



VPLIV KEMIČALIJ, KLEJIVA IN VLAKNIN NA LASTNOSTI PAPIRJA

Maja Potočnik, Eva Župevc

Mentorji:

Viktorija Kmetič, univ. dipl. biol.,

Darja Rizmal, prof.

Mitja Suvajac

Celje, 2025

POVZETEK

Papir je eden ključnih dejavnikov človeške civilizacije, saj omogoča širjenje znanja in informacij. Vendar pa se danes soočamo s prekomernim izsekavanjem gozdov in onesnaževanjem, zato postaja reciklaža papirja vse pomembnejša. Naš domači kraj, Radeče, ima bogato tradicijo v papirni industriji, ki traja že več stoletij. Podjetje Radeče papir nova d.o.o. proizvaja različne vrste papirja, vključno z vrednostnim, grafičnim, risalnim, tehničnim in večnamenskim papirjem.

V raziskovalni nalogi preučujemo vpliv dveh specifičnih kemikalij, ki se uporabljata pri izdelavi vrednostnega papirja. Čeprav te snovi podaljšujejo obstojnost papirja in upočasnjujejo njegovo obrabo, se sčasoma vseeno pojavi bledenje, trganje ali poškodbe zaradi pogoste uporabe in stika z umazanijo. Naša raziskava se osredotoča na primerjavo teh učinkov pri ročno izdelanem papirju.

V laboratoriju s papirniškimi stroji smo izdelali papir iz različnih zmesi in dodanimi kemikalijami ter izvedli teste, s katerimi smo ugotavljali razlike v lastnostih papirja. Dodatno smo preizkušali tudi različne metode klejenja papirja, da bi analizirali njihove učinke na kakovost in trajnost končnega izdelka. Cilj raziskave je ugotoviti, kako kemikalije in načini obdelave vplivajo na obstojnost papirja ter ali bi se določeni postopki lahko uporabili tudi v industrijski proizvodnji.

Ključne besede: celuloza, bombaž, melapret, carbocell, klejenje

ABSTRACT

Paper is one of the key factors of human civilization, as it enables the spread of knowledge and information. However, today we are facing excessive deforestation and pollution, making paper recycling increasingly important. Our hometown, Radeče, has a rich tradition in the paper industry that dates back several centuries. The company Radeče Papir Nova produces various types of paper, including security, graphic, drawing, technical, and multi-purpose paper.

In our research project, we examine the impact of two specific chemicals used in the production of security paper. Although these substances extend the durability of paper and slow down its wear, fading, tearing, or damage due to frequent use and exposure to dirt still occur over time. Our research focuses on comparing these effects on handmade paper.

In the laboratory, we use papermaking machines to produce paper from different mixtures with added chemicals and conduct tests to determine differences in paper properties. Additionally, we experiment with various paper sizing methods to analyze their effects on the quality and durability of the final product. The goal of the research is to determine how chemicals and processing methods influence paper longevity and whether certain procedures could be applied in industrial production.

Keywords: cellulose, cotton, melapret, carbocell, bonding

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Zgodovina papirne industrije	1
1.1.1	Papirništvo nekoč in danes	1
1.1.2	Razvoj papirništva v Sloveniji	2
1.1.3	Izzivi sodobnega papirništva	2
1.2	Izdelava papirja v Radeče papir nova d.o.o.	3
1.2.1	Zgodovina	3
1.2.2	Papirni mlin	3
1.2.3	19. stoletje v radeški papirnici	4
1.2.4	Proizvodnja vrednostnega papirja v papirnici Radeče	5
1.3	Namen naloge	6
1.4	Metode dela	6
1.4.1	Pregled literature	6
1.4.2	Eksperimentalno delo	6
1.4.3	Analiza rezultatov	6
2	RAZISKOVALNA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE	7
3	TEORETIČNI DEL	8
3.1	Priprava vlaknin	8
3.2	Vrste vlaknin	8
3.2.1	Vlankine lesa	8
3.2.2	Vlankine celuloze	9
3.2.3	Vlankine enoletnih rastlin	10
3.3	Klejivo	11
3.4	Mokromočnostna sredstva	11
3.5	Standardi kakovosti	11
3.5.1	Osnovne lastnosti	13
3.5.2	Mehanske lastnosti	13
3.5.3	Prepustnost na vodo, zrak in paro	14
3.5.4	Kontrola vlakninskih suspenzij	15
4	EKSPERIMENT	16

4.1	Postopek dela.....	16
4.1.1	50 % bombaž in 50 % celuloza	16
4.1.2	100 % celuloza	19
4.1.3	100 % bombaž.....	20
4.1.4	Postopek klejenja vzorcev brez dodanih kemikalij	22
4.2	Pregledovanje mehanskih lastnosti opazovancev.....	23
4.2.1	Izvedba pregleda mehanskih lastnosti opazovancev	24
5	REZULTATI IN UGOTOVITVE	26
5.1	Rezultati surovih vzorcev papirja.....	26
5.2	Rezultati klejenih vzorcev papirja.....	30
5.3	Vpojnost črnila na surovem in klejenem papirju	32
5.4	Opombe	33
6	ZAKLJUČEK.....	33
7	VIRI IN LITERATURA	35

1 UVOD

1.1 ZGODOVINA PAPIRNE INDUSTRIJE

1.1.1 PAPIRNIŠTVO NEKOČ IN DANES

Že v prazgodovini so se razvile potrebe po zapisovanju na različne materiale. Namesto papirja so takrat uporabljali kamen, les, kovino ipd., v Sloveniji pa so še pred 80 leti v šolah uporabljali lesene tablice. Pred 5000 leti so Egipčani za pisanje uporabljali papirus. Rastlini papirus so odstranili ovoj ter njeno sredico narezali na trakove in jih obdelali, da je iz njih stekla tekočina. Trakovi so se med seboj zlepili v liste, ki so jih zgladili in posušili.

V 14. stol. pr. n. št. so v Mali Aziji pričeli z izdelavo pergamenta, ki so ga naredili iz živalskih kož. Kože so za nekaj časa potopili v apneno mleko in jih nato vpeli v lesene okvirje.

Za izumitelja papirja velja kitajski minister Cai Lun, ki je leta 105 n. št. zapisal postopke za izdelavo takratnega papirja. Ta je veljal za belo umetnost. Šele 500 let kasneje se je izdelava razširila na Kitajsko, nato so jo prevzeli Arabci in v 8. stol. se je razširila tudi v zahodno Evropo.

Leta 1140 so prvi v Evropi začeli z izdelavo papirja Španci, 100 let kasneje pa so prvo papirnico odprli tudi Italijani. Ti so izumili klejenje papirja (dodajanje živalskega ali smolnega klejiva v papirno maso, s čimer dosežemo, da je mogoče na papir pisati s tekočim črnilom in da je za določen čas papir odporen proti vodi) in izdelavo vodnega znaka (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). Kot surovino so uporabljali pretežno tekstilne odpadke, kot so lanene krpe, uveljavili pa so se tudi zaporedni postopki, ki jih poznamo še danes:

- razvlaknjevanje surovin,
- priprava vlaknin v papirno kašo,
- oblikovanje lista,
- oddvajanje lista od sita
- stiskanje,
- sušenje,
- glajenje. [1]

1.1.2 RAZVOJ PAPIRNIŠTVA V SLOVENIJI

V Sloveniji so prvi ročno izdelovali papir v Zgornji Hrušici pri Ljubljani leta 1544, danes pa v Sloveniji poznamo 6 velikih papirnic, ki imajo vse dolgoletno tradicijo.

1. Papirnica Radeče (1736, dva papirna stroja, proizvodnja vrednostnega papirja z vodnimi znaki, kopirnega papirja, papirja za tisk. Osnovna surovina bombažna vlakna, sveže vlaknine – kemijsko pridobljena celuloza. Letna količina: 40.000 ton).
2. Papirnica Goričane (1788, en papirni stroj, nizkogramski brezlesni papir, kot surovina sveže vlaknine. Letna količina: 82.000 ton).
3. Papirnica v Vevčah (1842, en papirni stroj, specialisti za etiketni papir in papir za gibko embalažo. Kot surovino uporabljajo sveže vlaknine. Letna količina: 110.000 ton).
4. Papirnica v Sladkem Vrhu (1882, higienski papir, predelajo ga v toaletni papir, kuhinjske brisače, serviete, robčke, medicinske brisače ... Surovina: sveže vlaknine, letna količina: 70.000 ton).
5. Papirnica na Količevem (1920, edina, ki proizvaja karton, dva papirna stroja, kot surovina sveže vlaknine, reciklirane vlaknine, lesovina. Letna proizvodnja: 260.000 ton).
6. Papirnica v Krškem (1939, več kot 90 % uporabljajo reciklirane vlaknine, edina papirnica z linijo tako imenovanega postopka razčrniljenja, proizvodnja na 3 papirnih strojih, letna proizvodnja 120.000 ton časopisnega papirja, 90.000 ton grafičnega in ovojno-embalažnega papirja).

1.1.3 IZZIVI SODOBNEGA PAPIRNIŠTVA

V sedemdesetih letih se je napovedalo precejšnje zmanjšanje porabe in povpraševanje po papirju. Seveda se je potreba po njem res nekoliko zmanjšala, npr. v računovodstvu se danes vsi računi izdajajo v digitalni obliki, a še vedno se pri naročilu paketov večja potreba po kartonih in embalažnem papirju. Papir dandanes zamenja tudi potrebo po plastiki, saj je biorazgradljiv, prijazen do narave in zgrajen iz obnovljivih surovin (celuloza, odpadni papir). Zmanjšala se je tudi poraba vode. Še pred 40 leti so za proizvodnjo porabili kar za 84 % več vode, kot jo porabijo danes. V kompleks papirne industrije spada tudi čistilna naprava, da se vode v okolje ne spušča umazane.

Prav tako je današnja papirna industrija energetsko prijazna za okolje in z izpusti CO_2 ne obremenjuje okolja, kot ga je nekoč. Papirnice kot surovino za proizvodnjo papirja uporabljajo

manj kakovosten les, vejevje, grčava debla, odrezke ...), zato pravimo, da je papirna industrija kot »metla za gozd«.

Slovenija je bogata z gozdom, kar pomeni, da lahko lasten les uporabljamo kot surovino. Slovenija je pomemben dobavitelj lesa za izvoz v tujino. Pomemben člen je tudi pri zaposlovanju. Prav tako se čedalje več dela v proizvodnji papirja opravlja s stroji, zato lahko zaposlujejo tako delavce kot najrazličnejše računalničarje, ekonomiste, kemike ...

Papirna industrija se še vedno spreminja, še vedno je cilj modernizacija in avtomatizacija. Prihajajo tudi novi materiali, kot so nanoceluloza, karbonska vlakna ipd.

1.2 IZDELAVA PAPIRJA V RADEČE PAPIR NOVA D.O.O.

1.2.1 ZGODOVINA

Glede na raziskave prof. Stanka Majesa naj bi v dolini ob Sopotih prvi papir izdelovali že pred letom 1670, čeprav začetnik te dejavnosti ni znan. V arhivu v Gradcu so odkrili stare dokumente, zapisane na papirju, ki je bil izdelan v teh obratih. Proizvodnja je potekala ročno, papir pa so sušili na zraku. Po mnenju prof. Majesa, čeprav zgodovinsko nepopolno dokazano, spada radeška papirnica med najstarejše na Slovenskem. Na žalost so v pisnih virih ohranjene le omejene informacije, razvoj papirnice pa je dokumentiran zelo skromno. Podrobnejše raziskave sta izvedla profesorja Šorn in Slokar, ki sta v svojih delih, *Starejši mlini na Slovenskem* in *Jugoslovanska industrija papirja do osvoboditve*, prvič zgodovinsko opredelila tudi radeško papirnico. Prof. Majes je podatke pridobil iz zemljiških knjig radeškega gospostva do leta 1848 ter iz poznejših zapisov okrajnega sodišča v Radečah. Številne informacije so se ohranile tudi prek ustnega izročila, iz katerih je nastala pripoved o obdobju, ki ga je zaznamovala proizvodnja papirja.

1.2.2 PAPIRNI MLIN

V različnih virih se o začetkih radeške papirnice najpogosteje pojavljajo letnice 1670, 1736 in 1744. Med temi je najpogosteje omenjena letnica 1670, ki jo je prvi zapisal Franc Krawany v svojem delu o zgodovini papirne industrije v Avstro-Ogrski, izdanem leta 1920 na Dunaju. Po raziskavah dr. Thiela, strokovnjaka za področje Kranjske, Goriške in Reke, so zgodovinski

dokazi za to letnico šibki. Namesto tega navaja, da se prva omemba papirnice pojavi leta 1695 na Kranjskem, vendar tudi takrat ni povsem potrjena.

Profesor Majes in Darko Cafuta sta iz različnih zgodovinskih zapisov in registrov ugotovila, da je letnica 1746 edina, ki jo zgodovinski viri jasno podpirajo. Na primer, Valvasor je leta 1689 omenjal fužino Žebnik ob potoku Sopota, kjer je zapisal: "Ravno pod Žebnikom je nekoč obratovala fužina, ki je propadla." To jasno kaže, da papirnice v tistem času še ni bilo.

Majes nadalje omenja, da je papirnica v Radečah leta 1744 pripadala Mihaelu Müllerju, ki jo je vpisal v svoje poslovne knjige. Leta 1754 so bili pogoji za delo v tej panogi zelo zahtevni, saj so določali dolge delovne ure od treh zjutraj do šestih popoldne. Müller je izdeloval različne vrste papirja, med drugim poštni papir, ovojni papir in lepence.

Raziskave Darka Cafute segajo še dlje. Omenja, da so se prvi zapisi o papirnici pojavili v laških dekanskih kronikah, kjer jo je omenjal tudi Janez Gajšek. Kljub temu natančen čas nastanka papirnice še vedno ni znan.

Prvo uradno poročilo o papirnici v Radečah je nastalo leta 1725 na zahtevo krajevnih oblasti. Izdelovali so papir za tiskanje in ovijanje, pri čemer so uporabljali različne metode in tehnologijo, kot so nizke vodne gladine in posebni mlini za predelavo surovin. V drugi polovici 18. stoletja je obrat začel proizvajati bolj kakovostne izdelke, vendar so gospodarske in politične razmere večkrat otežile njegovo delovanje.

1.2.3 19. STOLETJE V RADEŠKI PAPIRNICI

V trgu Radeče sta 3. oktobra 1814 podpisala prodajno pogodbo Tomaž Tanzer in Anton Pluš, lastnik radeškega papirnega mlina na Njivicah. Imetje je bilo tako vredno 1030 goldinarjev. Kupec ga je kupil leta 1815. Tomaž Tanzer je za obnovo kupoval različne materiale (jeklo, žeblje, pločevino, železne palice, ključavnice ...). Gradbena dela so se počasi zaključevala med 3. in 14. marcem leta 1816. V tistem času poslovanje papirnice zaradi slabega finančnega stanja ni potekalo najbolj gladko. Izdelovali so pisarniški papir, knjižni regal, konceptni papir ...

Kasneje, leta 1819, sta podjetje kupila brata Jurij in Karel Tanzer. Finančno sta podprla papirnico in poravnala dolgove. V tem času se je njeno območje povečalo. Kot glavno poslopje je štela papirnica s hlevom in z dvoriščem, zelenjavnim vrtom, malim vrtom in s travnikom. Tehnična novost sta bila dva holandska mlina.

Ne dolgo zatem, leta 1836, je v Gradcu papirnico odkupil Janez Pothorn, tovarniški direktor pa je bil Jožef Zdolšek. Začelo se je tiskanje vodnih znakov, medtem pa je v Vevčah stekla strojna proizvodnja in začeli so se hudi časi. Leta 1844 je proizvodnjo in celotno Pothornovo graščino ob neurju zalila voda. Zgrajena je bila železniška proga iz Celja do Ljubljane in onemogočila cenejši uvoz papirja od drugod. Leta 1851 je bila zaradi premajhnega zaslužka papirnica prodana Filipu Jakobu Prodniku. Kasneje so jo še prodajali različnim lastnikom, poskušali izboljšati, kar se je dalo, a papirnica žal ni napredovala.

Leta 1878 je proizvodnjo kupil Valentin Krisper, ki jo je popolnoma obnovil. Postavil je papirni stroj, papirnica je imela več manjših naprav in strojev za izdelovanje papirja. Pozneje, navaja se leto 1901, naj bi bil postavljen še drugi papirni stroj, ki naj bi bil novejši. Delo je bilo naporno, a je potekalo hitro in tekoče. Papir so izvažali tudi Piatnikom na Dunaj. Leta 1898 so zgradili tako imenovano cunjarno, kjer so rezali in oblikovali cunje oziroma rabljeno blago. Krisper je za delavce zgradil tudi stanovanjsko poslopje ob Sopotu pri papirnici.

1.2.4 PROIZVODNJA VREDNOSTNEGA PAPIRJA V PAPIRNICI RADEČE

Leta 1907 so podjetje prodali Ferdinandu, Adolfu in Rudolfu Piatniku. Leta 1908 so zgradili tudi elektrarno za razsvetljavo in kasneje za druge namene. Istega leta je bilo kar veselo, papirničarji so namreč slavili zakon družine Piatnik in Krisper. Delavci so ostajali zvesti tudi po 40 let. Papirnica je bila ponovno obnovljena leta 1928. Konjeniški prevoz so zamenjali motorni avtomobili, papirnica pa je kmalu dobila lastne šoferje.

Kasneje, s prihodom inženirja Viktorja Piatnika, je nastal spet nov papirni stroj, ki je zmožgal proizvesti okoli 12 ton papirja dnevno. Strojne opreme papirnice je bilo z vsakim letom več in višalo se je tudi število zaposlenih. Proizvajali so papir iz cunj (banknotni in dokumentni papir), peresno lahek papir in karton, pravi pergament, pravi biblijski papir in alfa esparto.

Papirnica naj bi večino proizvedenega banknotnega papirja izvažala v Avstro-Ogrsko. Druga svetovna vojna na slovenski trg prinese še izvoz denarnega papirja za Nemčijo, Italijo in Madžarsko. Prav tako je kasneje radeška papirnica izdelovala papir za jugoslovanske dinarje. Dolgoletno sta kot direktorja papirnico zaznamovala Stane Koselj in Janez Zahrastnik.

Po osamosvojitvi 1991 smo uvedli tolar. Radeška papirnica je tako tudi za Slovenijo tiskala tolarje vseh vrednosti. Danes, ko smo del EU, se podjetje še pripravlja na pridobitev certifikata

za tisk evropskega denarja. Zgodbo o izdelovanju banknotnega papirja so leta 1908 začeli bratje Piatnik iz Dunaja, ki pa še vedno teče. [4]

1.3 NAMEN NALOGE

Želimo ugotoviti, kakšna je razlika med vrstami papirja z različnimi vlakninskimi sestavami. Prav tako nas zanima, kako na papir vplivajo dodane kemikalije in kako naredijo papir bolj mokromočen.

1.4 METODE DELA

1.4.1 PREGLED LITERATURE

Podatke smo črpali predvsem iz učbenikov in gradiva podjetja, iskali pa smo jih tudi po spletnih člankih. Naleteli smo na nekaj težav, saj na spletu strokovnih podatkov primanjkuje, zato smo se zanašali bolj na vire, ki smo jih pridobili v proizvodnji. Uporabili smo tudi zgodovinske vire podjetja in njegovega razvoja. Literatura nam je bila prav tako v pomoč pri izbiri tematike raziskovalnega dela.

1.4.2 EKSPERIMENTALNO DELO

Delo smo opravili v Radeče papir nova d.o.o., kjer nas je najbolj zanimalo delo v laboratoriju. Znanje smo pridobili od ljudi, ki se s papirništvom ukvarjajo že desetletja. Naredili smo ročno narejen papir, ki smo ga testirali na aparatih za nadzorovanje kakovosti papirja. Seznanili smo se z ročnim delom, ter delom na strojih in napravah, pri čemer smo naleteli tudi na nekaj težav.

1.4.3 ANALIZA REZULTATOV

Na koncu smo izmerjene rezultate primerjali med seboj in ugotavljali, kakšne so razlike v kakovosti papirja. Izvedeli smo, kateri papir najbolj kvaliteten.

2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE

HIPOTEZA 1

Vzorci papirja z dodanimi kemikalijami bodo težji in debelejši kot vzorci brez dodanih kemikalij.

HIPOTEZA 2

Pri utržni jakosti bo vzorec s kemikalijami potreboval več sile kot vzorec brez dodanih kemikalij, da se bo strgal.

HIPOTEZA 3

Pri mokrem vzorcu z dodanimi kemikalijami bo razlika v trpežnosti večja kot pri vzorcu brez dodanih kemikalij.

HIPOTEZA 4

Natrgan vzorec (merjenje raztržne jakosti) s kemikalijami bo potreboval več sile kot nenatrgan vzorec, da se bo dokončno strgal.

HIPOTEZA 5

Pri testu Cobb bo vzorec s kemikalijami vpil manj vode kot jo bo vpil vzorec brez kemikalij.

HIPOTEZA 6

Pri testu Cobb bo klejen vzorec manj vpojen kot surov vzorec.

HIPOTEZA 7

Utržna jakost klejenega vzorca bo višja kot utržna jakost surovega vzorca.

HIPOTEZA 8

Relativna utržna mokra jakost klejenega vzorca bo višja kot relativna utržna mokra jakost surovega vzorca.

HIPOTEZA 9

V vzorcih z bombažem bo razlika v utržni jakosti večja kot v vzorcih z manj ali brez bombaža.

3 TEORETIČNI DEL

3.1 PRIPRAVA VLAKNIN

Glede na izvor delimo vlaknine na primarne, ki nastanejo neposredno iz lesa, bombaža ali drugih rastlin, in sekundarne, ki jih pridobimo iz odpadnega papirja. Poznamo pa tudi sintetične vlaknine (najlonska poliamidna vlakna, poliestrska vlakna ...), ki se uporabljajo izjemoma. Papirju dajo boljše mehanske lastnosti, takšen papir je močnejši in bolj odporen na sončno svetlobo. Slabost je, da je hidrofoben (odbija vodo) in lahko povzroča težave pri mletju.

Za izdelavo papirnih izdelkov uporabljamo naslednje vlaknine:

- lesovina,
- termomehanska meljavina (TMP),
- kemijska termomehanska meljavina (CTMP),
- kemijska pridobljena celuloza,
- reciklirane vlaknine (odpadni papir),
- vlaknine enoletnih rastlin (bombaž, konoplja, lan ...). [1]

3.2 VRSTE VLAKNIN

Poznamo več vrst vlaknin. To so vlaknine lesa, celuloze, enoletnih rastlin in recikliranega papirja, na katerega pa se nismo osredotočili. Uporabljamo jih za papir slabših kakovosti (npr. časopisni papir, saj je slabša kakovost za to vrsto papirja zadovoljiva).

3.2.1 VLAKNINE LESA

Les kemijsko sestavlja lignin, hemiceluloza in ekstraktivne snovi. Vsaka od teh obsega različen delež v lesu. Lignina je okoli 20–25 % in predstavlja vezivo med vlakni. Vsebnost celuloze znaša okoli 45 % in je odvisna od vrste lesa, ekstraktivnih snovi pa je v lesu najmanj, in sicer od 2–8 %. To so škrob, smola, balzami, voski ipd.

Vlaknine pridobivamo na različne načine, in sicer z mehanskimi, termomehanskimi in kemijskimi postopki. Glede na to ločimo naslednje vlaknine:

- celuloza,
- lesovina,
- termomehanska meljavina (TMP),
- kemijska termomehanska meljavina (CTMP). [1]

PROCES

Najprej poteka posek dreves in transport do proizvodnje, kjer lesovino pripravimo za izdelavo vlaknin. Les uporabimo v obliki sekancev, ostankov pri žaganju, daljših ali krajših hlodov z lubjem. Hlode v proizvodnji skladiščijo in jih pred porabo narežejo do natanko določenih mer (po potrebi tudi skladiščijo) – tako so kot sekanci pripravljene za kuhalnik.

3.2.2 VLAKNINE CELULOZE

Bale celulozne vlaknine pridejo v papirnice v suhem stanju. Celulozna vlakna je treba pred uporabo ustrezno pripraviti. Bale se dostavi do razpuščevalnikov, kjer se ustvari vlakninska snov.

Celulozo pridobimo iz lesa, največ iz iglavcev (smreka, bor, jelka), lahko pa tudi iz listavcev, pri katerih se največ uporablja les bukve, breze, topola ali evkaliptusa. Vlakna, pridobljena iz listavcev ali iglavcev, se razlikujejo po dolžini vlaken in debelini stene, kar daje papirju različne lastnosti. Kadar pri izdelavi papirja potrebujemo dobre mehanske lastnosti (papir za vrečke), se največ uporablja celuloza iglavcev, pri izdelavi npr. kopirnega papirja pa uporabimo več celuloze, dobljene iz lesa listavcev.

KEMIJSKA CELULOZNA VLAKNINA – v postopku pridobivanja želimo odstraniti lignin, hkrati pa ohraniti celulozna vlakna in hemicelulozo čim manj poškodovano.

POSTOPEK PRIDOBITVE

Najprej moramo lesne sekance skuhati in dodati kemikalije. Nato sledi čiščenje, saj snov vsebuje delež nepredelanih koščkov lesa, skupkov vlaken, pesek, kamenčke ... Kemijska snov za proizvodnjo belega papirja in kartona še ni pripravljena, sledi namreč beljenje (podatek o belini nam pove, koliko modre barve papir odbije s površine). V postopku nastopijo spremenljivke, kot so količina in poraba kemikalij, čas, temperatura, koncentracija, pH vrednost in mešanje.

Kadar tovarne celuloze ni v bližini papirnice, se celulozo posuši do 90 % suhe snovi in zapakira. Tako je pripravljena za transport do papirnic.

3.2.3 VLAKNINE ENOLETNIH RASTLIN

Poleg celuloze se v papirni industriji uporablja tudi vlaknino bombaža, lana, jute in konoplje. Takšna celuloza ima daljša vlakna, zato je bolj primerna za specialni papir (denar, potni listi, vize, diplome ...). Takšen papir mora imeti dobre mehanske lastnosti (je težje razgradljiv, zdrži več pregibov, zdrži dalj časa). Cene za bombažna vlakna v primerjavi s celuloznimi so precej višje, zato se te vlaknine uporabljajo izključno za papir višjih cenovnih razredov.

Za proizvod papirja uporabljamo izčesek (manj kvalitetna vlakna, ki za tekstilno rabo niso primerna), ki ga pridobimo iz predilnic.

Pri skladiščenju bombažnih vlaken moramo biti še posebej previdni, saj so hitro vnetljiva. Uporaba odprtega ognja je zato strogo prepovedana.

POSTOPEK PRIOBITVE

Bale bombažnega izčeska iz predilnice najprej naložimo na suhi trgalnik, katerega funkcija je, da rahlja bombažna vlakna in jih s pomočjo ventilatorja pripravi za transportiranje. V sklopu suhega trgalnika poteka tudi suho čiščenje bombažnih vlaken, pri katerem se odstranijo nečistoče (smeti, plastika, bombažna semena, lupine semen, leseni/kovinski delci ...). Če bi ta pomemben postopek preskočili, bi bile v papirju vidne smeti, kovinski delci pa bi lahko poškodovali strojno opremo. Sledi priprava na beljenje in beljenje, pri čemer se vlaknina v kuhalniku segreje na 115 °C in kuha eno uro. Dodamo kemikalije in vodo. Vlakna se obdelajo še na mokrem trgalniku, kjer jih s krtačnimi valji razvlaknimo in jih transportiramo do mlevnih naprav. Najprej poteka mletje (rafiniranje) v mlevnih napravah, imenovanih holandci. Nato vlaknina počiva v vmesni kadi in na koncu se melje še na cilindričnih, stebričastih ali ploščnih mlinih. V končni fazi postopka se v mešalni kadi zmes pomeša v homogeno zmes (še posebej pomemben postopek je takrat, ko imamo dve različni vlaknini, npr. 50 % celuloze, 50 % bombaža). V mešalno kad dodamo tudi različna klejiva, optična belila, niansirne barve ..., ki se homogenizirajo z vlakninami. Papirna suspenzija je pripravljena v strojni kadi, kjer čaka na doziranje na stroj. Pomembno je, da določen nivo ne niha, in da je koncentracija enakomerno razporejena.

3.3 KLEJIVO

Klejiva so sredstva, ki zvišujejo hidrofobnost papirja. Sestavljena so iz molekul, ki vsebujejo hidrofobni in hidrofilni del.

Ločimo več vrst klejiv (smolna, reaktivna, površinska, polimerna). Nekatere vrste papirja morajo biti na vodo bolj odporne kot druge. Sploh je na vpoj vode občutljiv na primer papir za tisk. Klejiva uporabljamo, da papirju otežimo vpojnost.

Poznamo dva načina klejenja. Pri notranjem klejenju gre za dodajanje klejiva v papirno suspenzijo, pri površinskem klejenju pa gre za površinske nanose klejiva s pomočjo klejne stiskalnice.

Poznamo več različnih vrst klejiv. ASK (alkenil sukcinilski anhidrid) je primer reaktivnega klejiva. Pri tem klejivu moramo biti pazljivi pri času stika s papirno snovjo. Če je čas stika predolg, lahko pride do razpada celuloznih vlaken. Prav tako je reaktivno klejivo AKD, ki pa časovno potrebuje več stika s papirno snovjo.

Smolna klejiva delimo na dve vrsti glede na lastnost in princip izdelave. Ločimo smolna mila, v katerih je delež prostih smol do 20 %, in prostosmolna klejiva, ki so emulzije smol z visokim deležem prostih smol (80–90 %). [3]

Poznamo tudi druge vrste klejiv, kot je na primer PVA (polivinil alkohol) idr.

3.4 MOKROMOČNOSTNA SREDSTVA

Mokromočnostna sredstva so kemikalije, ki jih uporabljamo za povečanje mokromočnosti papirjev. To pomeni, da papir v stiku z vodo še ohranja del svoje trdnosti. Poznamo več mokromočnih sredstev, kot so urea, melamin, melapret, carbocell ipd.

3.5 STANDARDI KAKOVOSTI

Kontrole papirja se v papirnicah izvajajo po standardnih predpisih, ki so mednarodno določeni. Tako se lahko papir pošilja tudi v tujino in tudi tam ustreza predpisom.

Poznamo več vrst kontrol kakovosti, kot so izmenska kontrola, naključna kontrola (v primeru suma na nekakovosten izdelek kontrolo izvedemo, ko je papir že pripravljen za kupca, da se dodatno prepričamo o ustreznosti papirja), kontrola za arhiv (preverimo, ali papir ustreza predpisom, da se vzorci arhivirajo v primeru reklamacij ali pa kot primerjava za kasnejšo

izdelavo; vzorci se odvijajo na vseh področjih proizvodnega procesa) in kontrola kupca oz. zunanje inštitucije (kadar ima kupec specifične zahteve za papir – na primer vrednostni papir; kontrola takega papirja se izvede tik pred prevzemom papirja).

Ključnega pomena pri kontroli je odvzem vzorca, saj lahko samo tako pridobimo ustrezne in zanesljive rezultate kontrole. Količina vzorca ter njegova velikost morata biti ustrezni in standardni, vzorec pa moramo vzeti s čistimi rokami. Vzorec ne sme biti zmečkan ali prepognjen itd.

Če bi morali izvesti dodatne meritve, kontrole..., moramo imeti pripravljenih več vzorcev za kontrolo. Vsi vzorci morajo biti pravilno označeni. Prav tako imamo za odvzeme vzorca določene standardne predpise.

Praviloma se v izmenski kontroli testirajo:

- gramatura,
- debelina,
- specifični volumen,
- belina,
- opaciteta,
- barvne koordinate,
- delež pepela,
- vpojnost vode Cobb,
- absolutna vlaga,
- mehanske lastnosti (utržna odpornost, razpočna odpornost, raztržna odpornost, togost),
- gladkost,
- hrapavost,
- poroznost,
- sijaj (premazni papirji). [1]

Določene izmed teh lastnosti se morajo preverjati za vsak nastali zvitek, določene pa se preverjajo npr. 1-krat na dan ali 1-krat na izmeno. Izmensko kontrolo izvajajo predvsem za potrebe rednega preverjanja kvalitete papirja, saj lahko v primeru nesprejemljivih rezultatov preprečimo povečanje izmeta papirja.

KONROLA VLAKNINSKIH MATERIALOV

Tu gre za odvodnjavanje suspenzije s pomočjo sita. Večinoma se uporablja lesovinske vlaknine, lahko tudi anorganski materiali, kot je kalcijev karbonat ali kaolin. Redko se doda umetna vlakna.

3.5.1 OSNOVNE LASTNOSTI

GRAMATURA, OSNOVNA TEŽA

Gramatura velja za največkrat izraženo lastnost papirja, takoj za njo pa dimenzija, ki pa je ne štejemo direktno pod tipično preskusno lastnost papirja. Definicija gramature bi bila razmerje med maso in površino papirja. Za te meritve potrebujemo naprave z natančnim merilom in tehtnico.

$$G = \frac{m_v}{A_v} \quad (1)$$

Kjer je G gramatura ($\frac{g}{m^2}$), m_v masa vzorca (g) in A_v je površina vzorca (m^2).

DEBELINA

V laboratoriju jo merimo z mikrometrom ali debelinometrom, izražena je v mm ali mikrometrih. Merimo jo med zgornjo in spodnjo stranjo papirja.

DIMENZIONALNA STABILNOST

Je Odvisnost dimenzij papirja na spremembe klimatskih pogojev v oklici papirja. Spremembe temperature in vlage lahko vplivajo ne samo na mehanske lastnosti, ampak tudi na krčenje in raztezanje papirja, ki je neposredno povezano z njegovo dimenzijo. [2]

3.5.2 MEHANSKE LASTNOSTI

UTRŽNA ODPORNOST/JAKOST

Določamo jo z natezno silo, ki je potrebna, da se vzorec pretrga. Enota za določanje utržne jakosti je $\frac{kN}{m}$.

UTRŽNA ODPORNOST/JAKOST V MOKREM

Vzorec predhodno namakamo v destilirani vodi (do 1 ure). Nato s pivniki s površine odstranimo vodo in enako kot pri suhem vzorcu izmerimo utržno jakost. Če želimo vedeti odstotek utržne jakosti v mokrem glede na utržno jakost v suhem, rezultat utržne mokre delimo z rezultatom utržne suhe in pomnožimo s sto.

$$\text{odstotek utržne jakosti} = \frac{\text{utržna jakost v suhem}}{\text{utržna jakost v mokrem}} \times 100 \quad (2)$$

RAZTRŽNA ODPORNOST/JAKOST

Vrednosti sile v N, ki je potrebna za nadaljevanje trganja že zarezanega lista papirja, kartona. Odpornost se meri v obeh smereh teka vlaken. Aparat je opremljen z nihalom, merilcem sile, nožem, ki naredi zarezo in vstavitvene prižeme. Za meritev imamo glede na odpornost vzorca tri različna nihala (nihalo za nižjo/srednjo/visoko odpornost). Običajno vstavimo štiri vzorce hkrati, v izrednih primerih (pomanjkanje količine vzorca, visoki moči, gramaturi papirja ...) pa dva vzorca. To pri končnem izračunu upoštevamo.

$$F = \frac{xp}{n} \times 9,81 \quad (3)$$

Kjer je F je raztržna odpornost, izražena v mN , x je odčitana vrednost, p je faktor nihala v mN , n je število listov vzorca (običajno štiri). [2]

3.5.3 PREPUSTNOST NA VODO, ZRAK IN PARO

POVRŠINSKA ASORBCIJA VODE

Cobb ISO 535 – Z ugotavljanjem po metodi Cobb, ugotavljamo stopnjo klejenosti (hidrofobnosti) vzorca papirja. Papir je klejen, da dosežemo čim manjšo vpojnost vode. Poznamo več stopenj klejenja – od neklejenega do visoko klejenega papirja.

Za izvedbo potrebujemo tehtnico, količino demineralizirane vode, obroč, kamor zlijemo vodo, štoparico, vpojni karton in valček z določeno maso. Najprej stehtamo vzorec in ga vpnejo med obroč in gumijasto podlago, na površino papirja pa zlijemo odmerjeno količino vode. Za določen čas pustimo vodo stati na površini papirja, nato jo odlijemo in vzorec odstranimo iz obroča in ga prenesemo na vpojni papir in po odmerjenem času tudi pokrijemo z vpojnim papirjem, dvakrat potegnemo z valjem po zgornjem pivniku in na koncu vzorec stehtamo.

Vpojnost je razlika med maso papirja pred omočitvijo in maso papirja po omočitvi. Enota je kot pri gramaturi g/m^2 . Cobb merimo praviloma po obeh straneh papirja. [2]

3.5.4 KONTROLA VLAKNINSKIH SUSPENZIJ

Vlakna so običajno suspendirana v vodi, da lahko tvorijo vodikove vezi. Voda deluje kot transportni medij – pomaga pri vnosu kemikalij, omogoča prilagajanje formacije z razredčevanjem ipd.

KONCENTRACIJA

Pomeni vsebnost suhe snovi v vodni suspenziji. Princip meritve je na osnovi odvodnjavanja točnega volumna in koncentracije suspenzije na situ, pri čemer pomeni počasnejše odvodnjavanje višjo stopnjo mletja in obratno. Vlakna se zadržijo na situ, voda se zbere na merilnem valju z merilno skalo stopnje mletja. Poznamo dve merilni skali. To sta SR in CSF. SR (stopnja mletja po Scgopper-Rieglerju) določa stopnjo mletja vlaknin v suspenziji. Višja stopnja SR pomeni, da so vlakna bolj zmelta. CSF (Canadian Standard Freeness) je podobna meritev kot SR, ki pa je uporabljena predvsem v Severni Ameriki. Ta določa manj zmelta vlakna. Podatek o SR je najpomembnejši podatek o pripravi določene vlaknine za izdelavo papirja. [2]

STOPNJA MLETJA

Odraža intenzivnost mehanske obdelave.

SPOSOBNOST ZADRŽEVANJA VODE

Je na vlaknino vezana količina vode, ki se je mehansko ne da odstraniti. Sposobnost zadrževanja vode preverimo tako, da majhno količino vlakninske suspenzije vstavimo v centrifugo, vlakna se ožamejo in vrednost WRV (water retention value) predstavlja preostali delež vode. Rezultate izračunamo gravimetrično.

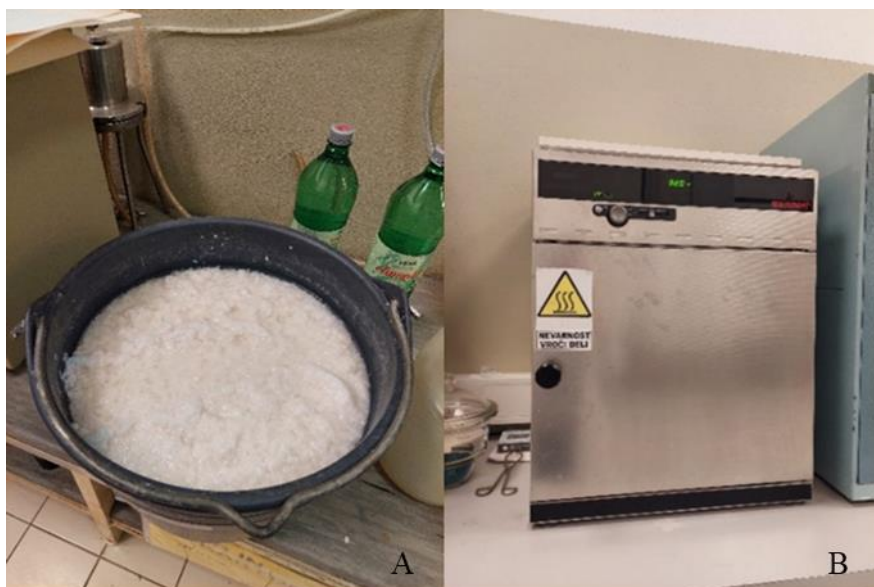
4 EKSPERIMENT

4.1 POSTOPEK DELA

V začetku eksperimentalnega dela smo se morali lotiti ročnega izdelovanja papirja, da smo nato na teh vzorcih preverili mehanske lastnosti.

4.1.1 50 % BOMBAŽ IN 50 % CELULOZA

Najprej smo izračunali koncentracijo snovi. Za to smo potrebovali maso zatehte in maso iztehte. Za zatehto smo namerili približno 100 g papirne mase. Maso smo nato prefiltrirali in jo posušili v sušilniku za dve uri na 105 °C. Stehtali smo maso iztehte in jo delili z zatehto ter pomnožili s tisoč.



Slika 1: A) Suspenzija 50 % bombaža in 50 % celuloze B) Sušilnik za suspenzijo

Zatehta: 105,664 g

Iztehta: 3,351 g

$$\begin{aligned} & (\text{Iztehta} \div \text{zatehta}) \times 1000 = \\ & = (3,351 \text{ g} \div 105,664 \text{ g}) \times 1000 = \\ & = 31,7 \frac{\text{g}}{\text{L}} \end{aligned} \quad (4)$$

Potem smo preračunali, koliko zmesi moramo dodati v mešalno kad. Ker je v proizvodnji standardno določeno preračunavanje koncentracije s $15,7 \frac{g}{L}$, smo to tudi pretvorili s križnim računom.

$$\begin{array}{l} 31,7 \frac{g}{L} \dots\dots 1000 \text{ mL} \\ \\ 15,7 \frac{g}{L} \dots\dots x \text{ mL} \\ \\ x = 495 \text{ mL} \end{array} \quad (5)$$

V mešalno kad smo dodali 495 mL zmesi celuloze in bombaža ter 8 L vode. V kad je vstavljen tudi mešalnik, ki ves čas meša pripravo, da se delci med seboj čim bolj enakomerno razporedijo. Zmes se je mešala približno 15 minut, nato pa smo začeli ročno izdelovati papir na stroju, imenovanem oblikovalnik.



Slika 2: A) Mešalna kad B) Oblikovalnik [osebni arhiv]

Odtočili smo 1271 mL zmesi v vrč in v oblikovalnik spustili nekaj vode za pripravo. Prelili smo snov v posodo na oblikovalniku, prestavili ročico na naslednjo stopnjo in pustili, da se delci razporedijo po površini. Stroj je nato posrkal večino vode vase. Nanj smo položili suh papir za sušenje in po njem povaljali z valjem, da se je še svež in moker papir prijel na sušilni papir in tako smo naredili vzorce. Naredili smo 12 kosov papirja, in jih za 20 minut pustili v sušilnem valju, da so se posušili.



Slika 3: A) Neposušen papir na oblikovalniku B) Valjanje C) Sušilni valj [osebni arhiv]

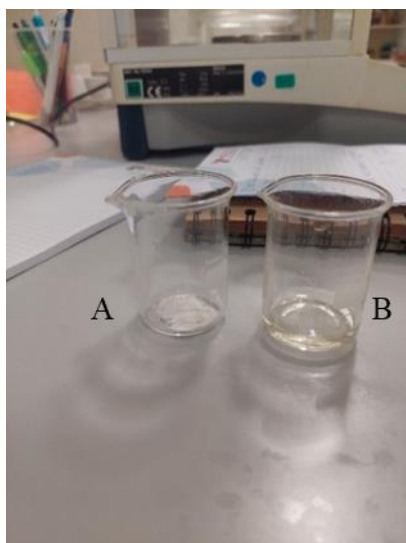
Medtem ko smo čakali, da se naš papir iz 50 % bombaža in 50 % celuloze posuši, smo naredili maso za naslednje vzorce. Uporabimo enake zgornje meritve, saj delamo z istimi snovmi, le da tokrat dodamo 10 % melapreta in 1 % carboCELLa. Za vsako od kemikalij smo naredili križni račun, da smo izračunali maso potrebnih kemikalij. Zopet računamo s $15,7 \frac{g}{L}$.

MELAPRET

$$\begin{aligned}
 15,7 \frac{g}{L} & \dots\dots 1000 \text{ mL} \\
 x \text{ g} & \dots\dots 10 \% \\
 x & = 1,57 \text{ g} \qquad \qquad \qquad (6)
 \end{aligned}$$

CARBOCELL

$$\begin{aligned}
 15,7 \frac{g}{L} & \dots\dots 1000 \text{ mL} \\
 x \text{ g} & \dots\dots 1 \% \\
 x & = 0,157 \text{ g} \qquad \qquad \qquad (7)
 \end{aligned}$$



Slika 4: A) Melapret B) Carbocell

Ker je melapret prah, ga v manjšo čašo na tehtnici dodajamo z žličko, carbocell pa s pipeto in merilno bučko, ker je tekoč. V našo zmes dodamo 8 L vode in 495 mL zmesi bombaža in celuloze, dodamo še 1,57 g melapreta in 0,157 g carbocella. Tudi to pustimo mešati. Ta čas se je papir brez kemikalij posušil.

Ko se je zmes s kemikalijami zmešala, smo zgoraj opisani postopek ponovili.

4.1.2 100 % CELULOZA

Celoten postopek smo ponovili. Izračunali smo koncentracijo snovi in to preračunali v $15,7 \frac{g}{L}$.

Zatehta: 125,604 g

Iztehta: 1,902 g

Koncentracija:

$$\begin{aligned}
 (1,902g \div 125,604g) \times 1000 &= \\
 &= 15,1 \frac{g}{L} \qquad (8)
 \end{aligned}$$

Pretvorba:

$$15,1 \frac{g}{L} \dots\dots 1000 \text{ mL}$$

$$15,7 \frac{g}{L} \dots\dots x \text{ mL}$$

$$x = 1040 \text{ mL} \quad (9)$$

Tokrat smo v mešalno kad poleg 8 L vode dodali 1040 mL celuloze in postopek ponovili. V drugem delu poskusa s celulozo smo dodali enako maso kemikalij kot pri zmesi s 50 % bombaža in 50 % celuloze, saj se koncentracija tudi preračuna s $15,7 \frac{g}{L}$, ter izdelali papir iz 100 % celuloze s kemikalijami.

4.1.3 100 % BOMBAŽ

Tokrat smo bombaž sami strgali in zmleli v holandcu (Valley mlin) in pustili približno 30 minut, da se je zmel na majhne koščke. Njegova koncentracija je bila $14,5 \frac{g}{L}$. Spet sva preračunali v $15,7 \frac{g}{L}$.



Slika 5: A) Holandec (Valley mlin) B) Trganje bombaža [osebni arhiv]

Zatehta: 108,940 g

Iztehta: 1,574 g

Koncentracija:

$$(1,574 \text{ g} \div 108,940 \text{ g}) \times 1000 = 14,7 \frac{g}{L} \quad (10)$$

Pretvorba:

$$14,5 \frac{g}{L} \dots\dots 1000 mL$$

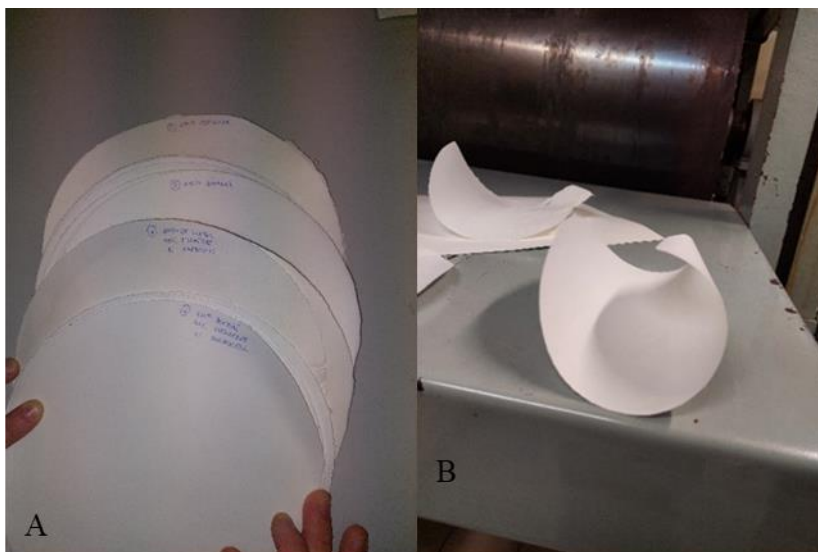
$$15,7 \frac{g}{L} \dots\dots x mL$$

$$x = 1083 mL \quad (11)$$

V 8 L vode smo dodali 1083 mL bombaža in postopek ponovili še enkrat. V zadnji ponovitvi smo v enako količino dodali še 1,57 g melapreta in 0,157 g carbocella. Počakali smo, da se vzorci posušijo in izmerili rezultate.

OPAZKI

Bombažni listi so bili bolj modri in rahlo upognjeni, ko so se posušili, medtem ko so bili celulozni listi rahlo rumenkasti in manj upognjeni.



Slika 6: A) Primerjava barve med celuloznimi in bombažnimi listi B) Zvit bombažni list [osebni arhiv]

4.1.4 POSTOPEK KLEJENJA VZORCEV BREZ DODANIH KEMIČALIJ

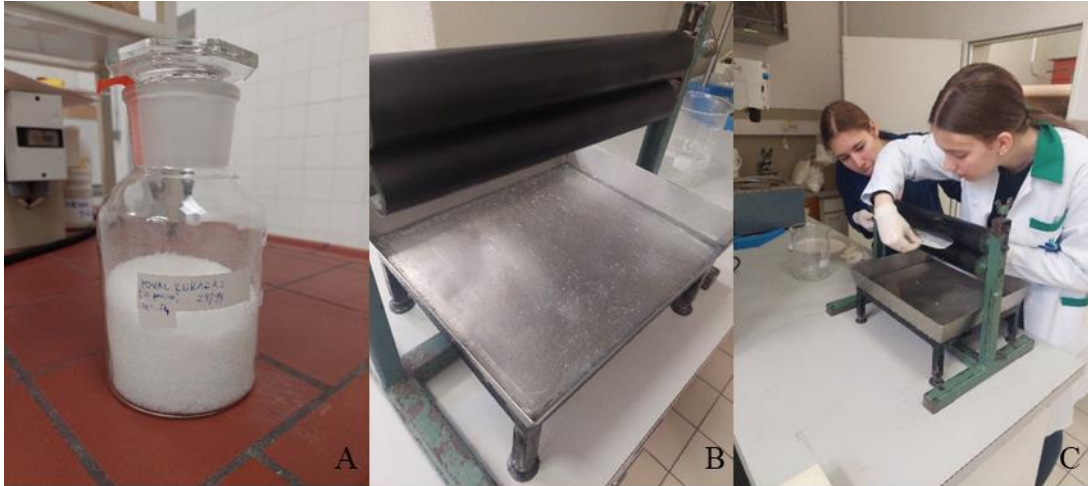
Pri klejenju nas je predvsem zanimalo, kako se obnaša klejen papir brez dodanih kemikalij. Uporabili smo način površinskega klejenja vzorcev, pri katerem smo uporabili klejno stiskalnico.

V vodno kopel smo natočili 2 L vode in počakali, da zavre. V tem času smo v čašo dolili 1 L vode, 60 g PVA in 8 mL melapreta. Ko je voda zavrela, smo čašo, v kateri je bila raztopina, potopili v vodno kopel in počakali 30 minut. Ves čas se je raztopina mešala z napravo, da je nastala homogena snov. Raztopina je bila kuhana, ko ni bilo več vidnih kristalov.



Slika 7: Vodna kopel [osebni arhiv]

Po 30 minutah smo raztopino ohladili na 60 °C in jo prelili v posodico pod klejno stiskalnico. Celoten papir smo potopili v želatinasto raztopino in ga previdno spustili skozi stiskalnico. Papirje smo položili na mrežo za približno dve uri in počakali, da se osušijo. Po dveh urah smo vzorce za pet minut položili v sušilni valj, da se je papir dokončno posušil. To smo naredili 8-krat, a sta se nam dva vzorca ponesrečila, saj sta se že med površinskim klejenjem strgala zaradi strukture vlaken in posledic ročnega dela vzorcev, torej neenakomerne razporeditve vlaken. Ponesrečili so se vzorci 100 % bombaža ter vzorci 50 % bombaža in 50 % celuloze, tako sklepamo, da je za to kriv bombaž, česar nismo pričakovali.



Slika 8: A) PVA B) Klejna stiskalnica in posoda pod njo C) Postopek klejenja [osebni arhiv]

4.2 PREGLEDOVANJE MEHANSKIH LASTNOSTI OPAZOVANCEV

Ko smo zaključili z izdelovanjem, smo imeli 12 enakih surovih vzorcev papirja (ker se je kakšen vzorec ponesrečil, smo jih preventivno naredil več) pri šestih različnih opazovancih:

- vzorec s 50 % celuloze in 50 % bombaža (OPAZOVANEC 1)
- vzorec s 50 % celuloze in 50 % bombaža + melapret, carbocell (OPAZOVANEC 2)
- vzorec s 100 % celulozo (OPAZOVANEC 3)
- vzorec s 100 % celulozo + melapret, carbocell (OPAZOVANEC 4)
- vzorec s 100 % bombažem (OPAZOVANEC 5)
- vzorec s 100 % bombažem + melapret, carbocell (OPAZOVANEC 6)

Zaradi ročno narejenih vzorcev smo pri različnih vzorcih papirja dobili različne meritve, ki smo jih preračunali na povprečno vrednost. Pri nekaterih se je dalo izračunati točno in ni bilo treba izvesti meritev na več vzorcih papirja (raztržna jakost, test Cobb).

Preglednica 1: Rezultati in povprečna vrednost ob izvedenih meritvah za mehanske lastnosti šestih različnih surovih opazovancev.

	OPAZOVAN EC 1	OPAZOVAN EC 2	OPAZOVAN EC 3	OPAZOVAN EC 4	OPAZOVAN EC 5	OPAZOVAN EC 6
GRAMATU RA [g]	80, 79, 81 = 80	81, 79, 81 = 80	82, 78, 80 = 80	79, 79, 82 = 80	81, 78, 84 = 81	81, 80, 79 = 80
DEBELINA [μm]	215, 208, 216 = 213	260, 255 = 258	187, 175, 175 = 179	165, 180, 169 = 171	275, 240, 265 = 260	235, 242, 240 = 239
UTRŽNA JAKOST [N]	40, 39 = 40	42, 47 = 45	71, 75 = 73	68, 93 = 81	39, 39 = 39	47, 51 = 49
RELATIVN A UTRŽNA MOKRA JAKOST [%]	2, 3 = 3	29, 26 = 28	3, 3 = 3	28, 19 = 24	3, 3 = 3	36, 33 = 35
RAZTRŽNA JAKOST [mN]	1056	1180	860	912	1024	1476
COBB TEST [$\frac{g}{m^2}$]	269	225	165	172	196	172

4.2.1 IZVEDBA PREGLEDA MEHANSKIH LASTNOSTI OPAZOVANCEV

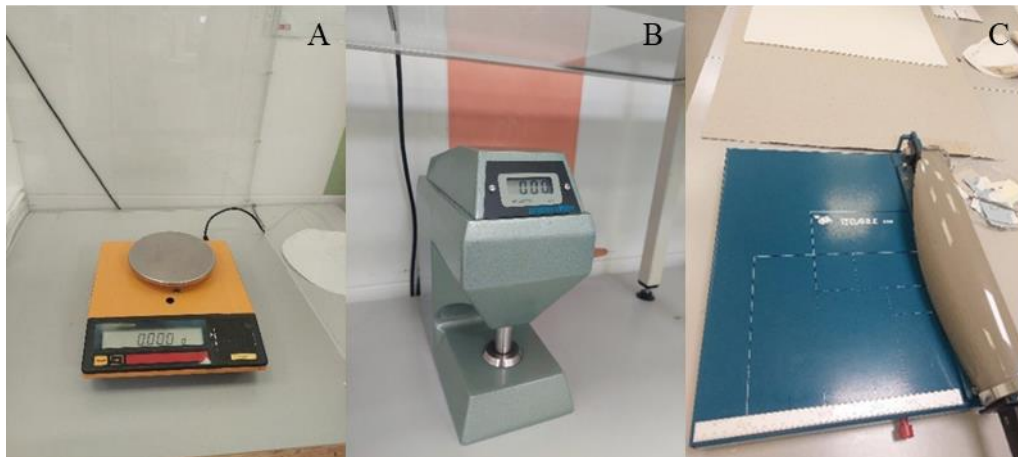
Preverili smo naslednje mehanske lastnosti: gramaturo, debelino, utržno jakost, relativno utržno mokro jakost, raztržno jakost in test Cobb.

Gramaturo smo izmerili s pomočjo precizne tehtnice, **debelino** pa s pomočjo aparata za merjenje debeline. Pri obeh lastnostih smo uporabili tri vzorce papirja, saj zaradi ročnega izdelovanja prihaja do manjših odstopanj. Nato smo izračunali povprečno vrednost vzorcev.

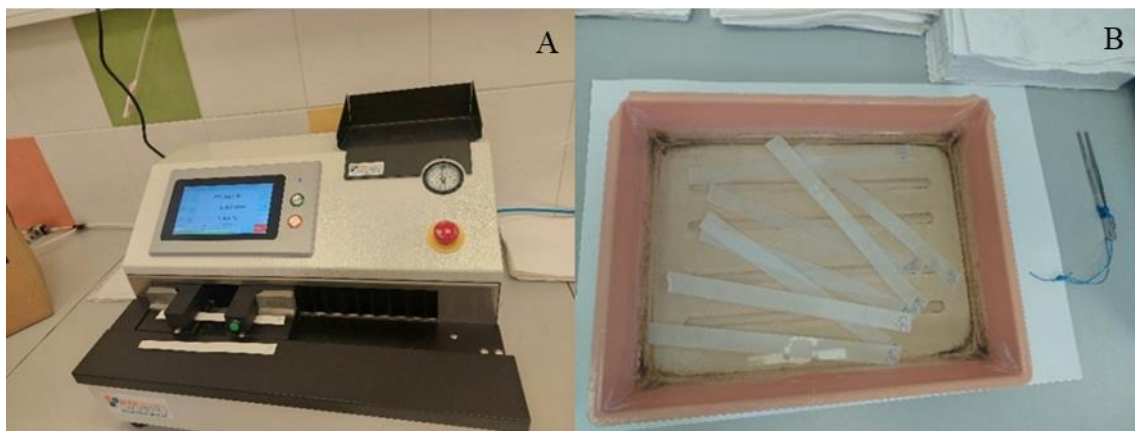
Za **utržno jakost** smo morali vzorce najprej narezati na enake dele s pomočjo rezalnika. Nato smo jakost izmerili s pomočjo aparata za merjenje utržne jakosti. Preden smo izmerili **relativno utržno mokro jakost**, smo morali papir namakati v vodi. Vzorec smo v vodi pustili 5 minut. Nato smo s pomočjo aparata izmerili končno relativno utržno mokro jakost. Tudi pri tem smo uporabili dve meritvi za boljšo natančnost in izračunali povprečno vrednost. Ker smo računali odstotek relativne utržne mokre jakosti glede na utržno suho, smo jo morali preračunati (v poglavju *Mehanske lastnosti* pod opisom *Utržna odpornost/jakost v mokrem*).

Raztržno jakost smo izmerili s pomočjo aparata za merjenje raztrga. Pred merjenjem smo vzorec razrezali na rezalu za raztržno jakost in tako so bili ustrezni za merjenje. Zaradi pomanjkanja vzorcev smo v aparat vstavili le 2 vzorca in to upoštevali pri izračunu. Torej vrednost, ki jo je pokazala aparatura za merjenje raztržne jakosti, nismo množili z 2, ampak s 4.

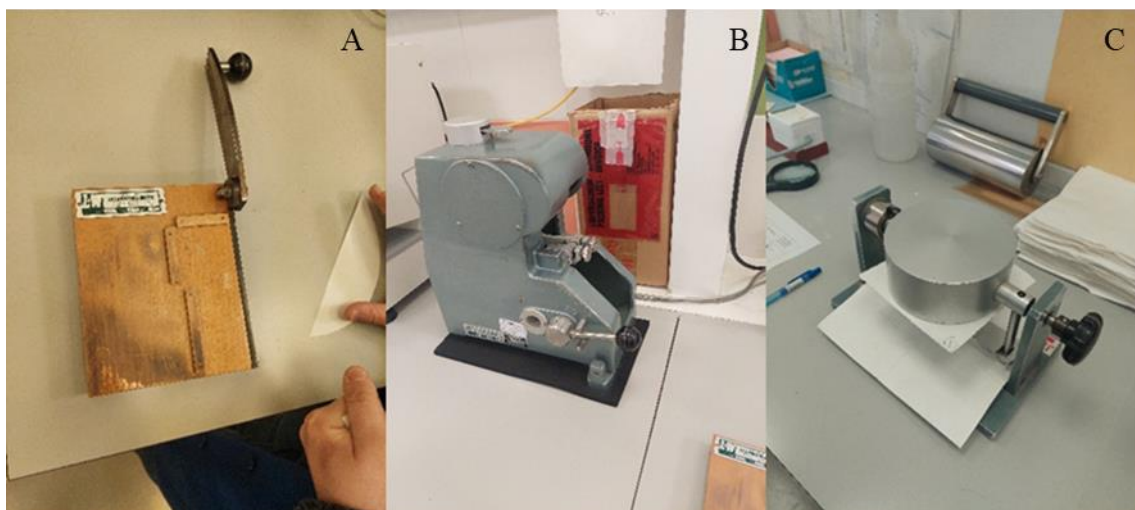
Nato smo izmerili še **površinsko asorbcijo vode (test Cobb)**. Postopek tega je opisan v poglavju *Prepustnost na vodo, zrak in paro* v opisu *Površinske asorbcije vode*.



Slika 9: A) Precizna tehtnica B) Aparat za merjenje debeline C) Rezalnik [osebni arhiv]



Slika 10: A) Aparat za merjenje utržne jakosti B) Namakanje testnih papirjev [osebni arhiv]



Slika 11: A) Rezalo za raztržno jakost B) Aparat za merjenje raztrga C) Spektrodensitometer [osebni arhiv]

Pri klejenih opazovancih smo prav tako izvedli tri različne meritve za tri različne opazovance. Vse meritve smo izvedli na enak način, kot smo izvedli meritve za mehanske lastnosti surovih opazovancev.

Preglednica 2: Rezultati in povprečne vrednosti ob izvedenih meritvah za mehanske lastnosti treh različnih klejenih opazovancev.

	OPAZOVANEC 1	OPAZOVANEC 3	OPAZOVANEC 5
UTRŽNA JAKOST [N]	137, 143 = 140	150, 135 = 143	142, 128 = 135
RELATIVNA UTRŽNA MOKRA JAKOST [%]	20, 21 = 21	13, 16 = 15	22, 24 = 23
COBB TEST $\left[\frac{g}{m^2}\right]$	224	173	184

5 REZULTATI IN UGOTOVITVE

5.1 REZULTATI SUROVIH VZORCEV PAPIRJA

Vzorci s 50 % celuloze 50 % bombaža brez kemikalij in 50 % celuloze in 50 % bombaža z 10 % melapreta in 1 % carbocella

Papir brez kemikalij je v povprečju lažji od papirja s kemikalijami za 0,33 g in tanjši za 44,5 μm . Pri utržni jakosti potrebujemo 5 N močnejšo silo, da se papir s kemikalijami strga

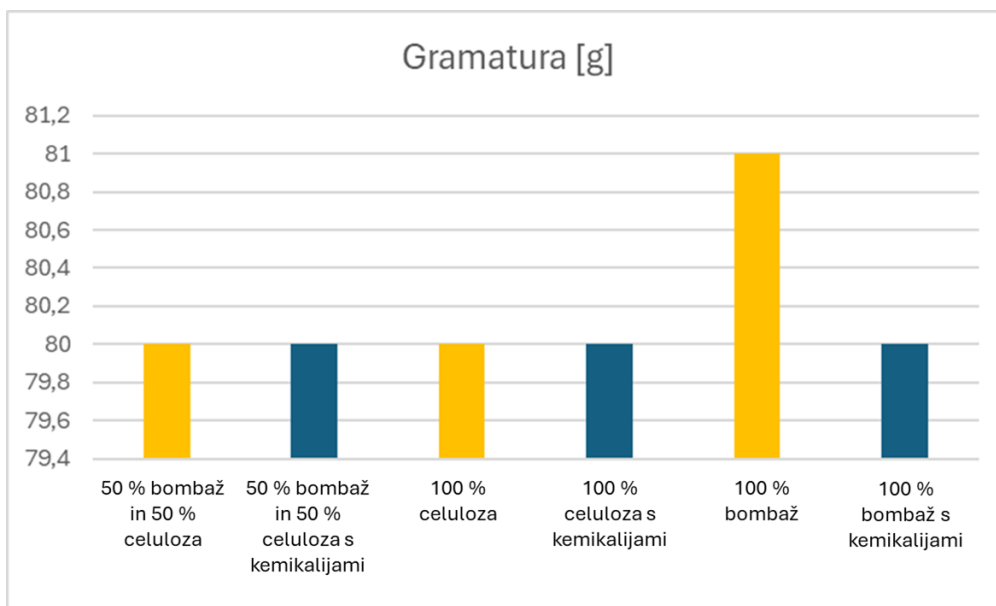
kakor papir brez njih. Pri relativni utržni jakosti mokrega papirja so razlike večje kot pri suhem. Potrebujemo 25 % močnejšo silo, da se papir s kemikalijami strga. Pri raztržni jakosti papirja potrebujemo 124 mN več sile, da se natrgan papir strga. Pri vrednosti Cobb pa papir s kemikalijami vpija manj vode kot papir brez kemikalij. To je $44 \frac{g}{m^2}$ manj.

Vzorci s 100 % celulozo in 100 % celuloze z 10 % melapreta in 1 % carbocella

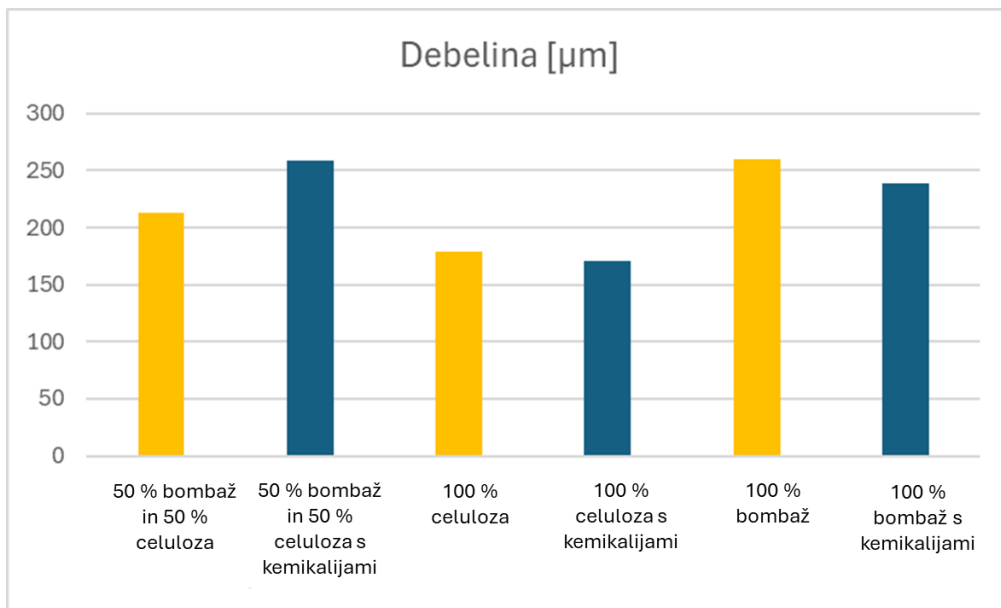
V povprečju je papir iz celuloze brez kemikalij enako težak kot papir s kemikalijami. Težka sta 80 g . Papir brez kemikalij je debelejši za 8 μm . Za utržno jakost pri suhem papirju potrebujemo 7,5 N manjšo silo, da se papir brez kemikalij strga. Ko pa je papir moker, pa potrebujemo 21 % več sile, da se papir s kemikalijami strga. Natrgan papir brez kemikalij potrebuje 52 mN manjšo silo, da se strga, kot papir s kemikalijami. Papir s kemikalijami je vpil $7 \frac{g}{m^2}$ več vode.

Vzorci s 100 % bombažem in 100 % bombažem z 10 % melapreta in 1 % carbocella

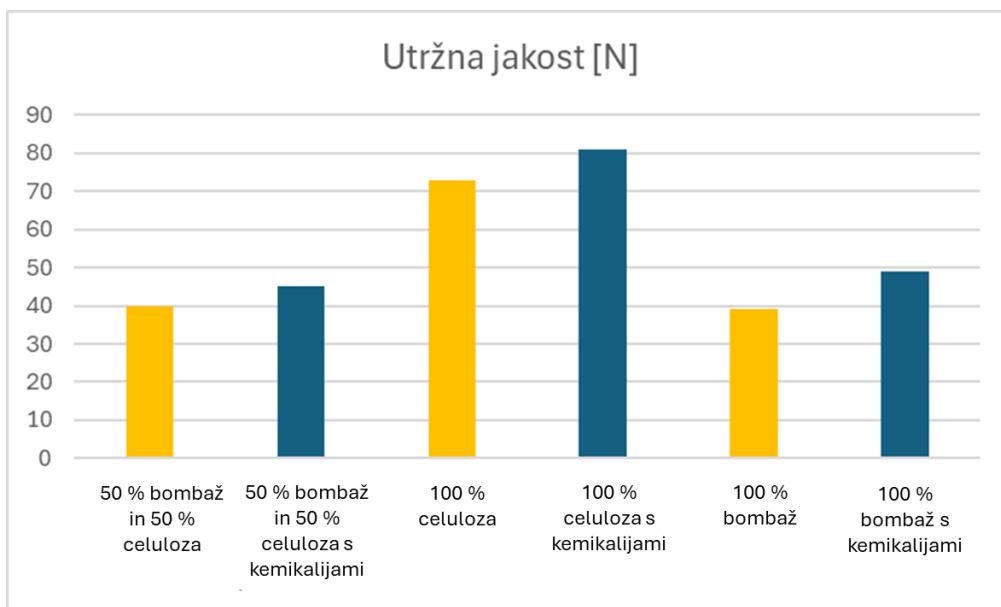
Papir iz bombaža in brez kemikalij je za 1 g težji kot papir s kemikalijami in je debelejši za 21 μm . Da se papir brez kemikalij strga, potrebujemo 10 N manjšo silo, ko pa je vzorec moker, potrebujemo 32 % manj sile. Ko je papir brez kemikalij že natrgan, potrebujemo 452 mN manjšo silo kot pri papirju s kemikalijami. Papir s kemikalijami je vpil $24 \frac{g}{m^2}$ manj vode kot papir brez kemikalij.



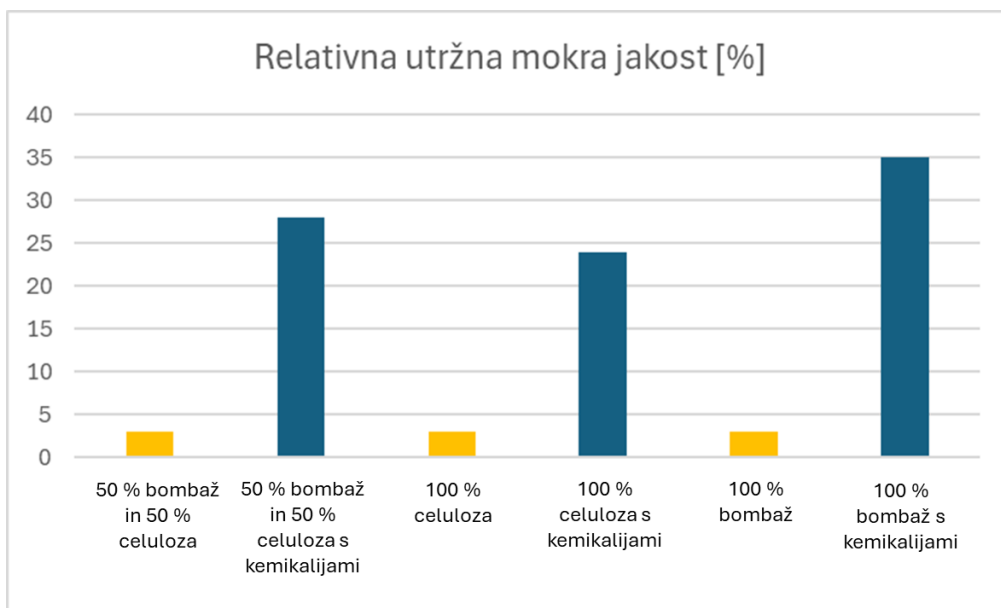
Slika 12: Odvisnost gramature vzorcev izdelanega papirja od različne sestave suspenzije



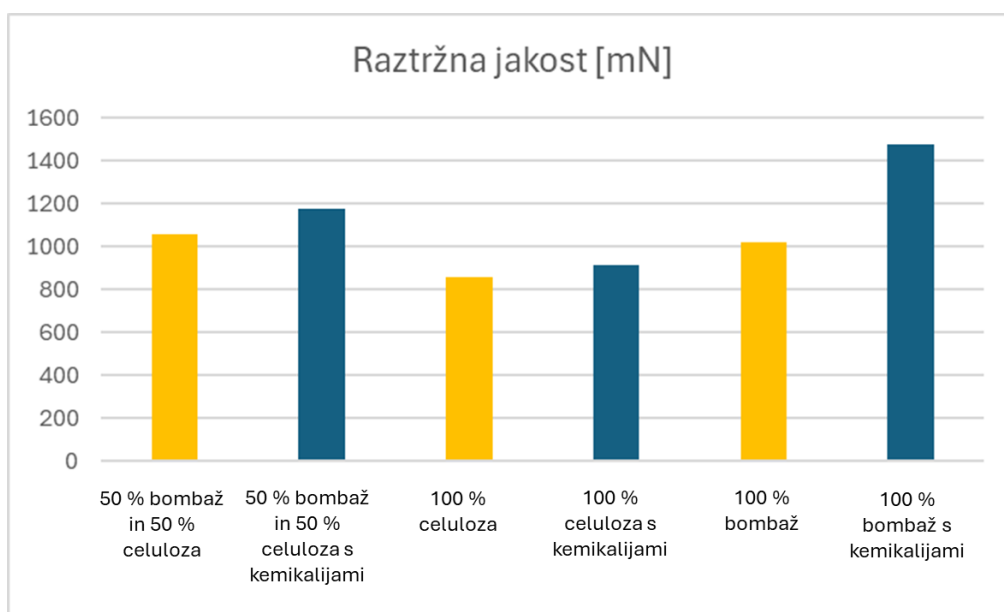
Slika 13: Odvisnost debeline vzorcev izdelanega papirja od različne sestave suspenzije



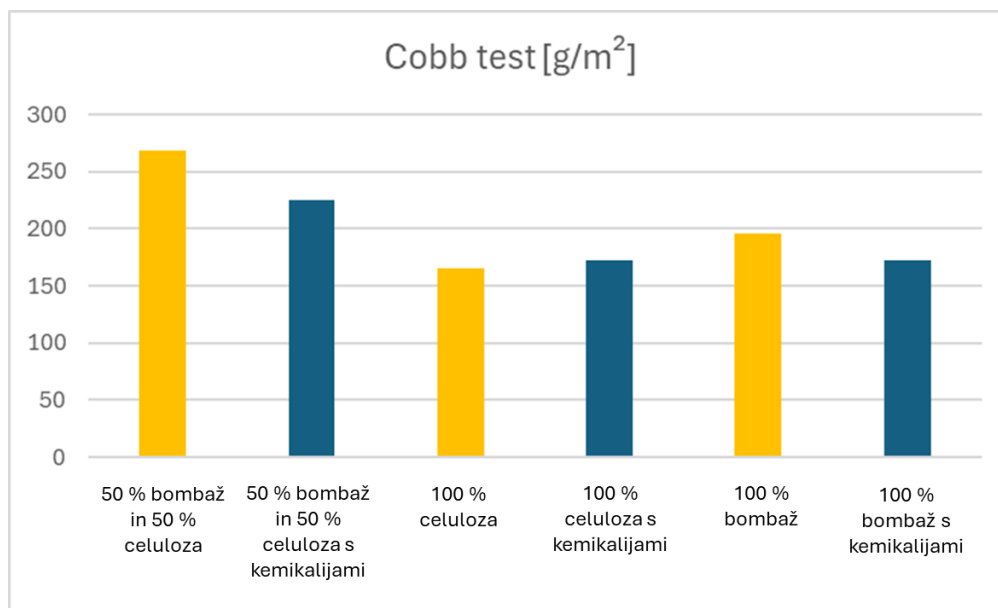
Slika 14: Odvisnost utržne jakosti vzorcev izdelanega papirja od različne sestave suspenzije



Slika 15: Odvisnost relativne utržne mokre jakosti vzorcev izdelanega papirja od različne sestave suspenzije



Slika 16: Odvisnost raztržne jakosti vzorcev izdelanega papirja od različne sestave suspenzije



Slika 17: Odvisnost vrednosti Cobb pri vzorcih izdelanega papirja od različne sestave suspenzije

5.2 REZULTATI KLEJENIH VZORCEV PAPIRJA

Surov vzorec 50 % bombaža in 50 % celuloze in klejen vzorec 50 % bombaža in 50 % celuloze

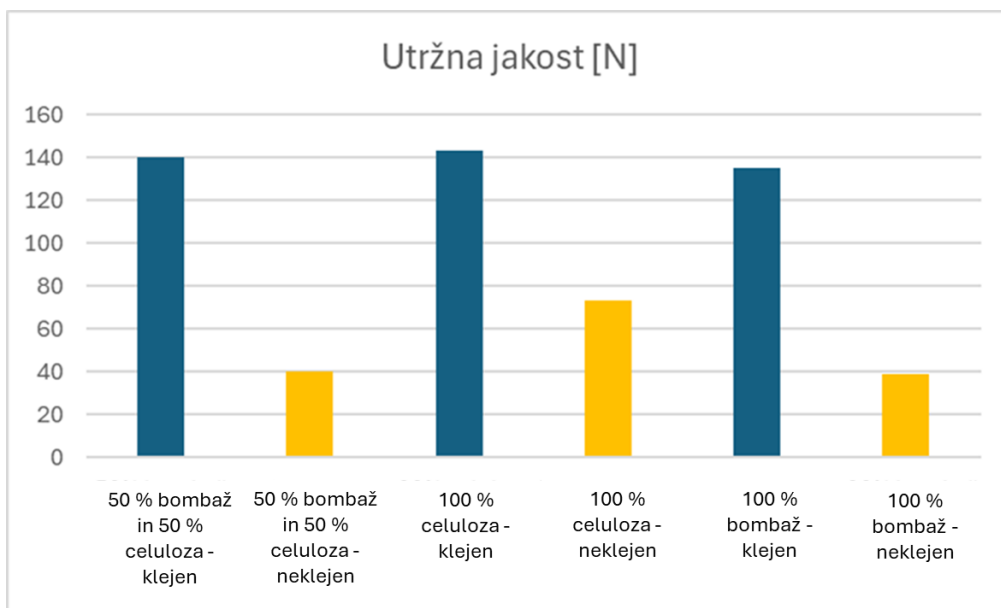
Utržna jakost je pri klejenem papirju pričakovano večja in to za 100 N sile, relativna utržna mokra jakost pa je tudi večja od surovih vzorcev za 18 % sile. Vrednost Cobb pa je pričakovano manjša za $45 \frac{g}{m^2}$ od vzorcev surovega papirja.

Surov vzorec 100 % celuloze in klejen vzorec 100 % celuloze

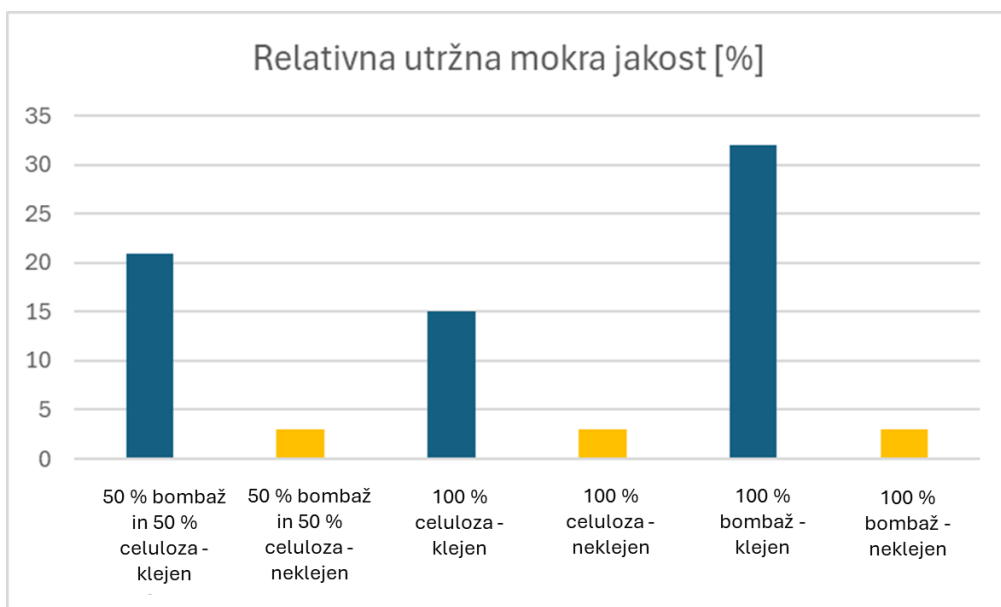
Utržna jakost je pri klejenem papirju tudi po pričakovanjih večja za 70 N, relativna utržna mokra jakost pa je bila večja za 12 % sile. Cobb je bil presenetljivo večji pri klejenem papirju za $8 \frac{g}{m^2}$.

Surov vzorec 100 % bombaža in klejenega 100 % bombaža:

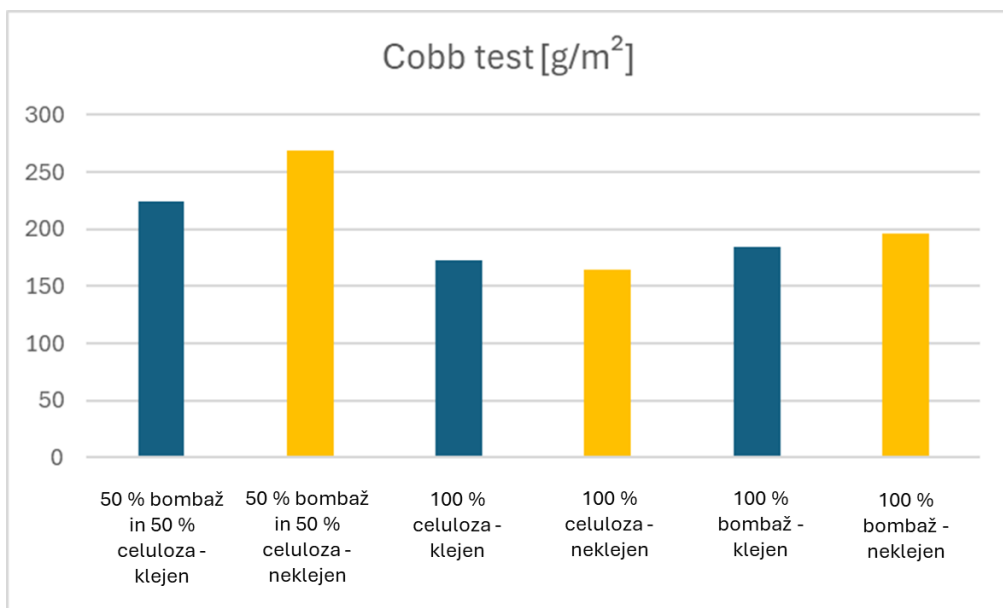
Utržna jakost je bila pri klejenem papirju večja za 90 N, relativna utržna mokra jakost pa za 20 % večja. Cobb pa je bil za $12 \frac{g}{m^2}$ manjši od vrednosti surovega papirja.



Slika 18: Odvisnost utržne jakosti pri vzorcih izdelanega papirja od prisotnosti klejiva



Slika 19: Odvisnost relativne utržne mokre jakosti pri vzorcih izdelanega papirja od prisotnosti klejiva



Slika 20: Odvisnost vrednosti Cobb pri vzorcih izdelanega papirja od prisotnosti klejiva

5.3 VPOJNOST ČRNILA NA SUROVEM IN KLEJENEM PAPIRJU

Naredili smo test vpojnosti črnila in ugotovili, da klejeni papir vpije manj črnila kot pa surov papir. To še dodatno potrdi, da je klejen papir bolj kvaliteten in bolj primeren za papir za tisk.



Slika 21: Razlika vpojnosti črnila med klejenim (zgoraj) in surovim (spodaj) papirjem [osebni arhiv]

5.4 OPOMBE

- Na opazovancu 1 in 5 je zaradi težav pri klejenju ostalo več klejiva in zato so rezultati bolj očitni kot pri opazovancu 3.
- Rezultati niso povsem natančni, saj ne vemo točnega nanosa klejiva, ki ga na vseh vzorcih ni enako, saj smo delali ročno.
- Pomembno je tudi, da ti vzorci niso isti, kot so bili pri primerjavi med surovimi vzorci in vzorci s kemikalijami, zato so rezultati še nekoliko drugačni.
- Pri poskusu nismo uporabljali izčeskov bombaža, ki se vključujejo v izdelavi vrednostnega papirja, ampak smo uporabili bombažno celulozo. Če bi uporabili izčesek bombaža, bi bili utržna jakost in relativna utržna mokra jakost višji.

6 ZAKLJUČEK

Že ko smo teoretično raziskovali in iskali podatke o papirni industriji, smo bili natančni in smo dobro zastavili hipoteze. Skozi eksperimentalno delo smo se prepričali, ali te držijo ali ne. Z raziskavo smo dobili odgovore na vse postavljene hipoteze.

Izvedba pregleda mehanskih lastnosti pri gramaturi in debelini nam je podala nepričakovane rezultate. Izkazalo se je, da je gramatura pri vseh vzorcih zelo podobna oz. enaka, kar je po svoje dobro, saj potrdi, da smo ročne vzorce izdelovali natančno. Pri debelini pa nas je rezultat presenetil. Izkazalo se je, da so vzorci brez dodanih kemikalij debelejši kot vzorci z dodanimi kemikalijami. Podrobnejše rezultate smo predstavili v Preglednici 1, kjer smo prvo hipotezo delno potrdili.

Drugo hipotezo potrdimo. Vzorci z dodanimi kemikalijami potrebujejo večjo silo pri utržni jakosti, kot vzorci brez kemikalij. Prav tako potrdimo tretjo ter četrto hipotezo. Da se strgajo, potrebujejo pri raztržni in relativni utržni mokri jakosti vzorci s kemikalijami več sile, kot vzorci brez kemikalij.

Peto hipotezo delno potrdimo. Vzorci s kemikalijami vpijejo manj vode kot vzorci brez dodanih kemikalij, torej kemikalije pri mokromočnosti papirja res pomagajo. Presenetil nas je le četrti opazovanec v primerjavi s tretjim. Celulozni papir torej vodo vpija bolje, če ni obdelan s kemikalijami.

Zelo nas je presenetila šesta hipoteza. Klejenje velja za postopek, s katerim postane papir bolj odporen na vpijanje vode. Ko smo izmerili vrednost Cobb na klejenem papirju, nas je presenetil predvsem opazovanec 3, saj je surovi celulozni vzorec vpil manj vode kot pa klejeni vzorec celuloznega papirja. Sklepamo, da je to posledica ročnega izdelovanja, kjer se vsak vzorec v istem opazovancu malo razlikuje. Kot je zapisano v zgornjih opombah, je na opazovancu 3 zaradi ročnega dela ostalo manj klejiva, posledica pa se opazi v vrednosti Cobb.

Sedmo hipotezo smo potrdili. Utržna jakost klejenih vzorcev je res višja kot utržna jakost neklejenih vzorcev. V tej hipotezi se potrди, da klejenje močno vpliva na mehanske lastnosti vzorcev. Prav tako smo potrdili osmo hipotezo, ki je dokaz, da klejenje zaboljša mehanskih lastnosti.

Devete hipoteze nismo potrdili, saj se je izkazalo, da je bombaž precej bolj šibek kot ostale opazovane vlaknine, kar pomeni, da za pretrg potrebuje večjo silo.

Z raziskovalno nalogo smo dobili vse odgovore na naša vprašanja o mokromočnosti papirja in nasploh o njegovih mehanskih lastnostih. Ugotovili smo, da je pomembno, da v papirno suspenzijo v proizvodnji dodajajo razne kemikalije, da ojačajo mehanske lastnosti, prav tako pa je za ojačanje mehanskih lastnosti zelo pomembno klejenje. Le tako je papir res lahko kvaliteten. Prav tako je klejivo ključnega pomena, da papir ustreza standardom kupca.

7 VIRI IN LITERATURA

[1] Aleš Knavs (in drugi), *Priprava vlakninskih snovi za proizvodnjo papirja in kartona* (Ljubljana, 2019), str. 7-51

[2] Jan-Erik Levlin (in drugi), *Pulp and Paper Testing* (Helsinki, 1999)

[3] *INTERNO GRADIVO PODJETJA*

[4] Zbral in uredil Franci Kadunc, *100 let proizvodnje banknotnih in zaščitnih papirjev v Radečah* (Radeče papir d.d., 2008)

[5] Boufi, S., González, I., Delgado-Aguilar, M., Tarrès, Q., Pèlach, M. À., & Mutjé, P. (2016). Nanofibrillated cellulose as an additive in papermaking process: A review. *Carbohydrate Polymers*, 154, 151–166. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.117>

[6] Delgado-Aguilar, M., González Tovar, I., Tarrés, Q., Alcalá, M., Pèlach, M. À., & Mutjé, P. (2015). Approaching a Low-Cost Production of Cellulose Nanofibers for Papermaking Applications. *BioResources*, 10(3), 5345–5355. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.5345-5355>