



Javni zavod  
Osnovna šola  
Marjana Nemca  
Radeče

# VPLIV KLEJENJA NA LASTNOSTI PAPIRJA

Raziskovalna naloga

Področje: kemija

**AVTOR**

**Maks Knavs, 9. a**

**MENTORJA**

**Nevenka Tratar, prof. bio. in kem.**

**Aleš Knavs, str. teh.**

**Radeče, 2020**

## Kazalo

<b>POVZETEK</b> .....	4
<b>SUMMARY</b> .....	5
<b>1 UVOD</b> .....	6
1.1 Namen naloge .....	6
1.2 Hipoteze .....	7
1.3 Metode dela .....	7
1.3.1 Delo z viri .....	7
1.3.2 Eksperimentalno delo .....	7
1.3.3 Analiza rezultatov .....	8
<b>2 TEORETIČNI DEL</b> .....	8
2.1 Proizvodnja papirja.....	8
2.2 Kaj je klejivo?.....	9
2.3 Načini klejenja .....	10
2.4 Zahteve pri klejenju papirja.....	10
2.5 Vrste in lastnosti klejiv .....	10
2.5.1 Reaktivna klejiva.....	10
2.5.2 Smolna klejiva.....	12
2.5.3 Suha klejiva.....	13
2.5.4 Površinska klejiva .....	13
<b>3 OSREDNJI DEL</b> .....	14
3.1 RAZISKOVALNO EKSPERIMENTALNO DELO .....	14
3.1.1 Priprava vzorcev papirja.....	14
3.1.2 Določanje nekaterih fizikalnih lastnosti papirja .....	19
3.1.3 Tiskovne lastnosti .....	20
3.1.4 Test vpojnosti .....	23
3.2 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	24
3.2.1 Primerjava fizikalnih lastnosti vzorcev .....	24
3.2.2 Tiskovne lastnosti .....	25
3.2.3 Test vpojnosti .....	29
3.2.4 Analiza vpojnosti in fizikalnih lastnosti ob dodatku klejiva iz redne proizvodnje .....	29
v decembru 2019.....	29
3.3 Potrditev hipotez.....	31
<b>4 ZAKLJUČEK</b> .....	32
<b>5 LITERATURA</b> .....	35

## Kazalo slik

Slika 1: Pogled na tovarno Radeče papir nova [osebni arhiv] .....	6
Slika 2: Moje eksperimentalno delo [osebni arhiv] .....	8
Slika 3: Enostavna shema proizvodnje papirja [4] .....	9
Slika 4: Izdelava papirja v podjetju Radeče papir nova [osebni arhiv] .....	9
Slika 5: Shema reakcije ASA s celulozo [7] .....	11
Slika 6: Shema reakcije AKD s celulozo [7] .....	12
Slika 7: Naprava za mletje in pripravo celulozne kaše po Valleyu [osebni arhiv] .....	14
Slika 8: Dodajanje klejiva v celulozno zmes [osebni arhiv] .....	15
Slika 9: Oblikovanje vzorcev v oblikovalniku [osebni arhiv] .....	16
Slika 10: Priprava klejiva za površinsko klejenje [osebni arhiv] .....	16
Slika 11: Površinsko klejeni vzorci na stiskalnici [osebni arhiv] .....	17
Slika 12: Sušenje vzorcev na rešetki [osebni arhiv] .....	17
Slika 13: Priprava vzorcev za sušenje na sušilnih valjih [osebni arhiv] .....	18
Slika 14: Suhi vzorci, pripravljene za nadaljnjo analizo .....	18
Slika 15: Dinamometer, s katerim merimo utržno vrednost papirja [osebni arhiv] .....	19
Slika 16: Merilnik raztržne odpornosti .....	20
Slika 17: Vzorec po analizi [osebni arhiv] .....	20
Slika 18: Test sposobnosti pisanja s črnilom .....	21
Slika 19: Vzorci po testu s črnilom .....	21
Slika 20: Opazovanje nanosa črnila pod mikroskopom [osebni arhiv] .....	22
Slika 21: Test tiskovnih lastnosti [osebni arhiv] .....	23
Slika 22: Test vpojnosti [osebni arhiv] .....	24
Slika 23: Sled črnila na neklejenem vzorcu [osebni arhiv] .....	25
Slika 24: Sled črnila na klejenem vzorcu [osebni arhiv] .....	25
Slika 25: Primerjava testa s črnilom pri različnih vzorcih [osebni arhiv] .....	26
Slika 26: Opazovanje obnašanja črnila na neklejenem papirju (levo) in klejenem z 1,5 % klejiva [osebni arhiv] .....	27
Slika 27: Opazovanje razlivanja različnih snovi na enako klejenem papirju [osebni arhiv] .....	27
Slika 28: Primerjava tiskovnih lastnosti različno klejenih vzorcev [osebni arhiv] .....	28

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava lastnosti glede na dodatek klejiva .....	24
Tabela 2: Primerjava vpojnosti glede na dodatek klejiva .....	29

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Primerjava vpojnosti po COBB-u [1] .....	30
Graf 2: Primerjava raztržne vrednosti [1] .....	31
Graf 3: Primerjava utržne vrednosti [1] .....	31

## POVZETEK

Papir danes zavzema ključno vlogo v našem življenju. Radeče so znane po bogati zgodovini papirne industrije. Že vrsto let je podjetje Radeče papir nova osrednje podjetje in vir zaposlovanja za lokalno okolje. Ob pripravi potrebščin sem vsako leto pozoren na kvaliteto papirja v šolskih zvezkih. Pogosto se namreč zgodi, da papir zelo prepušča črnilo in onemogoča kvalitetne zapiske. Zato me je zanimalo, kako lahko pri proizvodnji vplivajo na kvaliteto. Med drugim ima pomembno vlogo tudi dodatek različnih smol. Ta postopek imenujemo klejenje. Naloga klejiv je zaščititi površino vlaken in s tem narediti papir neprepusten za vodo, črnilo ali tiskarske barve.

V svoji nalogi sem ugotavljal lastnosti papirja ob dodajanju različnih koncentracij klejiva v papirno suspenzijo, kar imenujemo notranje klejenje, kot tudi na površino – površinsko klejenje.

Glede na nalogo klejiv sem predvideval, da bo papir z večjo vsebnostjo klejiva slabše vpilal vodo in imel boljše tiskovne lastnosti. Poleg tega pa bo verjetno dodatna površinska zaščita papirja s klejivom povečala kvaliteto izpisa na papirju.

Z eksperimentalnim delom sem obe hipotezi potrdil.

**Ključne besede:** papir, klejivo, proizvodnja papirja, tiskovne lastnosti, vpojnost

## SUMMARY

Paper plays a key role in our lives today. Radeče is famous for a rich history of a paper industry. Radeče papir nova has been a central company and a source of employment for the local environment for many years.

Every year, when preparing my school supplies, I pay attention to the quality of paper in the school notebooks. Often the paper is very permeable for ink and does not allow good quality notes. So I was interested in how the production can affect quality.

Among other things, the addition of various types of resin plays an important role. This process is called sizing. The job of the adhesive is to protect the surface of the fibers and thus to make the paper impervious to water, ink or printing inks.

In my thesis, I determined the properties of paper by adding different concentrations of adhesive to the paper suspension, called internal gluing, as well as adding it to the surface, which is called surface sizing.

Considering the role of the adhesive, I assumed that paper with higher content of adhesive would absorb less water and have better printing properties. Beside that, the additional, surface protection of paper with the adhesive is likely to increase the print quality of the paper.

Through experimental work I confirmed both hypotheses.

**Keywords:** paper, adhesive, paper production, printing properties, absorbency

## 1 UVOD

Odločitev, da bom pripravil raziskovalno nalogo v povezavi s papirjem, ni bila težka. Radeška papirnica je najstarejša v Sloveniji. Z bogatimi izkušnjami proizvajajo visoko kakovostne papirje, med drugim tudi vrednostne papirje za bankovce in potne liste. V zadnjem času ima papir večjo veljavo zaradi obremenjevanja okolja s plastiko, papirne vrečke se vračajo. Skratka, papir je okolju bolj prijazen od plastike.

Najbolj me je torej zanima vpliv dodatkov na boljši izpis na papirju. Ob sodelovanju strokovnjakov v podjetju in raziskovanju gradiva sem ugotovil, da na tiskovne lastnosti papirja vplivajo klejiva.

Z eksperimentalnem delom sem ugotovil, da na kvaliteto izpisa ne vpliva le dodatek klejiva, ampak tudi njegova koncentracija in način dodajanja.



*Slika 1: Pogled na tovarno Radeče papir nova [osebni arhiv]*

### 1.1 Namen naloge

V nalogi sem poskušal ugotoviti, kako različna koncentracija klejiva v papirni suspenziji in na površini papirja vpliva na tiskovne in ostale lastnosti papirja.

## 1.2 Hipoteze

HIPOTEZA 1: Papir z višjo vsebnostjo klejiva bo imel boljše tiskovne lastnosti in bo manj vpiljal vodo.

HIPOTEZA 2: Površinsko klejen papir bo imel boljše tiskovne lastnosti kot papir, klejen samo v masi.

## 1.3 Metode dela

### 1.3.1 Delo z viri

Vire za svojo raziskovalno nalogo sem črpal s spleta. Nekaj informacij sem našel v knjižnih virih, a je literature za področje, ki sem ga raziskoval, malo. Večino informacij sem pridobil v radeški papirnici, v obliki priročnikov ter internega gradiva podjetja. Pogovarjal sem se tudi z nekaterimi zaposlenimi v podjetju, ki so razkrili veliko zanimivih informacij na podlagi svojih izkušenj pri proizvodnji papirja.

### 1.3.2 Eksperimentalno delo

Moje delo je potekalo predvsem v radeški papirnici, kjer sem pripravil ročno izdelane vzorce z različnimi deleži klejiva. Testiral sem jih na vpijanje vode, fizikalne in tiskovne lastnosti. Raziskava se je nadaljevala v šoli, kjer sem na šolskih mikroskopih mikroskopiral razlivanje črnila na izdelanih papirnih vzorcih. Potem pa sem na tiskalniku preveril še tiskovne lastnosti.



Slika 2: Moje eksperimentalno delo [osebni arhiv]

### 1.3.3 Analiza rezultatov

Med delom v podjetju smo o rezultatih govorili z zaposlenimi in obema mentorjema. Na samem stroju so mi povedali, s kakšnimi težavami se srečujejo pri proizvodnji v zvezi s klejenjem.

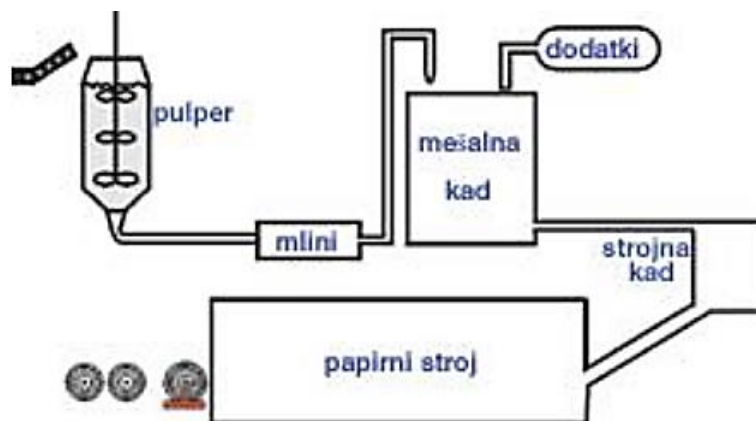
## 2 TEORETIČNI DEL

### 2.1 Proizvodnja papirja

Osnova skoraj vseh papirjev so celulozna vlakna, iz katerih se izdeluje papir. Podjetje papirno snov kupi pripravljeno. Včasih dodajajo tudi vlaknine enoletnih rastlin (npr. bombaž). Vse to zmešajo v papirno zmes z lepili, ki vežejo vlakna in delce polnil z vezivi in polnili, ki zapolnijo praznine med vlakni. Dodajajo se tudi drugi dodatki, katerih naloga je, da ima papir posebne lastnosti.



Celulozo morajo najprej kuhati v topli vodi, da se ta razmehča, in na ta način pridobijo papirno kašo. Kašo nato vodijo na papirni stroj, ki ga sestavljajo sita, ki s tresenjem oblikujejo papirne zvitke. Tem na stiskalnicah iztisnejo še preostalo vodo. Liste posušijo na sušilnih valjih. Papir navijejo na valje. Papirno maso, sestavljeno iz teh drobnih vlaken, nato razširijo na liste, stisnejo in posušijo, da dobijo papir. [3]



Slika 3: Enostavna shema proizvodnje papirja [4]



Slika 4: Izdelava papirja v podjetju Radeče papir nova [osebni arhiv]

## 2.2 Kaj je klejivo?

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

Ločimo več vrst klejiv. To so smolna, reaktivna, površinska in polimerna klejiva. Uporabljamo jih, ker so vlakna zelo vpojna in je takšen tudi papir brez dodatkov, kar pa za tiskanje ni zaželeno. Izjema so npr. higienski papirji in filtrirni papir.

Hidrofobnost se določa z metodo vodo vpojnost po Cobbu. [2]

## 2.3 Načini klejenja

Poznamo dva načina klejenja papirja:

- notranje klejenje — klejivo se doda v mešalno kad v papirno suspenzijo,
- površinsko klejenje — klejivo se nanese na površino papirja s pomočjo klejne stiskalnice ali kakšne druge vrste premaznega agregata, omogoča manjšo porabo klejiva. [3]

## 2.4 Zahteve pri klejenju papirja

- Nizka cena,
- enostavno doziranje in rokovanje,
- delujejo neodvisno glede na vrste vlaken, polnil,
- naj delujejo čim bolj neodvisno od pH vrednosti zmesi,
- možnost recikliranja,
- minimalna obremenitev vod. [3]

## 2.5 Vrste in lastnosti klejiv

### 2.5.1 Reaktivna klejiva

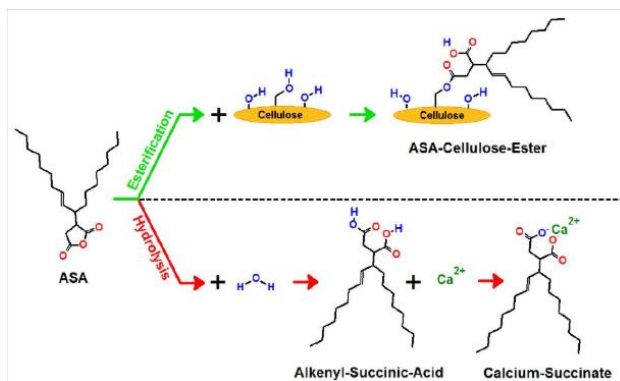
Ta vrsta klejiv naj bi bila najučinkovitejša. Optimalno pH območje za uporabo je med 6 in 9.

Primer je klejivo ASA – alkenil sukcinski anhidrid.

Dozira se v natočni sistem papirnega stroja. Reagira s hidroksilnimi skupinami celuloze in hemiceluloze s formacijo v estrove vezi. Običajno dodamo 0,5 do 2 kg/t. Kot dispergirno

sredstvo se uporablja kationski škrob. Čas stika s papirno snovjo je potrebno prilagoditi, ker če je čas predolg, pride do razpada celuloznih vlaken, s tem pa se zmanjša učinek klejenja. V primeru, da ni izbran optimalni čas stika s papirno snovjo, lahko pride tudi do problema oblaganja na stiskalnici ali sušilne valje papirnega stroja.

To je visoko reaktivno klejivo, ki je pri sobni temperaturi je tekoča snov. [3]

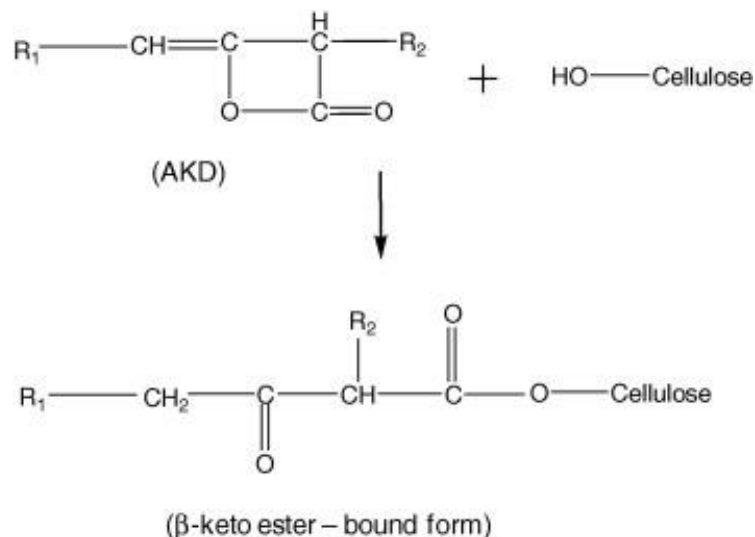


Slika 5: Shema reakcije ASA s celulozo [7]

Ter klejivo AKD – alkilketendimer.

Ta klejiva so lahko anionski ali kationski proizvodi. Da uspešno zagotovijo učinek klejenja potrebujejo povišano temperaturo in čas. Reagirajo s prostimi hidroksilnimi skupinami celuloze med sušenjem papirja. Papir je popolno klejen šele po 1–3 treh dneh po tem, ko pride iz sušilne skupine. Temu pravimo zorenje. To lahko pospešimo s promotorjem. Kot promotor se lahko uporabljajo alkidne smole ali ostali kationski polimeri. Dozira se z deležem suhe snovi 2 % (20 g/l). AKD je manj reaktiven kot ASA, zato mora biti stik s papirno snovjo daljši. Delež suhe snovi klejiva je med 14 in 25 %. Dodaja se v razredčeno snov natočnega sistema. [3]

Nahaja se v obliki bele emulzije, je občutljiv na mraz in ima kratko obstojnost.



Slika 6: Shema reakcije AKD s celulozo [7]

### 2.5.2 Smolna klejiva

Razdelimo jih na dve vrsti, glede na lastnosti in princip izdelave.

Ločimo smolna mila, kjer je delež prostih smol do 20 %, in prostosmolna klejiva, ki so emulzije smol, z visokim deležem prostih smol (80-90 %). [3]

#### 2.5.2.1 Smolna mila

Kemijsko spremenjene smole umilijo z alkalijami. Med umiljenjem nastane vodotopna snov. Če dodajamo različno močne baze, lahko izdelamo delno ali popolno umiljeno smolno klejivo.

Na smolno klejenje vpliva vrsta in stopnja mletja vlaken, trdota vode, temperatura snovi in prisotnost organskih snovi. [3]

#### 2.5.2.2 Prostosmolna klejiva

Nastanejo iz raztopljenih koščkov lesa, ki jih delno umilijo, dispergirajo, dodajo emulgator in varovalne koloide. Varovalni koloid obda delce smole in prepreči koagulacijo. Delci smole morajo biti čim manjši, saj je klejivo tako boljše. Ta klejiva so izdelana s 40-50 % suhe snovi.

Za ta klejiva je značilno, da se dobro se dozirajo brez razredčenja, so občutljiva na mraz, potrebujejo optimalno temperaturo 85-95 °C. [3]

### 2.5.3 Suha klejiva

Izdelava je možna le iz popolnoma ali skoraj popolnoma umiljenih smol. Ob dodatku varovalnih koloidov in drugih kemikalij je vsebnost prostih smol največ 10 %. Suspenzija smolnega mila se suši na sušilnih valjih, potem pa se zmelje. Da bi zmanjšali higroskopničnost teh klejiv, se pri izdelavi doda 20 % polnil.

Za ta klejiva so značilni nizki transporti stroški, neobčutljivost na mraz in neomejen rok uporabe. [3]

### 2.5.4 Površinska klejiva

Za površinsko klejenje se uporablja koruzni ali krompirjev škrob. Nanos takšnega klejiva onemogoči odpadanje vlaken s površine papirja in onemogoči prašenje. Izboljša tiskovne lastnosti, papir naredi bolj gladek, izboljša površinsko odpornost, vpliva na sijaj papirja, pa tudi na belino in opaciteto. Škrobna raztopina se pripravlja v koncentraciji 4-8 %. Lahko se dodajajo polnila in barve.

To klejivo je med površinskimi najpogosteje uporabljeno.

Škrobni raztopini dodajamo polimerna, sintetična klejiva, ki jih lahko uporabljamo v kombinaciji s smolnimi klejivi v masi. Sintetična sredstva za površinsko klejenje se uporabljajo za boljšo potiskljivost v ofsetnem in ink-jet tisku. [3]

### 3 OSREDNJI DEL

#### 3.1 RAZISKOVALNO EKSPERIMENTALNO DELO

##### 3.1.1 Priprava vzorcev papirja

V papirnici Radeče uporabljajo za izdelavo kopirnega papirja svežo celulozo. Celuloza je rastlinski polisaharid različnih virov. Pri svoji nalogi sem uporabil celulozo iz 80 % listavcev in 20 % iglavcev.

Metoda priprave predpisuje način mletja vlaknin v laboratorijski napravi za mletje v Valley mlinu - holandcu.



Slika 7: Naprava za mletje in pripravo celulozne kaše po Valleyu [osebni arhiv]

Za pripravo vzorcev natehtamo 360 g celuloze (80 % listavcev, 20 % iglavcev) in dodamo 23 l vode. Snov smo najprej razpuščali 20 minut v Valley mlinu, da smo dosegli stopnjo mletja 30°SR. Papirni suspenziji smo najprej določili koncentracijo absolutno suhe snovi (v g/l) in sicer tako, da smo natehtali približno 100 g papirne suspenzije, jo prefiltrirali čez

stehtan filter in posušili (2 uri v sušilniku na 105 °C). Po sušenju smo filter ohladili v eksikatorju in izračunali koncentracijo v g/l (masa suhe snovi : masa zatehte). Za določitev stopnje mletja smo odmerili toliko papirne suspenzije, da smo dobili približno 2 g absolutno suhe snovi. Stopnjo mletja smo odčitali s tabele.



*Slika 8: Dodajanje klejiva v celulozno zmes [osebni arhiv]*

Nastalo zmes nato uporabimo za pripravo vzorcev.

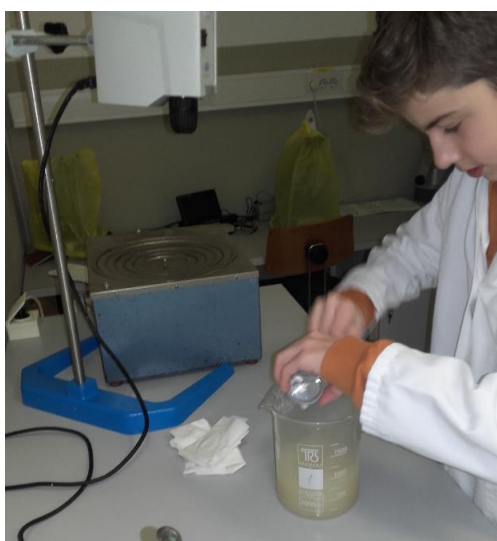
Vzorci sem naredil na oblikovalniku. Približno 1,1 l papirne suspenzije sem zlijl v mešalno kad in jo razredčil z vodo do 8 l (preračunamo glede na koncentracijo absolutno suhe snovi, tako da dobimo približno 80-gramske vzorce).

Pripravimo suspenzijo vlaknine tako, da odtehtamo takšno količino vlaknine, da vsebuje približno 2 g absolutne suhe snovi. V našem primeru je to znašalo 360 g vzorca. To količino namakamo 30 minut v 250 ml vode s temperaturo okrog 85 °C. Nato dve minuti meljemo v električnem mešalniku. Suspenzijo ohladimo na sobno temperaturo in jo prenesemo v merilno posodo z volumnom 1000 ml. To papirno suspenzijo nato z oblikovalnikom, ki odstrani vodo in naš vzorec ustrezno oblikuje, oblikujemo v željeni vzorec, ki smo ga analizirali.



*Slika 9: Oblikovanje vzorcev v oblikovalniku [osebni arhiv]*

En sklop vzorcev smo klejili tudi površinsko. Najprej pripravimo 10-% škrobno raztopino, tako da krompirjev škrob dodamo v mrzlo vodo, segrejemo nad 60 °C, na tej temperaturi držimo 20 minut, nato dodamo ohlajenemu škrobu na 100 g še 900 ml vode in 3,5 g površinskega klejiva - styrene-acrylate copolymer vodna emulzija.



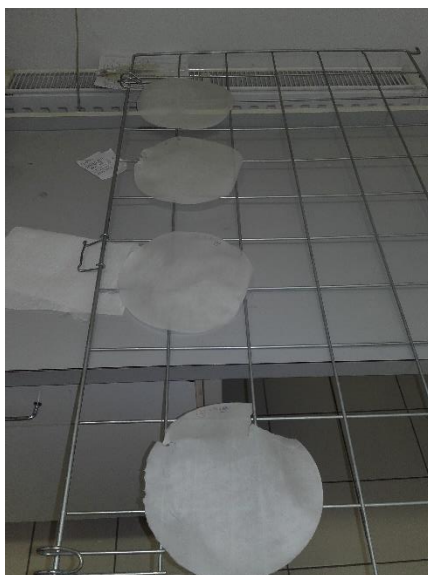
*Slika 10: Priprava klejiva za površinsko klejenje [osebni arhiv]*

V posodo s škrobno raztopino in površinskim klejivom smo pomočili vzorce papirja, jih spustili skozi stiskalnico, nato pa zračno sušili na rešetkah, kasneje pa še na sušilnem valju.





*Slika 11: Površinsko klejeni vzorci na stiskalnici [osebni arhiv]*



*Slika 12: Sušenje vzorcev na rešetki [osebni arhiv]*

Na sušilnih valjih smo vzorce sušili še 12 minut, po končanem sušenju so bili vzorci pripravljeni za nadaljnja testiranja.



*Slika 13: Priprava vzorcev za sušenje na sušilnih valjih [osebni arhiv]*



*Slika 14: Suhi vzorci, pripravljeni za nadaljnjo analizo*

### 3.1.2 Določanje nekaterih fizikalnih lastnosti papirja

#### 3.1.2.1 Utržna vrednost

S tem preizkusom ugotavljamo, kakšna je utržna sila. To je sila, ki je potrebna, da se trak celuloznega lista širine 15 mm in dolžine 180 mm, pretrga. Določitev izvedeno z dinamometrom. Vrednost izrazimo v N. [1]



Slika 15: Dinamometer, s katerim merimo utržno vrednost papirja [osebni arhiv]

#### 3.1.2.2 Raztržna vrednost

Je sila, potrebna za pretrg vnaprej zarezanega vzorca v smeri zareze. Za to analizo pripravimo štiri lističe velikosti 65mmx55mm. [1]



*Slika 16: Merilnik raztržne odpornosti*



*Slika 17: Vzorec po analizi [osebni arhiv]*

### 3.1.3 Tiskovne lastnosti

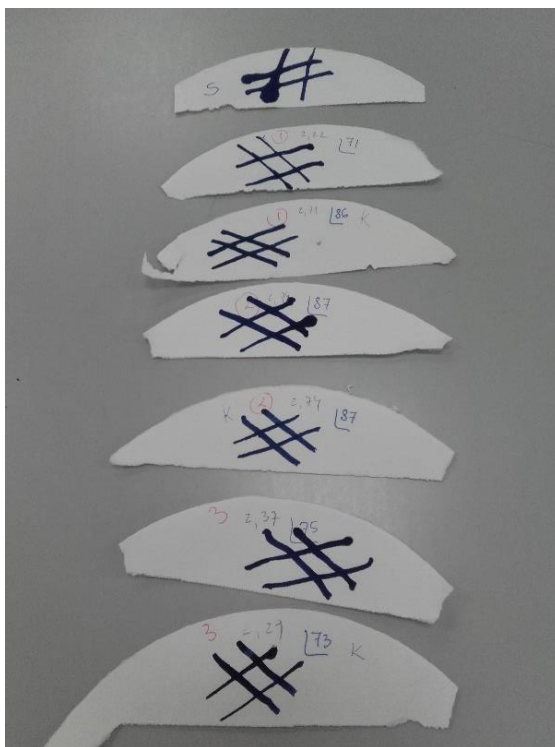
Na ročno izdelanih vzorcih sem izvedel test sposobnosti pisanja s črnilom in tiskovnih lastnosti na dveh tiskalnikih v laser in ink-jet tehniki - barvno.

### 3.1.3.1 Test sposobnosti pisanja s črnilom

Uporablja se za preskušanje pri pisalnih papirjih. S peresom potegnemo dve paralelni črti, ob tem vrednotimo jasnost zapisane črte, črnilo se ne sme razlivati. [1] Razlike so vidne s prostim očesom.



Slika 18: Test sposobnosti pisanja s črnilom



Slika 19: Vzorci po testu s črnilom

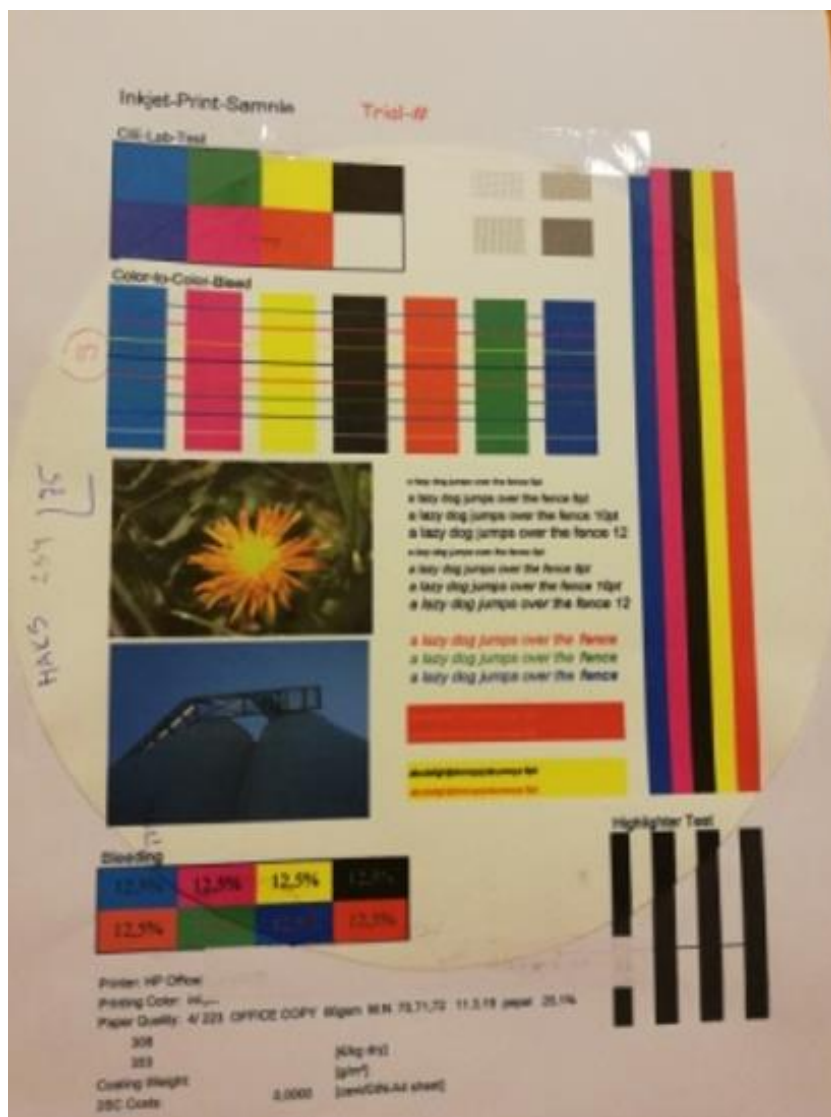
Vzorci sem opazoval z lupo in pod mikroskopom.



*Slika 20: Opazovanje nanosa črnila pod mikroskopom [osebni arhiv]*

### 3.1.3.2 Ugotavljanje tiskovnih lastnosti

Tiskovne lastnosti sem ugotavljal z barvnim tiskanjem na ink-jet tiskalniku. Vzorec sem položil na podlogo z namenom, da ne poškoduje tiskalnika.



Slika 21: Test tiskovnih lastnosti [osebni arhiv]

### 3.1.4 Test vpojnosti

Test vpojnosti, ki se imenuje tudi navzemanje vode, se uporablja za papirje s srednjo in visoko stopnjo klejenja, to so npr. tiskovni papirji, offset papirji, pisalni papirji itd.

Vzorec papirja natančno stehamo, ga vpmemo v napravo in vlijemo predpisano količino vode. Po 60 sekundah od začetka učinkovanja vode le-to odlijemo in s pivnikom odstranimo preostalo vodo s površine vzorca. Vzorec ponovno stehamo, razlika v masi med surovim in zmóčenim vzorcem je rezultat COBB vrednost. [6]



Slika 22: Test vpojnosti [osebni arhiv]

## 3.2 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 3.2.1 Primerjava fizikalnih lastnosti vzorcev

Iz pripravljenih, ročno izdelanih vzorcev papirja smo izvedli analizo fizikalnih lastnosti papirja, pri vzorcu brez klejiva v maso ni bilo mogoče izvesti površinskega klejenja, saj se je vzorec začel trgati. Iz tega lahko sklepam, da je za površinsko nanašanje klejiv potrebno prej vlakna povezati v celulozni zmesi.

VZORCI PAPIRJA FIZIKALNE LASTNOSTI	Raztržna vrednost [mN]	Raztržna vrednost [mN] povr. klejen	Utržna vrednost [kN/m]	Utržna vrednost [kN/m] povr. klejen
<b>Vzorec brez klejiva</b>	671	/	39	/
<b>Vzorec z 0,5 % klejiva</b>	618	705	46,5	54
<b>Vzorec z 1 % klejiva</b>	522	607	49,3	88,5
<b>Vzorec z 1,5 % klejiva</b>	544	600	39,8	80,6

Tabela 1: Primerjava lastnosti glede na dodatek klejiva



Ugotovil sem, da klejenje vpliva na utržno vrednost, saj je papir prenesel večjo silo, če je bil klejen. Iz podatkov lahko sklepam, da ima papir s površinskim nanosom klejiva boljše fizikalne lastnosti.

### 3.2.2 Tiskovne lastnosti

#### 3.2.2.1 Test sposobnosti pisanja s črnilom

Opazoval sem sled nanešenega vzorca in ugotovil, da so pri sledi očitne, s prostim očesom vidne razlike. Le-te so bile še bolj očitne pri opazovanju skozi lupo.



Slika 23: Sled črnila na neklejenem vzorcu [osebni arhiv]



Slika 24: Sled črnila na klejenem vzorcu [osebni arhiv]

Na vzorcih, ki so bili obdelani s klejivom, je bilo opazno, da vpojnost črnila ni tako izrazita in črnilo pusti enotno sled. Na neklejenem vzorcu, kjer so vlakna bolj razpršena, se je črnilo razlilo po večji površini vzorca in enotnih linij ni zaznati.

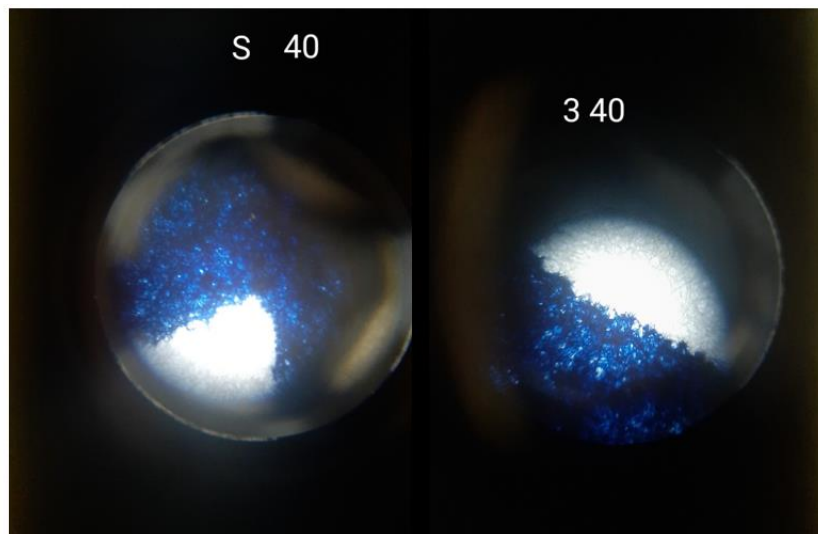
Test pisanja s črnilom je torej pokazal, da je najmanj razlivanja pri vzorcu št. 3, torej pri dodatku z 1,5 % klejiva v maso in površinsko klejenem vzorcu.



Slika 25: Primerjava testa s črnilom pri različnih vzorcih [osebni arhiv]

Obnašanje črnila sem opazoval tudi pod mikroskopom, kjer je razlivanje še bolj očitno. Opazoval sem pri 40-x povečavi.

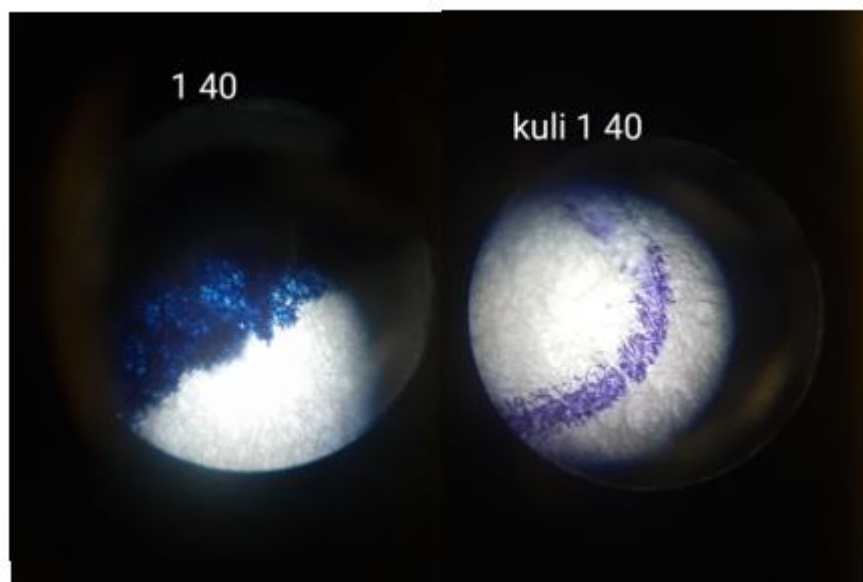
Pri neklejenem papirju se opazi razlivanje črnila v več smeri, pri klejenem je črnilo v enaki liniji kot pri nanosu.



Slika 26: Opazovanje obnašanja črnila na neklejenem papirju (levo) in klejenem z 1,5 % klejiva [osebni arhiv]

Zanimiva pa je primerjava obnašanja različnih materialov za tisk na papirju. Na papirju, klejenem z 0,5 % klejiva, sem opravil primerjavo nanosa črnila (nalivno pero) ter kemičnega svinčnika. Opazimo lahko očitno razliko v razlivanju. Prav takšno razliko lahko opazimo tudi pri zapisovanju v zvezek.

Levo je prikazano obnašanje črnila, na desni strani pa kemičnega svinčnika.



Slika 27: Opazovanje razlivanja različnih snovi na enako klejenem papirju [osebni arhiv]

### 3.2.2.2 Tiskovne lastnosti

Tiskovne lastnosti na INK-JET tiskalniku so boljše, najmanj razlivanja je pri vzorcu z največjim deležem klejiva v papirno maso, še boljše pa so pri površinsko klejenem papirju.



Slika 28: Primerjava tiskovnih lastnosti različno klejenih vzorcev [osebni arhiv]

Iz vzorcev je razvidno, da je najčistejši, jasnejši tisk na vzorcu, ki je klejen z najvišjim deležem klejiva in površinsko.

## 3.2.3. Test vpojnosti

VZORCI PAPIRJA TEST VPOJNOSTI (COBB)	COBB vrednost [g/m <sup>2</sup> ]	COBB vrednost površinsko klejen [g/m <sup>2</sup> ]
<b>Vzorec brez klejiva</b>	195	
<b>Vzorec z 0,5 % klejiva</b>	179	149
<b>Vzorec z 1 % klejiva</b>	160	139
<b>Vzorec z 1,5 % klejiva</b>	152	137

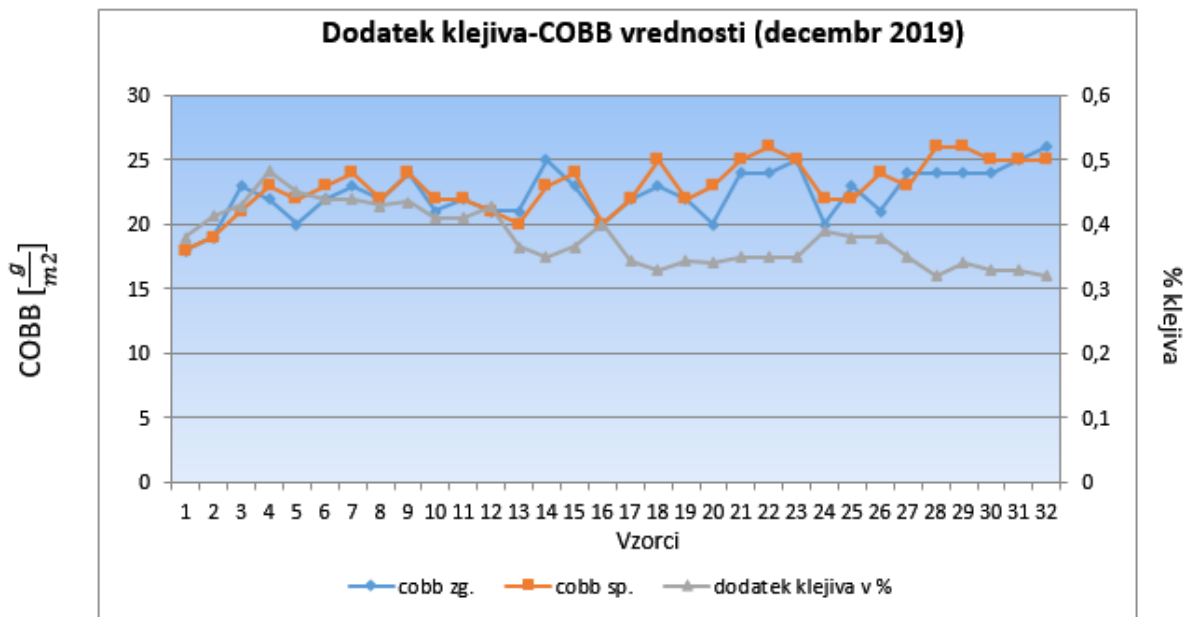
Tabela 2: Primerjava vpojnosti glede na dodatek klejiva

Iz preglednice je razvidno, da je najmanj vpojen papir, ki vsebuje največji delež klejiva in je klejen tudi površinsko. Klejiva namreč uspešno povežejo vlakna vzorca in tako preprečijo prodiranje vode v notranjost.

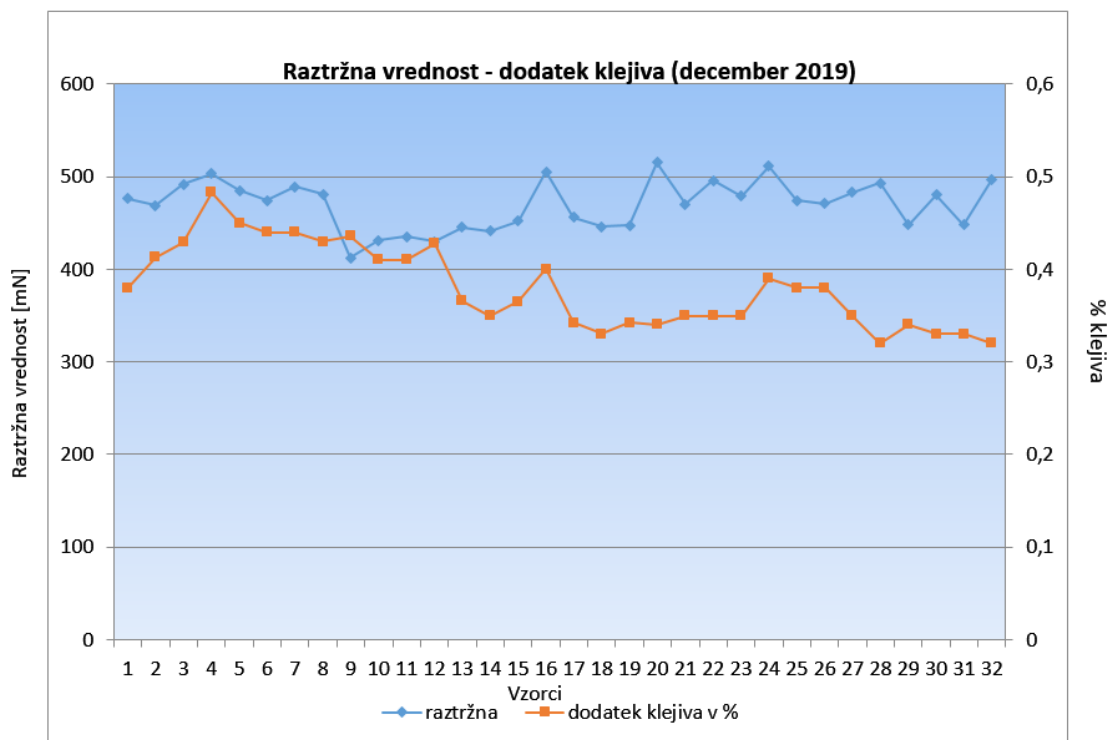
## 3.2.4. Analiza vpojnosti in fizikalnih lastnosti ob dodatku klejiva iz redne proizvodnje v decembru 2019

V podjetju sem pridobil podatke za omenjene parametre za redno proizvodnjo v decembru 2019.

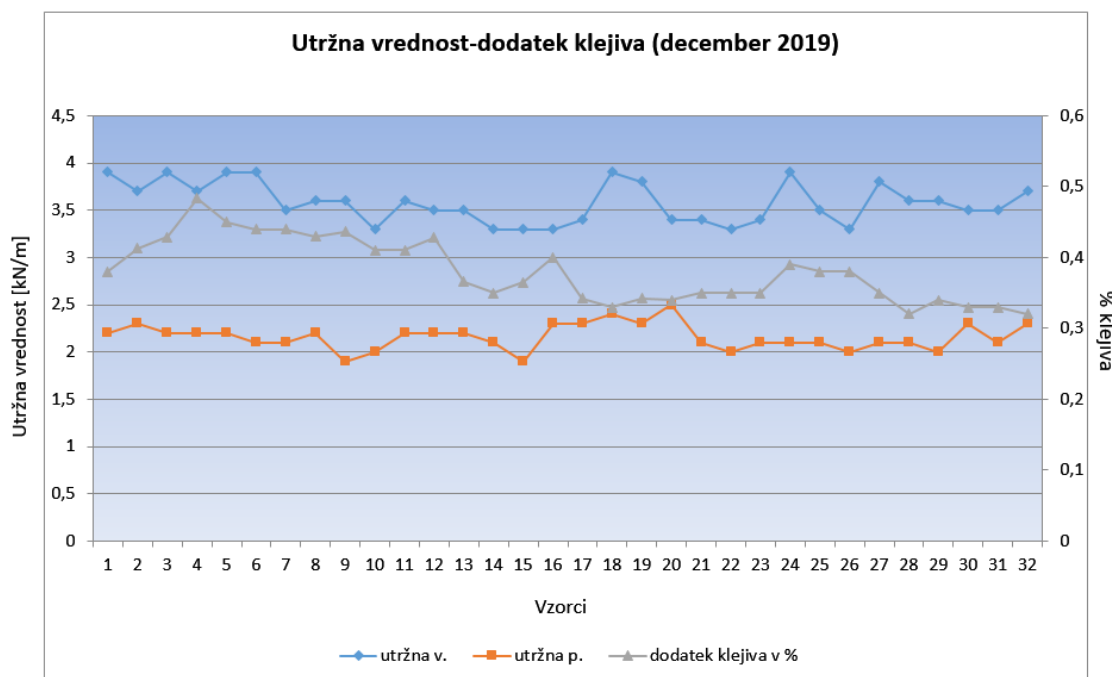
Iz redne proizvodnje v mesecu decembru 2019 sem primerjal dodatek klejiva v papirno suspenzijo in dobljene rezultate vpojnosti, raztržne in utržne sile. Spodnji grafi ponazarjajo rezultate.



Graf 1: Primerjava vpojnosti po COBB-u [1]



Graf 2: Primerjava raztržne vrednosti [1]



Graf 3: Primerjava utržne vrednosti [1]

Analiza izdelave kopirnega papirja v mesecu decembru 2019 kaže na odvisnost dodatka klejiva in vpojnost vode, meritev po COBB-u, medtem ko sam dodatek klejiva v papirno suspenzijo ne vpliva na fizikalne lastnosti papirja.

### 3.3 Potrditev hipotez

V prvi hipotezi sem predvideval, da ima papir, izdelan z višjo vsebnostjo klejiva boljše tiskovne lastnosti in manj vpija vodo. Z opravljenimi testi lahko to trditev potrdim, tako ročno izdelani vzorci kot tudi vzorci iz redne proizvodnje so pokazali bolj kvaliteten tisk na tiskalniku in manj vpijanja vode po COBB testu.

V drugi hipotezi sem predvideval, da dodatno površinsko klejenje papirja še izboljša tiskovne lastnosti papirja. Tudi to trditev sem potrdil. Iz analiz fizikalnih lastnosti ročno izdelanih vzorcev sem še ugotovil, da površinsko klejenje izboljša utržno vrednot, kar pomeni, da je papir bolj obstojen.

## 4 ZAKLJUČEK

Z nalogo sem uspel odgovoriti na vprašanje, zakaj se črnilo razlije pri pisanju v zvezek z nalivnim peresom. In ne, ni bil vedno vzrok moja površnost, kar so mi včasih očitali starši. Prvotni test v papirnicah, če je papir dovolj klejen, je bil s peresom in črnilom, narisali so vzporedne črte, ki so se prekrivale, nato so vizualno ocenili klejenost papirja. Papir je bil dovolj klejen, če ni prišlo do razlivanja črnila, in s tem tudi manj možnosti packanja po predhodnem listu v zvezku. Današnji test po COBB-u je bistveno bolj natančen. Tako papirničarji vedo, ali je papir dovolj kvaliteten za končnega uporabnika ali pa je izmet.

S pomočjo te naloge sem spoznal, da je več možnosti klejenja papirja in veliko vrst klejiv. Vsako klejivo ima določene prednosti in tudi slabosti. Zdaj vem, zakaj so listi v starejših knjigah porumeneli. Smolna klejiva in klejenje po kislem postopku namreč povzročajo porumenelost papirja. Poleg tega pa v preteklosti niso poznali optičnih belil in barvil. V današnjem času se v glavnem uporablja klejiva po nevtralnem postopku, ker je takšen papir obstojnejši.

V nalogi sem se spraševal, kakšno razmerje med klejenjem v papirno snov in na površino papirja je najbolj ugodno za pripravo papirja. Vzorec sem pripravil na klejni stiskalnici, kar pa ni enostavno. V laboratoriju nam ni uspelo površinsko klejiti vzorca papirja, ki je bil izdelan brez klejiva, vzorce z 0,5 %, 1 % in 1,5 % dodatka smo uspeli površinsko klejiti. Čeprav je za delo potrebno veliko prakse in ročnih spretnosti, sem bil pri delu uspešen, kar mi je dalo zagon za nadaljevanje. Tudi rezultati so bili zelo dobri, namreč površinsko klejen papir manj vpija vodo, ima pa tudi boljše nekatere fizikalne lastnosti, višjo utržno silo, česar nisem pričakoval.

V sami papirnici sem poleg laboratorijskega dela spoznal tudi papirni stroj, kjer so mi pojasnili, kaj vse vpliva na klejenje papirja, videl sem, kako poteka proizvodnja papirja, kako se dozira klejivo v papirno suspenzijo in kako izboljšajo površino papirja s površinskim klejenjem. Spoznal sem, da da gre lahko, kljub znanju in izkušnjam, marsikaj narobe. Dejstvo pa je, da lahko to zmanjšajo z uporabo sodobnih tehnologij. A tu je spet zelo pomembno znanje in nenehno izobraževanje.



Raziskavo bi lahko še nadaljeval, vendar bi bilo potrebno teste izvajati tudi na stroju.

S spremembo razmerja klejenja v papirno snov in na površino bi skušal ugotoviti najbolj ugodno razmerje za optimalne lastnosti papirja. Cilj bi bil manj klejenja v papirno snov in več površinsko. Uspešen poskus bi namreč zmanjšal obremenitev voda, ker klejenje v maso bolj onesnažuje vode.

Vse to bi lahko vplivalo tudi na ogljični odtis, ker bi bilo tudi manj transporta. Nižji bi bili lahko stroški izdelave papirja.

Poraja se veliko idej za nadaljevanje raziskovanja na tem področju, zato upam, da bom imel še kdaj priložnost za nadaljevanje raziskovalne naloge.

## ZAHVALA

*Za pomoč pri raziskovalni nalogi se zahvaljujem mentorici Nevenki Tratar, ki mi je omogočila začetek dela ter Alešu Knavsu, ki mi je omogočil, da smo v podjetju dobro sodelovali in izvedli uspešno delo.*

*Zahvaljujem se za vso pomoč in napotke.*

*Zahvaljujem se tovarni Radeče papir nova, še posebej Tatjani Guček in Karmen Martinšek, ki sta mi pomagali pri eksperimentalnem delu. Posebna zahvala velja Tomažu Režunu, ki mi je omogočil delo v njegovem podjetju.*

*Zahvaljujem se tudi učiteljicama Ljiljani Lopatić Legan in Neži Božič za pregled besedila.*

*Vsem še enkrat hvala!*

## 5 LITERATURA

[1] *INTERNO GRADIVO PODJETJA*

### *PISNI VIRI*

[2] Novak G. ....[et.al]: Grafični materiali. Ljubljana. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2004

[3] Avstrijska papirniška industrija: seminar-papirnica Vevče, Vevče, interno gradivo

### *SPLETNI VIRI*

[4] Papir. Dostopno na URL naslovu:

<http://www.lung.si/ekt/Razvrscanje%20blaga%205predavanje.pdf> [26. 12. 2019]

[5] Izdelava kartona. Dostopno na URL naslovu:

<https://core.ac.uk/download/pdf/67533658.pdf> [ 26.12. 2019]

[6] Vpojnost papirja. Dostopno na URL naslovu:

<https://www.europapier.si/si/Storitve/Znanje-in-izkusnje/Povrsinske-lastnosti>

[26.12.2019]

[7] Klejenje. Dostopno na URL naslovu: [https://www.researchgate.net/scientific-](https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2075523048_Stephan_Kleemann)

[contributions/2075523048 Stephan Kleemann](https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2075523048_Stephan_Kleemann) [29. 12. 2019]