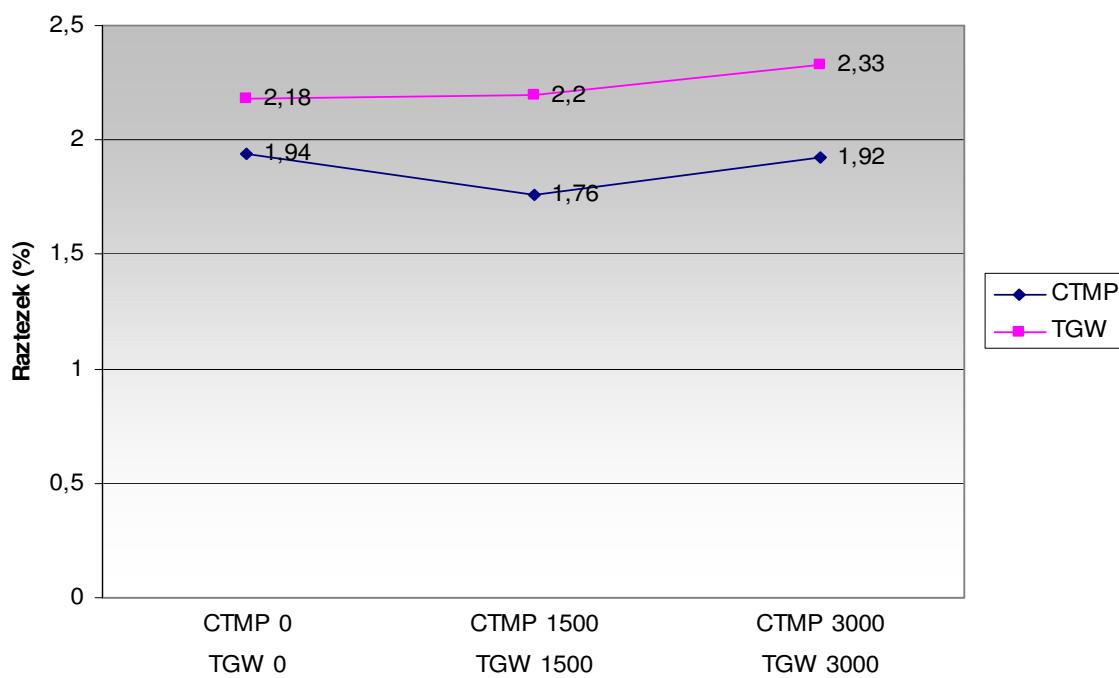
**Slika 4.10:** Primerjava utržne sile lista med CTMP in TGW



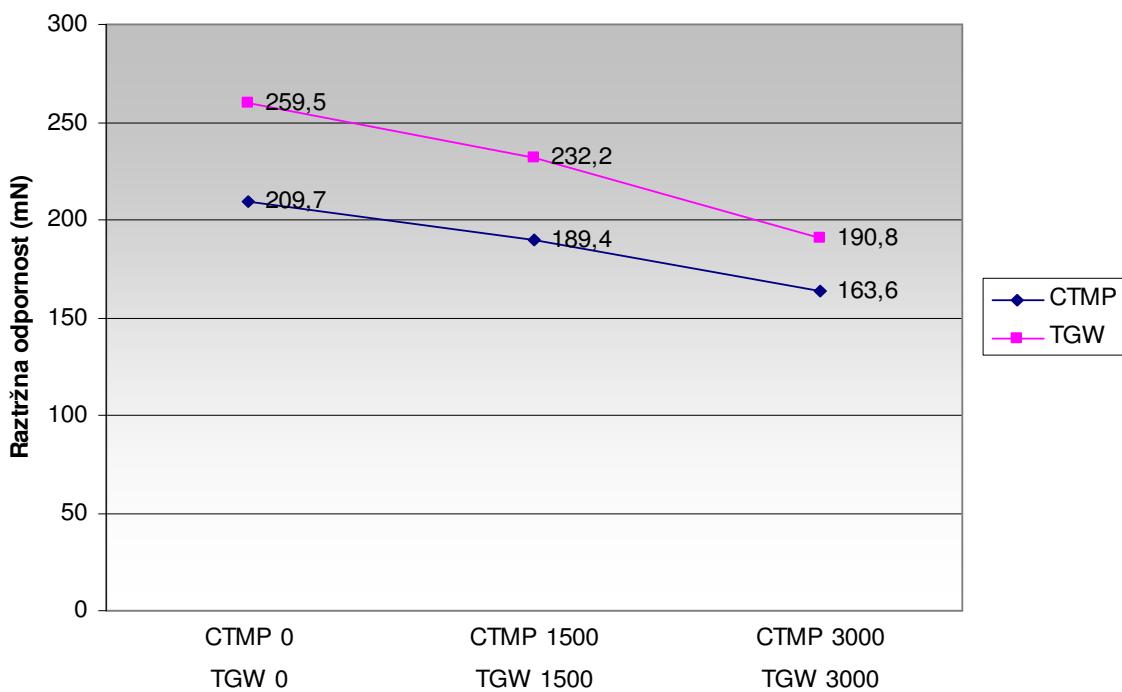
**Slika 4.11:** Primerjava utržne dolžine lista med CTMP in TGW



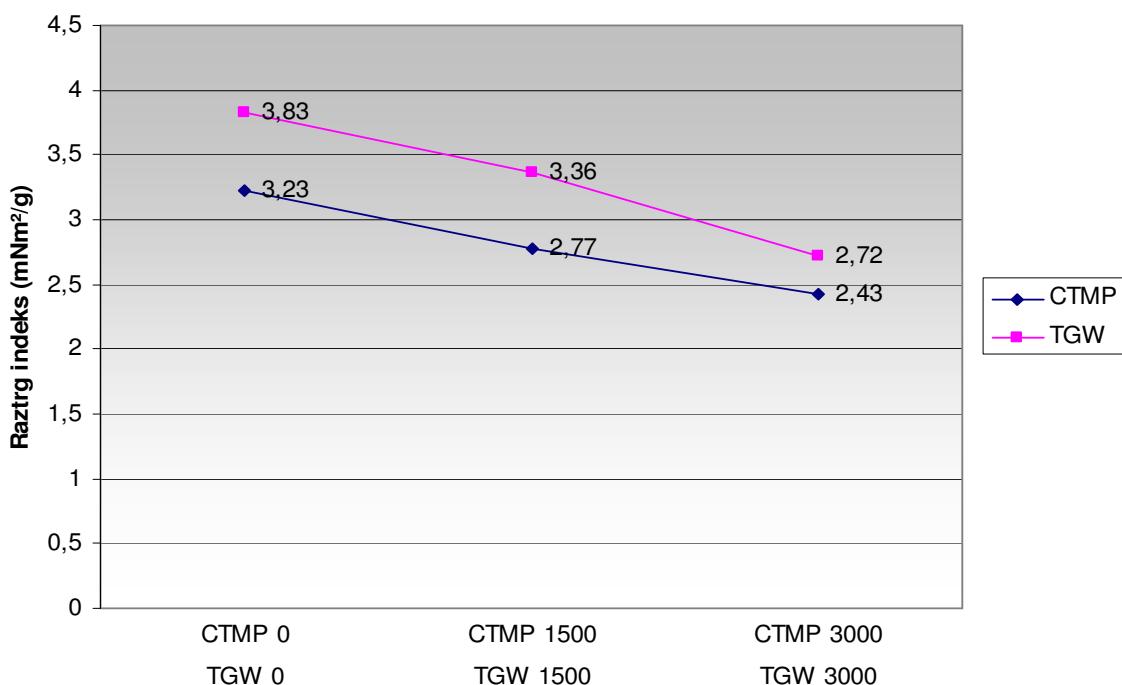
**Slika 4.12:** Primerjava utržnega indeksa med CTMP in TGW



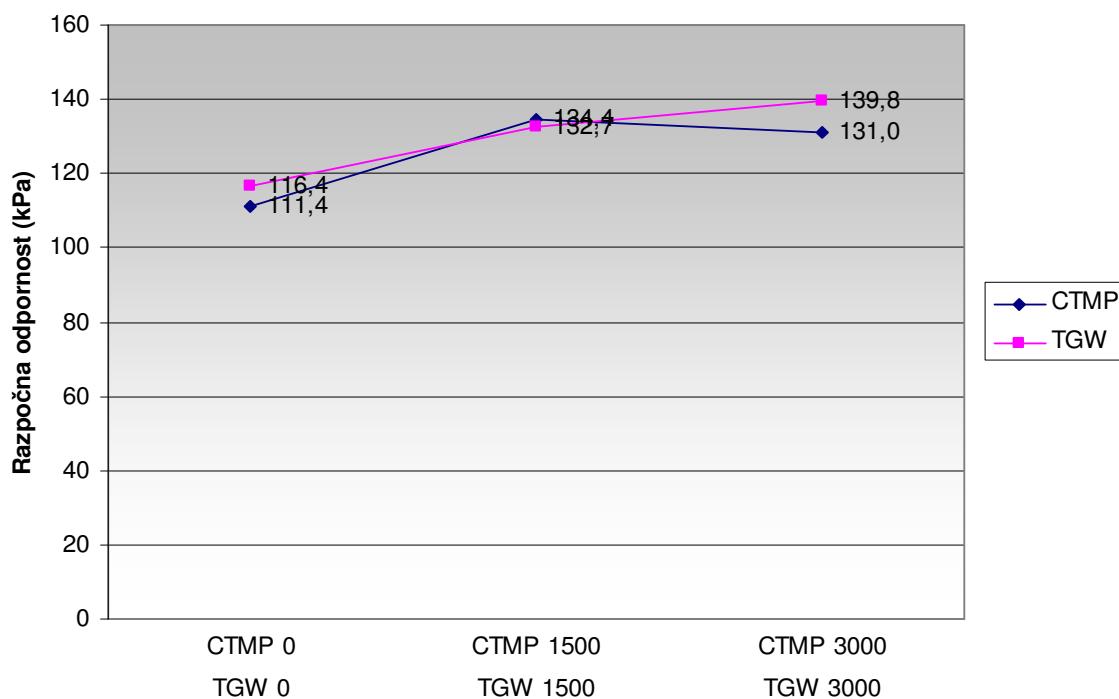
**Slika 4.13:** Primerjava raztezka lista med CTMP in TGW



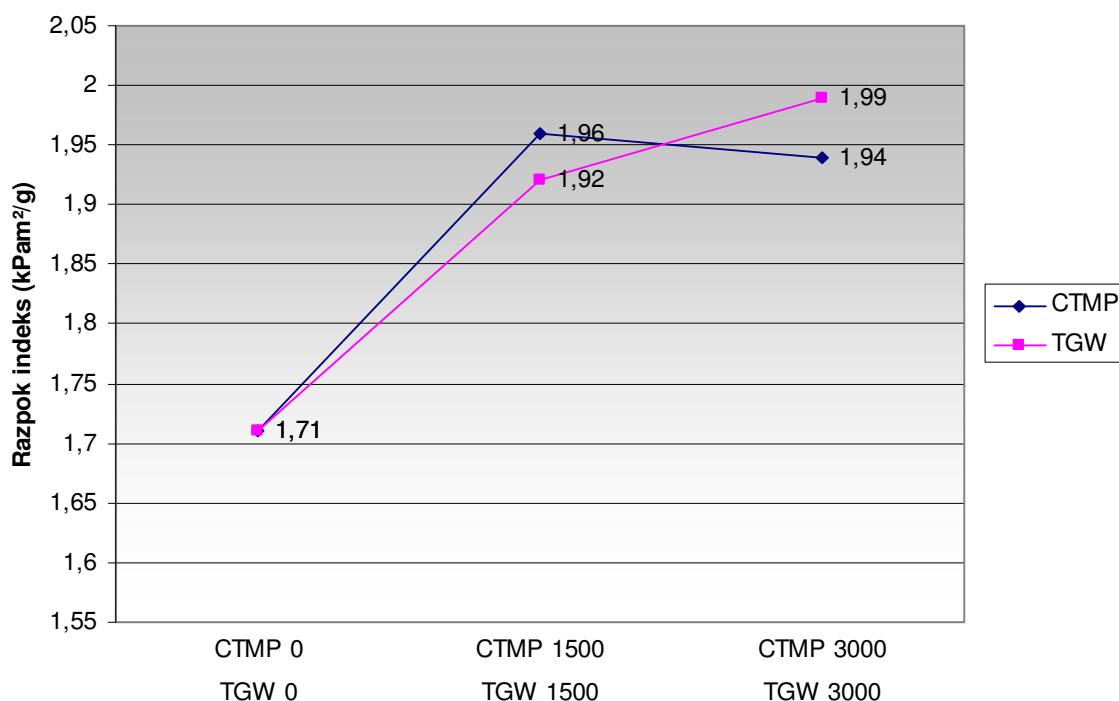
**Slika 4.14:** Primerjava raztržne odpornosti lista med CTMP in TGW



**Slika 4.15:** Primerjava raztržnega indeksa med CTMP in TGW



**Slika 4.16:** Primerjava razpočne odpornosti med CTMP in TGW



**Slika 4.17:** Primerjava razpočnega indeksa med CTMP in TGW

## 5 RAZPRAVA

### 5.1 VPLIV MLETJA NA MORFOLOGIJO VLAKEN

Rezultati mletja vlaknine so potrdili domnevo, da se z naknadnim mletjem izboljšujejo lastnosti vlaknine, prav tako pa tudi fizikalno mehanske lastnosti papirja.

Z mletjem vlaknine se izboljša medvlakensko povezovanje in odpornost na razslojevanje zaradi povečanja specifične površine vlaken. Dolžina posameznih vlaken se z mletjem spreminja, oziroma se manjša. Z mletjem se odpirajo, trgajo zunanji sloji (primarna stena) vlaken in fibrile iz sekundarne stene štrlico iz površine vlakna. Poveča se specifična površina in količina aktivnih mest, na katerih se tvori vodikova vez v medvlakenskem povezovanju. Pri izrazitem krajšanju se zmanjšuje jakost vlaken, hkrati pa se izboljša formiranje lista.

Mletje vlaknine vpliva na hitrost odvodnjavanja (oddajanje vode) na situ papirnega stroja; bolj kot meljemo vlaknino, nižja je hitrost odvodnjavanja in obratno.

To se je tudi pokazalo v eksperimentalnem delu diplomske naloge, saj se je z naknadnim mletjem vlaknine povečala stopnja mletja.

Razvidna je tudi razlika v povprečni dolžini vlaken, saj ima termična bruševina v povprečju za približno 80 % krajsa vlakna kot kemijska termomehanska meljavina, razlika pa je tudi v odstotku vlaken krajsih od 0,2 mm. Pri TGW je ta količina vlaken tudi večja kot 50 %, medtem ko je pri CTMP vlaknini ta odstotek nekoliko manjši (~ 30 %). V obeh primerih pa se je z naknadnim mletjem zmanjšala dolžina vlaken.

### 5.2 VPLIV MLETJA NA FIZIKALNO MEHANSKE LASTNOSTI PAPIRJA

Z mletjem se večino fizikalno mehanskih lastnosti papirja izboljša zaradi boljše medvlakenske povezave. Z dodatnim mletjem se vlakna krajšajo in se tako lepše prilegajo pri izdelavi lista (list se lepše oblikuje).

Kot je razvidno iz rezultatov se vse mehanske lastnosti z naknadnim mletjem izboljšajo razen raztržne odpornosti, ki pada. Raztržna odpornost je v veliki meri odvisna od jakosti posameznih vlaken, ki pa se z naknadnim mletjem krajšajo, zato se odpornost na raztrg znižuje.

Utržna jakost je odvisna od vsebnosti vlage v papirju, in sicer narašča do 30-odstotne ravnotežne relativne vlažnosti, z nadaljnim povečevanjem vlažnosti pa se zmanjšuje. Povečuje se tudi s povečevanjem stopnje mletja vlaknin, vendar lahko pretirano mletje povzroči znižanje utržne jakosti. Ta lastnost je premosorazmerna z dolžino vlaken.

Iz rezultatov je razvidno, da vse mehanske lastnosti laboratorijskih listov dosegajo višje vrednosti pri TGW vlaknini.

Pri CTMP vlaknini je opaziti tudi, da se nekatere lastnosti listov s prvim vnosom energije (1500 obr/min) zvišujejo, nato začnejo upadati. To pomeni, da vlakno z drugim vnosom energije (3000 obr/min) že izgublja jakost in kakovost ter bi imel list, izdelan iz takšne vlaknine, slabe fizikalno mehanske lastnosti.

## 6 SKLEPI

Rezultate eksperimentalnega dela na osnovi mletja vlaknine lahko povzamemo v naslednje sklepe:

1. Pregled rezultatov lastnosti vlaknine je pokazal, da se je stopnja mletja z naknadnim mletjem zvišala, in sicer iz 41 °SR na 70 °SR. Prav tako se je stopnja mletja zvišala pri TGW vlaknini iz 81 °SR na 88 °SR , vendar krivulja rasti ni tako hitro naraščala kot pri kemijski termomehanski meljavini. TGW vlaknina je počasneje oddajala vodo, zato je stopnja mletja višja kot pri CTMP.
2. Dolžina vlaken se je z naknadnim mletjem zmanjšala, povečala pa se je količina fine snovi (fina frakcija). V povprečju ima TGW vlaknina približno za 80 % krajša vlakna kot CTMP vlaknina. Količina fine snovi je pri termični bruševini večja, saj je ta približno 50 %, medtem ko je ta vrednost pri CTMP približno 30 %.
3. Z naknadnim mletjem pa so se spremenile tudi fizikalno mehanske lastnosti listov. Belina lista se je znižala, vendar razlike niso velike. Bolj bele liste pa smo dosegli pri CTMP vlaknini, in sicer za približno 15 % več kot pri TGW vlaknini. Tudi debelina lista se je znižala, rezultati pa so pokazali, da je list izdelan iz CTMP vlaknine nekoliko bolj tanek kot list, izdelan iz TGW vlaknine.
4. Masa lista je z naknadnim mletjem narasla, vendar so razlike zanemarljive (~ 0,1 g). Prav tako je z naknadnim mletjem narasla prostorninska masa, ki je dosegla višjo vrednost pri CTMP vlaknini. Prostorninska masa narašča zaradi večje zbitosti vlaken, saj vlakna z naknadnim mletjem postanejo bolj fleksibilna in se pri izdelavi listov bolje prilegajo ter tako tvorijo bolj kompaktno strukturo.
5. Mehanske lastnosti listov so se povečale razen raztržne odpornosti, ki se je znižala. List izdelan iz TGW vlaknine ima boljšo odpornost na utrg in doseže večji raztezek preden se utrga. Razpočna odpornost je z drugim vnosom energije pri CTMP vlaknini že začela padati, kar pomeni, da ima list boljšo odpornost na razpok, če je vlaknina mleta samo s hitrostjo 1500 obr/min. Iz rezultatov je razvidno, da vse mehanske lastnosti dosegajo višje vrednosti pri listih izdelanih iz TGW vlaknine.

## 7 POVZETEK

Naloga mletja vlaknine je izboljšati njene lastnosti in prav tako lastnosti izdelanega papirja. Brez mletja ima izdelan list iz takšne vlaknine zelo slabe mehanske lastnosti. Le-te pa so zelo odvisne od kakovosti vlaknine.

S povečevanjem intezivnosti mletja vlaknina pridobiva boljše fizikalno mehanske lastnosti, s tem pa tudi papir. Vendar moramo vlaknino mleti do določene meje, saj bi s povečevanjem intezivnosti mletja vlakno že izgubljalo jakost in bi imel list, izdelan iz takšne vlaknine, slabše mehanske lastnosti. To se je izkazalo pri kemijsko termomehanski meljavini, saj je rezultat pokazal, da se je razpočna odpornost lista z drugim vnosom energije (3000 obr/min) že znižala.

Rezultati raziskave so pokazali prednost naknadnega mletja tudi pri mehanskih lastnostih papirja. Vse mehanske lastnosti so se izboljšale, razen raztržne odpornosti, ki se je zmanjšala, saj je odvisna od jakosti vlaken.

Rezultati laboratorijskih preizkusov so pokazali izboljšanje kakovosti meljavine in s tem papirja po naknadnem mletju, vendar pa so rezultati nekoliko slabših vrednosti od povprečno kakovostnega papirja.

Z vidika kakovosti vlaknine in iz nje izdelanega papirja, se je za prednostno pokazala termična bruševina (TGW), saj je skoraj povsod doseгла boljše rezultate od kemijsko termomehanske meljavine (CTMP).

## 8 VIRI

Bonač S. 1985. Tehnologija papirja. Ljubljana, PIS tiska in papirja: 173–174

Iglič B. 1988. Kratka tehnologija pridobivanja vlaknin in proizvodnje papirja ter kartona za slušatelje lesarstva na Biotehniški fakulteti Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 263 str.

Golubović A. 1984. Tehnologija izrade i svojstva papira. Zagreb, VGŠ: 143 str.

Novak G. 1998. Papir, karton, lepenka. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo: 131 str.

Oblak Rainer M. 1992. Alternativni postopki pridobivanja vlaknin visokega dobitka. Ljubljana, Revija Papir, Društvo inženirjev in tehnikov papirništva: 2–4

Schopper- Riegler Freeness, 2007. Thwing-Albert's instrument company.  
<http://thwingalbert.thomasnet.com/item/freeness-testers/schopper-riegler-freeness-tester/pn-1137>

SIST EN 20638:2000 – Vlaknine – Določevanje suhe snovi (ISO 638:1978) – Pulps – Determination of dry matter content (ISO 638:1978)

SIST EN ISO 1924-2:2000 – Papir, karton in lepenka – Določevanje nateznih lastnosti – 2. del: Metoda z enakomernim naraščanjem raztezka (ISO 1924-2:1994) – Paper and board – Determination of tensile properties – Part 2: Constant rate of elongation method (ISO 1924-2:1994)

SIST EN ISO 2758:2003 – Papir – Določevanje razpočne trdnosti (ISO 2758:2001) – Paper – Determination of bursting strength (ISO 2758:2001)

SIST EN ISO 5264-2:2003 – Vlaknine – Laboratorijsko mletje – 2. del: Metoda z mlinom PFI (ISO 5264-2:2002) – Pulps – Laboratory beating – Part 2: PFI mill method (ISO 5264-2:2002)

SIST EN ISO 5267-1:2000 – Vlaknine – Določevanje odvodnjavanja – 1. del: Schopper-Rieglerjeva metoda (ISO 5267-1:1999) – Pulps – Determination of drainability – Part 1: Schopper-Riegler method (ISO 5267-1:1999)

SIST EN ISO 5269-2:2005 – Vlaknine – Izdelava laboratorijskih listov za preskušanje fizikalnih lastnost – 2. del: Metoda na Rapid-Köthenovem aparatu (ISO 5269-2:2004) – Pulps – Preparation of laboratory sheets for physical testing – Part 2: Rapid-Köthen method (ISO 5269-2:2004)

SIST EN ISO 534:2005 – Papir, karton in lepenka – Ugotavljanje debeline, gostote in specifičnega volumna (ISO 534:2005) – Paper and board – Determination of thickness, density and specific volume (ISO 534:2005)

SIST EN ISO 536:2000 – Papir, karton in lepenka – Določevanje gramature (ISO 536:1995) – Paper and board – Determination of grammage (ISO 536:1995)

SIST ISO 1924-1:1995 – Papir, karton in lepenka – Določanje nateznih lastnosti – 1. del:  
Metoda z enakomernim naraščanjem obremenitve – Paper and board – Determination of tensile properties – Part 1: Constant rate of loading method

SIST ISO 1974:1995 – Papir – Določanje raztržne odpornosti (Elmendorfova metoda) –  
Paper – Determination of tearing resistance (Elmendorf method)

SIST ISO 2470:2002 – Papir, karton in lepenka – Merjenje faktorja razpršene odsevnosti v  
modrem (belina po ISO) – Paper, board and pulps – Measurement of diffuse blue  
reflectance factor (ISO brightness)

Sjöström E. 1981. Wood chemistry – Fundamentals and applications. Helsinki, University of  
technology: 293 str.

Vrtačnik M. Zupančič Brouwer N., 2002. Organska kemija. Ljubljana, Tehniška založba  
Slovenije: 240 str.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri izvajanju, oblikovanju in urejanju diplomskega dela se zahvaljujem mentorici prof.dr. Vesni Tišler, somentorici dr. Veri Rutar, ki mi je bila v veliko pomoč pri vseh izvedenih poizkusih in recenzentu prof.dr. Marku Petriču.

Zahvaljujem se tudi vsem, ki so mi kakorkoli pomagali pri diplomskem delu.