Sustav za ispitivanje vlage filca u papirnoj industriji

Rašidkadić, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:449442

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Dino Rašidkadić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Damir Markučič, dipl. ing.

Student:

Dino Rašidkadić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija, rada u tvornicama i uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Damiru Markučiču na svim ustupljenim stručnim i ljudskim savjetima, zanimljivim predavanjima, te vremenu koje je uložio u izradu ovog diplomskog rada. Veliku zahvalu upućujem svojoj obitelji i prijateljima koji su uvijek bili uz mene kroz školovanje i s kojima sam proživljavao manje dobre i, u puno većoj mjeri, odlične trenutke. Posebna zahvala ide mojim roditeljima koji su mi bili podrška kad mi je to bilo najpotrebnije. Također se zahvaljujem svim kolegama koje sam susretao tijekom studiranja koji su dali posebnu draž ovom nezamjenjivom iskustvu studiranja i oplemenili mi život.

Dino Rašidkadić

_____

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 7.05.18	Prilog:
Klasa: 602-04 / 18-6/3	
Ur. broj: 15-1703-18-136	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DINO RAŠIDKADIĆ** Mat. br.: 0035192004

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Sustav za ispitivanje vlage filca u papirnoj industriji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Felt moisture testing system in papermaking machine**

Opis zadatka:

Kako bi izlazna kvaliteta papira bila na zahtijevanoj razini potrebno je voditi brigu o nizu tehnoloških parametara u svim fazama proizvodnog procesa. U strojevima za proizvodnju papira, pored mehaničkog oblikovanja papirne tvorevine, jedna od ključnih zadaća je uklanjanje vode iz vlakana uz što manji utrošak energije. Između ostaloga, a u tu svrhu provodi se i ispitivanje vlažnosti filca. Rezultati mjerenja vlage daju uvid pogonskim inženjerima u potrebna podešavanja strojeva i tehnoloških parametara.

U radu je potrebno:
- prikazati postupak ispitivanja vlažnosti filca u pogonu s obzirom na uvjete primjene
- analizirati sustav za mjerenje vlage sa svim relevantnim elementima sustava
- opisati fizikalne principe mjerenja
- sistematizirati utjecajne čimbenike u cilju osiguravanja kvalitete rezultata.

Temeljem uvodnih prikaza u eksperimentalnome dijelu rada potrebno je provesti ispitivanja u realnim uvjetima. S kritičkim osvrtom na provedeno ispitivanje dobivene rezultate komentirati s obzirom na sve aspekte osiguravanja kvalitete.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
08. ožujka 2018.

Rok predaje rada:
10. svibnja 2018.

Predviđeni datum obrane:
16. svibnja 2018.
17. svibnja 2018.
18. svibnja 2018.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Damir Markučič

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA V
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VII
SUMMARY VIII
1. UVOD 1
2. OPIS PROCESA 2
2.1. Proizvodnja papira 2
2.2. Strojna oprema press dijela stroja za proizvodnju papira 7
2.2.1. Mokri filcevi 7
2.2.1.1. Atromaxx filc - koncept multiaksijalnog modula 8
2.2.2. Preše 9
2.2.3. Vakuumske kutije i šprice – kondicioniranje filca 11
2.2.4. Napinjači i vodilice 12
3. UREĐAJ ZA MJERENJE VLAGE 13
3.1. Tehničke karakteristike i princip rada 13
3.1.1. Komponente uređaja 16
3.1.2. Prikaz ekrana 17
3.1.3. Kalibracija uređaja 17
3.1.4. Način uporabe 18
3.1.5. Bilješke za mjerenja 20
3.2. Značenje profila 21
3.2.1. Nejednak pritisak preše 21
3.2.2. Krunjenje 22
3.2.3. Vrhovi vlage 22
3.2.4. Iskrivljeni valjci 23
3.2.5. Karakteristike frekvencija 24
3.2.6. Sinkronizacija okretaja filca 25
4. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE 26
4.1. Parametri bitni za mjerenje sadržaja vlage u filcu stroja za proizvodnju papira 26
4.2. Analiza sistema za mjerenje sadržaja vlage i drugih svojstava filca 27
4.2.1. Uređaj za mjerenje debljine filca (FeltTest) 28
4.2.2. Uređaj za mjerenje napetosti filca (Tenziometar) 28
4.2.3. Uređaj za podešavanje rezonantne svjetlosti pri mjerenju (Visokofrekvencijska baterijska svjetiljka) 29
4.2.4. Uređaj za mjerenje protoka zraka 30
4.2.5. Uređaj za mjerenje propusnosti vode filca (ScanPro – FeltPerm) 31
4.2.6. Uređaj za mjerenje vlage u filcu (ScanPro – PressTuner) 32
4.3. Postupak mjerenja propustnosti vode filca 33
4.4. Prvo mjerenje novih filceva 41

4.4.1. Postupak mjerenja PM4 44
4.4.1.1. Pick-up filc 44
4.4.1.2. Prvi donji filc 48
4.4.1.3. Treći donji filc 51
4.4.2. Rezultati ponovljenog mjerenja 53
4.4.2.1. Pick-up filc 54
4.4.2.2. Zaključci mjerenja Pick-up filca 57
4.4.2.3. Prvi mokri filc 59
4.4.2.4. Zaključci mjerenja Prvog donjeg filca 62
4.4.2.5. Treći donji filc 63
4.4.2.6. Zaključci mjerenja Trećeg donjeg filca 66
4.4.3. Ponovljeno mjerenje 67
4.4.3.1. Pick-up filc 68
4.4.3.2. Rezultati ponovljenog mjerenja Pick-up filca 71
4.4.3.3. Prvi donji filc 72
4.4.3.4. Zaključci ponovljenog mjerenja Prvog donjeg filca 75
4.4.3.5. Treći donji filc 76
4.4.3.6. Zaključci ponovljenog mjerenja trećeg donjeg filca 79
4.5. Usporedbe profila prvog i ponovljenog mjerenja 80
5. ZAKLJUČAK 84
LITERATURA 85
PRILOZI 86

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz procesa dobivanja papira [1] 3
Slika 2. Tehnički prikaz sušne grupe [1] 5
Slika 3. Prikaz sušne grupe [3] 6
Slika 4. Uvećani prikaz strukture filca [4] 7
Slika 5. Prikaz sastavnih elemenata atromaxx filca [4] 8
Slika 6. Nezasićena masa [6] 9
Slika 7. Zasićena masa [6] 9
Slika 8. Kretanje vode na valjku s rupama [6] 10
Slika 9. *Shoe-press* [7] 10
Slika 10. Vakuumska kutija [8] 11
Slika 11. Šprice za čišćenje [8] 12
Slika 12. Pomak frekvencija u odnosu na količinu vlage, prikaz *LMC* i *HMC* [9] 14
Slika 13. Područje na koje ne utječu vanjski faktori [9] 14
Slika 14. Princip rada s promjenom uvjeta [9] 15
Slika 15. Skica uređaja ScanPro [9] 16
Slika 16. Ekran s podacima na uređaju [9] 17
Slika 17. Prikaz vrijednosti tijekom mjerenja [9] 19
Slika 18. Profil povezan s razlikom pritisaka preše [9] 21
Slika 19. Profil uslijed nejednakog pritiska na krajevima i sredini valjaka [9] 22
Slika 20. Profil uslijed začepljenih vakuumskih kutija [9] 23
Slika 21. Profil uslijed iskrivljenog valjka[9] 23
Slika 22. Profil s frekvencijama valjaka [9] 24
Slika 23. Sinkronizacija s okretajima filca [9] 25
Slika 24. Preše stroja za proizvodnju papira (PM-4) [4] 27
Slika 25. Uređaj za mjerenje debljine filca 28
Slika 26. Tenziometar 29
Slika 27. Visokofrekvencijska baterijska svjetiljka 30
Slika 28. Uređaj za mjerenje protoka zraka 31
Slika 29. FeltPerm uređaj i boca pod tlakom 32
Slika 30. ScanPro – PressTuner uređaj koji koristi mirkovalove 33
Slika 31. Postupak mjerenja debljine filca u pokretu 35
Slika 32. Mjerenje brzine prolaska zraka iznad vakuumske kutije 35
Slika 33. Laminarni mlaz visokotlačne šprice 36
Slika 34. Postavljanje uređaja na filc 37
Slika 35. Mjerenje uređajem FeltPerm 38
Slika 36. Stražnja strana filca prilikom pranja visokotlačnim špricama 39
Slika 37. Pozicioniranje za mjerenje preostalog/iskorištenog hoda napinjača 40
Slika 38. Prikaz pozicija na kojima su vršena mjerenja 41
Slika 39. Osobine filca ubačenog na Pick-up poziciju [4] 42
Slika 40. Osobine filca ubačenog na poziciju treće donje preše [4] 43
Slika 41. Machine direction after nip - Pick-up filc 44
Slika 42. Machine direction – Before nip – Pick-up 45
Slika 43. Postavljanje uređaja na početak filca – Cross direction before nip 46
Slika 44. Prolazak uređajem do kraja 46
Slika 45. Mali vrh na desnoj strani grafikona 47

Slika 46. Uzimanje mjera Machine direction after nip ... 48
Slika 47. Machine direction before nip ... 49
Slika 48. Uzimanje Cross directon očitanja ... 50
Slika 49. Machine direction before nip 3. preša ... 51
Slika 50. Machine direction after nip 3. preše ... 52
Slika 51. Cross direction treće preše ... 53
Slika 52. Pick-up filc, prvo mjerenje, MD i CD količine vode ... 54
Slika 53. Pick-up, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 54
Slika 54. Pick-up, drugo mjerenje, MD i CD količina vode ... 55
Slika 55. Pick-up, drugo mjerenje, CD količina vode i propisnost ... 55
Slika 56. Pick-up, treće mjerenje, MD i CD količine vode ... 56
Slika 57. Pick-up, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 56
Slika 58. Prvi donji filc, prvo mjerenje, MD i CD količina vode ... 59
Slika 59. Prvi donji filc, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 59
Slika 60. Prvi donji filc, drugo mjerenje, MD i CD količina vode ... 60
Slika 61. Prvi donji filc, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 60
Slika 62. Prvi donji filc, treće mjerenje, MD i CD količina vode ... 61
Slika 63. Prvi donji filc, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 61
Slika 64. Treći donji filc, prvo mjerenje, MD i CD količina vode ... 63
Slika 65. Treći donji filc, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 63
Slika 66. Treći donji filc, drugo mjerenje, MD i CD količina vode ... 64
Slika 67. Treći donji filc, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 64
Slika 68. Treći donji filc, treće mjerenje, MD i CD količina vode ... 65
Slika 69. Treći donji filc, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 65
Slika 70. Pick-up ponovljeno, prvo mjerenje, MD i CD količina vode ... 68
Slika 71. Pick-up ponovljeno, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 68
Slika 72. Pick-up ponovljeno, drugo mjerenje, MD i CD količina vode ... 69
Slika 73. Pick-up ponovljeno, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 69
Slika 74. Pick-up ponovljeno,treće mjerenje, MD i CD količina vode ... 70
Slika 75. Pick-up ponovljeno, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 70
Slika 76. Prvi donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 72
Slika 77. Prvi donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, MD i CD količina ... 72
Slika 78. Prvi donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, MD i CD količina vode ... 73
Slika 79. Prvi donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, CD količina količina vode i propusnost ... 73
Slika 80. Prvi donji filc ponovljeno, treće mjerenje, MD i CD količina vode ... 74
Slika 81. Prvi donji filc ponovljeno, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 74
Slika 82. Treći donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, MD i CD količina vode ... 76
Slika 83. Treći donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 76
Slika 84. Treći donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, MD i CD količina vode ... 77
Slika 85. Treći donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 77
Slika 86. Treći donji filc ponovljeno, treće mjerenje, MD i CD količina vode ... 78
Slika 87. Treći donji filc ponovljeno, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost ... 78
Slika 88. Pick-up CD količina vode nakon 2 dana i nakon 20 dana ... 80
Slika 89. Pick-up, CD propusnost nakon 2 dana i nakon 20 dana ... 81
Slika 90. Prvi donji filc, CD količina vode nakon 2 dana i nakon 20 dana ... 81
Slika 91. Prvi donji, CD propusnost nakon 2 dana i nakon 20 dana ... 82
Slika 92. Treći donji, CD količina vode nakon 2 dana i nakon 20 dana ... 82
Slika 93. Treći donji, CD propusnost nakon 2 dana i nakon 20 dana ... 83

POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristike stroja (PM-4)..... 26

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
f	s^{-1}	Frekvencija
ω	s^{-1}	Kutna brzina
v	m/s	Brzina kretanja filca
d	m	Promjer valjka

SAŽETAK

U ovom radu prikazan je detaljan postupak mjerenja količine vode u sastavnom dijelu stroja za proizvodnju papira -filcu. Mjerenje je vršeno uređajem koji koristi mikrovalove kako bi utvrdio količinu vode i, uz pomoć operatera, dao detaljan opis profila vode u filcu.

Uz poznavanje utjecajnih faktora koji imaju utjecaja u press sekciji (*press section*) i dobivenih rezultata, operater može dati trenutnu dijagnozu rada stroja i kvalitete papira, koje u konačnici mogu dovesti do velikih ušteda prevencijom.

Iako bitnu ulogu u kvaliteti papira ima formirajući dio, koji odvaja vodu od celuloznih vlakana silom gravitacije, i sušna grupa, koja odvodi vodu termodinamičkom obradom, press sekcija koristi silu dovedenu ljudskom rukom i baš zato postoji najveća opasnost za odstupanja.

Iz tog razloga, press sekcija je dio stroja pod posebnim povećalom i njenim pravilnim održavanjem tvornica može ostvariti velike uštede.

Ključne riječi: papirna industrija, stroj za proizvodnju papira, mjerenje mikrovalovima, filc, press sekcija, održavanje, preventivno održavanje, valjci, presa, nip, vlaga

SUMMARY

This thesis shows a detailed process of water content measurement in a key element of a paper machine- the felt. The measuring was carried out with a device that uses microwaves to determen the amount of water and, with the help of an opeator, give a detailed result of the water profile in the felt.

By knowing the influencing factors which have an affect in the press section and by using the results gained, the operator can give an instaintaneous diagnosis of the inner working of the paper machine and the paper quality, both of which can in turn lead to big savings if prevented.

Even though the forming section, which separates water from the cellulose fibers via gravity, and the drying section, which removes water from the paper through heat, both play a big role in the papermaking process, the press section uses instruments made available by humans and thus it represents the biggest threat for the qulality of the process.

Because of these reasons, the press section is in the spotlight of maintenace teams, and by keeping the press seciton in line, massive savings can be achieved.

Key words: paper industry, paper machine, microwave measurement, felt, press section, maintenance, preventive maintenance, rolls, press, nip, moisture

1. UVOD

Danas se više nego ikada prije od strane krajnjeg korisnika očekuje visoka kvaliteta robe uz što manju cijenu. Ukoliko kvaliteta nije na zadovoljavajućoj razini, kupac se vrlo lako može odlučiti za kupnju konkurentskog proizvoda. U te proizvode spadaju i proizvodi koji su napravljeni od celuloznih vlakana, odnosno papirnati proizvodi. U papirnate proizvode spadaju papiri za print, toaletni papir, papir za pakiranje i drugi. Kako bi se kontinuirano povećavala kvaliteta proizvoda, bitno je pratiti stanje stroja i njegovih sastavnih dijelova. Važnu ulogu u procesu proizvodnje imaju gotovo sve komponente, od vakuumskih pumpi, elektromotora, preša i valjaka, kemikalija i punila, pa sve do šprica za čišćenje naslaga. Jedan od najvećih utjecaja na sam papir, i najčešći razlog zašto se događaju reklamacije, imaju elementi u direktnom kontaktu s papirom – sita i filcevi. Preko njih celulozna vlaka poprimaju oblik te tako nastaje papir.

Cilj cijelog procesa proizvodnje papira je odvojiti vodu od celuloznih vlakana uz što bolju strukturu vlakana. Kako bi se to dogodilo, voda se odvaja mehanički i termodinamički. Prve dvije skupine, formirajuća i press skupina, imaju zadaću izdvajati vodu pomoću sile iz papirne mase, te je potrebno svim dijelovima jednoliko izvlačiti vodu, iz čega proizlazi uniformni papir na kraju procesa. Kada je retencija vode velika, vlaga u papiru raste i gube se poželjna fizikalna svojstva i troši se puno više suhozasićene pare kako bi se uklonilo višak vode. Iz tog razloga, koriste se uređaji koji koriste mikrovalove za utvrđivanje stanja filca i sita, odnosno da se vidi količina odvodnje vode na pojedinim mjestima. Ti uređaji ne služe samo za utvrđivanje odvodnje, već i za utvrđivanje drugih elemenata koji mogu negativno utjecati na papir. Rezultati pomažu inženjerima da utvrde razloge koji mogu dovesti do reklamacija ili pucanja papirne trake. Bitno je napomenuti kako za razliku od drugih mjerenja gdje su jasno definirana dopuštena odstupanja, mjerenjem u papirnoj industriji se utvrđuju odstupanja u odnosu na prijašnja mjerenja kada je papir bio zadovoljavajuće kvalitete. Imajući u vidu da svaki sat tijekom kojega stroj nije u pogonu dolaze gubitci od više tisuća eura, dijagnostika i preventivno djelovanje su imperativ u svakom uspješnom poslovanju.

Ovaj rad će se osvrnuti na uređaje koji koriste mikrovalove za utvrđivanje stanja vlage, odnosno vode, s posebnim osvrtom na press dio stroja. Također biti će predstavljen eksperimentalni dio koji će prezentiranu teoriju i tehnologiju prikazati u stvarnim uvjetima.

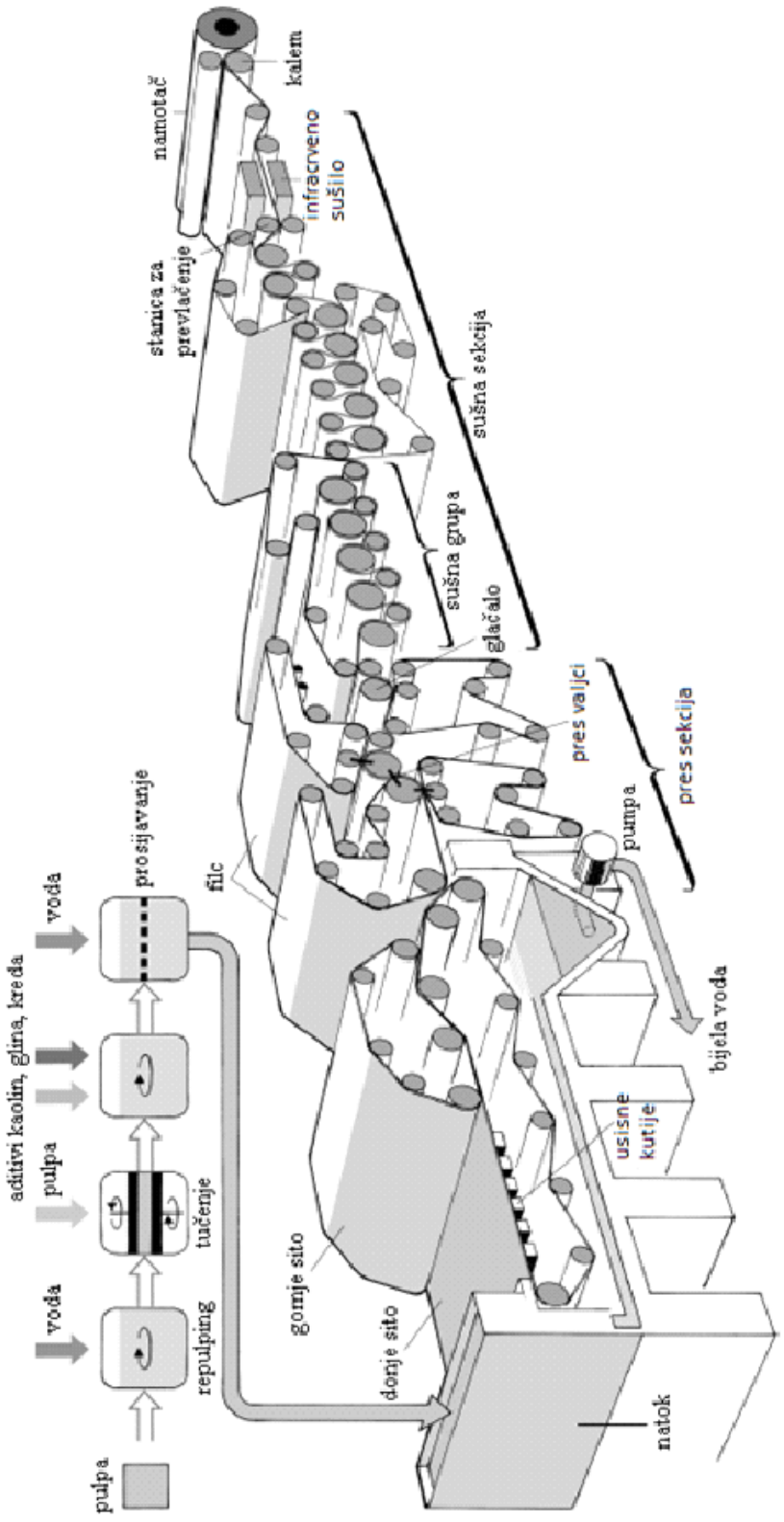
2. OPIS PROCESA

Papir je jedan od najstarijih proizvoda koji se koriste do današnjeg dana i vrlo vjerojatno će se zauvijek koristiti u jednom ili drugom obliku. U suštini, sam proces se temelji na odvodnji vode iz smjese celuloznih vlakana i vode, takozvane pulpe/mase. U ovom poglavlju biti će prikazane komponente koje odvode vodu i materijali koji formiraju celulozna vlakna.

2.1. Proizvodnja papira

Celulozna vlakna su sirovina u praktično svim postupcima pravljenja papira danas. Primarni izvor celuloze je drvo, ali upotreba recikliranih vlakana iz korištenog papira također je značajno porasla posljednjih godina. Celulozna vlakna se dobivaju iz drveta, a međufaza je dobivanje pulpe. Kod kemijske proizvodnje pulpe, komadići drveta se sijeku na iver, potapaju u kemikalije i tiskaju pritiskom pri povišenoj temperaturi. To se radi da bi se celuloza odvojila od lignina u drvetu. Celulozna vlakna se zatim operu i izbjeljuju u više tehnoloških operacija da bi se dobila kemijska pulpa. Mehanička proizvodnja pulpe uključuje velike rotirajuće diskove, koji sijeku drvo i melju komade drveta u pulpu. Ovdje pulpa sadrži lignin i vlakna su kraća od onih proizvedenih kemijskim postupkom. Postoje mnoge varijacije i kombinacije ova dva glavna postupka za dobivanje pulpe. U proizvodnji papira često se miješaju različiti tipovi pulpe, a dobivena smjesa se zatim tretira da bi se dobila određena finoća s specifičnim osobinama [2].

Papir se proizvodi u stroju za proizvodnju papira, koji radi kontinuirano, u obliku trake širine do 10 m, koja je obično duga 100 m - 200 m a kreće se brzinom 10-25 m/s. Osnovni princip rada stroja je prikazan na slici u nastavku.



Slika 1. Prikaz procesa dobivanja papira [1]

Sirovina se priprema u dijelu koji se zove priprema papirne mase. Papirna masa se razrjeđuje vodom u holenderu, na koncentraciju 3,5 % - 5 %, da bi se mogla transportirati

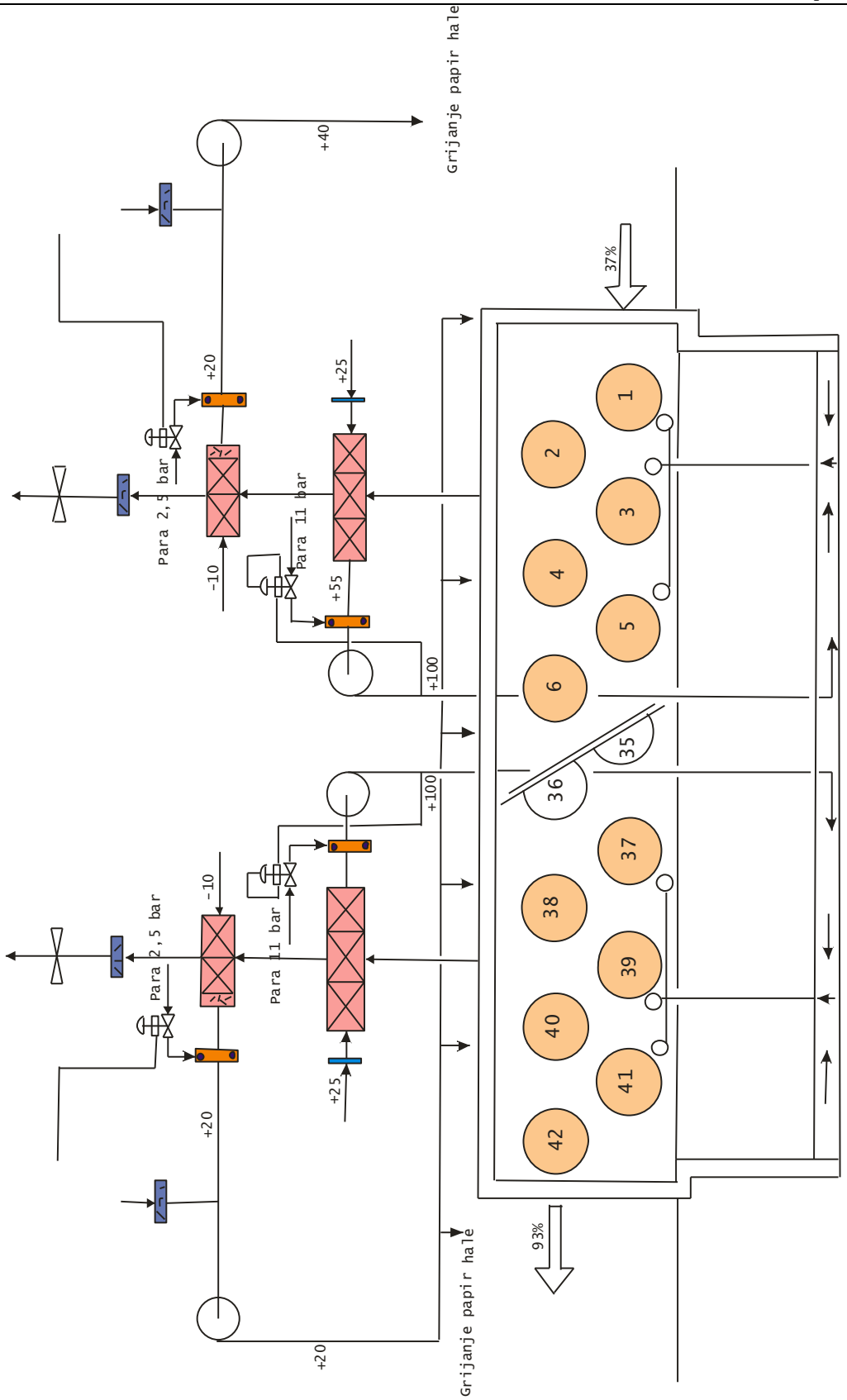
pumpom. U integralnom procesu, razrijeđena papirna masa se iz holendera prebacuje na dvostupanjsko mljevenje, i to:

1. mljevenje na mlinovima s duplim pločama gdje se vlakno cijepa po dužini,
2. mljevenje na konusnim mlinovima gdje se vlakno skraćuje po dužini.

Papirnoj masi se zatim dodaju aditivi i punilima, da bi se unaprijedile određene karakteristike finalnog proizvoda, kao što su neprozirnost, otpornost na apsorpciju vode, mogućnost tiskanja i čvrstoća. Papirna masa ima sadržaj suhih čvrstih materija 0,5 % - 1 %. Dakle, po svakom kilogramu proizvedenog papira ukloni se 100 kg - 200 kg vode. Stroj za proizvodnju papira je u osnovi napravljen da uklanja vodu tijekom formiranja papirne trake.

Papirna masa se uvodi u stroj za proizvodnju papira iz boksa na njenom prednjem kraju (natok). Zatim se distribuira ravnomjerno po širini pokretnog perforiranog ekrana, poznatog kao sito, i dobiva početnu brzinu približno jednaku brzini sita. Vlakna se zadržavaju na situ formirajući list. Veći dio vode se drenira kroz sito ili isisava vakuumom u usisne kutije. Dio stroja gdje se sve ovo događa poznat je kao sekcija sita. Na kraju ovog procesa filtriranja papirna traka sadrži 80 % vode, ili otprilike 4 kg vode po kg suhog papira. Drenirana voda, tzv. bijela voda, se prikuplja i odlazi na početak procesa jer dalje sadrži vlakna i, još bitnije, štedi vodu.

Slijedi uklanjanje vode iz papirne trake koje se vrši mehaničkim putem u press sekciji. Papirna traka se vodi beskonačnom trakom od visoko apsorbirajućeg filca kroz tri ili četiri para rotirajućih čeličnih valjaka. Nakon što je prošla press sekciju papirna traka sadrži 1 kg - 1,5 kg vode po kg suhog papira, odnosno čvrste suhe tvari oko 45 %. Preostalu vodu treba ukloniti sušenjem, što se izvodi u sušnoj grupi, čiji je prikaz prikazan na slici 3. Sušna sekcija se sastoji od sušnih cilindara izrađenih od čelika, koji se napajaju parom, na kojima se odvija kontaktno sušenje papira. Ova sekcija se sastoji od nekoliko grupa rotirajućih cilindara, tzv. sušnih grupa. Papirna traka prelazi s jednoga cilindra na drugi čvrsto pritisnuta na svakog od njih pomoću sušnog filca. Standardna višecilindarska sekcija sušenja može imati od 30 do 120 cilindara, a svaki cilindar ima promjer od 1,5 m - 2 m. Dakle, cilindarska sekcija je po svojoj veličini dominantni dio stroja za proizvodnju papira. Na prvoj grupi cilindara papirna traka se uglavnom samo grije, a suši vrlo malo.

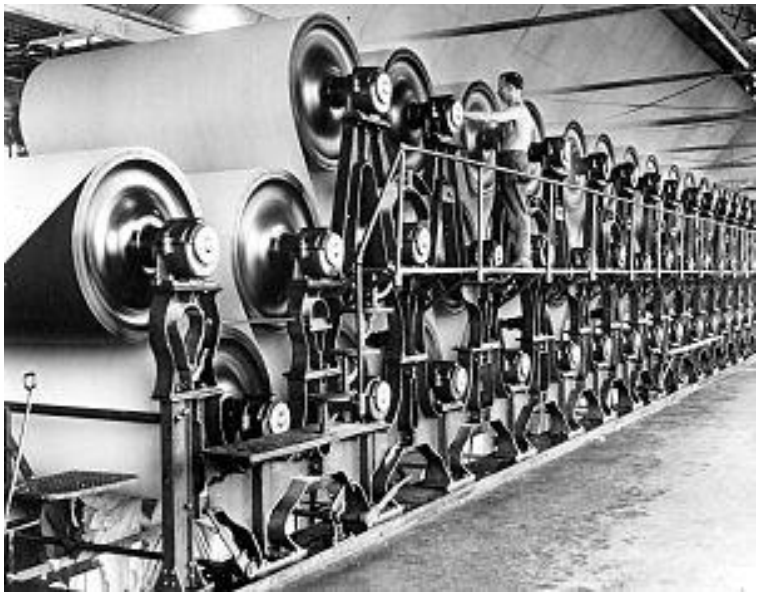


Slika 2. Tehnički prikaz sušne grupe [1]

Sušenje se nastavlja na preostalim cilindrima, iako sve laganije i laganije kako se snižava vlažnost papirne trake. Sekcija sušenja je normalno zatvorena u haubu koja kontrolira protok i temperaturu zraka u toj sekciji. Topli i vlažni zrak na izlazu iz sekcije sušenja obično se koristi za predgrijavanje svježeg zraka u izmjenjivaču topline.

Završetak sekcije sušenja sadrži neke specijalne jedinice. Preša se ponekad koristi za uvođenje rastvora škroba ili nekog sintetičkog materijala (latex) u presušeni list papira da bi se povećala njegova površinska tvrdoća. Stanice za premazivanje se koriste za primjenu pigmentiranih površinskih premaza koje imaju za cilj poboljšanje finoće površine papira i mogućnosti tiskanja. I u preši i u stanici za premazivanje često se koriste infracrvene i konvektivne sušilice za inicijalno sušenje dodatne površinske vlage u papiru. Neki strojevi za papir imaju proširenje sekcije sušenja, tzv. glačalo, koje se sastoji od nekoliko vertikalno postavljenih valjaka. Propuštanjem skoro suhog lista papira između ovih valjaka, pod visokim pritiskom i ponekad pri visokoj temperaturi, papiru se povećava kompaktnost i on se glača. Konačno, završena papirna traka se namotava na čelično vratilo. Papir sada sadrži 5 % - 8 % vode, što predstavlja ravnotežni sadržaj vode na sobnoj temperaturi. U mnogim slučajevima papir se naknadno premaže i glača u završnom glačalu umjesto u samom stroju.

Zanimljiva značajka stroja za papir je to što se skoro sva voda uklanja u sekciji sita i preše, dok se skoro sva energija troši u sekciji sušenja da bi se uklonili posljednji ostaci vode. Dakle, čak i sitna poboljšanja procesa sušenja mogu rezultirati velikim uštedama energije, a poboljšanja press sekcije rezultiraju uštedama u sekciji sušenja.



Slika 3. Prikaz sušne grupe [3]

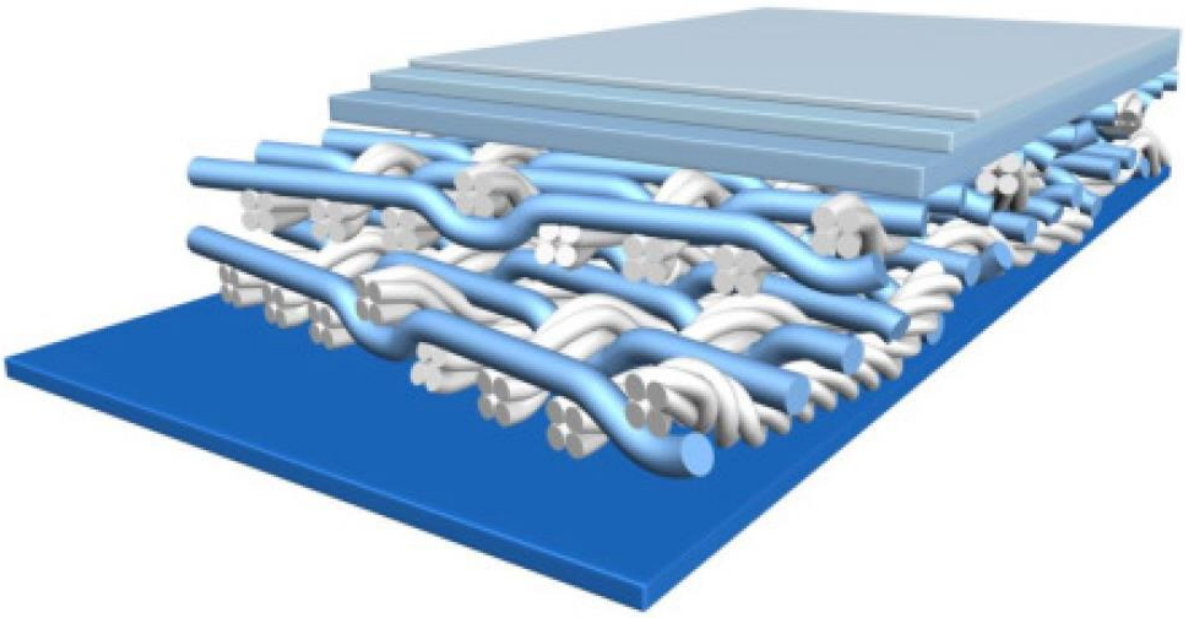
2.2. Strojna oprema press dijela stroja za proizvodnju papira

Sastavni dio opreme stroja za proizvodnju papira su i mokri filcevi kojih na svakom papirnom stroju ima onoliko koliko ima pritisaka dvaju valjaka (nip-ova), uobičajeno 2 – 3 komada.

2.2.1. Mokri filcevi

Filc ima 2 osnovne funkcije, da pruža potporu papirnoj traci koja još nije dovoljno suha da može sama sebi potporu pružati prilikom transporta (kao u sušnom dijelu) i ona najbitnija da preuzima vodu istisnutu iz papirne trake.

Unutar filca su strukturalne praznine, takozvane *void volume*, u koje se prilikom prolaska kroz prešu preuzima voda. Također, radi praznina i mogućnosti deformacije, prolaskom kroz preše, koje često prelaze i desetke tisuća Newtona, filc osigurava da papirna traka ne pukne [4].



Slika 4. Uvećani prikaz strukture filca [4]

Dizajn filca s gornje strane je uniforman kako bi celulozna vlakna formirala što kvalitetniji papir. Ipak papirna strana filca mora imati dovoljno velike otvore kako bi voda mogla napustiti traku. No ukoliko se koriste reciklirana, skraćena vlakna propadat će kroz otvore u vodu za recikliranje. Gornji sloj dolazi u kontakt s papirnom masom i ima najmanju gustoću, odnosno najfiniji je i papir lijepo naliježe na njega, no radi strukture protok vode je smanjen.

Svaki slijedeći sloj ima manju gustoću i veću propusnost te što je dalje od samog papira manja je potreba za finoćom. Na kraju dolazimo da mreže koja jako dobro propušta vodu te osigurava čvrstoću strukture. Zadnji sloj štiti strukturna vlakna od direktnog kontakta s pogonskim dijelovima.

Donja strana filca sastavljena je od debljih niti koje su u direktnom kontaktu s dijelovima stroja – valjcima, vakuumskim kutijama, napinjačima koji troše niti. Iz tog razloga njihov je promjer veći, a kako bi mogli propuštat vodu, nisu toliko usko pleteni kao gornji sloj koji ima zadaću zadržavati i formirati celulozna vlakna.

Svaki sloj filca ima vlastitu finoću koja se izražava u „DTEX“ (linearna gustoća vlakana, masa jednog tisućumetarskog vlakna) [5].

2.2.1.1. Atromaxx filc - koncept multiaksijalnog modula

Atromaxx - koncept multiaksijalnog modula se razlikuje po izboru kombinacije osnove pletenih i tkanih jednostrukih osnovnih slojeva prilagođenih specifičnim zahtjevima konfiguracije tiska i kvalitete papira. Širok spektar mogućnosti omogućenih modularnom konstrukcijskom tehnikom omogućava fino podešavanje na pojedinačnim pozicijama. Atromaxx filc je dostupan i sa spojem (ne samo kao beskonačna traka). Način izrade i sastav atromaxx filca je dan na shemi koja je prikazana na slici.



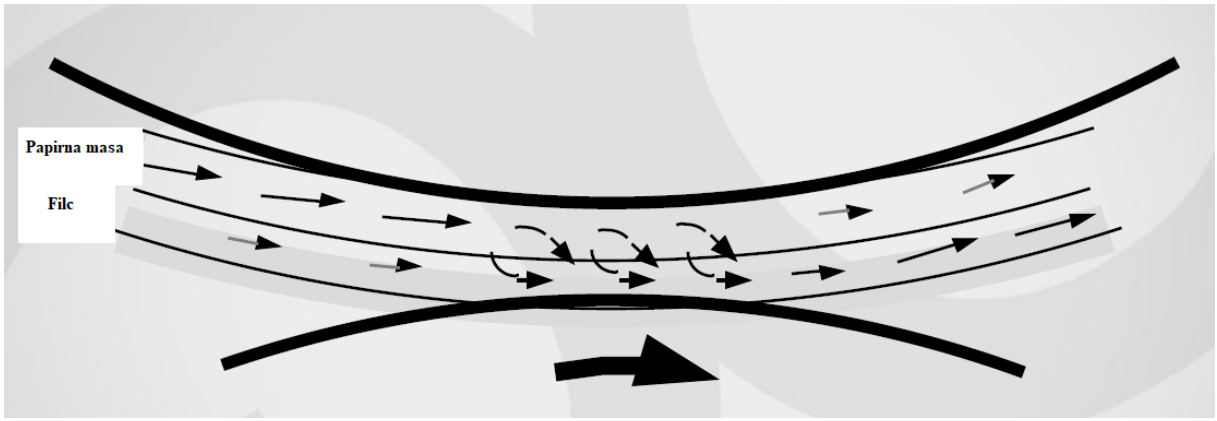
Slika 5. Prikaz sastavnih elemenata atromaxx filca [4]

Kod multiaksijalnih filceva puno teže dolazi do problema povezanih s linearnom strukturom filca iz razloga što se napetost na jednom dijelu filca širi dijagonalno na druge dijelove koji se ne nalaze na problematičnom dijelu.

2.2.2. Preše

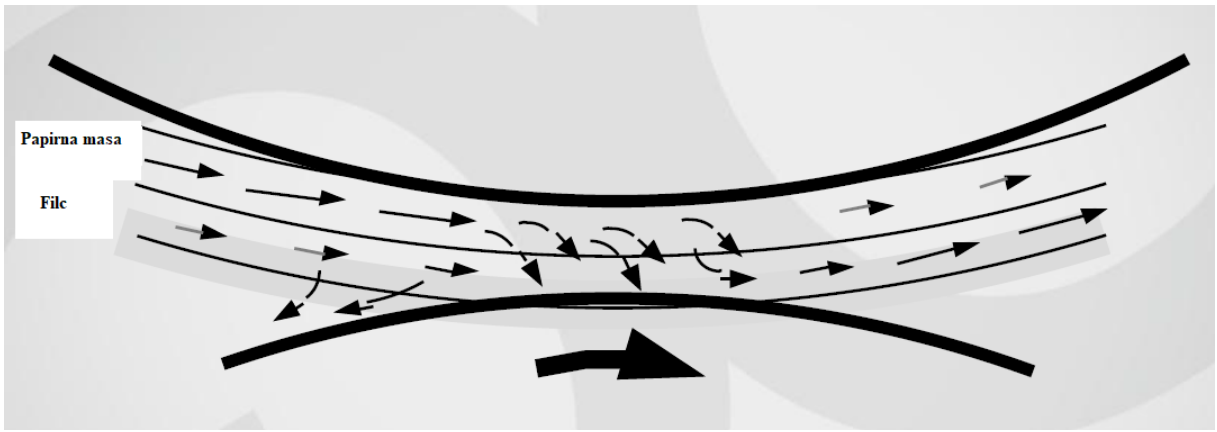
Preše su sastavni dio press sekcije. One su 2 valjka koji, kad ne bi bilo filca, imaju dodir u liniji, a primarna im je zadaća mehanički istisnuti vodu iz papira u filc. Papirna traka se preuzima iz formirajućeg dijela stroja (gravitacijsko odvodnjavanje) na filc pomoću vakuumskog valjka koji pomoću podtlaka veže još dosta mokru traku na filc. Dio vode koji se istisne na prešama, a ne zadrži ga filc, pada u okolni prostor i odlazi na recirkulaciju, dok se dio koji ostaje na filcu kasnije izvlači na vakuumskim kutijama [6].

Tijekom prolaska papirne trake na filcu kroz prešu, voda se odvodi na jedan od tri načina. Prvi način je isključivo pritiskom dvaju valjaka. To je osnovni način te postoje dvije varijacije takvog odvođenja ovisno o zasićenosti vodom.



Slika 6. Nezasićena masa [6]

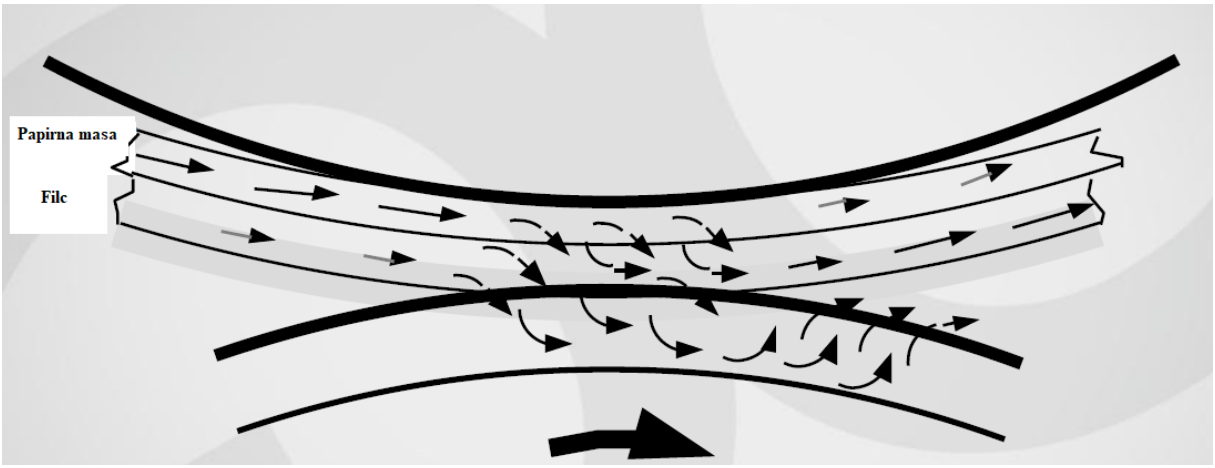
Kako se vidi na slici, kod nezasićene mase filc u potpunosti preuzima vodu s papirne trake. Kasnije se ta tekućina preuzima na vakuumskim kutijama.



Slika 7. Zasićena masa [6]

Kod zasićene mase filc je popunio svoje kapacitete i višak vode odlazi van filca.

Druga vrsta valjka je valjak sa slijepim rupama. Takav valjak preuzima vodu u male kružne džepove koje ima po svojoj površini, te se nakon izlaska iz zahvata rješava vode iz džepova pomoću centrifugalne sile.

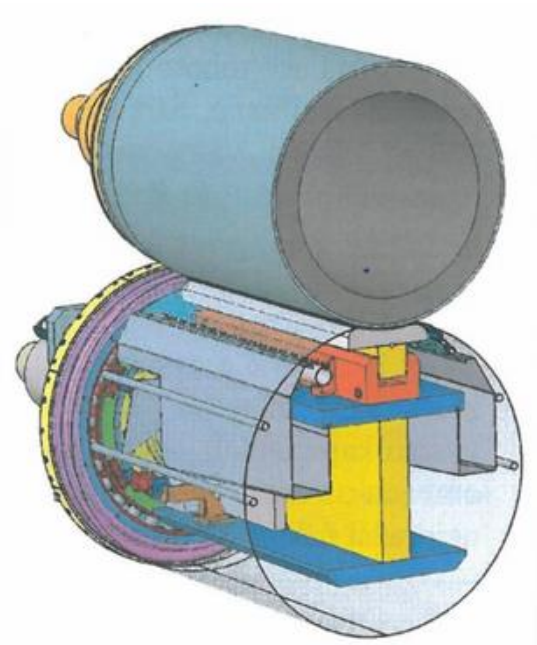


Slika 8. Kretanje vode na valjku s rupama [6]

Kod ovakvih valjaka bitno je rupe odčepljivati tijekom svakog zastoja.

Treći način na koji se voda uklanja je pomoću vakuumskih valjaka. Ovi valjci su spojeni na vakuumske pumpe i pomoću podtlaka izvlače vodu iz filca. Njih također treba redovito, tijekom svakog zastoja, odčepljivati [4].

Uz tri navedena valjka, postoji još i cipelasta preša (*shoe-press*) koja ima dodir u površini.



Slika 9. *Shoe-press* [7]

2.2.3. Vakuumske kutije i šprice – kondicioniranje filca

Po prolasku papirne trake kroz prešu i odlaska na drugi filc ili sušno sito, filc se treba očistiti od zaostalih celuloznih vlakana, punila i dodataka smjesi i mora osloboditi praznine za ponovno preuzimanje vode. To se ostvaruje vakuumskim kutijama koje na sebi imaju keramičke sajle iza kojih se, uz već prisutan podtlak vakuumske pumpe, stvara podtlak uzorkovan prolaskom filca preko istih. Poznati je problem slabije odvodnje vode pri rubovima kutija, jer iza keramičke sajle nema otvora, već je zatvoreno kako bi se osigurao konstantan tlak vakuumske kutije. Taj dio je pomičan i na njemu se stvara područje povećanog trenja (*Highway-area*) na kojem je jako izraženo trošenje filca i taj je dio najčešći razlog zamjene. Problem se može riješiti dodavanjem cijevi s vodom koja „podmazuje“ to područje.



Slika 10. Vakuumska kutija [8]

Kod čišćenja filca se koriste visokotlačne šprice, one mehanički odvajaju zaostalo prljavštinu iz filca. Udaljenost je oko 15 cm od filca i pri pritisku od 10 bara - 15 bara (20 bara ukoliko je filc pri kraju životnog vijeka). Također postoje niskotlačne šprice koje vlaže površinu filca kako se ne bi oštetio.



Slika 11. Šprice za čišćenje [8]

2.2.4. Napinjači i vodilice

Napinjači su pomične osovine koje osiguravaju napetost filca. Prolaskom životnog vijeka filca, njegove veze slabe i on postaje duži nego što je bio i tada se osovina pomiče i dovodi željenu napetost u filc.

Vodilice su metalne plohe postavljene na jedan ili oba kraja filca i registriraju bočne pomake filca. Povratnom vezom sklopa šalje signal jednom od valjaka (vodiljni valjak) da se nagle i dovede filc u centar zamišljenog puta filca [8].

3. UREĐAJ ZA MJERENJE VLAGE

Uređaj za mjerenje „ProScan – PressTuner“ je uređaji koji koristi mikrovalove kako bi izmjerio postotak vode u filcevima strojeva u radu isključivo u press sekciji. Operater koji koristi uređaj može, zahvaljujući senzorima, u kratkom roku doći do podataka koji će ga uputiti na probleme u press sekciji. Kako bi sve funkcije uređaja bile dostupne, uređaj se mora koristiti u kombinaciji s računalom.

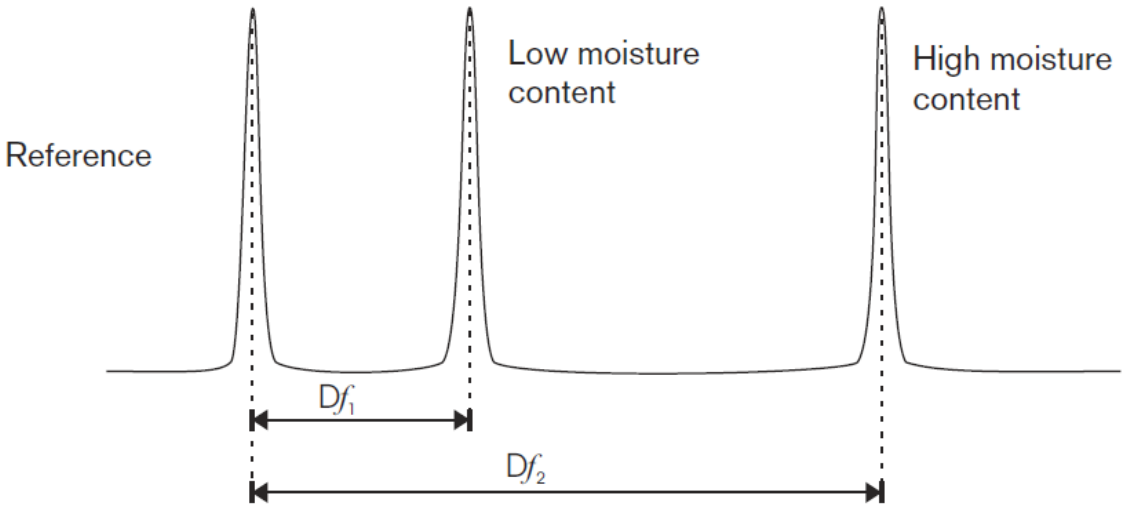
Svi prebačeni podaci mjerenja se mogu pohranjivati u računalo kako bi se podaci uspoređivali, stvarali posebni izvještaji i izvršavala apsolutna kalibracija. Pomoću tih podataka moguće je, uz praćenje trendova tijekom vremena, promatrati i različite tipove filceva na istim pozicijama. Računalni softver dolazi s uređajem i također se koristi i za druge vrste mjerenja sa ScanPro uređajima, svi ti podaci se mogu simultano prikazivati [9].

3.1. Tehničke karakteristike i princip rada

Uređaj PressTuner mjeri postotak vlage koristeći metodu kod koje rezonantna frekvencija mikrovala varira u odnosu na ukupnu vlagu u materijalu koji se mjeri. Dielektrična konstanta je kvantitativni podatak koji govori o odnosu gustoće i jačine magnetskog polja. Dielektrična konstanta vode na frekvenciji mikrovalova je otprilike 75 F/m, dok je za celulozna vlakna i druga tekstilna vlakna te sličnih materijala između 2 F/m i 4 F/m. Iz te činjenice se dolazi do zaključka da materijal s većim postotkom vode ima puno veći utjecaj na električno polje nego kada je postotak vode nizak.

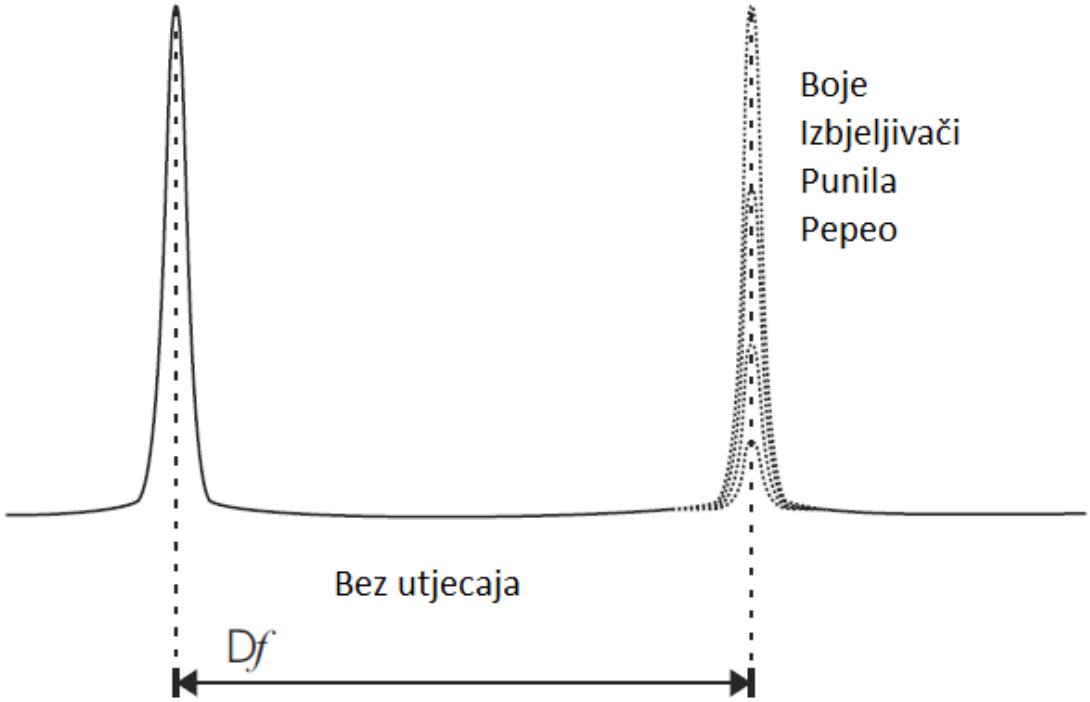
Mjerna glava uređaja sadrži mikrovalni rezonator koji je zatvoren metalom sa svih strana, osim jedne koja služi kao kontaktna površina. Jedan dio elektromagnetskog polja koje se stvara u uređaju leži izvan kontaktne površine, te ukoliko se vlažan materijal nađe u tom polju, on izmjenjuje frekvenciju rezonatora.

Ovisno o količini vode u materijalu ovisiti će i magnituda pomaka frekvencije. Ako se osnovna težina papira zna, uređaj se može kalibrirati u pogledu postotka vlage.



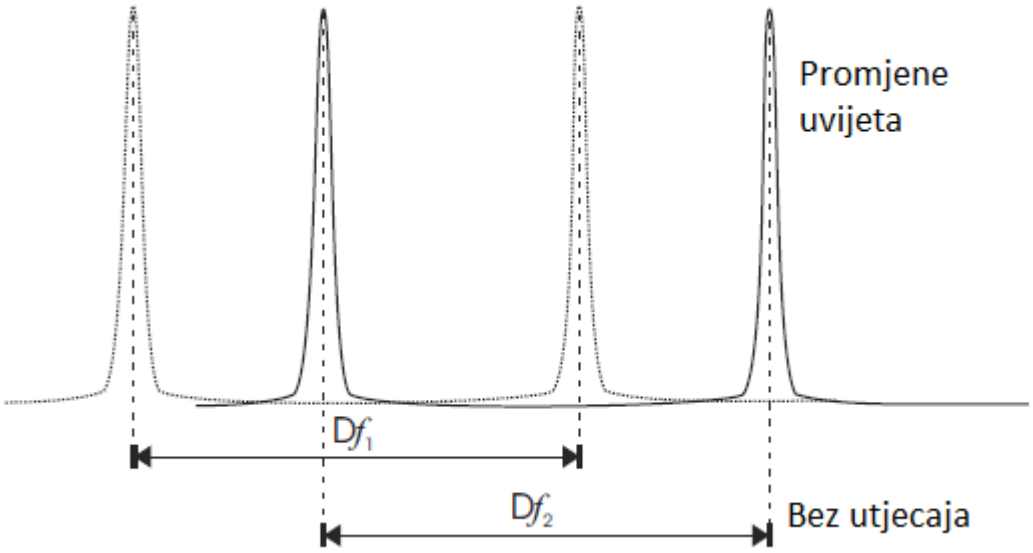
Slika 12. Pomak frekvencija u odnosu na količinu vlage, prikaz *LMC* i *HMC* [9]

Tehnička osnova mjerne jedinice ScanPro je sistem dvostruke rezonantne frekvencije. Osjetni rezonator sadrži 2 rezonance, no samo je jedna od njih osjetljiva na materijal koji se mjeri.



Slika 13. Područje na koje ne utječu vanjski faktori [9]

Frekvencije Df1 i Df2 su pod jednakim utjecajima vanjskih faktora kao što su promjena okolne temperature i pomaka oscilatora mikrovalova. Izmjera proizlazi iz razlika dvaju frekvencija. To osigurava vlastitu kompenzaciju i veliku stabilnost.

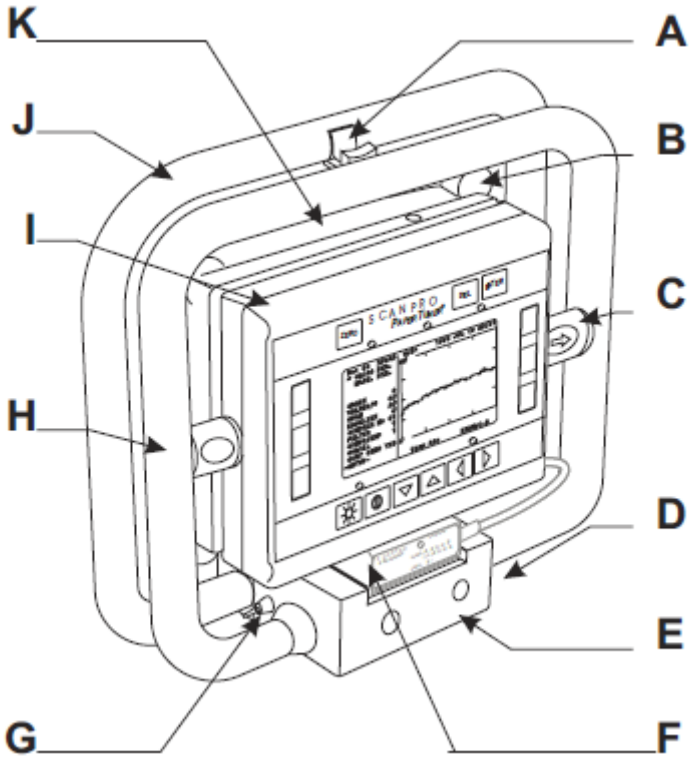


Slika 14. Princip rada s promjenom uvjeta [9]

Iako su mikrovalovi su dio spektra elektromagnetske radijacije koji imaju širok spektar primjerne poput komunikacija, radara i zagrijavanja hrane, energija koju uređaj koristi za mjerenje je jako mala i nije štetna za operatera.

3.1.1. Komponente uređaja

Mjerna glava se sastoji od senzorskog dijela i ekrana koji se nalaze svaki u zasebnom metalnom kućištu. Ta dva kućišta se mogu razdvojiti radi daljeg dosega operatera.



Slika 15. Skica uređaja ScanPro [9]

A- Preklopni prekidač

B- Kontaktni senzor (jedan od 4)

C- Komponenta za zaključavanje ekrana prilikom naginjanja

D- Vanjski priključak

E- Kutija s baterijom

F- Dodatna oprema- infracrveni senzor

G- Poluga za rastvaranje

H- Prihvat

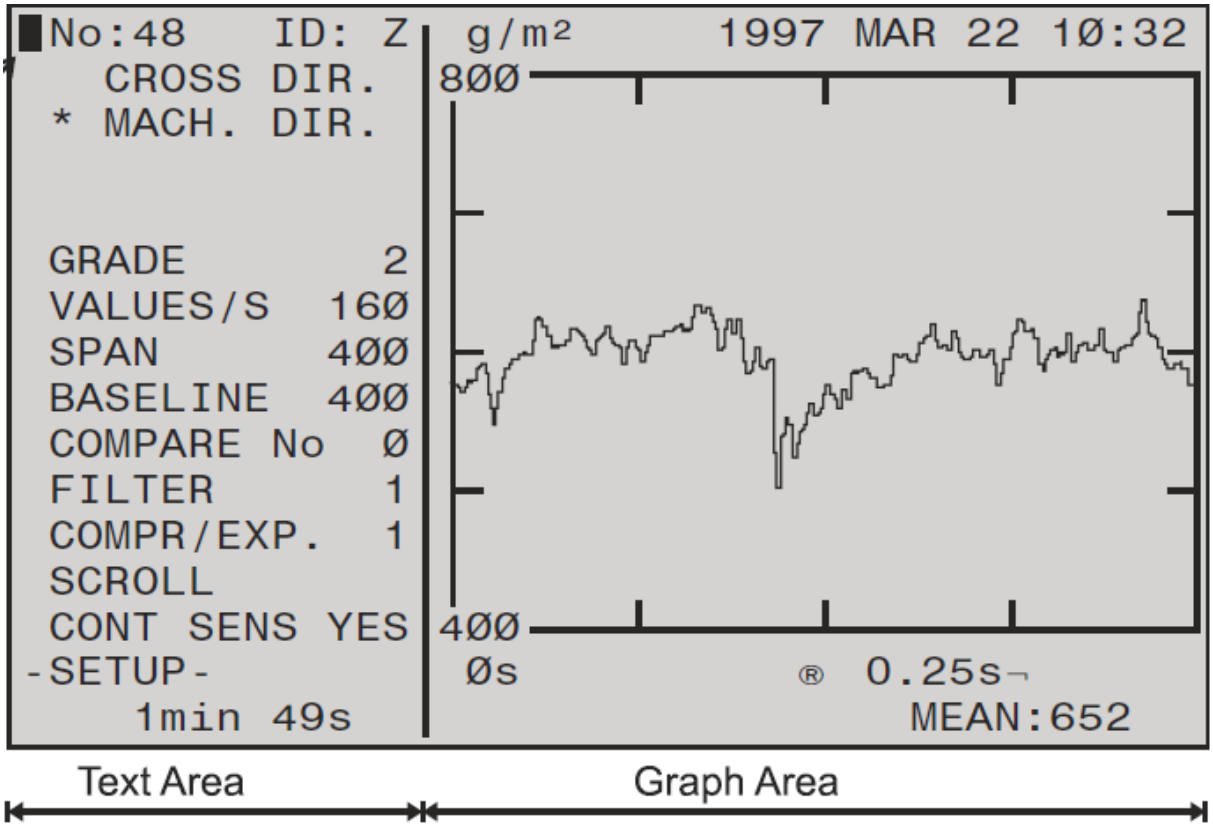
I- Ekran s ugrađenim kompjuterom, LCD ekranom koji prikazuje tekst i grafove te tipke s komandama

J- Okvir senzorskog dijela uređaja

K- Senzorski dio sa senzorom mikrovalova

3.1.2. Prikaz ekrana

U osnovnom prozoru su prikazane stavke poput identifikacijskog broja mjerenja (No : 48), mogućnosti izbora korištenja longitudinalnog mjerenja (*machine direction*) ili poprečnog mjerenja (*cross direction*), gramaturu papira, mjerenja u sekundi, raspon, osnovna mjerna osjetljivost, te usporedba s prijašnjim mjerenjem.



Slika 16. Ekran s podacima na uređaju [9]

3.1.3. Kalibracija uređaja

Uređaj se kalibrira posebnim staklom koje dolazi s uređajem. Obzirom da uređaj mjeri vlagu, rezultati se mogu prikazati velikim brojem različitih jedinica. Ukoliko se žele postići apsolutne vrijednosti, na primjer usporedbu s rezultatima na mreži, potrebno je napraviti apsolutnu kalibraciju. Apsolutna kalibracija nije potrebna ukoliko se žele proučavati profili filceva ili razlike u podešavanjima stroja. U drugim slučajevima preporuča se apsolutna kalibracija. Kalibracija se uvijek mora vršiti u jedinicama koje će se kasnije koristiti.

Princip kalibracije je podešavanje očitanja *PressTunera* tako da rezonira s apsolutnim vrijednostima vlage na istom uzorku. Glavni problem je dobiti te apsolutne vrijednosti.

Ispravan način je da se izmjeri vlaga u stroju koji radi, izvadi uzorak, i posljedično utvrdi vlaga u tom uzorku. Ukoliko je teško pristupiti uzorku, isti se mogu napraviti u laboratoriju. No ova metoda ne uzima u obzir utjecaje očitavanja s pokretne papirne trake te iz tog razloga nije precizna. Konačno, može se napraviti *on-line* kalibracija usporedbom s postojećim podacima.

Prvi dio kalibracije je prikupljanje dvije serije mjerenja, jednu od *PressTunera* a drugu od referentnih metoda koje su gore navedene. Broj ponavljanja bi trebao biti između pet i deset mjerenja. Iz tih serija se matematičkom kalkulacijom dobivaju dvije konstante koje se nazivaju A i B. A je multiplikatorska konstanta, dok je B konstanta pomaka.

S obzirom na nelinearne funkcije mjerenja, konstante se ne mogu koristiti izravno u matematičkim funkcijama. Određivanje konstanti je dio *MultiView* programa koji se nalazi na računalu. Konstante se zatim mogu unositi direktno u *PressTuner,* koji zatim računa apsolutne vrijednosti.

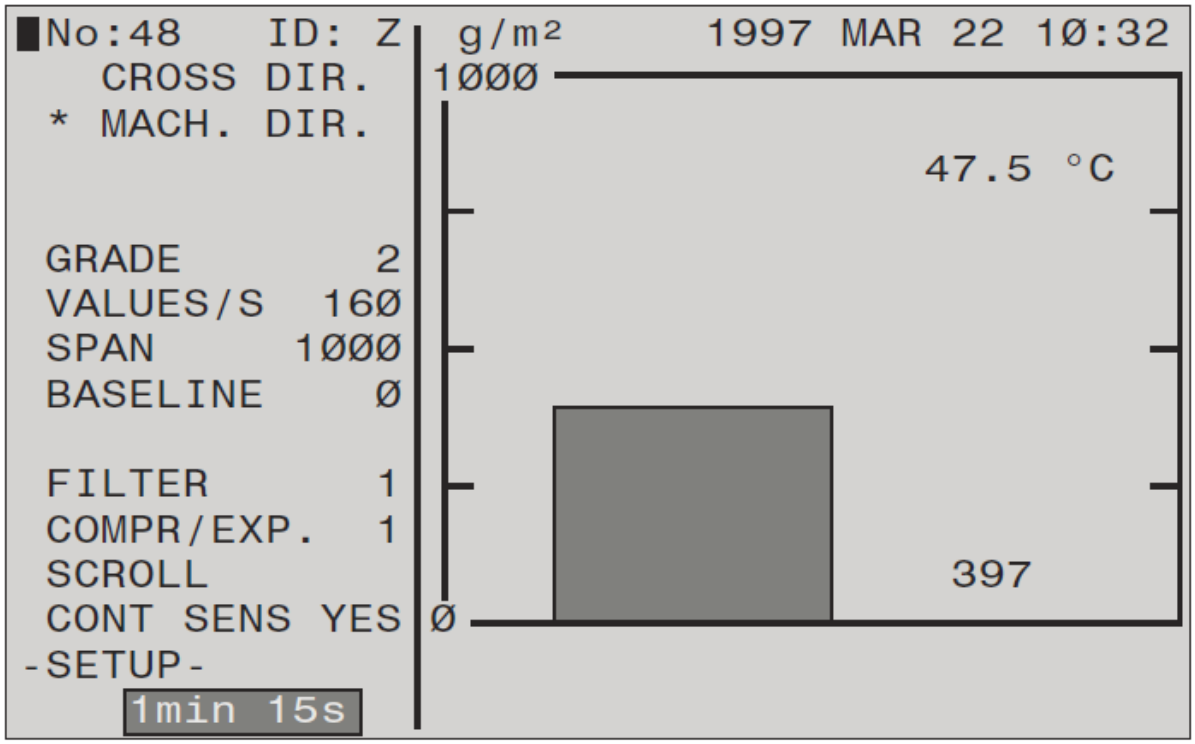
Vrijednosti konstanti se ne mijenjaju protokom vremena, no različite gramature papira će dati različita očitanja. Iz tog razloga je potrebno kalibrirati sve vrste papira zasebno. *PressTuner* može pohraniti 20 setova konstanti.

3.1.4. Način uporabe

Nakon što smo na skici press sekcije odredili točke mjerenja i zapisali prateće podatke poput brzine natoka, brzine namatača, gramature papira, potrošnje pare, proizvodnje po satu, podtlaka na vakuumskim kutijama i drugih koji se očitavaju iz operacijske sobe, koriste se mjerni alati koji nam daju trenutnu informaciju stanja dijelova press sekcije stroja.

PressTuner može mjeriti na raznim pozicijama i na mnogo različitih načina zahvaljujući preklopnoj mogućnosti uređaja. Najjednostavnija i najpouzdanija mjerenja se ostvaruju kada je uređaj sklopljen i držan ispred operatera. Na mjestima gdje je potrebno koristiti rasklopljeni PressTuner senzorski pokazivači su vrlo korisni. Mjerenja se pohranjuju kada su 3 od 4 senzorske lampe upaljene istovremeno. Tijekom mjerenja ekran pokazuje stupčani grafikon kao i brojke samog mjerenja. Po završetku uređaj automatski pokazuje grafikone s rezultatima.

Na početku mjerenja, moraju se provjeriti postavke parametara i, ukoliko je potrebno, promijeniti. Mora se osigurati suha mjerna površina, zadržati uređaj u zraku i držati gumb „zero“ kako bi se uređaj pripremio. Nakon otprilike 1 sekunde PressTuner će pokazati „zero ok“ u donjem desnom kutu. Ukoliko se pokaže pogreška, nul-točka se vjerojatno pomaknula te je potrebno ponoviti proces držanjem istog gumba oko 3 sekunde kako bi se uspostavila nova točka. Nakon pripreme uređaja treba odabrati redni broj mjerenja, po uključivanju uređaja, automatski se pronalazi prvi neiskorišteni mjerni broj. Zatim se odabire tipka za mjerenje koja prikazuje mjerne vrijednosti, dok se površina dodiruje rukom. Nakon postavljanja uređaja na površinu koju želimo izmjeriti, treba gledati da li su sve 4 lampe uključene, ako su barem 3 uključene, uređaj će pokazivati mjerne vrijednosti.



Slika 17. Prikaz vrijednosti tijekom mjerenja [9]

Temperatura se prikazuje samo kada se koristi infracrveni senzor.

Dok se drži gumb za mjerenja, uređaj pohranjuje izmjerene vrijednosti, ukoliko se radi poprečni profil potrebno je krenuti hodati istovremeno s pritiskom gumba. Mjerenje se zaustavlja ili pauzira kada kada se prestane držati gumb. Ukoliko se želi prijeći na drugo mjerenje, potrebno je promijeniti redni broj mjerenja, u suprotnom samo nastavljamo s prekinutim mjerenjem.

Po prekidu držanja gumba za mjerenje, prikazuje se grafikon izmjerenih vrijednosti. Ukoliko je uređaj postavljen na cross direction, prikazuje se ukupan profil (količina vlage i mjesto), dok se kod machine direction, prikazuju vrijednosti u vremenskom periodu (količina vlage i vrijeme očitanja).

3.1.5. Bilješke za mjerenja

Jačina kontakta između mjernog uređaja i filca nema utjecaja tijekom mjerenja, no ipak mora prelaziti minimalnu vrijednost pritiska, kako bi dobili dobre rezultate. Kada se sve 4 senzorske lampe uključe, mjerni rezultat je dobar.

Kada se mjeri filc koji prelazi preko valjka sa spiralom, postoji mogućnost od nevaljanih rezultata, s obzirom da očitanja mogu varirati zbog neujednačenog reljefa filca. Ukoliko nije moguće ostvariti čvrst i stalan pritisak nakon spiralnog valjka, mjerenje se mora obaviti prije istog.

Objekti koji su bliži od 25 cm mjernoj glavi, a mjereni su okomito od mjerne površine, mogu stvarati turbulencije tijekom mjerenja. Na ovu mogućnost treba posebno obraćati pozornost kada se filc okrene za 180 stupnjeva, na mjestima poput valjka.

Manje razlike u distribuciji vode u filcu nemaju primjetan efekt na mjerne rezultate. No efikasna vakuumska kutija može snažno pomaknuti postotak vode na jednu stranu filca. Ukoliko mjerimo ispred i iza takve kutije dobiti ćemo pogrešku koja se može popraviti mjerenjem dvije strane filca i izračunom medijan.

Općenito, tanji filc s jednakom količinom vode daje veća očitanja nego deblji filc s istom količinom vode. Standardnom kalibracijom tanki filcevi će davati oko 10 % do 15 % veća očitanja dok su kod jako debelih daju isto toliko niža očitanja. Ova odstupanja se mogu ispraviti posebnom kalibracijom za takve filceve.

Grubi filcevi s većim oscilacijama uobičajeno daju lošija očitanja nego glatki filcevi. Filcevi koji imaju različite načine pletenja kroz svoju strukturu daju različite rezultate. Ovi problemi se rješavaju posebnom kalibracijom.

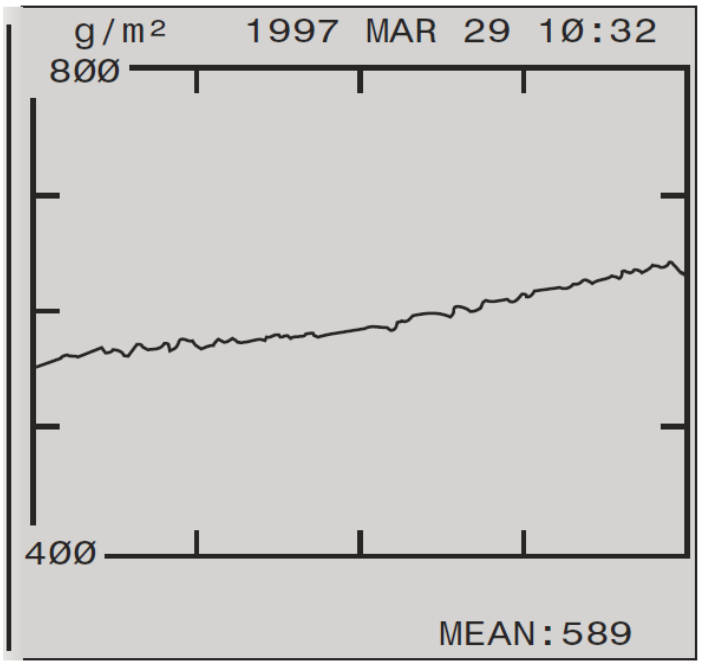
Iz fizikalnih razloga, i temperatura do neke mjere utječe na izmjerene vrijednosti. Utjecaj temperature će zavisiti o postotku vode u filcu, kod uobičajenih količina vode u filcu, izmjerene vrijednosti će malo opadati s povećanjem temperature. U pravilu se promjene zbog temperature zanemaruju.

3.2. Značenje profila

Pojedine česte vrste profila govore o određenim problemima u stroju. Iako nije moguće uvijek sa sigurnošću reći o čemu se radi iz očitanih profila, ukoliko se prepozna neki od slijedećih profila, dobivamo dobru smjernicu.

3.2.1. Nejednak pritisak preše

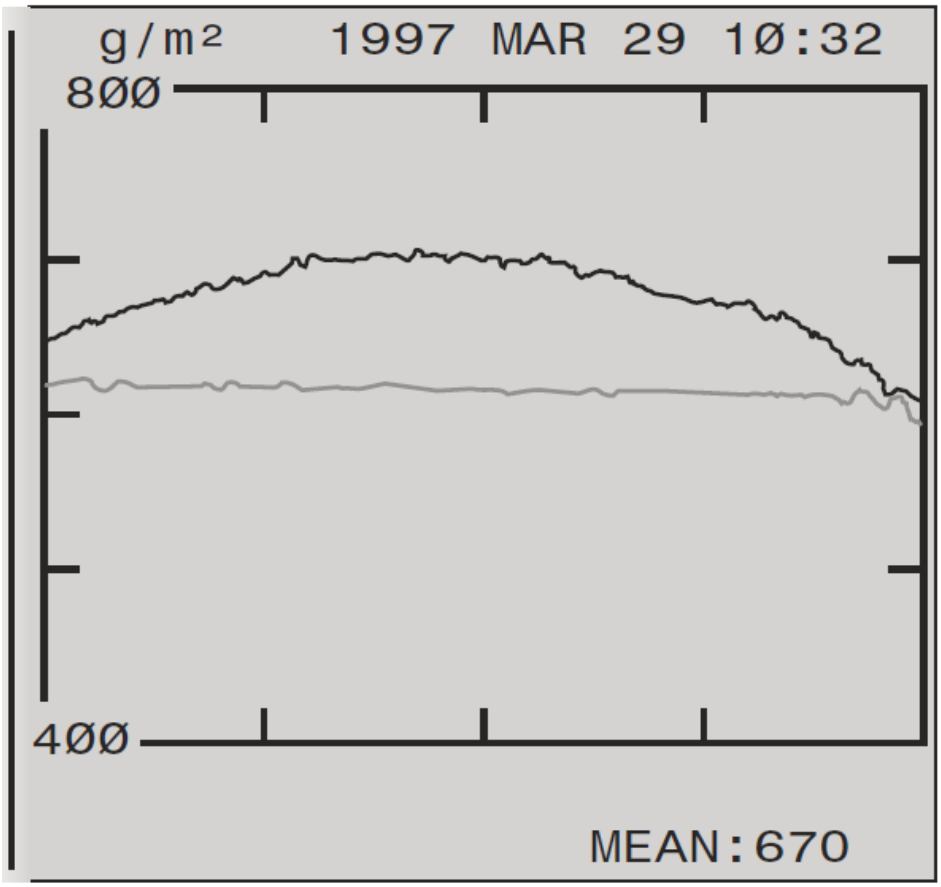
Nejednaki pritisci kroz prešu rezultiraju povećanim pritiskom na jednoj strani i smanjenim na drugoj strani. Iako nije uvijek jasno vidljiva, ta razlika pritisaka radi utjecaja mnogih faktora, može se vidjeti provuče li se zamišljeni pravac kroz profil. Ukoliko profil na jednoj strani ima osjetno više vode nego na drugoj strani znamo da se radi o problemu preše a ne, primjerice, odvodnjavanja (razlika konstantno raste). Tada bi trebalo podesiti preše i po mogućnosti izvesti test pritiska kroz cijeli profil. Pomicanjem gornjeg i donjeg valjka se namješta uniformnost pritiska.



Slika 18. Profil povezan s razlikom pritisaka preše [9]

3.2.2. Krunjenje

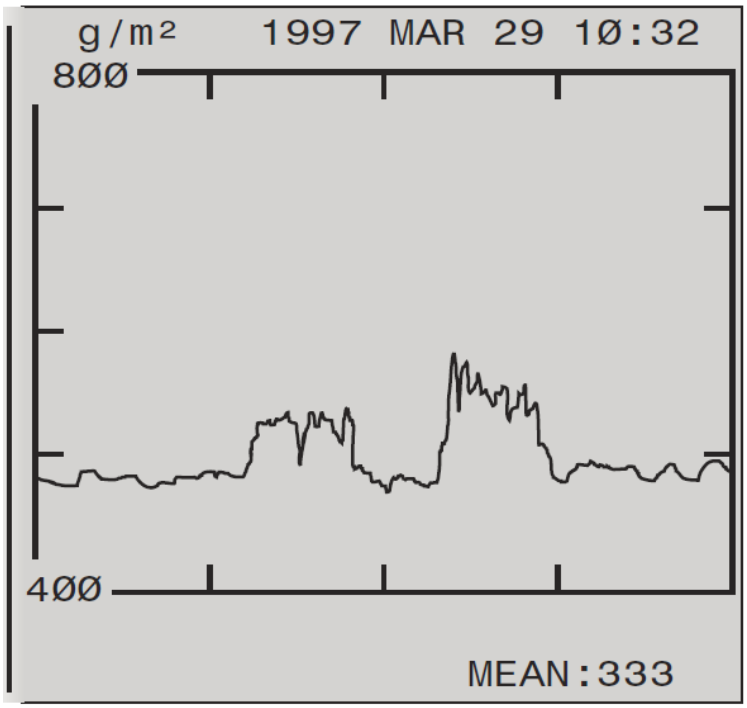
Ukoliko postotak vode raste prema sredini valjka, tada govorimo o krunjenju. Tu pojavu lako detektiramo, a može biti odgovorna za velike razlike u kvaliteti papira na namataču. Razlozi mogu biti mnogi, no uvijek se svode na valjke. Zbog većeg pritiska na sredini (profili pokazuju koliko je vode filc preuzeo odnosno koliko je vode papir predao) više vode sa sredine papirne trake se istiskuje u filc i dobivamo profil poput onog na slici.



Slika 19. Profil uslijed nejednakog pritiska na krajevima i sredini valjaka [9]

3.2.3. Vrhovi vlage

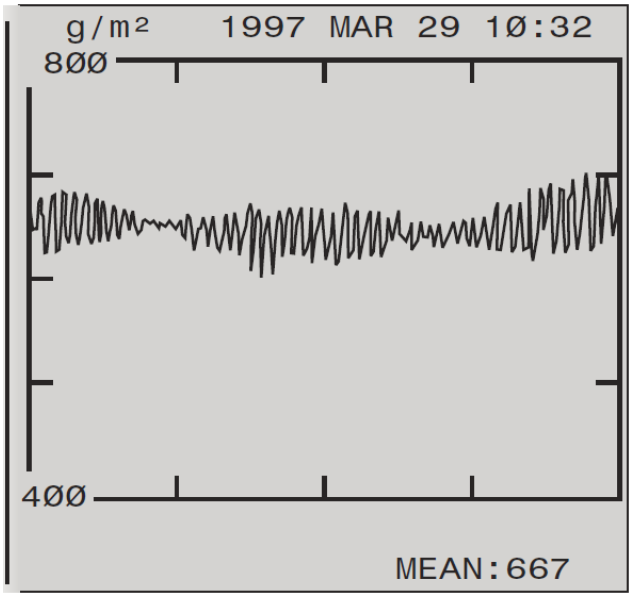
Ukoliko je vakuumska kutija začepljena i ne odvodi vodu na pojedinom dijelu, na tim lokaliziranim mjestima će se nakupiti voda. Takve pojave začepljenosti daju u profilu jasne vrhove, te otkrivaju mjesto začepljenosti vakuumske kutije.



Slika 20. Profil uslijed začepljenih vakuumskih kutija [9]

3.2.4. Iskrivljeni valjci

Kada su valjci nevaljani, najčešće iskrivljeni, rezultati mjerenja će biti specifični i dolaziti će do velikih oscilacija. Takvi profili najčešće znače skori zastoj radi servisa.



Slika 21. Profil uslijed iskrivljenog valjka[9]

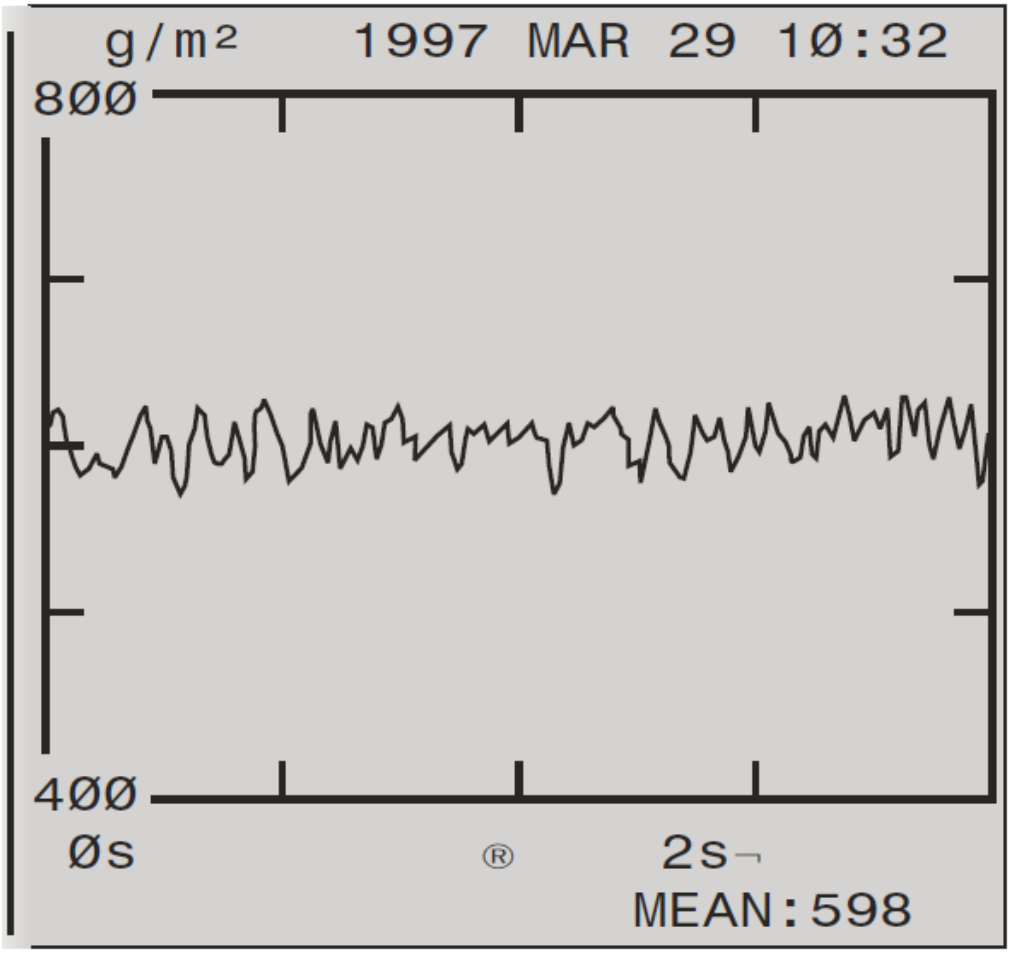
3.2.5. Karakteristike frekvencija

Određena odstupanja valjaka mogu stvarati vibracije, a samim time i probleme. Ukoliko postoji određena frekvencija (npr. 14 Hz) koja je puno dominantnija od ostalih, iz brzine kretanja filca i frekvencije možemo dobiti promjer koji će odgovarati određenom valjku, te utvrditi da od tamo dolaze vibracije.

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

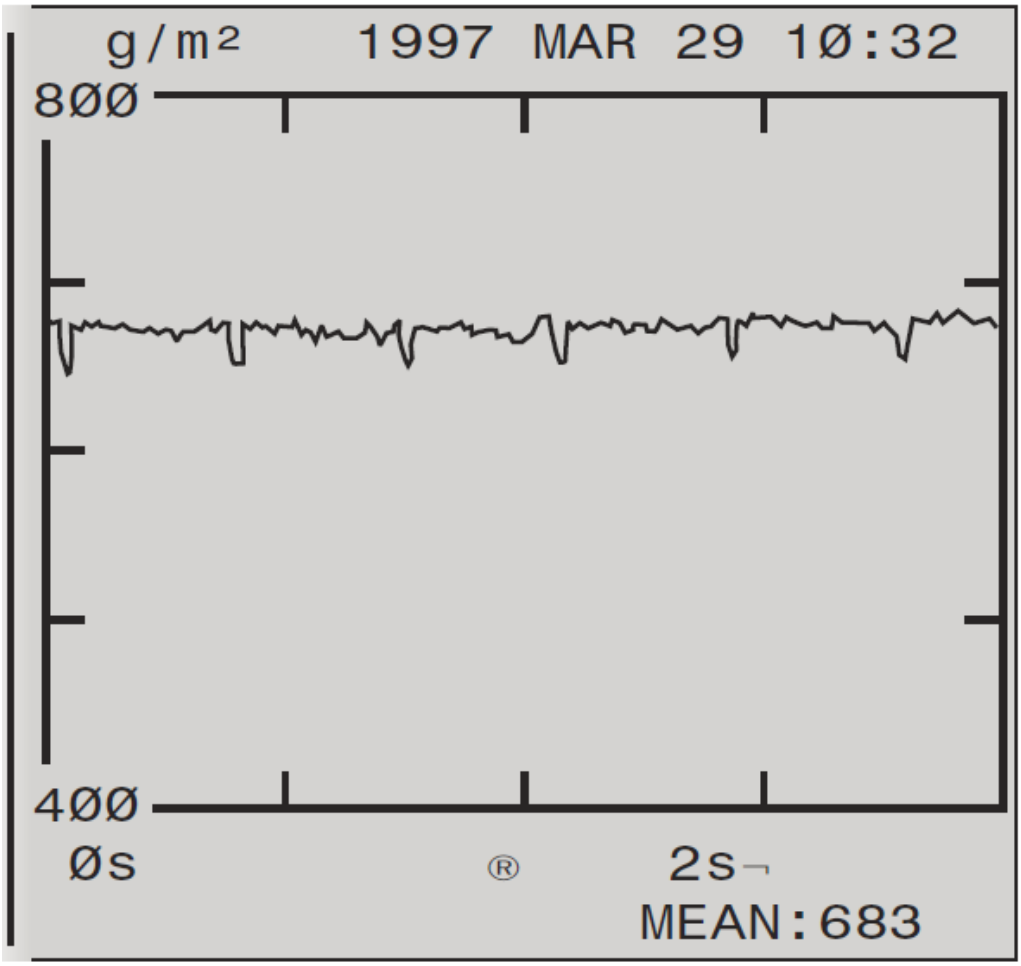
$$d = \frac{2\pi f \times 2}{v}$$



Slika 22. Profil s frekvencijama valjaka [9]

3.2.6. Sinkronizacija okretaja filca

Kod periodičnih odstupanja kao na slici 23. koji su povezani s okretajima, problem se nalazi u samome filcu. Svakom revolucijom filca prelazimo preko problematičnog dijela.



Slika 23. Sinkronizacija s okretajima filca [9]

Iako svaki profil ukazuje na pojedine probleme papirnog stroja, treba razmotriti i druge scenarije koji bi doveli do takvih mjernih rezultata.

4. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

Industrijska mjerenja su vršena u tvornici "Natron-Hayat" d.o.o. Maglaj, na stroju za proizvodnju papira koji proizvodi kraft (za pakiranje) i clupak (rastezljiviji papir za pakiranje cementa, brašna) papir.

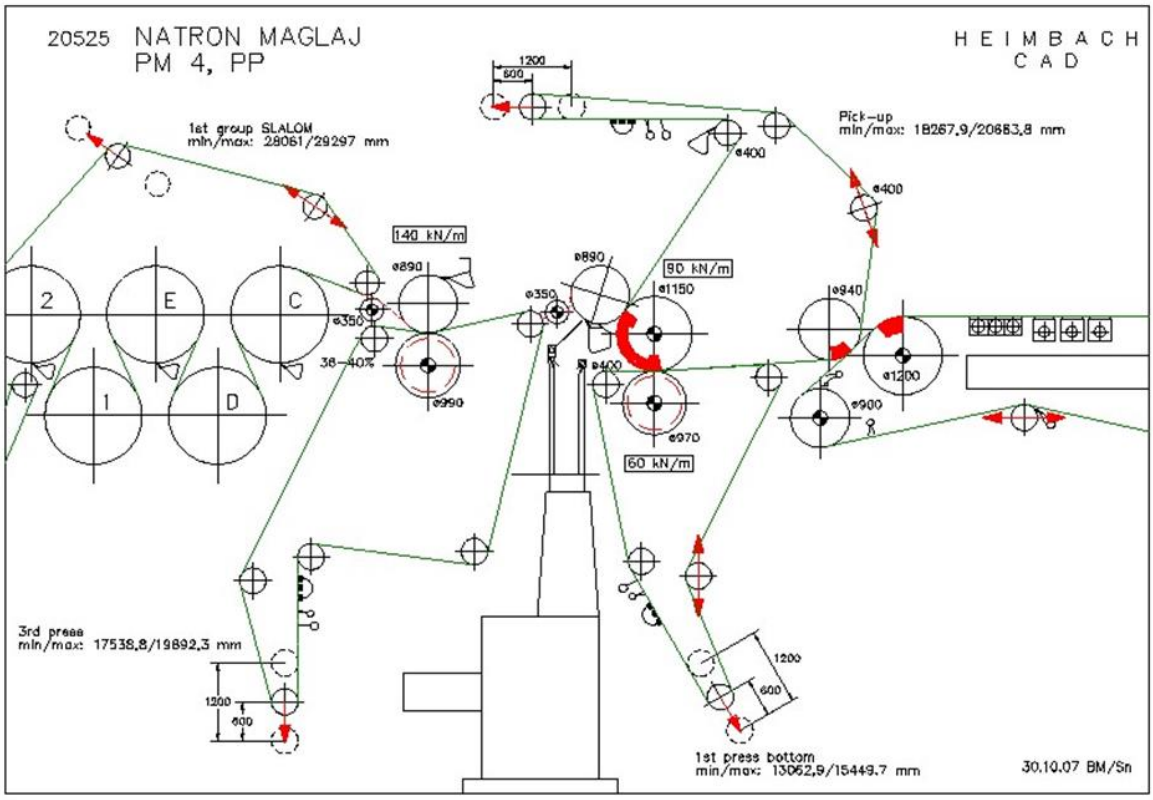
4.1. Parametri bitni za mjerenje sadržaja vlage u filcu stroja za proizvodnju papira

Mjerenje sadržaja vlage u filcu je izvršeno na stroju za proizvodnju papira (PM-4) koji ima slijedeće karakteristike:

Tablica 1. Karakteristike stroja (PM-4)

Podaci o stroju (PM-4)	**Vrijednosti**
Vrsta papira koji je rađen	Clupak papir
Gramatura papira	90 g/m^2
Operativna brzina stroja	500 m/min
Radna brzina stroja	320 m/min
Pritisci na prešama	Radna Strana / Poslužna Strana
I - Pritisak dviju preša (*Nip*) [kN/m2]	50/50
II – Nip [kN/m2]	76/76
III – Nip [kN/m2]	80/80
Vakuum	
Valjak koji preuzima traku s formirajuće sekcije (*Pick-up*) [bar]	- 0,58
Vakum u komorama Pick-up valjka (*Suction roll vacuum*) [bar]	-0,15 / -0,58

Mjerenja sadržaja vode su vršena na press sekciji stroja (PM-4) koja se sastoji od Combi preše (koja ima 2 nipa na 3 valjka) i treće preše (sa 1 nipom), te na filcevima sa slijedećim karakteristikama:



Slika 24. Preše stroja za proizvodnju papira (PM-4) [4]

4.2. Analiza sistema za mjerenje sadržaja vlage i drugih svojstava filca

Stanje press sekcije stroja može se utvrditi mjerenjem karakteristika filca (sadržajem vlage, propusnosti vode), vizualnim pregledom začepljenosti i hoda visokotlačnih i niskotlačnih šprica, vizualnim pregledom čistoće press i vodiljnih valjaka, te mjerenjem protoka zraka na vakuum pumpama, koje vrše odvodnjavnje filca.

Mjerenja debljine filca, kao i rezerve na napinjačima, te brzine stroja i protoka zraka služi u svrhu empirijskih znanja koje nam mogu dati bolji uvid u funkcioniranje stroja te mogu nam služiti kao referentne vrijednosti za buduća mjerenja u kojima će završna kvaliteta papira odstupati od prethodno dobivene.

4.2.1. Uređaj za mjerenje debljine filca (FeltTest)

Uređaj za mjerenje debljine filca je uređaj sa sfernim vrhom koji ostvaruje dodir u točki. Koristi se kako bi se tijekom vremena utvrdila promjena debljine filca (do jedne mjere promjene poželjne) koja se mijenja izlaganjem filca prešama koje nerijetko imaju pritisak i preko 50 kN/m^2 . Uređaj se mora svake godine umjeriti, kako bi rezultati bili pouzdani. Bitno je uređaj pozicionirati tako da je nepomični (donji) dio u kontaktu s filcem, kako bi se pomični mogao nesmetano kretati.

Koristi se na 2 načina, prvi je postavljanjem u najdalju točku na poslužnoj i na radnoj strani kako bi se izmjerila odstupanja u debljinama s dvije strane stroja. Drugi način na koji se koristi jest kontinuirano, odnosno, tijekom zastoja stroja postavi se u najdalju točku i povlači se prema van, dok istovremeno gledamo kako se debljina mijenja. Najveće odstupanje se vidi na području na kojem filc prelazi preko umetaka za podešavanje širina otvora vakuumskih kutija takozvanoj *highway area*.



Slika 25. Uređaj za mjerenje debljine filca

4.2.2. Uređaj za mjerenje napetosti filca (Tenziometar)

Tenziometar služi za mjerenje napetost filca, odnosno, mjerenje sile koju napinjači prenose na filc. Napetost filca ne bi smjela premašivati (300-350) [kN/m2], kako ne bi došlo do deformacija u filcu, te u krajnjoj liniji i pucanja filca.

Iznos koji će uređaj pokazivati ne ovisi o sili koju mjeritelj koristi, a razloga je što metalne ekstenzije s lijeve i desne strane onemogućuju utjecaje ostalih sila osim one samog filca. Uvijek se mora mjeriti tako da valjak na donjoj strani tenziometra bude okomit na kretanje filca.



Slika 26. Tenziometar

4.2.3. Uređaj za podešavanje rezonantne svjetlosti pri mjerenju (Visokofrekvencijska baterijska svjetiljka)

Visokofrekvencijsku baterijsku svjetiljku koristimo kako bi smo podesili rezonantni bljesak svjetlosti s revolucijom valjka. Nakon što se postigne rezonanca, mjeritelj ima dojam kako valjak stoji ili se polako giba, te može procijeniti začepljenost valjaka, odnosno potencijal odvodnjavanja.

Također se koristi kako bi se bolje vidjelo odvodnjavanje same vode, koja se odvaja velikim brzinama.



Slika 27. Visokofrekvencijska baterijska svjetiljka

4.2.4. Uređaj za mjerenje protoka zraka

Uređajem za mjerenje protoka zraka zapravo se mjeri brzina kojom vakuum pumpa usisava zrak iz filca. Iz te informacije možemo zaključiti koliko su vakuumske kutije ujednačene s poslužne i pogonske strane, odnosno koliko je dobro odvodnjavanje.

Slab protok zraka najčešće ukazuje na problem sa špricama koje nedovoljno dobro čiste filc.



Slika 28. Uređaj za mjerenje protoka zraka

4.2.5. Uređaj za mjerenje propusnosti vode filca (ScanPro – FeltPerm)

FeltPerm se sastoji od 2 uređaja. Vodom punjena boca pod tlakom nalazi se na leđima mjeritelja i omogućuje mlaz iz mjernog uređaja, i samog mjernog uređaja koji zapisuje informacije o propusnosti vode koja izlazi.

Sama propusnost mjeri se pomoću tlaka koji se stvara u uređaju. Koristi se samo u smjeru CD (cross direction) jer nam informacija za MD (machine direction) ne govori puno.

Ukoliko je filc tek stavljen, propusnost će biti velika jer preše još nisu stigle sabiti filc na optimalnu debljinu. Nakon vremena uhodavanja, pomoću FeltPerma, uviđamo je li filc začepljen . Uobičajeno je da padom vlage raste propusnost.



Slika 29. FeltPerm uređaj i boca pod tlakom

4.2.6. Uređaj za mjerenje vlage u filcu (ScanPro – PressTuner)

PressTuner je uređaj koji koji emitira mikrovalove, i pomoću njih određuje vlažnosti filca, odnosno koliko dobro se filc čisti. Što je bolje očišćen, manje se začepljuje i bolje je odvodnjavanje. Očitavanje započinje u onom trenutku, kada su sva 4 senzora na stražnjoj strani u kontaktu s filcom. Tada postoje dvije tehnike mjerenja – CD i MD.

Poprečna mjerenja (cross direction) nam govore o profilu filca i mjere se tako da se s uređajem prođe od jedne strane filca do druge. Iz toga vidimo kako se profil mijenja i gdje se nalaze kritične točke.

Uzdužna mjerenja (machine direction) očitanje se uzima tako da se uređaj stavi na filc i drži dok filc ne napravi jedan puni krug. Na taj način dobivamo informaciju o odstupanjima.

Značajnija su CD mjerenja, jer nam daju opširniju informaciju o profilu papirne trake, međutim nije uvijek moguće adekvatno pristupiti filcu i napraviti korektan prolaz od jedne do druge strane filca.



Slika 30. ScanPro – PressTuner uređaj koji koristi mirkovalove

4.3. Postupak mjerenja propustnosti vode filca

Metoda mjerenja se sastoji od nekoliko koraka, opisanih u tekstu koji slijedi.

Prvi korak:

Postupak mjerenja započinje unosom podataka o samom stroju. U te podatke ulazi : datum mjerenja, vrsta papira, gramatura po metru kvadratnom, širina namotača, vlaga na kraju procesa, proizvodnja po satu.

Nakon toga slijede informacije o brzinama: brzina na izlazu iz natoka i brzina na namotaču. Brzina na kraju je veća nego na početku procesa, kako ne bi došlo do prekida. Kako voda isparava, ostaje celuloza i jača čvrstoća, te je moguće ostvarivanje male razlike u napetosti.

Razlika u brzini natoka i namatača tuobičajeno ne prelazi 5 %. Nakon unosa brzina unosimo podatke o potrošnji pare koja se suši u valjcima u sušnom dijelu stroja, a nakon toga unosimo pritisak na prešama i vakuum na pumpama.

Drugi korak

Nakon unosa podataka o papirnom stroju slijedi unos podataka o filcevima koji se nalaze u press sekciji.

Isti su podijeljeni po pozicijama. Za određenu poziciju moramo poznavati dobavljača filca, datum ugradnje, širinu filca, broj radnih dana u stroju, koliko je napinjač iskoristio pomaka, te debljinu filca na radnoj (gdje se nalaze radnici) i pogonskoj (gdje se nalaze elektromotori i pumpe) strani.

Nakon što smo unijeli podatke o filcevima unosimo podatke o postotku vode prije preše, poslije preše i razlike u količini vode. Ta nam informacija govori koliko je vode odstranjeno prilikom prolaska kroz nip (pritisak dvaju valjaka), a izražava se u g/m^2.

Slijede podaci o propusnosti vode u filcu koji se izražava u mililitrima po minuti.

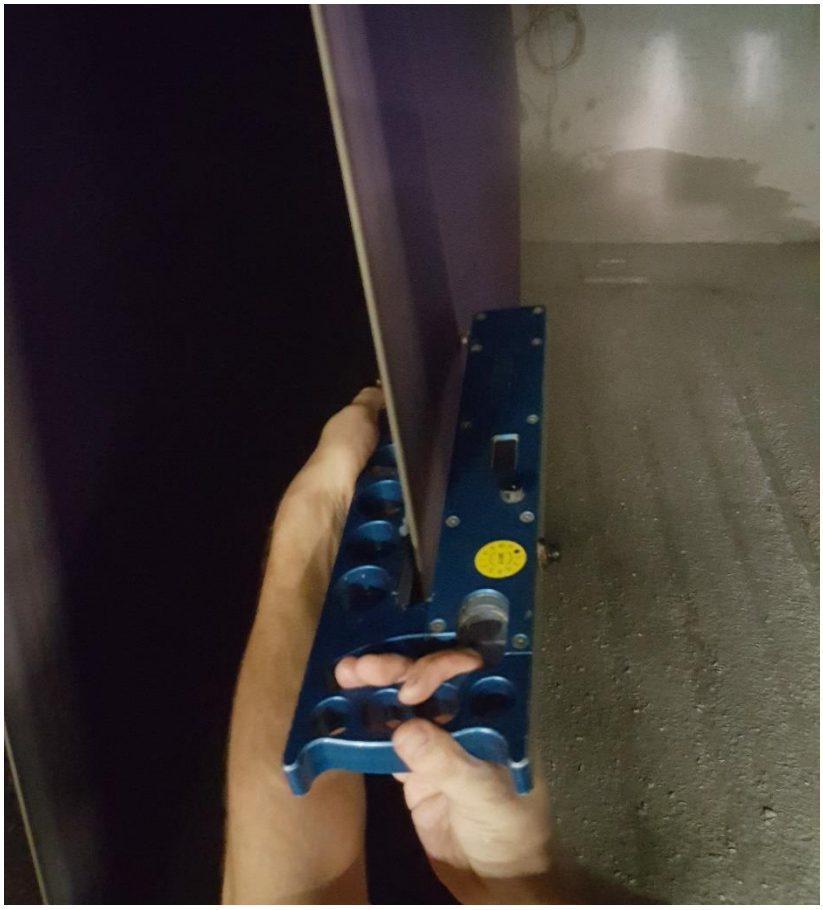
Posljednji podaci koji se uzimaju su oni o uvjetima rada filca, odnosno o tlakovima vakuumskih pumpi koje odvode vodu i šprica (visokotlačnih i niskotlačnih) koje vrše čišćenje filca.

Treći Korak

Nakon uzimanja svih podataka dostupnih van stroja, slijedi korištenje opreme za dobivanje informacija o samome stroju.

Određuju se pristupne točke. Posebno je bitno određivanje točaka prije i poslije pritiska valjaka (before nip i after nip) (prije i poslije pritiska valjaka) za uzimanje MD očitanja kako bi se vidjela razlika odvodnjavanja.

Nakon određivanja točaka, slijedi očitavanje debljine filca s radne i pogonske strane kako bi se vidjela ujednačenost pritiska valjaka, te očitavanje brzine protoka zraka na vakuum pumpama. Usporedno s predhodnim aktivnostima, vrši se vizualni pregled šprica i press valjaka.



Slika 31. Postupak mjerenja debljine filca u pokretu



Slika 32. Mjerenje brzine prolaska zraka iznad vakuumske kutije

Visokotlačne šprice (ovisno o tlaku, od 10 bara do 15 bara, prema kraju životnog vijeka i do 20 bara radi začepljenosti filca) moraju biti na dovoljnoj udaljenosti kako ne bi oštetile filc. U pravilu je to oko 15 cm.

Obzirom da se nalaze na vanjskoj i unutarnjoj strani, kod prevelikih tlakova može se dogoditi čupanje finih vlakana iz gornjeg sloja na koji naliježe papir. Kod takvog slučaja vlakna ulaze u papir i on ne može primati boju na sebe ili se samo vlakno vidi u papiru i postoji velika mogućnost reklamacije.

Visokotlačne šprice moraju imati pravilan hod i ne zadržavati se dulje vrijeme na jednom mjestu, kako ne bi oštetile filc na tom mjestu. Ukoliko ne rade dobro, na tom dijelu voda iz papira se neće dobro odvoditi i ostajat će veća vlaga na tom mjestu.

Niskotlačne šprice vlaže filc i nemaju hod, već se njihova „lepeza“ mlaza preklapa s lepezama susjednih šprica.



Slika 33. Laminarni mlaz visokotlačne šprice

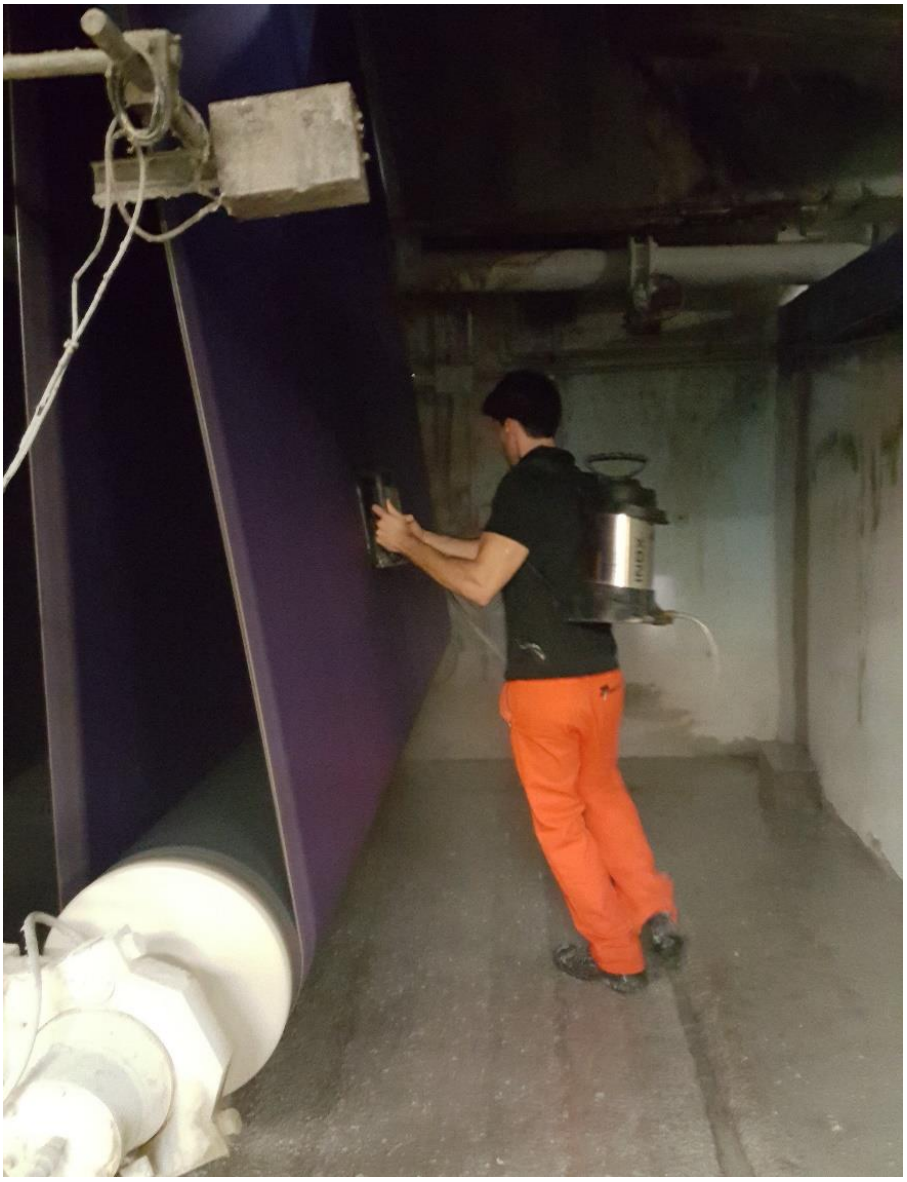
Nakon vizualnog pregleda slijede mjerenja MD prije i poslije pritiska preše (before nip i after nip) te CD ako je moguće i prije i poslije pritiska preše s uređajem PressTuner.



Slika 34. Postavljanje uređaja na filc

Nakon što smo izvršili mjerenja PressTunerom, slijedi mjerenje FeltPermom, koji će nam dati informaciju o začepljenosti filca i kompaktnosti strukture.

Bitno je podesiti tlak između najmanje 3 bara pa sve do 5,5 bara.



Slika 35. Mjerenje uređajem FeltPerm

Mjerenjem utvrđujemo koliko je struktura filca kompaktna. Na početku životnog vijeka, struktura nije uopće kompaktna, te treba proći oko 5 dana kako bi postigla svoju predviđenu kompaktnost (u standardnim uvjetima rada). Pred kraj životnoga vijeka, struktura je vrlo kompaktna i potreban tlak na špricama za čišćenje se penje i preko 20 bara kako bi se nečistoće izbacile iz filca [10] .

Ovisno o propusnosti, može se dati procjena preostalog vijeka trajanja filca.



Slika 36. Stražnja strana filca prilikom pranja visokotlačnim špricama

Na slici je prikaz šprica koje čiste stariji filc te je iz tog razloga potreban visoki tlak. Nakon svih izmjera slijedi završni pregled širine filca (koliko se rastegnuo), te iskorišteni hod napinjača.



Slika 37. Pozicioniranje za mjerenje preostalog/iskorištenog hoda napinjača

Četvrti korak

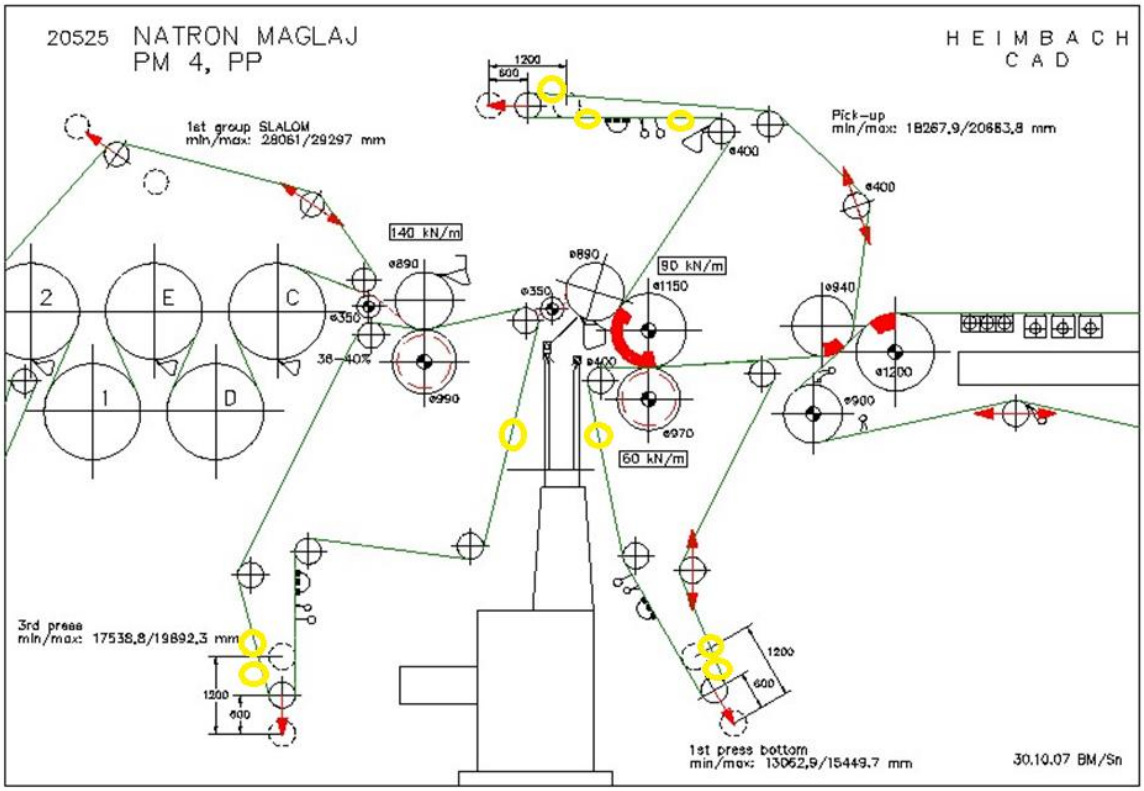
Nakon prikupljanja svih informacija, vrši se izrada izvještaja koji služi kao orijentir za rad press sekcije stroja. Kako je papir neprekidna traka koja ide od natoka do namatača, dobivanje informacija o radu press sekcije i samog stroja za proizvodnju papira je vrlo zahtjevno. Iz tog razloga ispitivanjem filca (koji je uniforman po cijeloj površini) možemo dobiti jako dobru povratnu informaciju o radu press sekcije stroja.

Iako najjednostavniji, vizualni pregled daje puno informacija i u kombinaciji s iskustvom u mjerenju i samim mjerenjem daje jako važne informacije koje mogu poboljšati rad stroja i povećati kvalitetu papira kao konačnog proizvoda [11] .

Samo mjerenje nema referentne vrijednosti osim onih koje su bile dok je papir bio zadovoljavajuće kvalitete.

4.4. Prvo mjerenje novih filceva

Nakon što su dobiveni podaci ranije eksploatiranih filceva iz prijašnjih izvještaja, napravljena su mjerenja novih filceva, kako bi se dobio uvid u promjenu svojstava tijekom eksploatacije filceva i rad elemenata stroja. Mjerenja su vršena nakon planiranog zastoja tijekom, kojeg je izvršen redovan servis stroja te su zamijenjeni svi filcevi. Mjerenja su vršena 3 puta od strane 1 mjeritelja, kako bi se osigurala ponovljivost rezultata.



Slika 38. Prikaz pozicija na kojima su vršena mjerenja

Vršena mjerenja su, kao i prethodni put Machine direction – before i after nip, Cross direction after nip i FeltPerm after nip.

S obzirom da je rađen planirani zastoj, ubačeni su novi filcevi kojima je propusnost velika radi male kontaminiranosti i elastičnosti strukture.

Dva od tri tipa novih filceva su vidljivi su na slijedećim slikama. Podaci o trećem filcu nisi bili na raspolaganju.

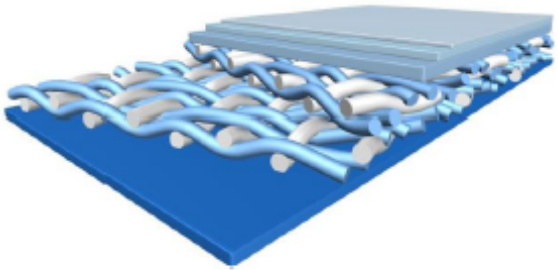
Pick-up filc

Data sheet / Quality certificate

Heimbach Paper machine clothing

Fabric number:	181227	Customer: NATRON MAGLAJ			
Machine:	PM 4	Position:	Pick-up	Order dimensions (cm):	1946 x 610
Order:	2082069	Purchase order / dd.:		477/2016 / 18.05.2016	
Order position:	10	Invoice / dd.:		5053545 / 11.08.2016	

atromaxx.M



Design:	2026 2126	
Product:	2026 (Multiaxial woven 1+1)	
Air permeability l/dm² x min (200 Pa): cfm (127 Pa):	255 66	
Weight (g/m²):	1500	
Caliper (mm):	3	
Felt weight net (kg):	173,6	
Treatment:	Pre-compaction	
Batt	g/m²	dtex
Paper side:	150 300 200	11 44 67
Roll side:	200	67

Additional information:		

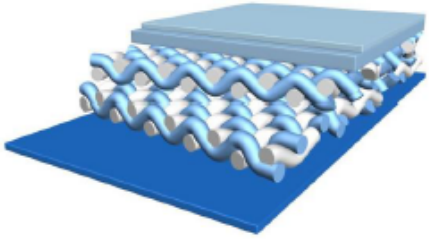
Installed: 04.04.2018	Removed:	Felt life (days): 0

Slika 39. Osobine filca ubačenog na Pick-up poziciju [4]

III. donji filc

Data sheet / Quality certificate

Heimbach Paper machine clothing

Fabric number:	175589	Customer: NATRON MAGLAJ			
Machine:	PM 4	Position:	3rd press	Order dimensions (cm):	1870 x 610
Order:	2078354	Purchase order / dd.:		20/2016 / 29.12.2015	
Order position:	10	Invoice / dd.:		5053014 / 14.07.2016	
atromaxx.M					
Design:		2033 1135			
Product:		2033 (Multiaxial woven 1+1)			
Air permeability	l/dm² x min (200 Pa): cfm (127 Pa):	97 25			
Weight (g/m²):		1600			
Caliper (mm):		2,9			
Felt weight net (kg):		178,6			
Treatment:		Pre-compaction			
Batt		g/m²		dtex	
Paper side:		200 600		6.7FF 30	
Roll side:		200		30	
Additional information:					
Installed: 04.04.2018		Removed:		Felt life (days): 0	
Comments (Customer):					

Slika 40. Osobine filca ubačenog na poziciju treće donje preše [4]

Iako je naziv ova 2 filca isti, može si vidjeti iz podatka o gustoći da je filc na 3. preši gušći, odnosno da ima manju propusnost zraka. To je iz razloga jer na 3. preši papirna traka već ima manji postotak vode te nije potrebna toliko velika propusnost a debljinom se dobiva produljeni životni vijek.

4.4.1. Postupak mjerenja PM4

Kao i prethodnog mjerenja, bilo je potrebno uzeti mjere na mjestima čija pristupačnost varira. Iz tog razloga, mjerenja nisu uzeta na identičnim pozicijama, već je dolazilo do malih odstupanja. Iz prethodne slike vidljiva su mjesta na kojima očitanja uzeta.

Radi jednostavnosti razumijevanja grafikona sa slika, u nastavku će biti korišteni izvorni engleski nazivi za pozicije mjerenja i nazive filceva koji nemaju hrvatski naziv.

4.4.1.1. Pick-up filc

Pick-up filc, koji je na ovom stroju prolazi kroz prvi par valjaka i kroz drugi (I. i II. nip), se tako naziva jer preuzima papirnu traku s formirajućeg sita. Na slikama vidljive su pristupne točke.



Slika 41. Machine direction after nip - Pick-up filc

Mjerenja su uzeta na prvoj mogućoj poziciji. Nakon ove pozicije slijede vakuumske kutije i šprice za čišćenje, nakon kojih filc poprima vrijednosti koje će imati sve do ponovnog ulaska u prešu. Iz tog razloga je moguće, samo par koraka dalje, uzeti mjere za Machine direction – Before nip.



Slika 42. Machine direction – Before nip – Pick-up

Po završetku uzimanja mjerenja filca sa strojne strane, jer je i before nip bio s te strane zbog pristupačnosti, prelazi se na poprečni profil – cross direction. Kod poprečnog profila bitno je da se izvrši sa što ujednačenijom brzinom, jer uređaj uzima mjerenja u vremenskoj jedinici neovisno o brzini kojom operater prolazi profilom. Pristup s pogonske strane je nedostupan, te se mjere uzimaju samo s poslužne strane.



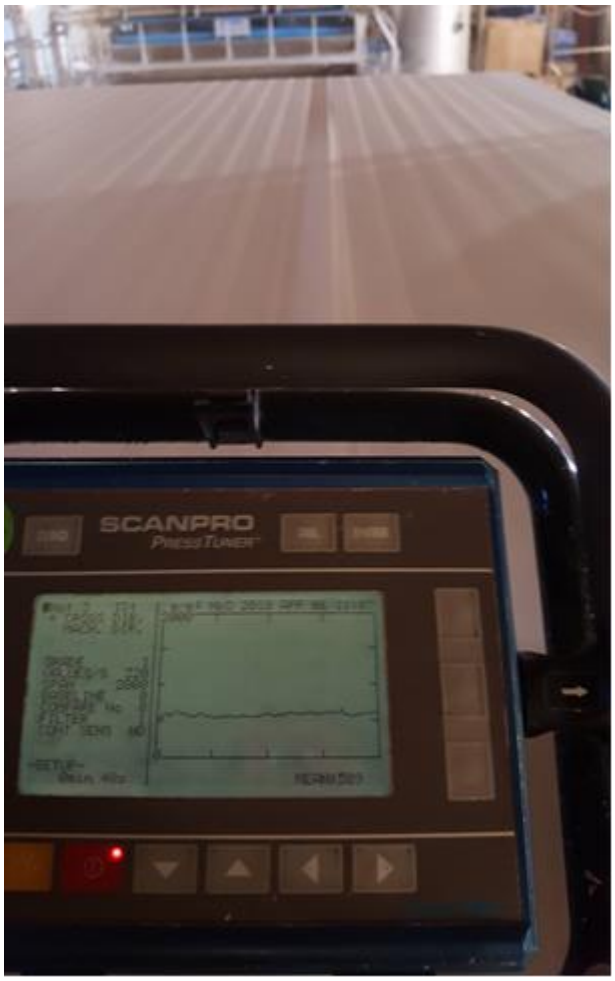
Slika 43. Postavljanje uređaja na početak filca – Cross direction before nip

Uređaj ScanPro (mjeri postotak vlage) mora mjeriti u istom smjeru kao i uređaj FeltPerm, kako ne bi rezultati prikazivali invertiranu sliku kretanja vlage. Kako je vidljivo iz slika, cross direction se vrši s papirne strane s koje su i informacije poželjnije.



Slika 44. Prolazak uređajem do kraja

Bitno je spomenuti kako su prisutne dvije osi gibanja. One od mjeritelja i, okomito na njega, gibanje samog filca. Kada bi sagledali trag koji smo izmjerili, vidjeli bi da se zapravo radi o svojevrsnoj dijagonali. Iz tog razloga pojedini vrhovi povećanja vlage na grafovima mogu predstavljati i longitudinalna mjesta povišene vlage, koja mogu biti uzrokovana gibanjem šprica ili njihovom začepljenošću, i aksijalna, koja mogu biti posljedica sakupljanja vode u najnižem dijelu filca tijekom zastoja.

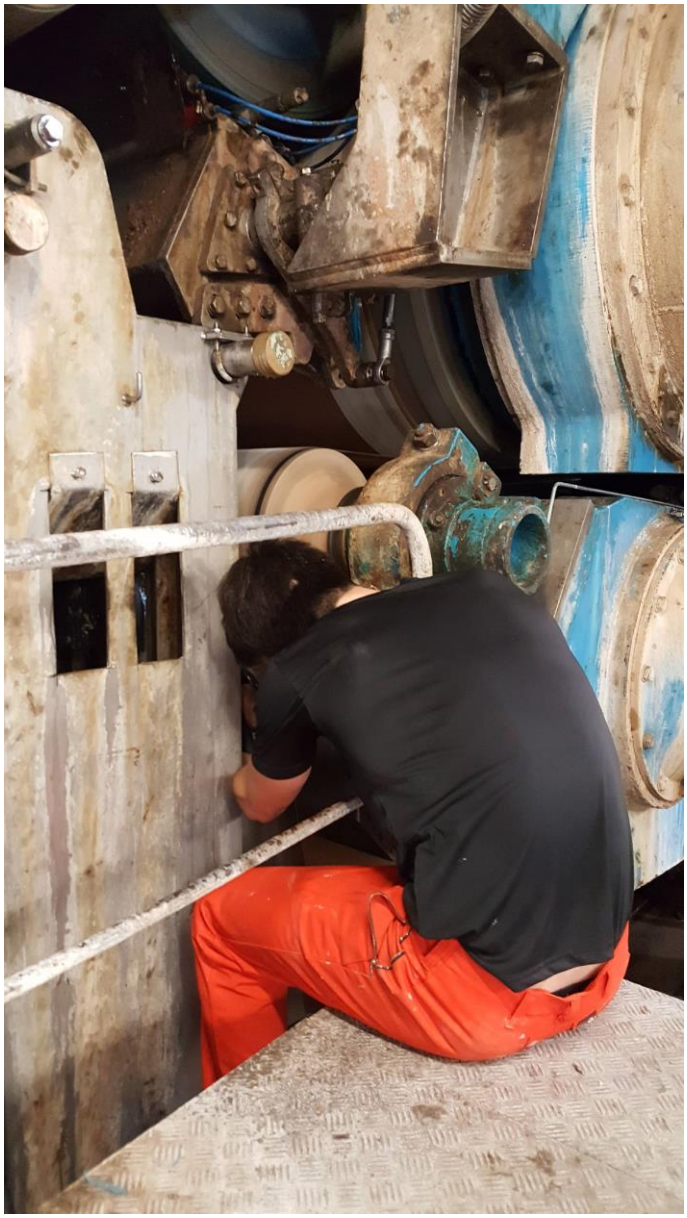


Slika 45. Mali vrh na desnoj strani grafikona

Kako je vidljivo na slici, pojavljuje se mali vrh koji je u ovom slučaju uzrokovan začepljenjem filca na valjcima. Ukoliko bi prošli filcom u trenutku kada je oštećenje daleko od točke mjerenja, ne bi je registrirali. Iz takvih razloga, jako je bitno dobro obaviti i vizualni pregled. Nakon *PressTunera* obavili smo mjerenje uređajem *ScanPro*, kako bi odnos propusnosti i vlage bio upotpunjen.

4.4.1.2. Prvi donji filc

Nakon što su uzete mjere *Pick-up* filca slijedi mjerenje prvog donjeg filca.



Slika 46. Uzimanje mjera Machine direction after nip

Zbog nepristupačnosti pozicije, mora se posebna pozornost, uz sigurnost operatera, obratiti na kontakt 3 od 4 senzora s mjerenim filcom.



Slika 47. Machine direction before nip

Kod ove pozicije bitno je da se uređaj udalji od spiralnog valjka koji raširuje sito kako se ne bi preklopilo (*overlapping*) u valjku i uništilo.



Slika 48. Uzimanje Cross directon očitanja

Zbog uskog prostora za hod, očitavanje je otežano, te se posebna pozornost mora obratiti na ujednačenost brzine, kako bi se dobio što ujednačeniji profil.

4.4.1.3. Treći donji filc

Zadnji filc koji se mjeri je onaj treće preše. Kako je prije navedeno, on je gušći, što mu dopušta da ima dulji životni vijek, odnosno bolje podnosi visoke tlakove preša.



Slika 49. Machine direction before nip 3. preša

Kako slika prikazuje, pristupačnost je ograničena i bitno je osigurati da su senzori u direktnom kontaktu s filcem. Bitno je pokušati što dalje doprijeti s uređajem, kako bi se došlo do dijela na kojem prolazi papirna traka.



Slika 50. Machine direction after nip 3. preše

Na slici je ponovno vidljiv spiralni valjak kojeg treba zaobilaziti, kako ne bi rezultati mjerenja odstupali u velikoj mjeri od stvarne situacije.

Tijekom jednog od tri ponovljena mjerenja, trebalo bi se pokušati uređaj postaviti na istu poziciju kao i kod prijašnjih mjerenja, no zbog prirode stroja to je teže ostvarivo. Sam filc je rijetko koda u istom položaju, te ga navode valjci sa senzorima dodira.



Slika 51. Cross direction treće preše

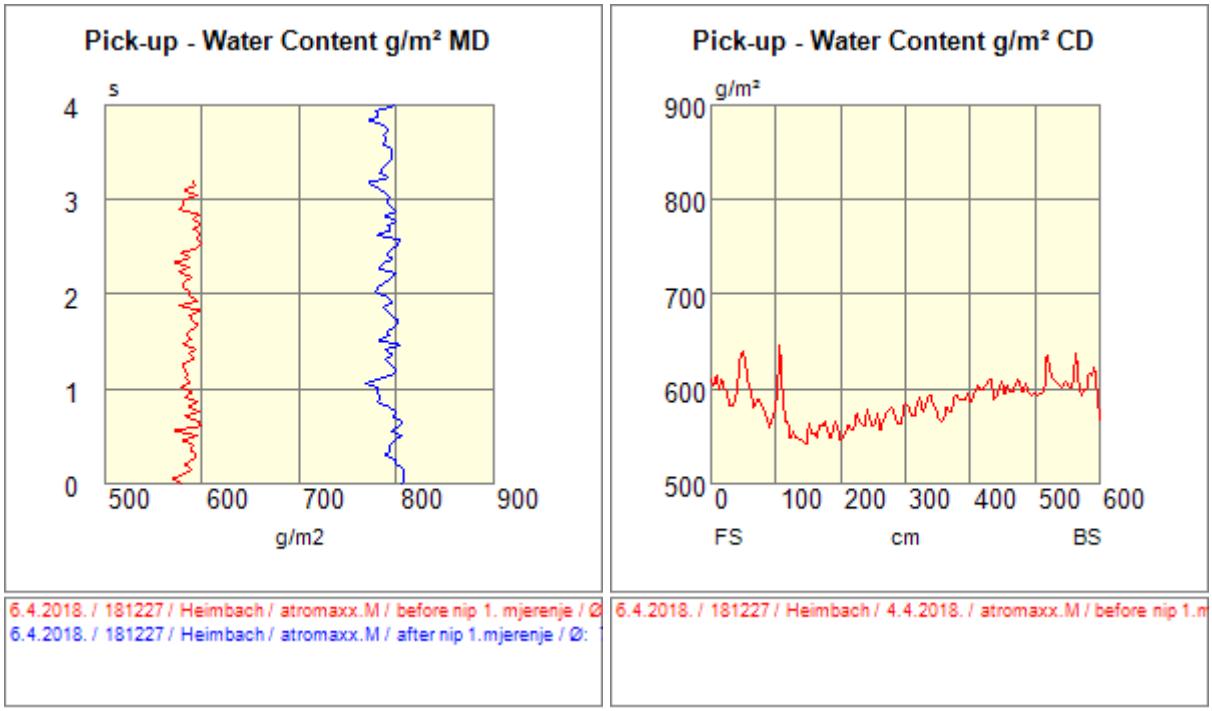
Po završetku mjerenja ScanPro uređajem, u istom smjeru mjerimo propusnost uređajem FeltPerm kako bi imali kompletnu sliku profila filceva.

4.4.2. Rezultati ponovljenog mjerenja

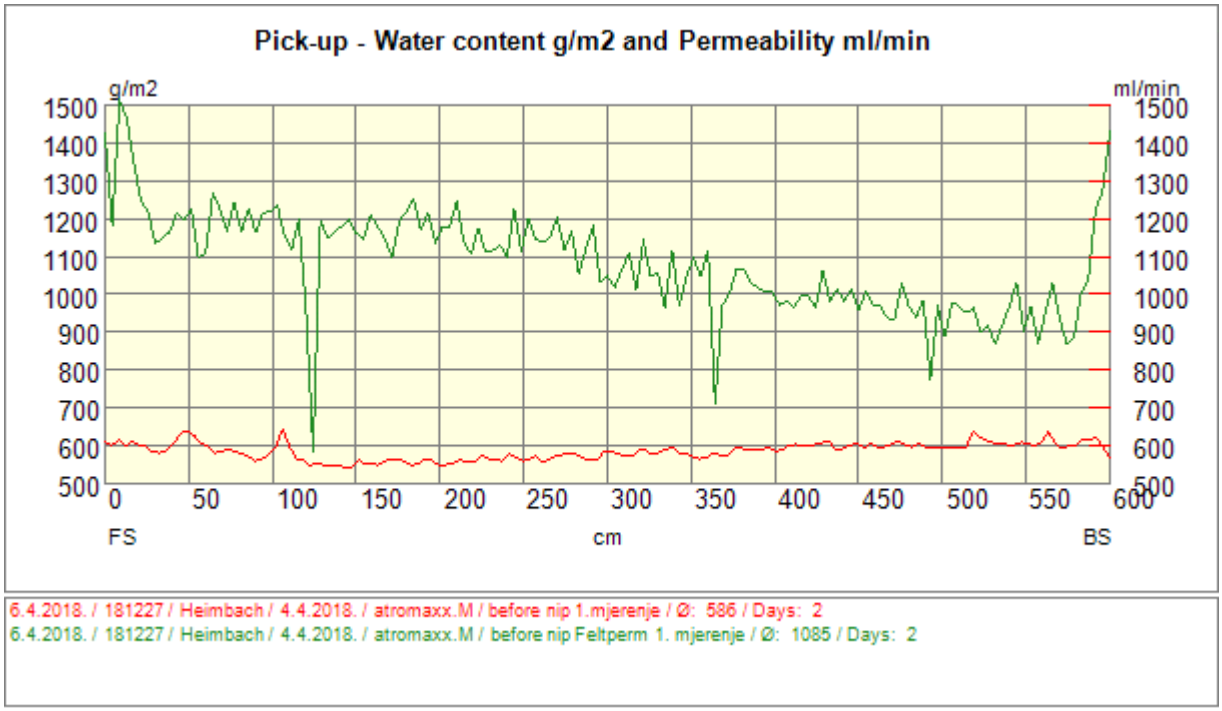
Nakon što se svaka pozicija izmjerila tri puta od strane jednog mjeritelja, rezultati se prebacuju na računalo i dobivamo uvid u profile filceva.

Nakon pregleda profila i proučavanja prijašnjih profila na istoj poziciji, dobivamo dublji uvid u trenutno stanje rada stroja.

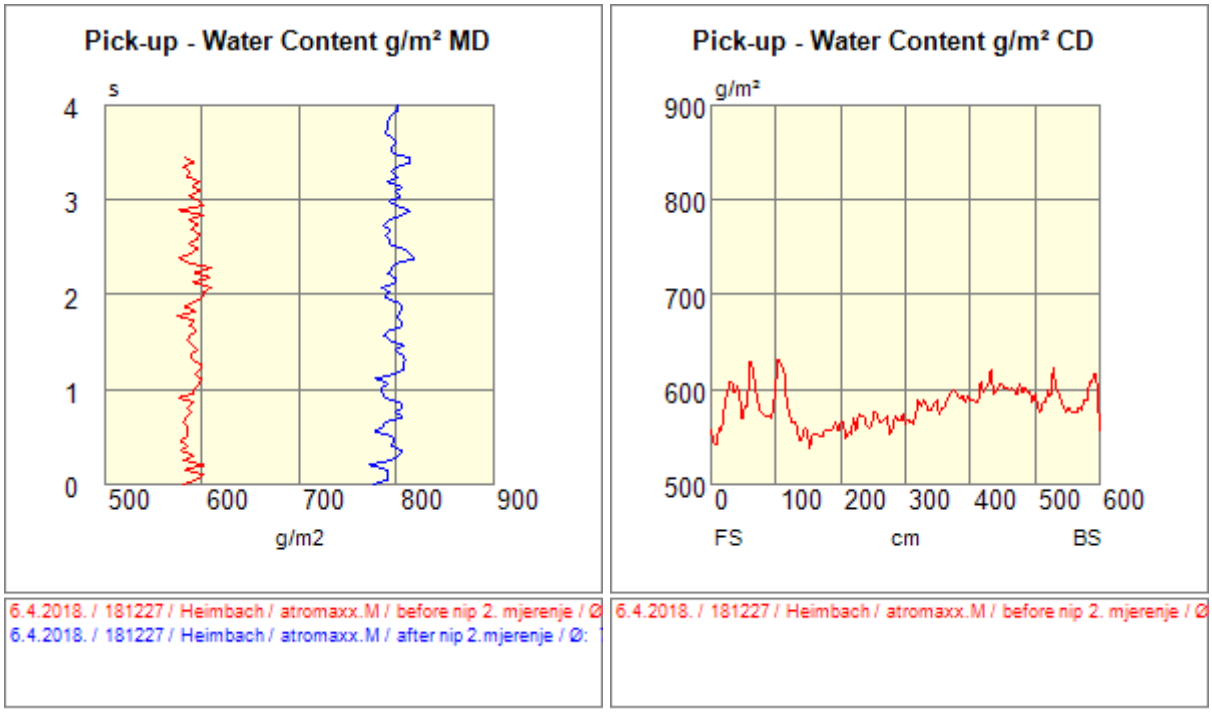
4.4.2.1. Pick-up filc



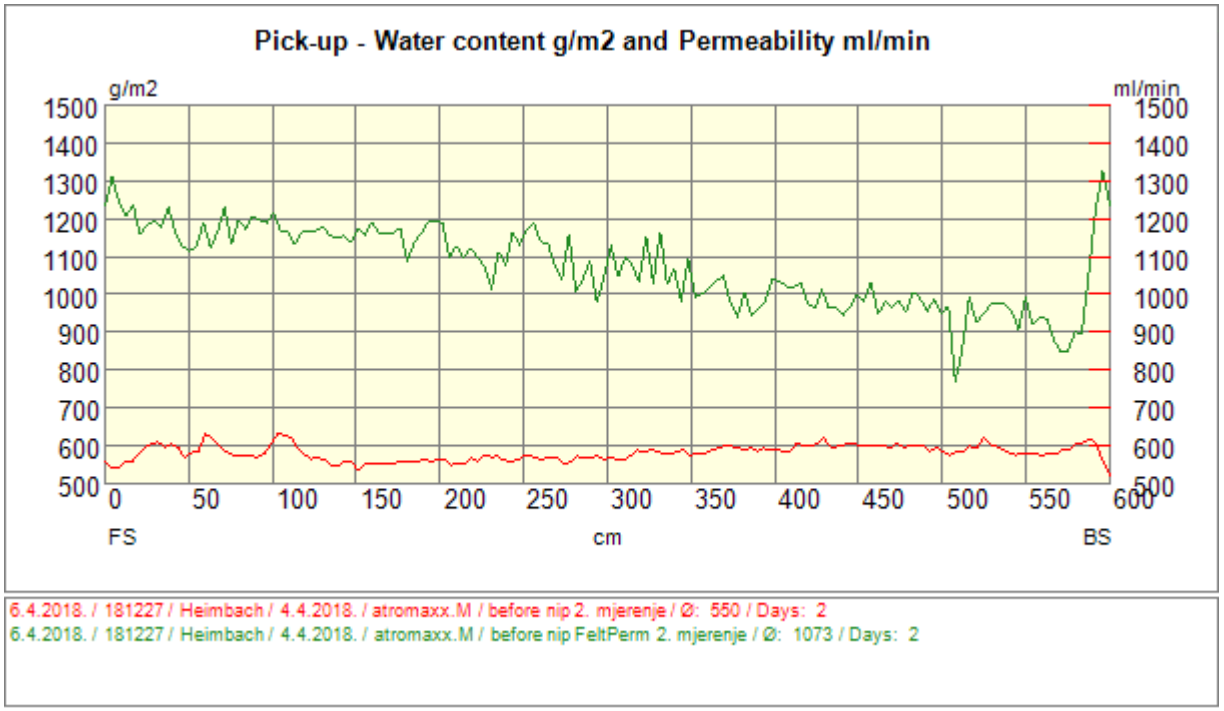
Slika 52. Pick-up filc, prvo mjerenje, MD i CD količine vode



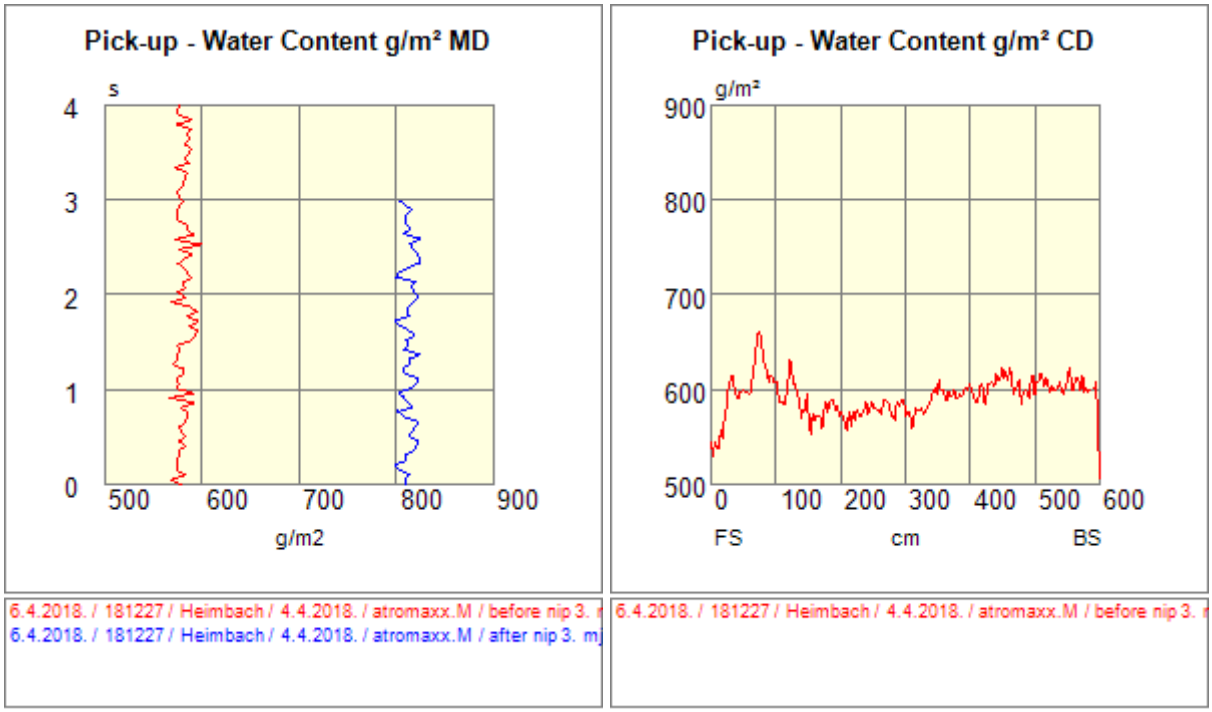
Slika 53. Pick-up, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost



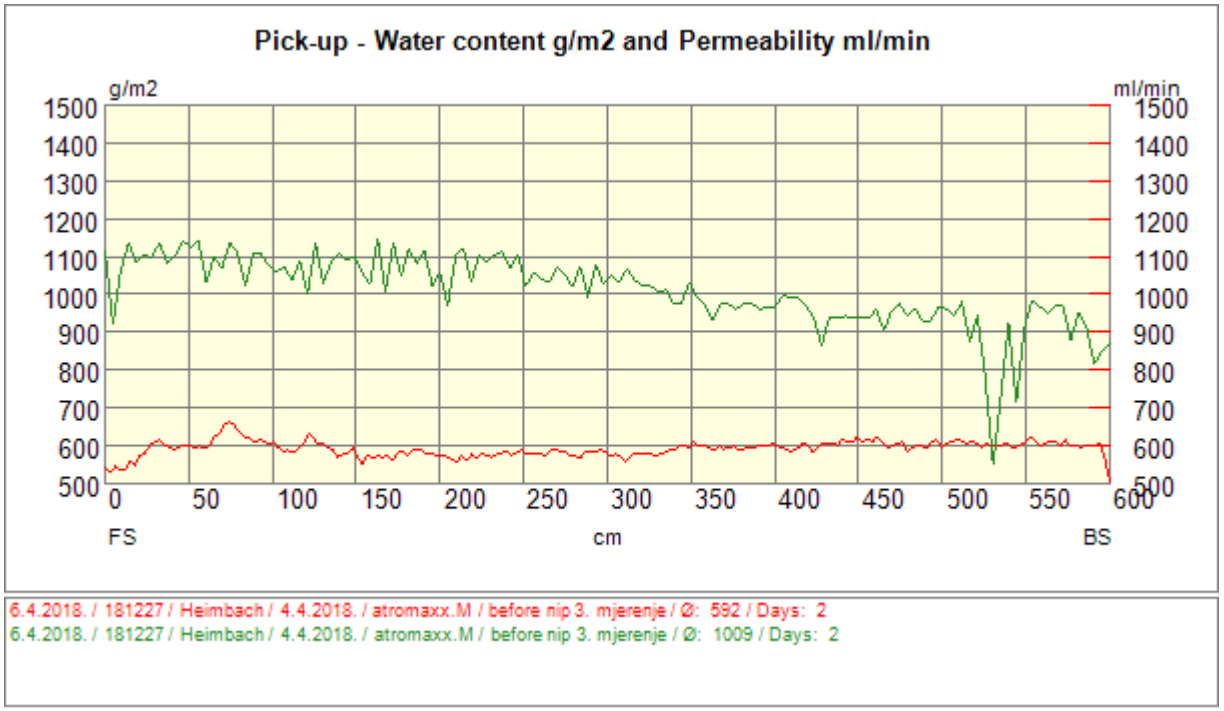
Slika 54. Pick-up, drugo mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 55. Pick-up, drugo mjerenje, CD količina vode i propisnost



Slika 56. Pick-up, treće mjerenje, MD i CD količine vode



Slika 57. Pick-up, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost

4.4.2.2. Zaključci mjerenja Pick-up filca

Kao što je već spomenuto u prijašnjem dijelu, mjerenje je provedeno na poslužnoj strani radi olakšanog pristupa, te je ponovljeno 3 puta kako bi se dobio bolji uvid u rad. Iako su odstupanja postojana, zbog trenutka i mjesta mjerenja, odstupanja mjerenja su zanemariva i rezultate mjerenja Pick-up filca smatramo valjanjima.

Na prvom grafu su prikazani rezultati mjerenja filca u Machine direction. Crvena krivulja prikazuje mjerenje prije pritiska preše (nip), a plava poslije pritiska preše. Razlika vrijednosti između dviju krivulja predstavlja odvodnjavanje na vakuumskoj kutiji (*uhlebox*u).

Srednja vrijednost sva 3. mjerenja filca before nip iznosi 586 g/m^2 (587 g/m^2 ,590 g/m^2, 580 g/m^2), dok srednja vrijednost svih mjerenja after nip iznousi 801 g/m^2 (792 g/m^2, 797 g/m^2, 813 g/m^2). Kako je vidljivo iz mjerenja, odvodnjavanje iz papira u filc iznosi 215 g/m^2 . S obzirom da se radi o Pick-up filcu, koji preuzima papirnu traku s formirajućeg sita (velik postotak vode 80 % vode i 20 % celuloznih vlakana) uobičajeno je da u usporedbi sa slijedećim filcevima na stroju, da odvodnjavanje ima najveću vrijednost. Obzirom da je filc samo 2 dana u stroju, za očekivati je da će vrijednosti padati s odmakom životnog vijeka. Oscilacije u mjerenju su male (obzirom da nema jasno definirane norme, referenca je kvaliteta papira) u odnosu na neka prijašnja mjerenja koja su vršena kada je papir bio lošije kvalitete.

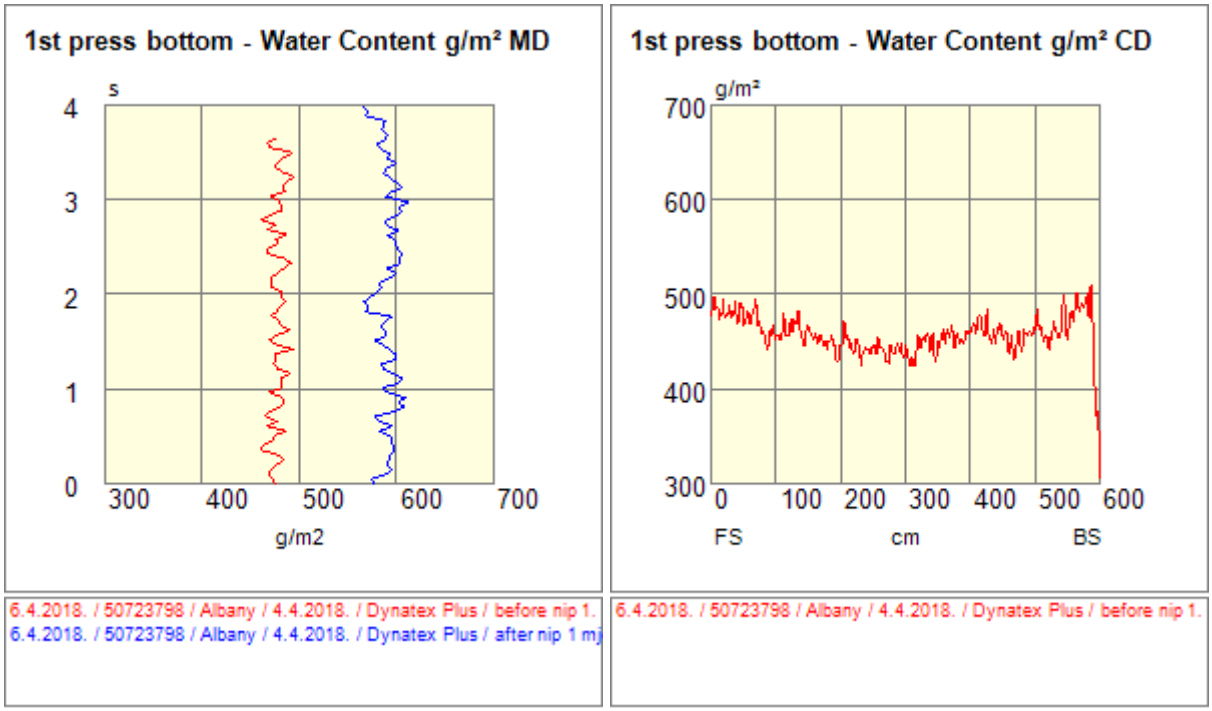
Srednja vrijednost vlage u filcu, priliko mjerenja poprečnog profila prije nip-a, za sva tri mjerenja iznosi 576 g/m^2 (586 g/m^2, 550 g/m^2, 592 g/m^2). Iako se čini kako jedno mjerenje odskače oko 8%, to je samo produkt realnih uvjeta. Ukoliko se pogleda oblik krivulje, vide se vrlo slične vrijednosti na sličnim pozicijama.

Iz oblika krivulje može se vidjeti povećana vlaga od ruba filca s poslužne strane, do 150 cm prema sredini filca. Također, na tom djelu postoje izraženi signali povećane vlage, što se na filcu očituje u tamnijim (mokrijim) uzdužnim prugama. Pruge su najvjerojatnije rezultat loših dizni na visokotlačnim špricama.

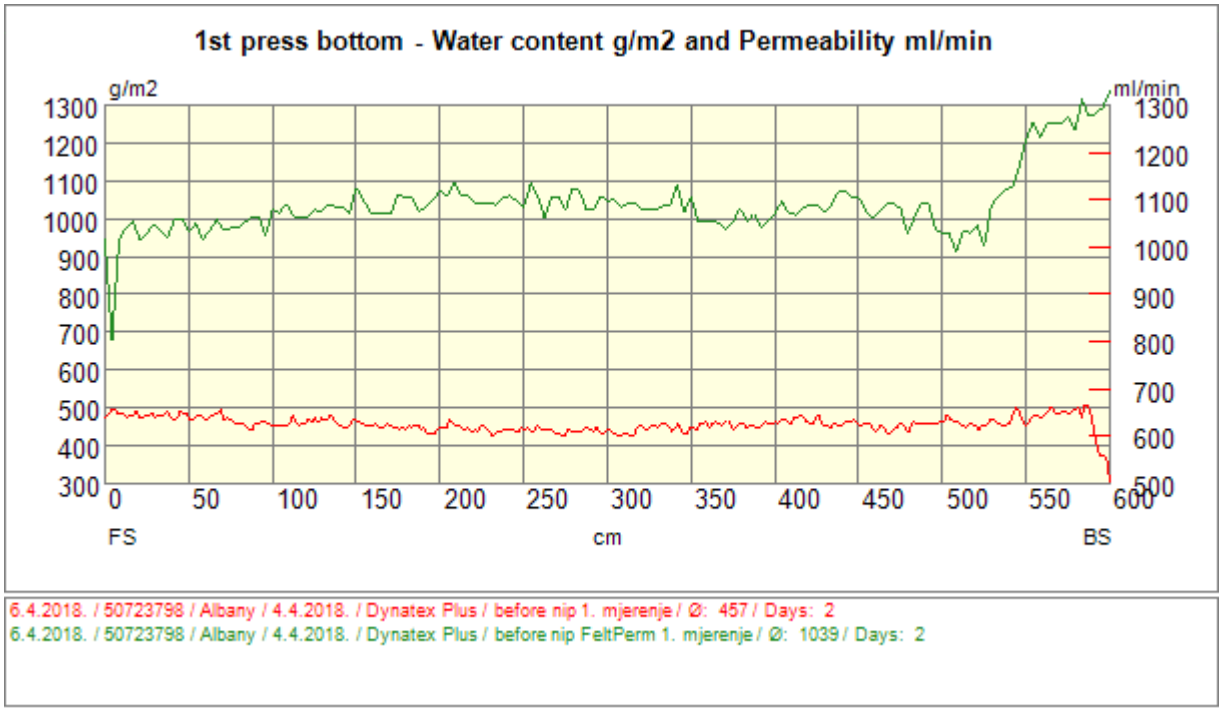
Od prve trećine filce pa do pogonskog ruba, vidimo blago linearno povećanje vlage, što je najvjerojatnije uzrokovano razlikama u pritisku preše po poprečnom profilu, neparalelnosti valjaka preše ili oštećenjem pokrova valjaka. No, to također može biti uzrokovano lošijim čišćenjem na pogonskoj strani, što uzrokuje retenciju vode radi nakupljene prljavštine.

Kod propusnosti vidimo očekivani obrnuto proporcionalni trend, kod kojeg je srednja vrijednosti 749 ml/min (761 ml/min, 744 ml/min, 742 ml/min). Propusnost je još uvijek na visokoj razini, budući da je filc samo 2 dana u stroju te je dosta otvoren. Propusnost pada prema pogonskoj strani filca gdje ujedno raste vlaga što je pokazatelj lošeg kondicioniranja filca. Na krivulji su vidljivi izolirani nagli padovi propusnosti. Na grafovima su vidljivi padovi propusnosti, iako na različitim mjestima (100 cm, 350 cm, 530 cm), koji su uzrokovani uzdužnim oštećenjima filca nastalim prilikom instalacije. Oštećenja filca su vidljiva na slici 46.

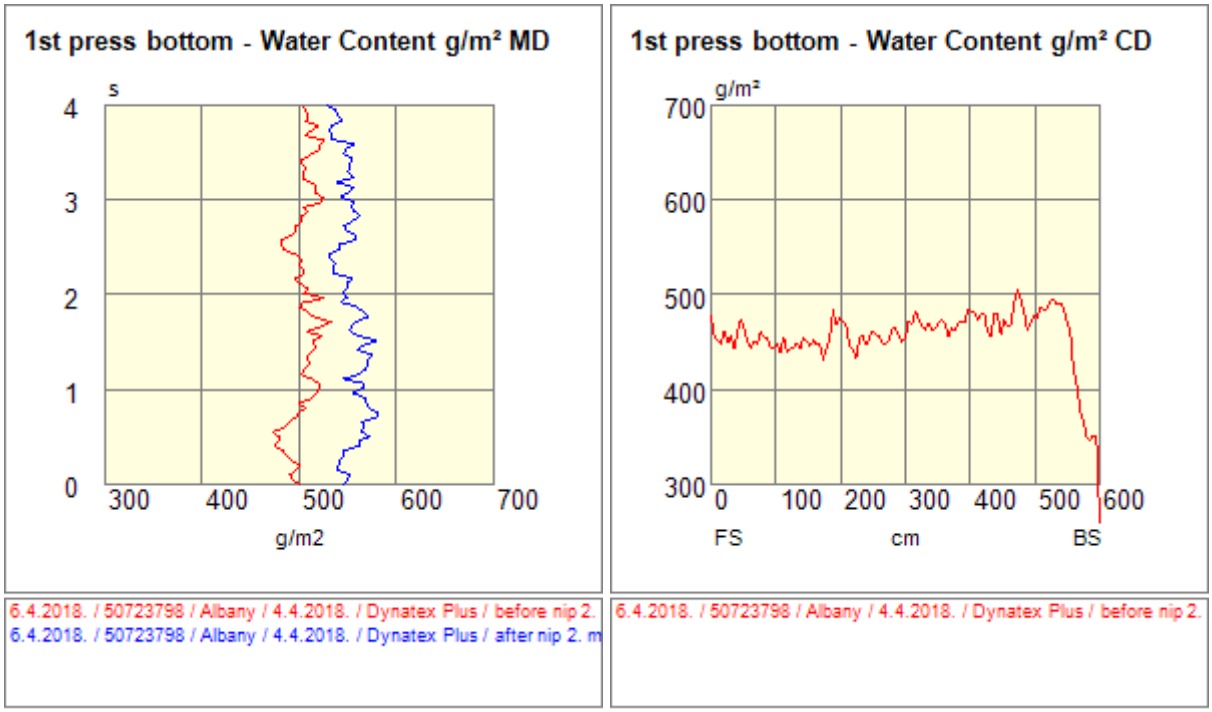
4.4.2.3. Prvi mokri filc



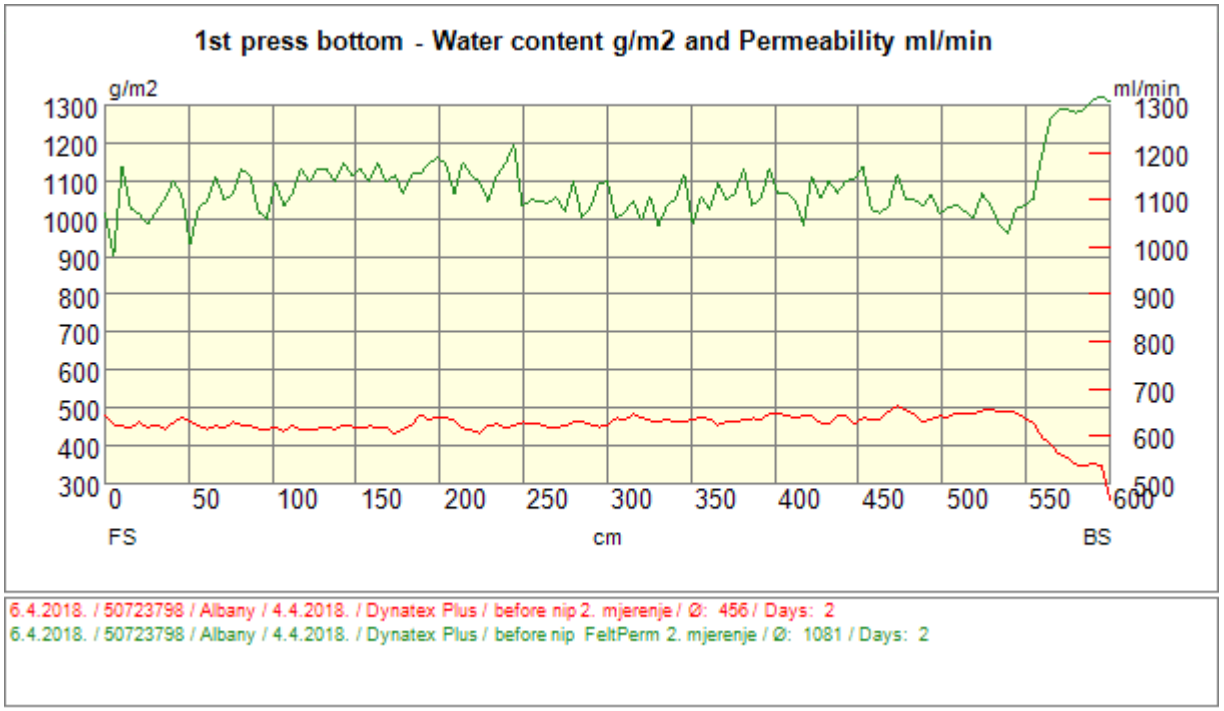
Slika 58. Prvi donji filc, prvo mjerenje, MD i CD količina vode



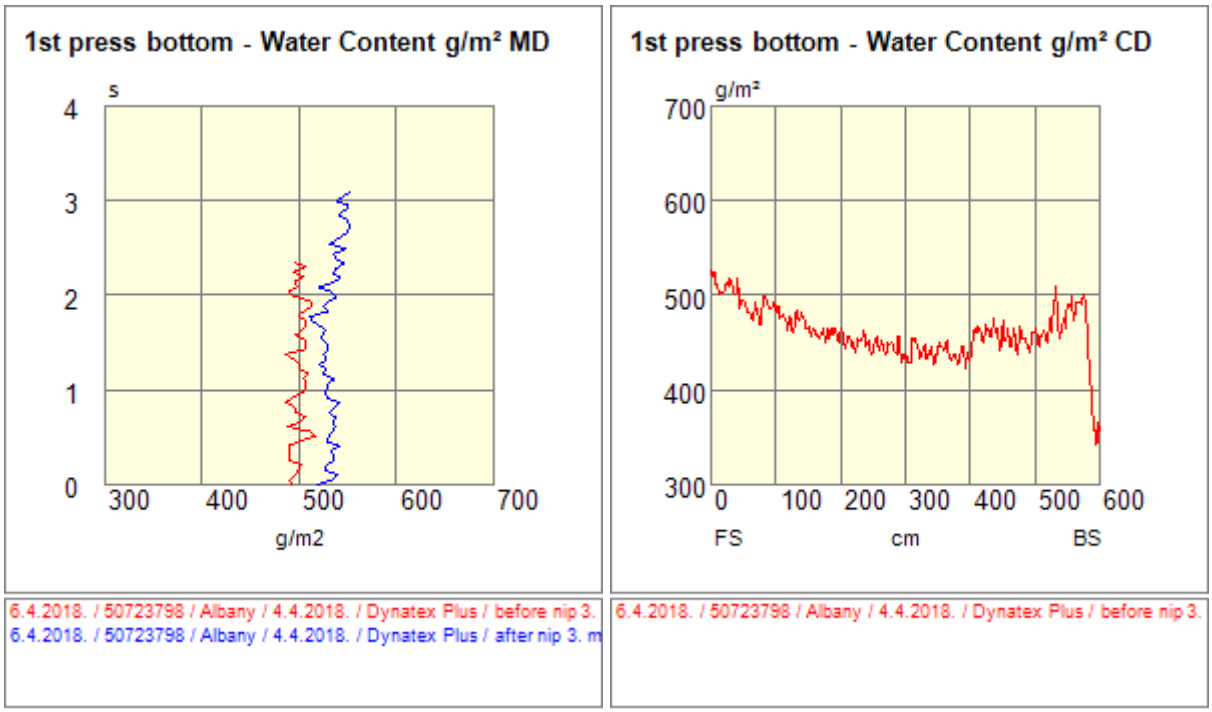
Slika 59. Prvi donji filc, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost



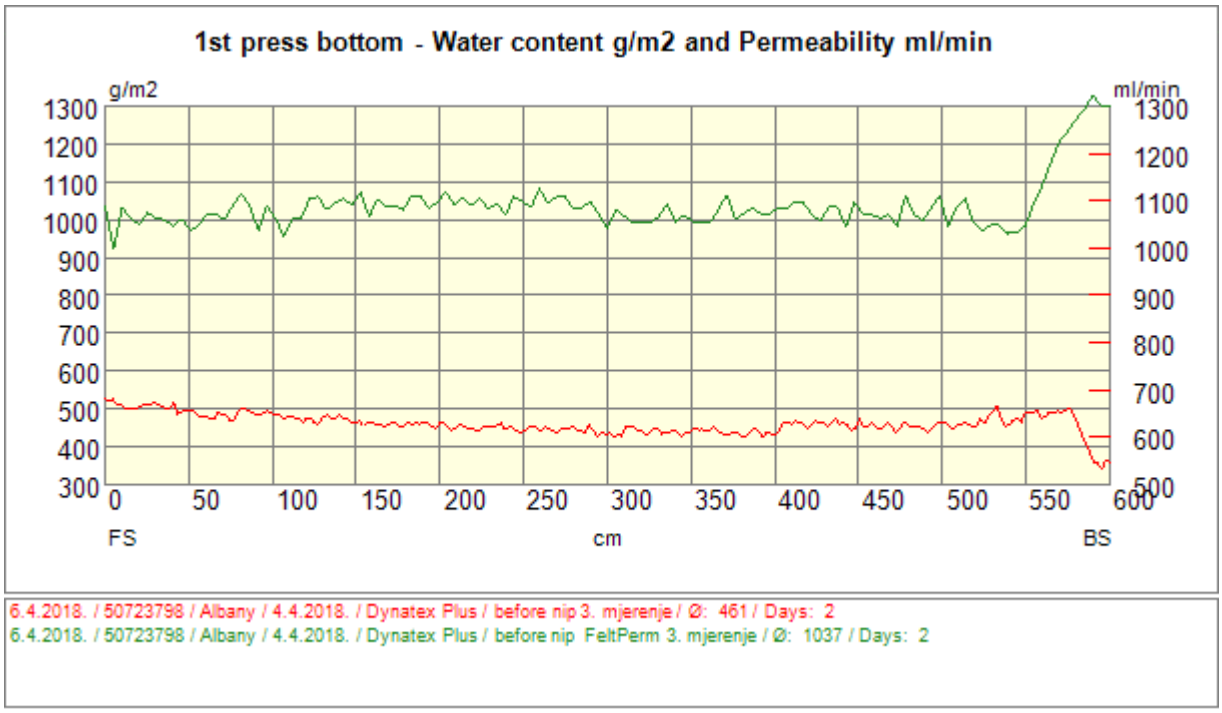
Slika 60. Prvi donji filc, drugo mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 61. Prvi donji filc, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost



Slika 62. Prvi donji filc, treće mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 63. Prvi donji filc, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost

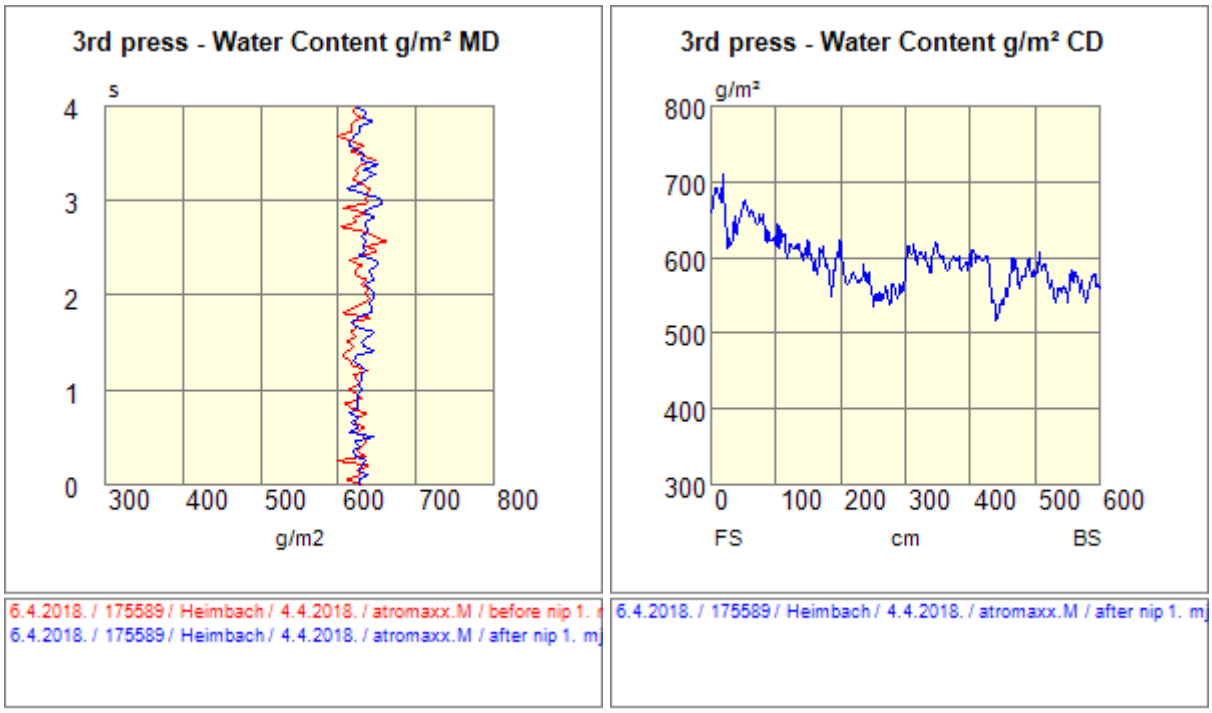
4.4.2.4. Zaključci mjerenja Prvog donjeg filca

Rezultati mjerenja Prvog donjeg filca također su očekivani. Srednja vrijednost mjerenja vlage u machine direction iznosi 494 g/m^2 (477 g/m^2, 506 g/m^2, 499 g/m^2) dok srednja vrijednost mjerenja vlage poslije nipa iznosi 559 g/m^2 (591 g/m^2, 551 g/m^2, 534 g/m^2). Srednja vrijednost odvodnjavanja iznosi 65 g/m^2 što je znatno manje neko kod Pick-up filca. Razlog tome je što Pick-up filc preuzima papirnu traju s velikim postotkom vode te prolazi kroz 2 pritiska valjaka (valjci s podtlakom). Razlike u vrijednostima mjernih rezultata poslije nipa su posljedica teško dostupne pozicije što utječe na mogućnost operatera da ostvari kvalitetan kontakt mjernog instrumenta i filca. Vidljivo je da je za dobra mjerenja potrebna dobro odabrana pozicija kako bi se ostvario zadovoljavajuć kontakt.

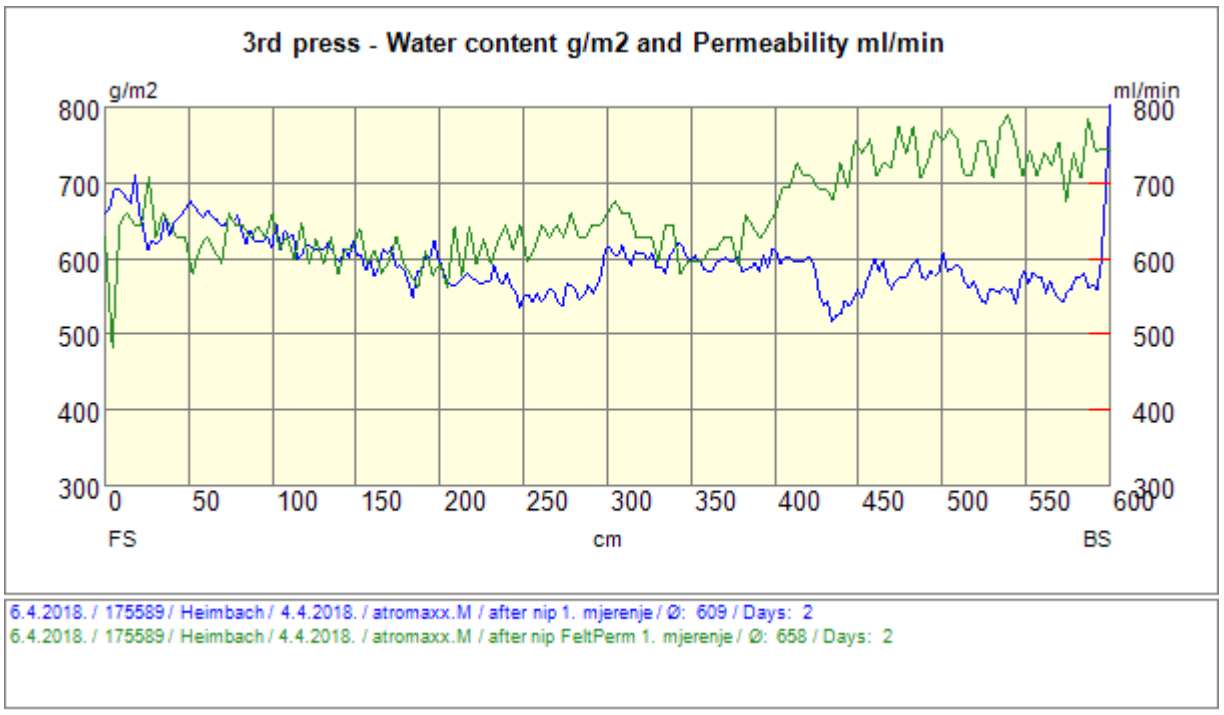
Na poprečnom profilu vlage vidljiv je blagi pad vrijednosti vlage na sredini filca. Srednja vrijednosti iznoi 458 g/m^2 (457 g/m^2, 456 g/m^2, 461 g/m^2). Sami profil je uobičajen i prihvatljiv. Na pogonskom rubu filca je vidljiv velik pad vrijednosti vlage jer na tom dijelu filca ne prolazi papirna traka. Širina papirne trake je manja od širine filca. Ozirom da se mjeri do ruba filca, dio filca koji nije pokriven papirom se jasno vidi. Na poslužnoj strani nije vidljiv iz razloga što se krenulo mjeriti od dijela gdje je papir prisutan.

Srednja vrijednost propusnosti iznosi 1052 ml/min (1039 ml/min, 1081 ml/min, 1037 ml/min) što je veća propusnot nego na Pick-up, no različiti su dobavljači i modeli, te prolazi kroz samo jedan nip. Profil je stabilan i ravan, na stražnjem rubu je vidljivo povećanje propusnoti što odgovara dijelu filca koji ne nosi papirnu traku. To se može očekivati pažljivim proučavanjem pada vlage.

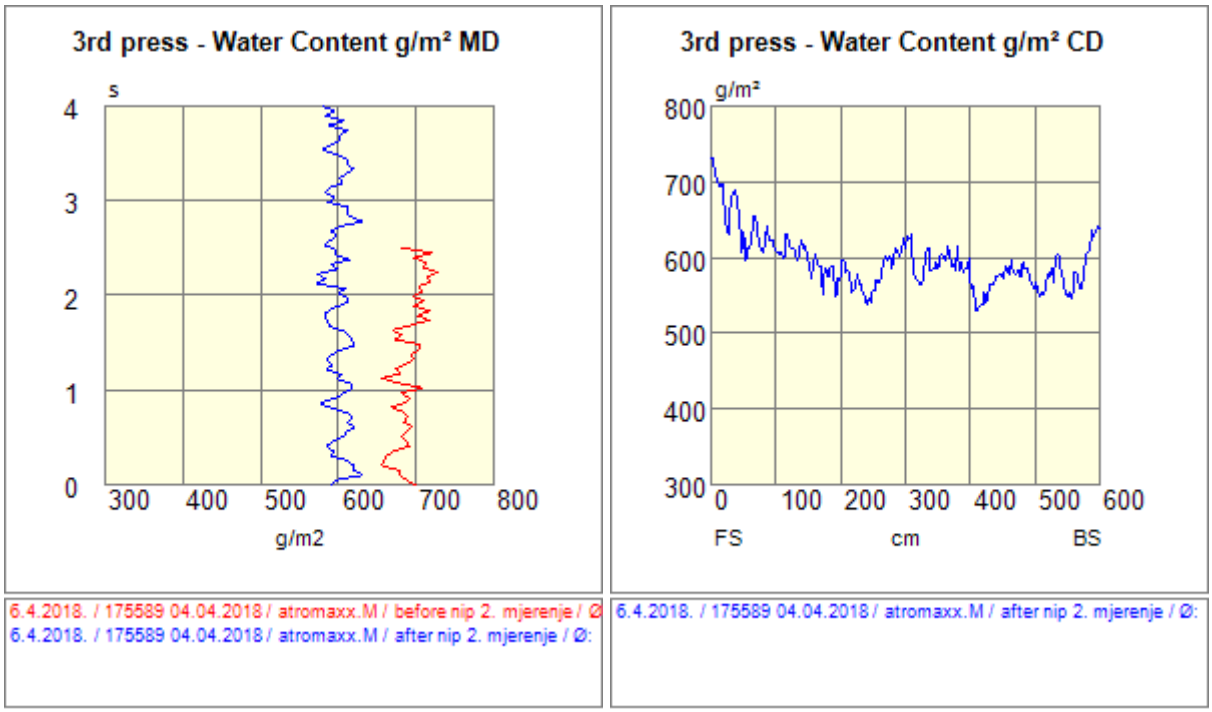
4.4.2.5. Treći donji filc



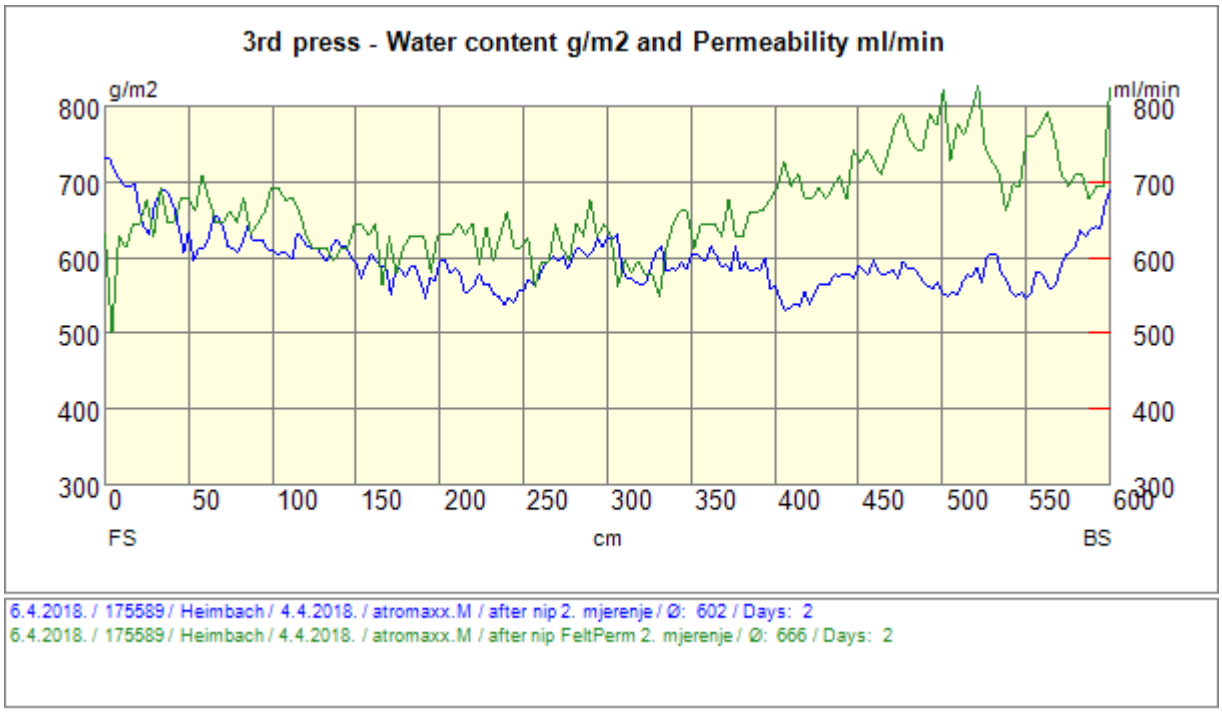
Slika 64. Treći donji filc, prvo mjerenje, MD i CD količina vode



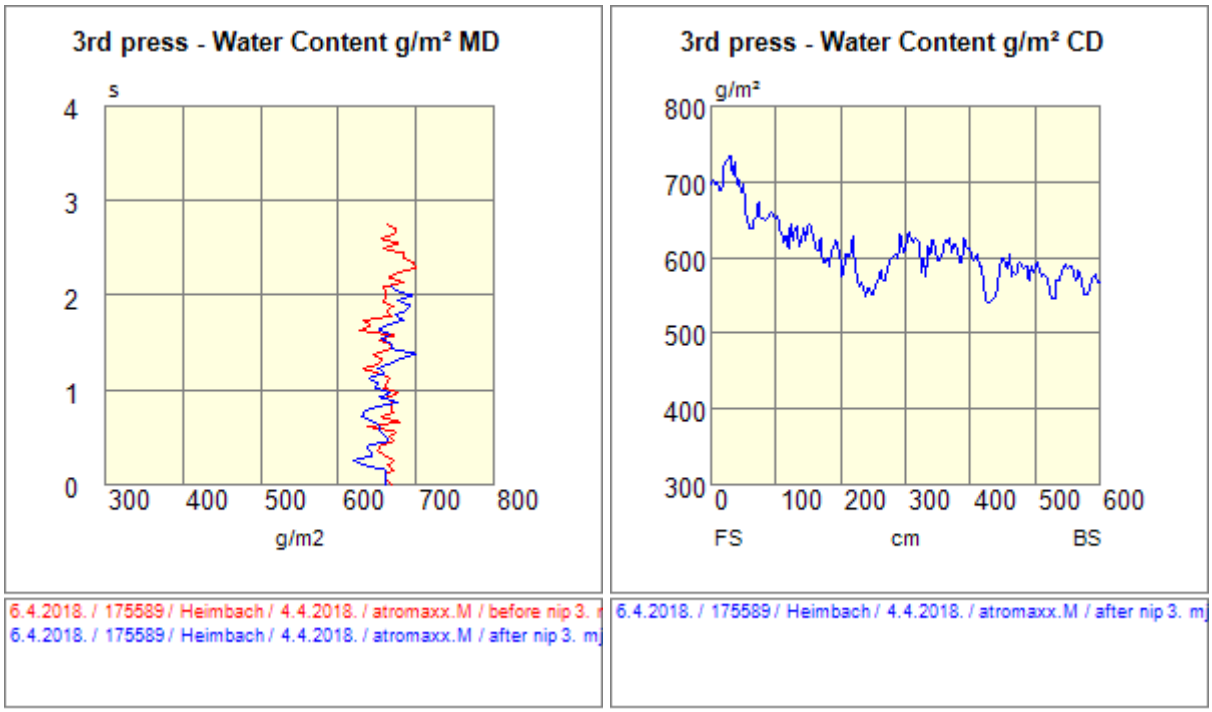
Slika 65. Treći donji filc, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost



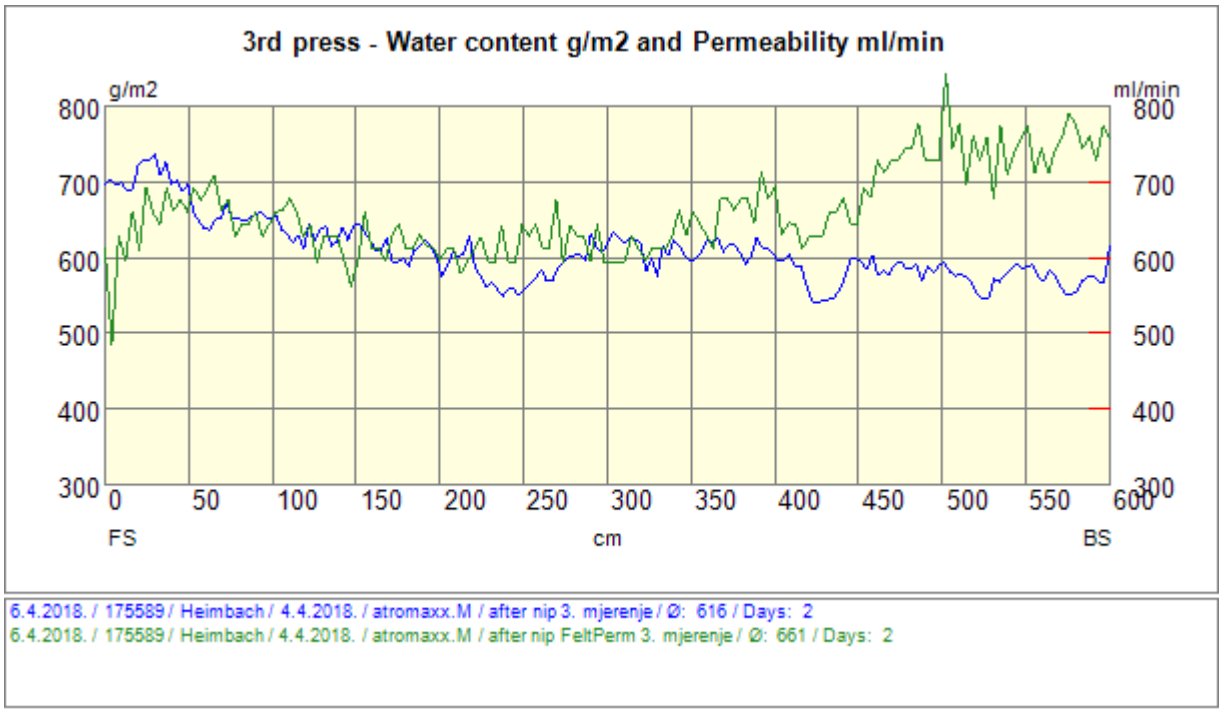
Slika 66. Treći donji filc, drugo mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 67. Treći donji filc, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost



Slika 68. Treći donji filc, treće mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 69. Treći donji filc, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost

4.4.2.6. Zaključci mjerenja Trećeg donjeg filca

Kod mjerenja machine direction Trećeg donjeg filca, dobiven je rezultat srednje vrijednosti vlage prije nipa koji iznosi 660 g/m^2 (626 g/m^2, 691 g/m^2, 664 g/m^2), dok je srednja vrijednost vlage poslije nipa 630 g/m^2 (633 g/m^2, 598 g/m^2, 660 g/m^2) . Ovakav rezultat ukazuje da ne postoji vidljiva razlika u količini vlage prije i poslije vakuumskih kutija. To ne mora značiti da vakuumske kutije ne rade dobro jer treba uzeti u obzir i šprice koje vlaže filc. S obzirom da se mjeri na poslužnoj strani, a iz poprečnog profila je vidljivo da je količina vlage veća na poslužnoj strani postiji mogućnosti da je na pogonskoj strani vakuumske kutije odvodnjavaju. To je moguće iz razloga što je vakuumska pumpa spojena na vakuumsku kutiju s pogonske strane i zna imati veći potlak.

Krivulja poprečnog profila (ovaj put mjerena iza nipa radi bolje pozicije), govori nam o većoj vlazi na poslužnoj strani. Srednja vrijednost vlage iznosi 609 g/m^2 (616 g/m^2, 602 g/m^2, 609 g/m^2). Uzrok ovakvog profila je nečistoće koje zadržavaju vodu, odnosno odvodnju vode iz filca. Dizne šprica bi se trebale očistiti, kako bi se ublažio ovakav profil.

Srednja vrijednost propusnosti iznosi 650 ml/min (658 ml/min, 666 ml/min, 626 ml/min). Zelena krivulja (propusnosti) pokazuje manju vrijednost na poslužnoj strani filca dok prema pogonskoj raste. Uzrok te začepljnosti su nečistoće koje se pojavljuju u filcu. Jasno se vidi kako propusnost raste na djelu na kojem vlaga pada. Na pogonskom djelu filca kondicioniranje je bolje nego na poslužnom i to se učituje obrnuto proporcionalnim krivuljama.

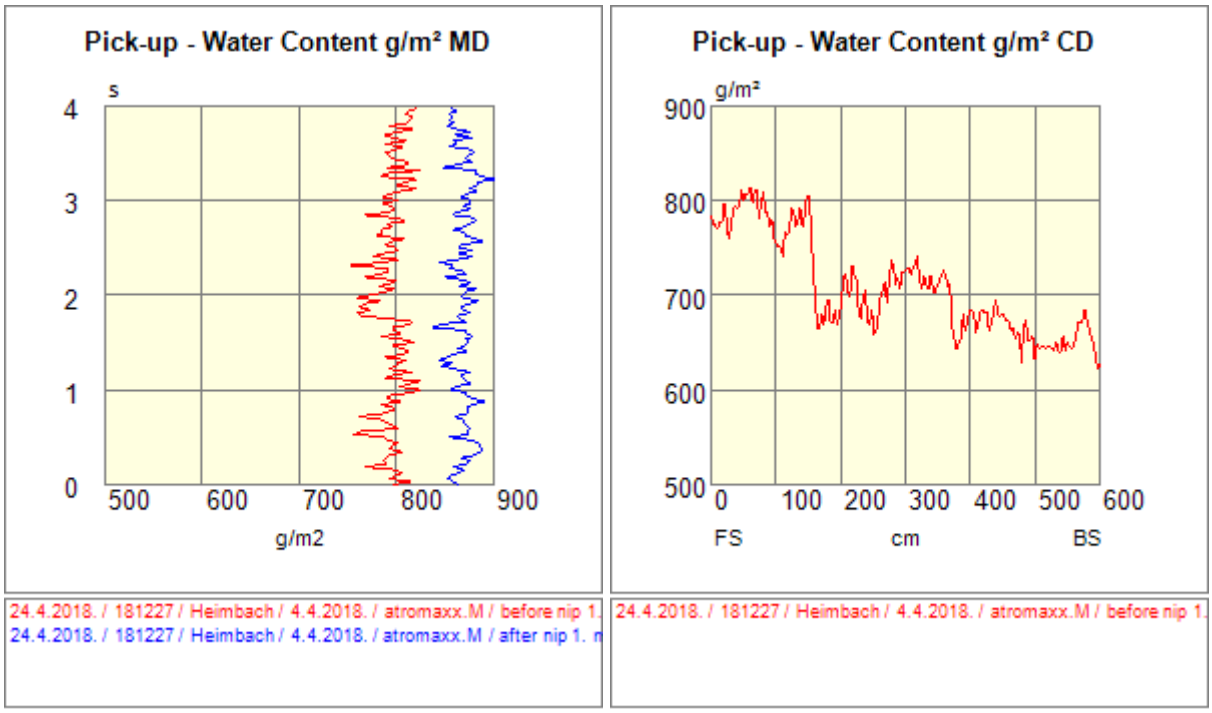
Ovakvi rezultati doakzuju veliku važnosti ispravnog čišćenja filca.

4.4.3. Ponovljeno mjerenje

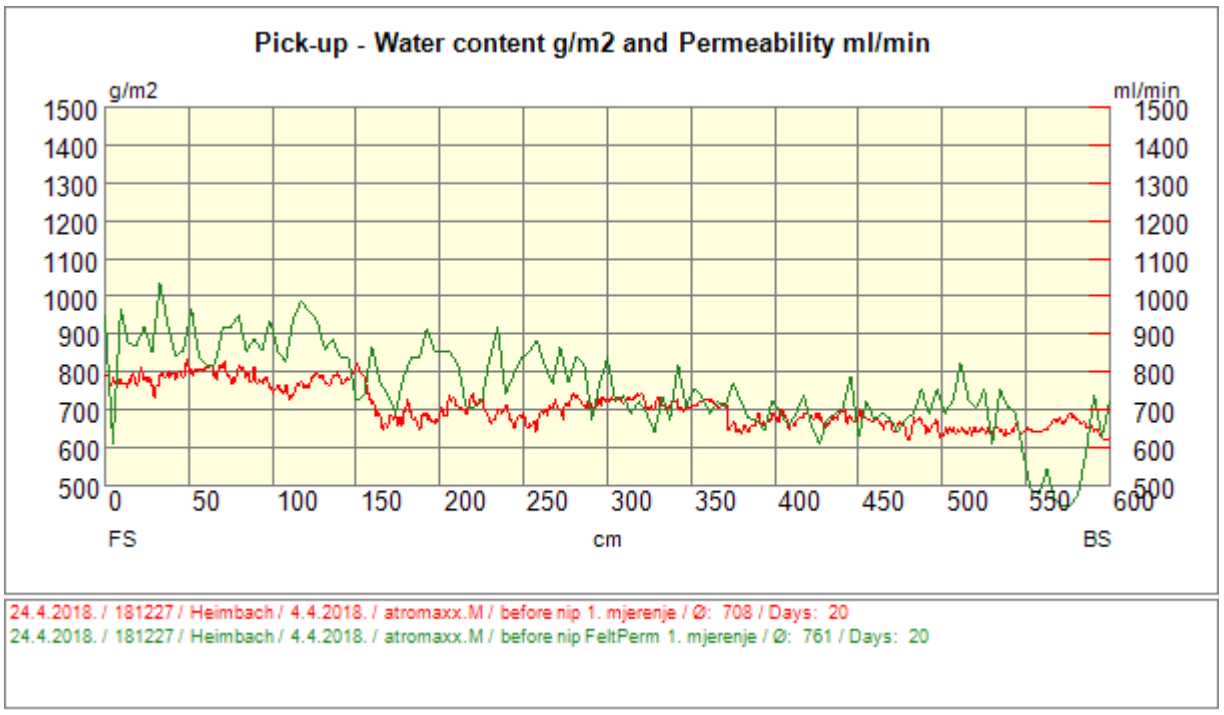
Nakon što smo izvršili mjerenje na stroju za proizvodnju papira 4, izvršili smo još jedno mjerenje. To mjerenje nam, uz karakteristike stroja, govori o ponašanju filca kroz vrijeme i daje dobar uvid u vrijeme uhodavanja filca. Na početku životnog vijeka filca struktura je previše otvorena, što dovodi do propusnosti veće od one deklarirane. Nakon par dana (ovisno o pritisku preša i vrsti papira), filc dođe do svoje radne strukture.

Početno vrijeme „uhodavanja“ filca nazivamo *start-up*. Mjerenja su ponovljena nakon 18 dana bez većih zastoja na stroju.

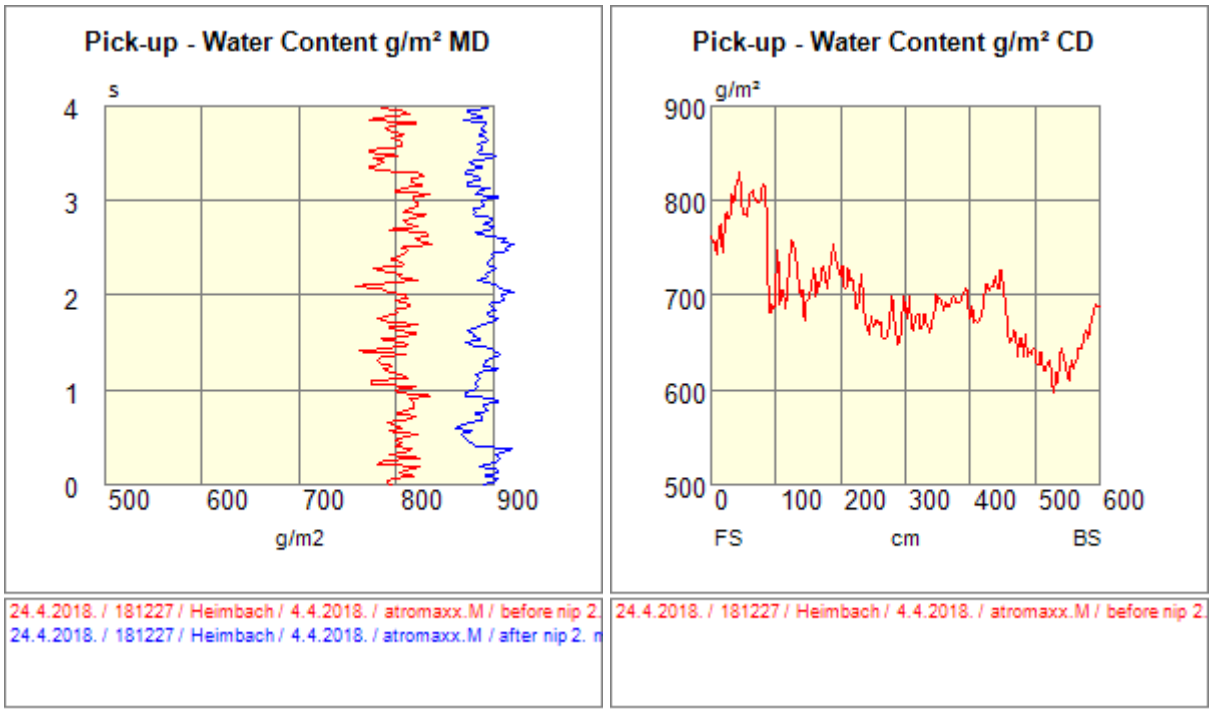
4.4.3.1. Pick-up filc



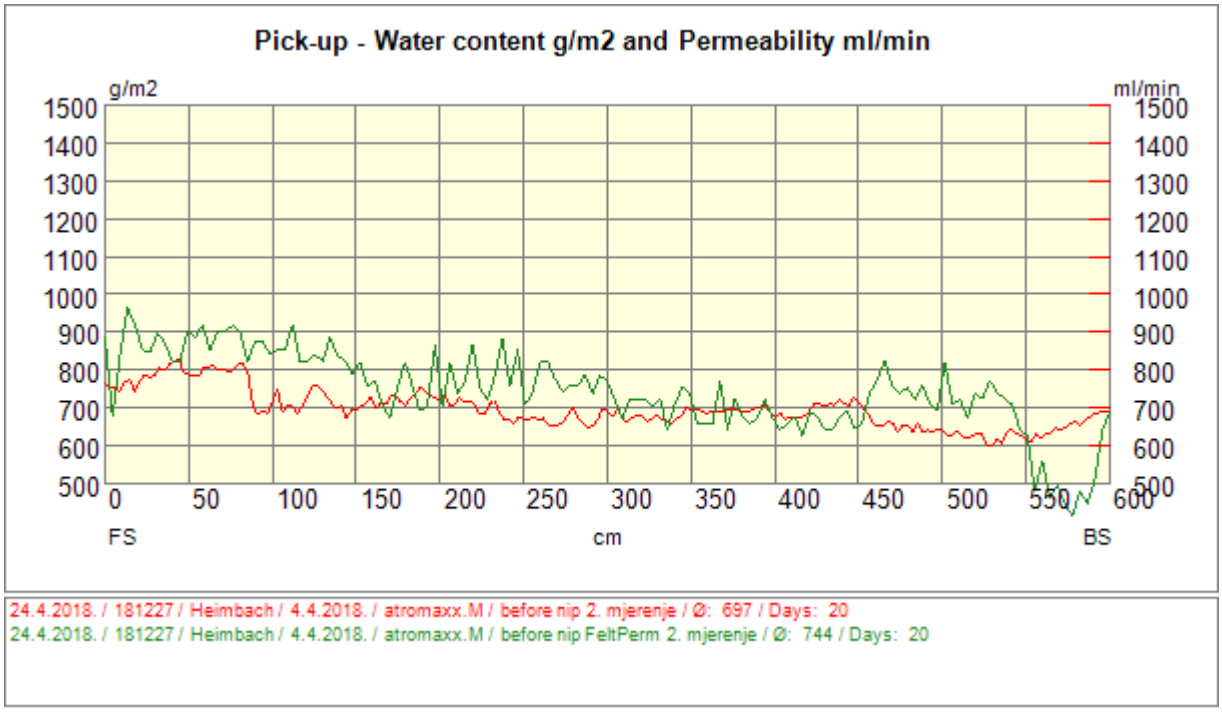
Slika 70. Pick-up ponovljeno, prvo mjerenje, MD i CD količina vode



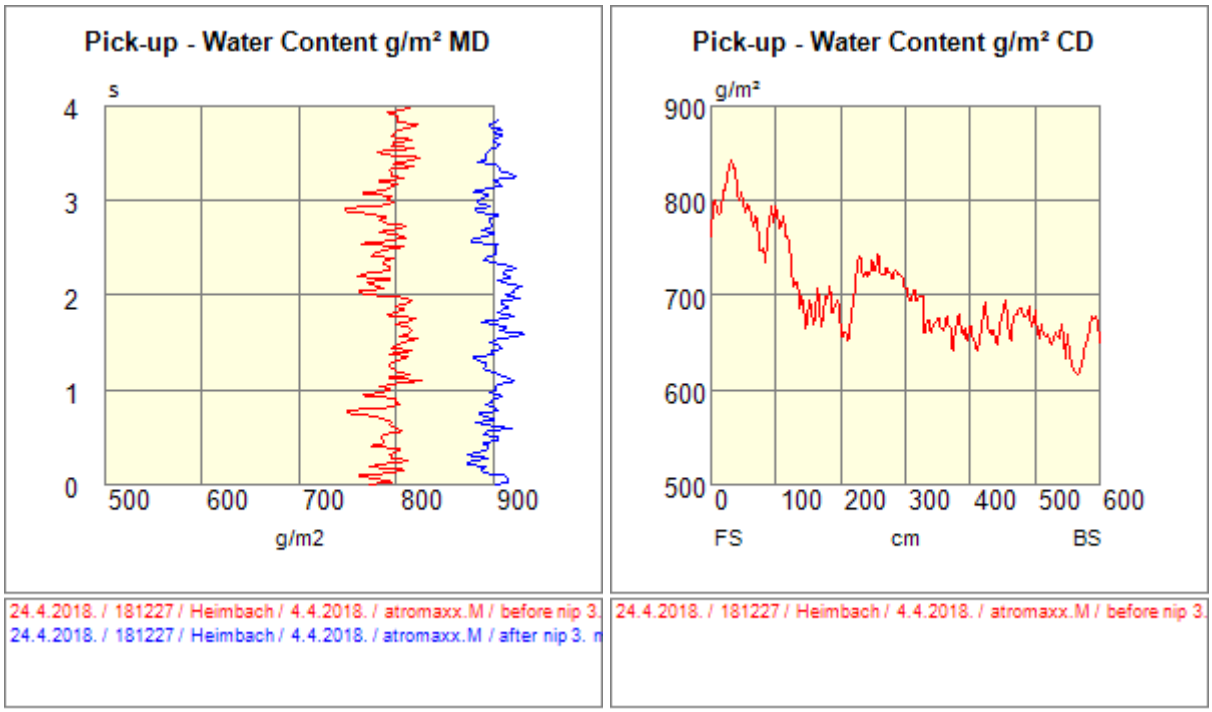
Slika 71. Pick-up ponovljeno, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost



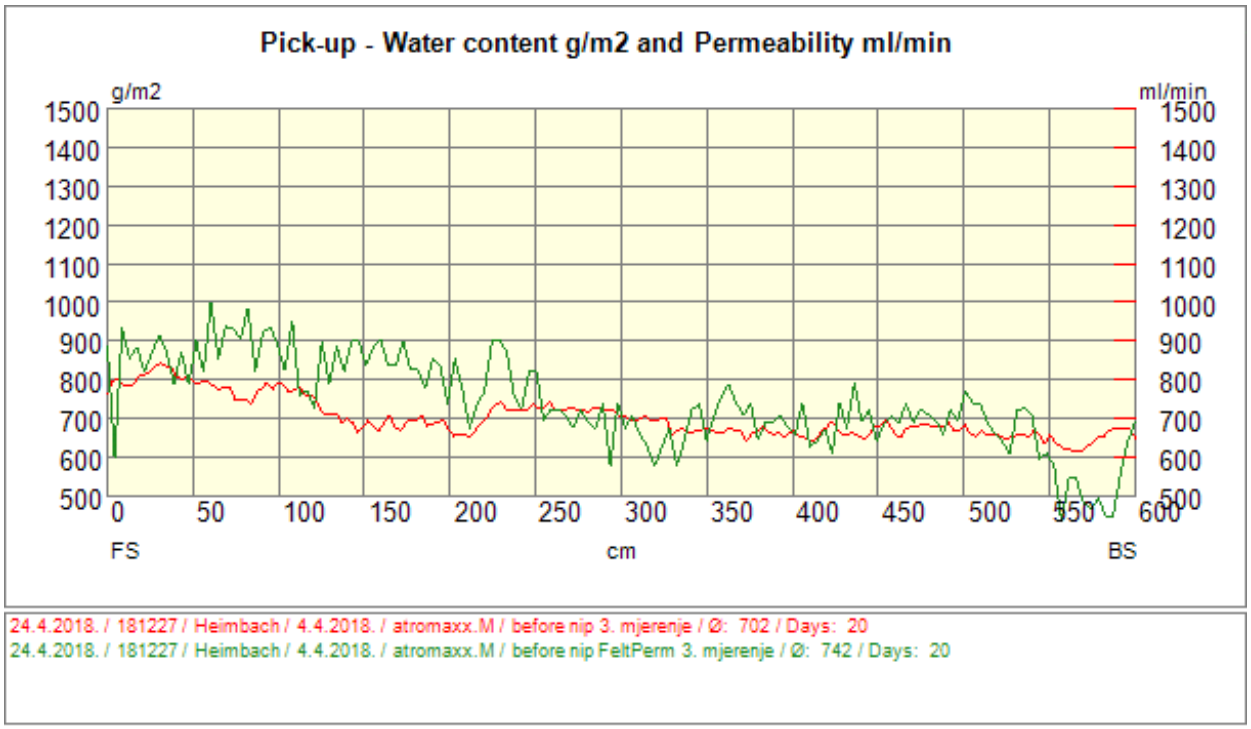
Slika 72. Pick-up ponovljeno, drugo mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 73. Pick-up ponovljeno, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost



Slika 74. Pick-up ponovljeno,treće mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 75. Pick-up ponovljeno, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost

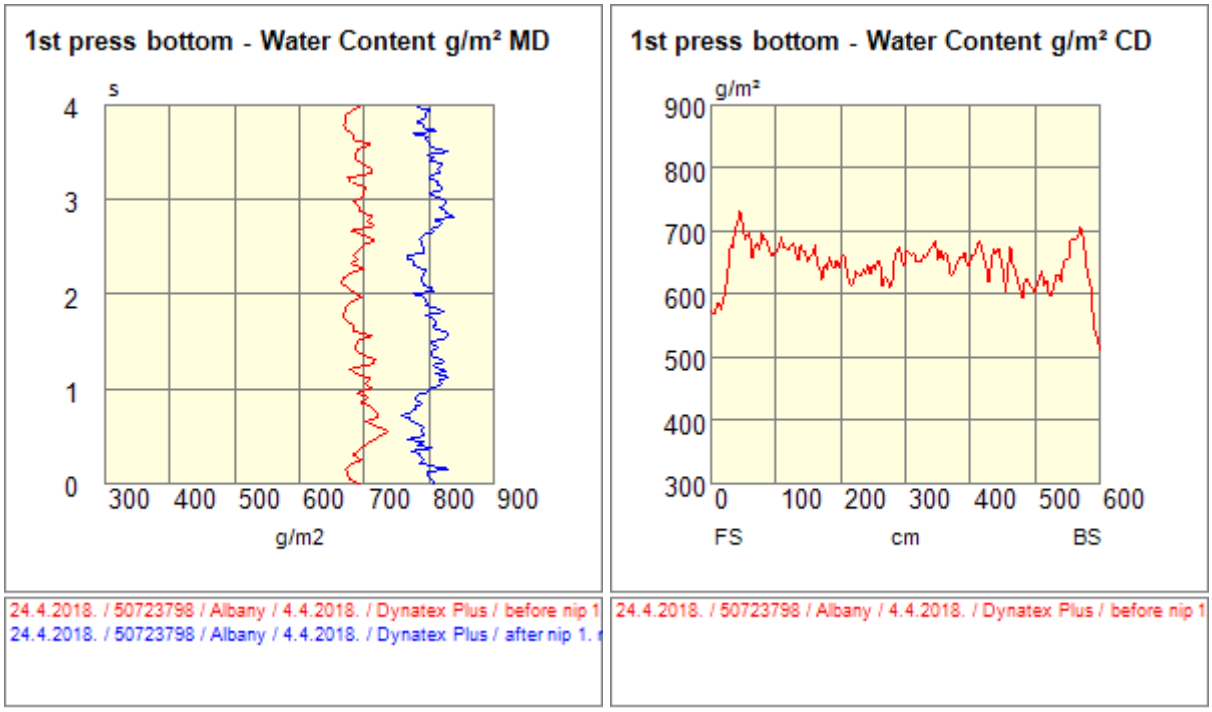
4.4.3.2. Rezultati ponovljenog mjerenja Pick-up filca

Srednja vrijednost vlage na machine direction, prije nipa na Pick-up filcu nakon 18 dana iznosi 797 g/m^2 (794 g/m^2, 801 g/m^2, 795 g/m^2) dok poslije nipa iznosi 885 g/m^2 (868 g/m^2, 881 g/m^2, 900 g/m^2). Ukupno je srednje odvodnjavanje na 88 g/m^2, što je dosta manje od filca na početku životnog vijeka. Krivulje su pomaknute prema višim vrijednostima vlage u odnosu na 1. ponovljeno mjerenje. Razlog oscilacija mjernih vrijednosti je uvjetovan pomakom šprica tijekom čišćenja, odnosno konstantno mjenjaju svoj položaj.

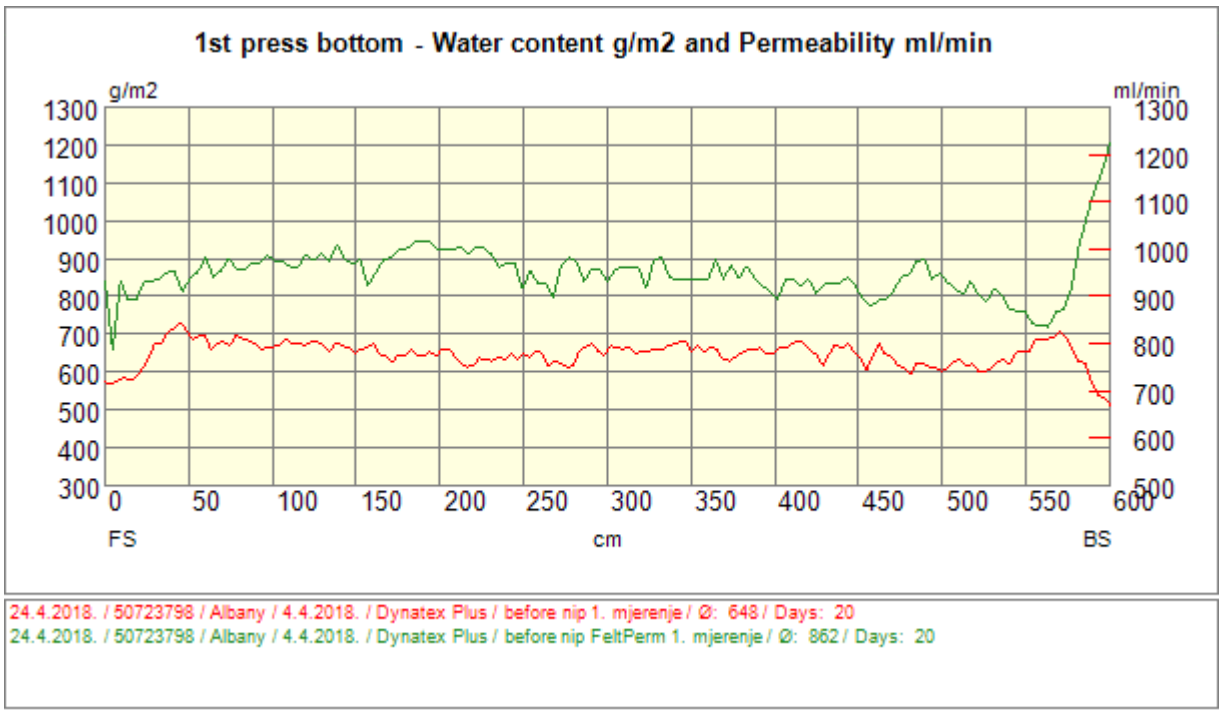
Srednja vrijednosti poprečnog profila vlage iznosi 702 g/m^2 (708 g/m^2, 702 g/m^2, 697 g/m^2) što je veći rezultat nego što je dalo prvo mjerenje. Poprečni profil prikazuje jasan pad vlage od poslužne prema pogonskoj strani, što u kombinaciji s padom propusnosti ukazuje na mogući veći pritisak prese na pogonskoj strani u odnosu na poslužnu. Dodatni pokazatelj koji govori o većem pritisku na poslužnoj strani uključuje tanju debljinu filca na toj strani i manju brzinu zraka kroz filc, također na toj strani.

Srednja vrijednosti poprečnog profila propusnosti iznosi 749 ml/min (761 ml/min, 744 ml/min, 742 ml/min). Kako je vidljivo, na prvim mjernim točkama izmjerenja vrijednost 800 ml/min, dok pri kraju pada na oko 650 ml/min. Takva razlika, od oko 20 % razlog je za zabrinutost, jer slabom propusnošću filc postaje zasićen vodom i ne odvodi onu količinu vode koja se odvodi na poslužnoj strani. Takve razlike u kvaiteti papira na prednjem i stražnjem djelu role dovode do drugačijih fizikalnih svojstava i mogu postati razlog za reklamaciju.

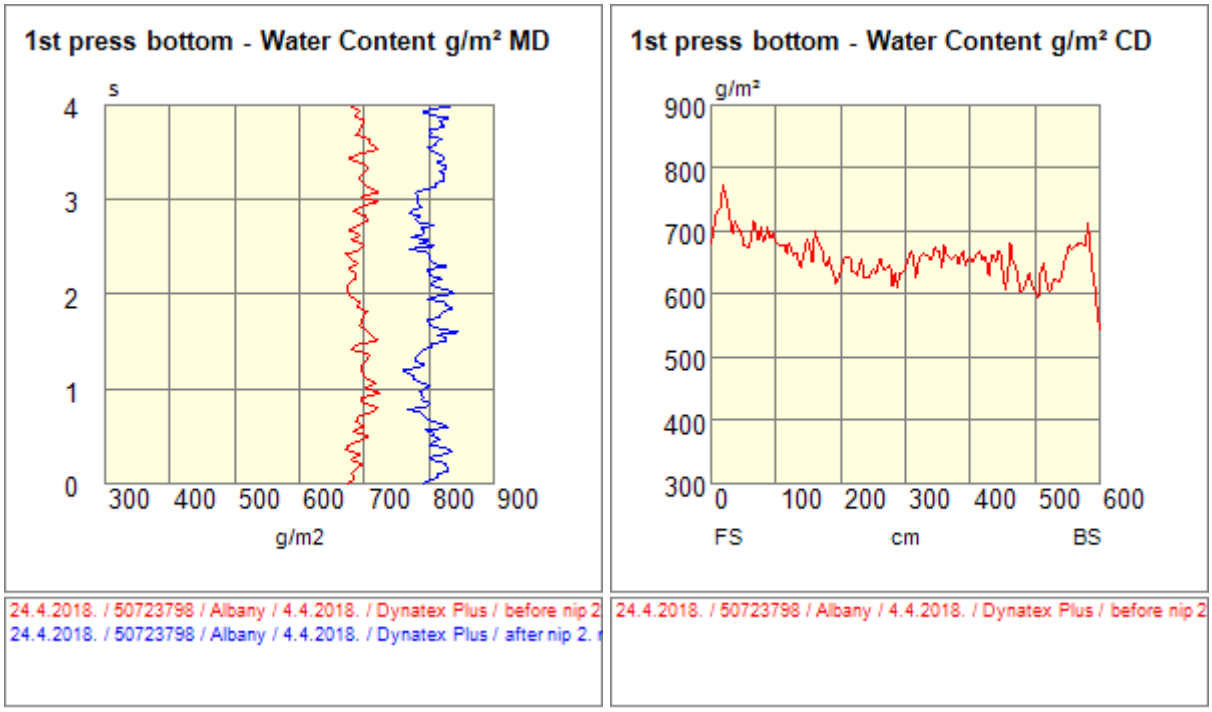
4.4.3.3. Prvi donji filc



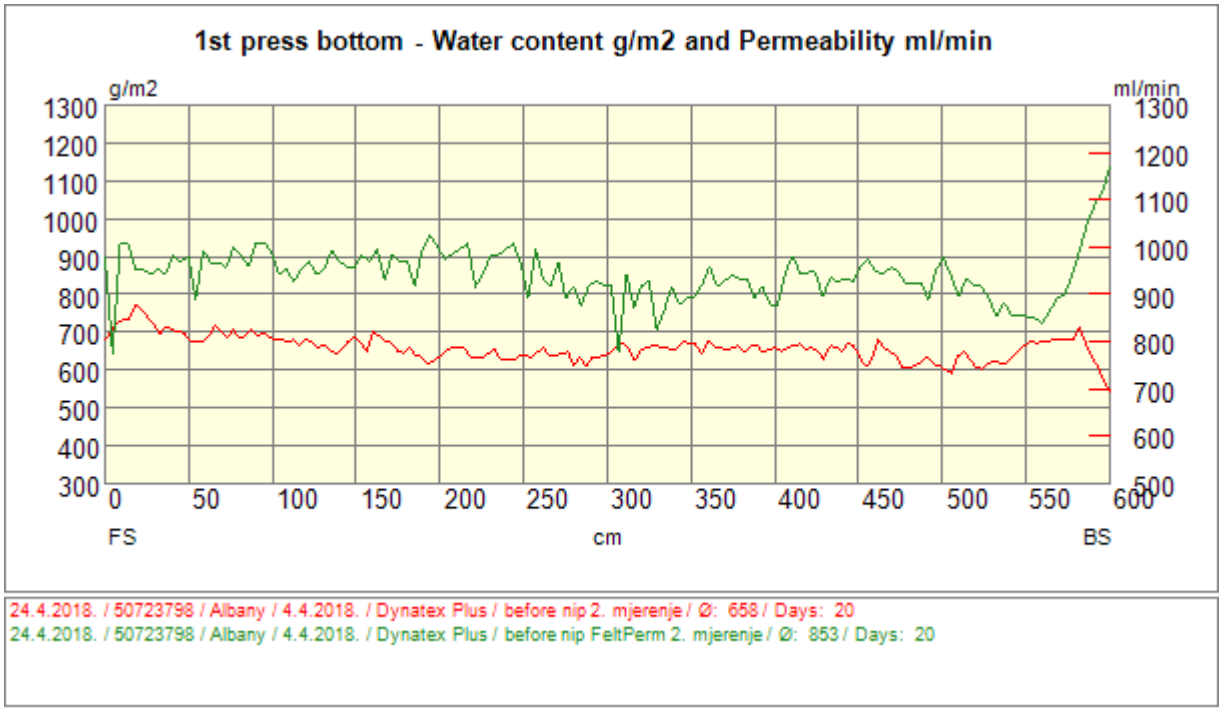
Slika 76. Prvi donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost



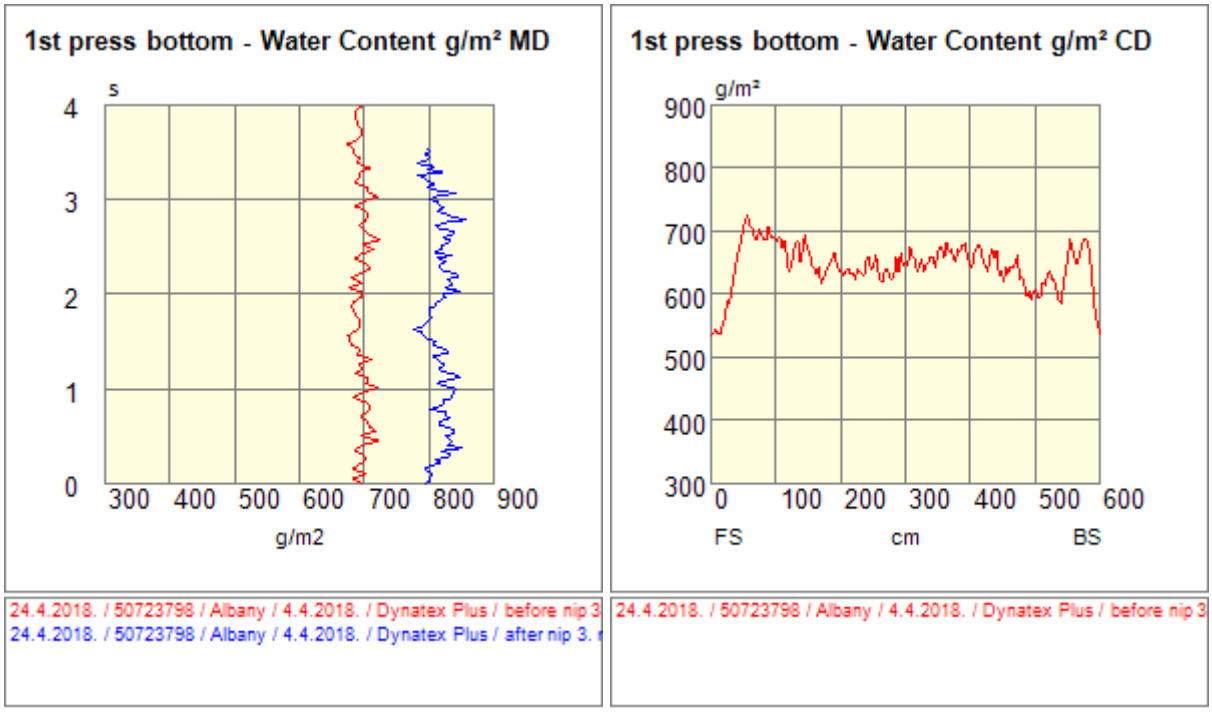
Slika 77. Prvi donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, MD i CD količina



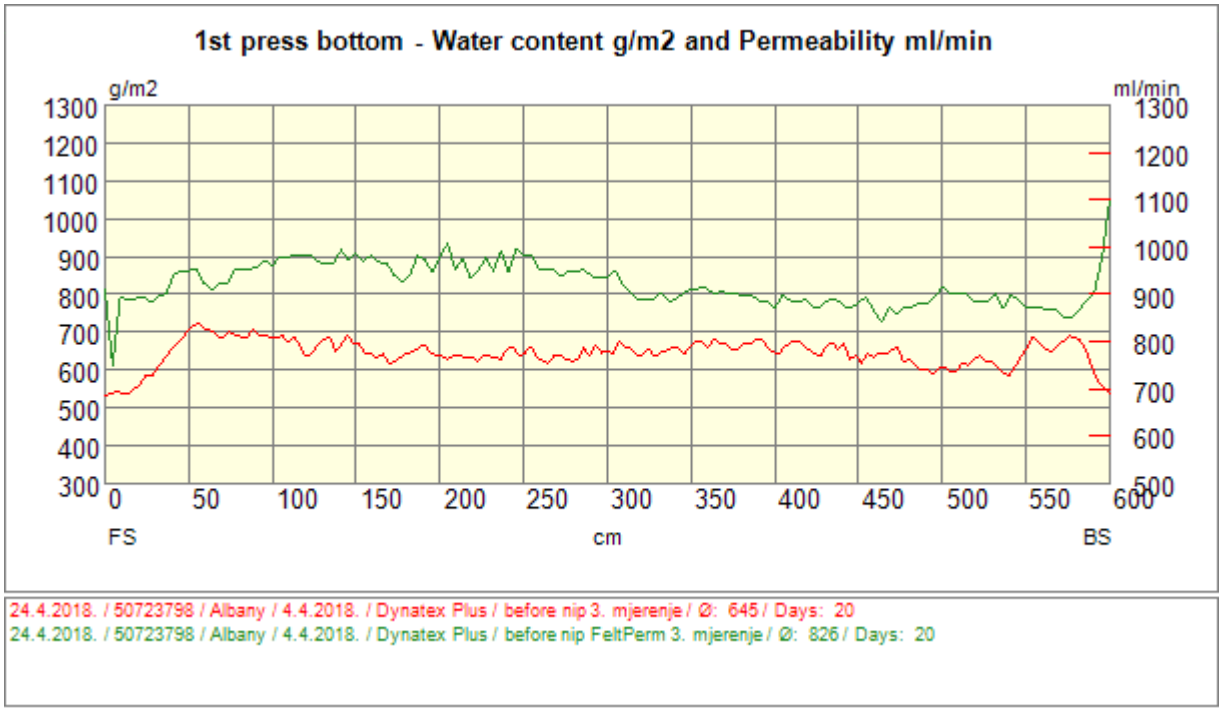
Slika 78. Prvi donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 79. Prvi donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, CD količina količina vode i propusnost



Slika 80. Prvi donji filc ponovljeno, treće mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 81. Prvi donji filc ponovljeno, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost

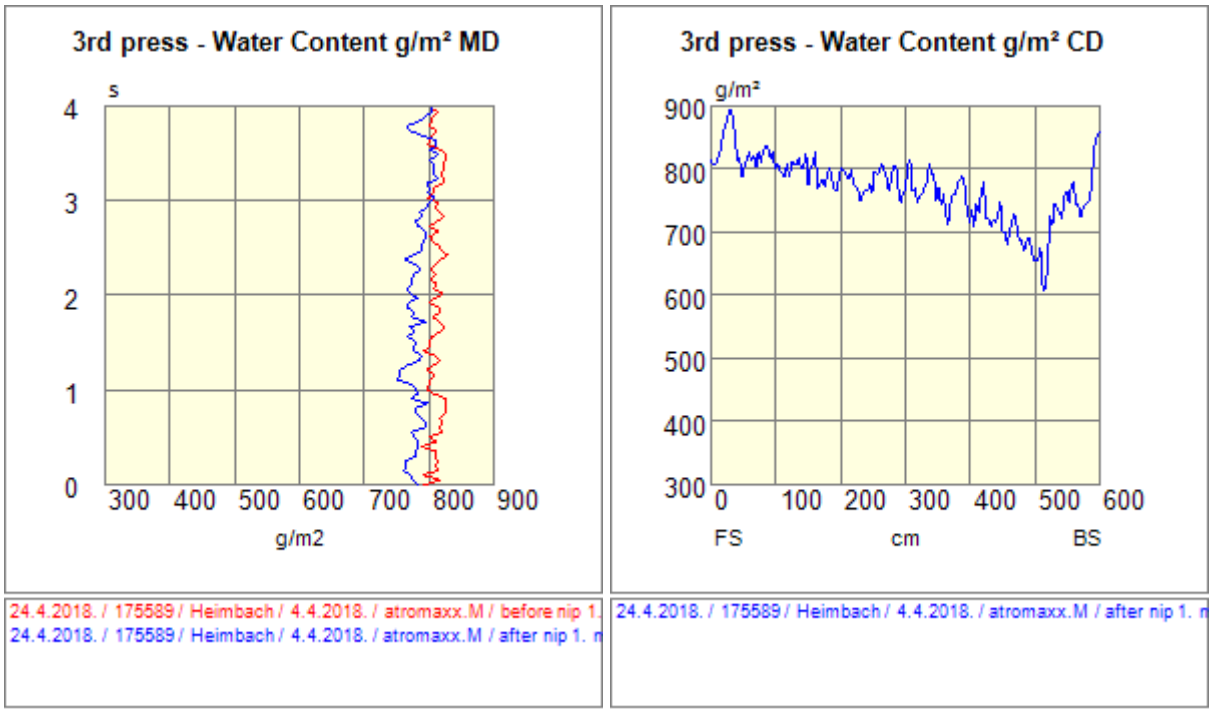
4.4.3.4. Zaključci ponovljenog mjerenja Prvog donjeg filca

Kod mjerenja machine direction prije nipa na Prvom donjem filcu, dobivena je srednja vrijednost vlage filca od 694 g/m^2 (692 g/m^2, 693 g/m^2, 696 g/m^2), dok je poslije nipa dobivena srednja vrijednost vlage od 807 g/m^2 (802 g/m^2, 802 g/m^2, 817 g/m^2). Oblici profila su slični na sva tri mjerenja, dok je došlo do malog pomaka pri trećem mjerenju poslije nipa, što je uzrokovano nepripastupnošću pozicije mjerenja. Srednje odvodnjavanje iznosi 113 g/m^2, što je dosta neuobičajno jer je odvodnjavanje nakon prvog mjerenja iznosilo 63 g/m^2, a filc je bio puno otvoreniji. Razlog takvom mjernom rezultatu može biti u tome što je Pick-up filc puno začepljeniji i do Prvog donjeg filca dolazi papirna traka s puno većim postotkom vode.

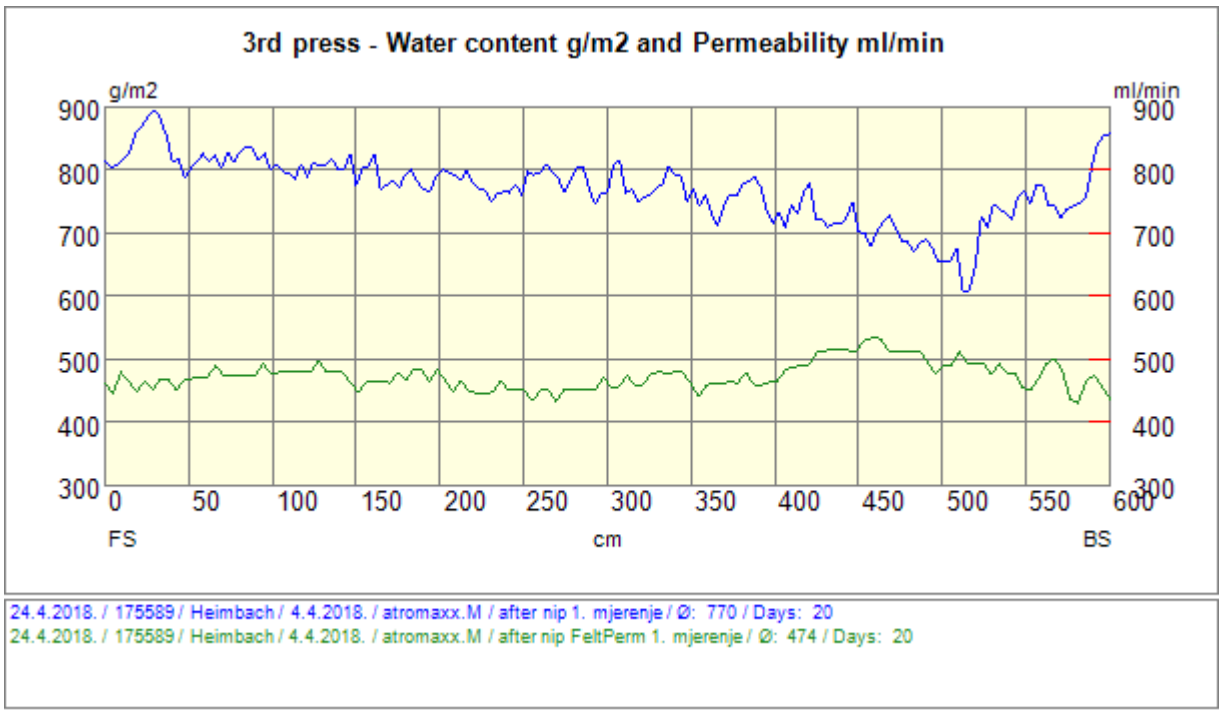
Srednja vrijednost vlage u filcu u poprečnom smjeru iznosi 650 g/m^2 (648 g/m^2, 658 g/m^2, 645 g/m^2) što je osjetno veća vrijednost nego ona prvi put mjerena. Kao što je navedeno, razlog tomu vjerojatno leži u zasićenosti Pick-up filca vodom, koji ne može u dovoljnoj mjeri preuzeti vodu iz papira, te se ona prenosi na 1. donji filc. Iako se vidi veliki padovi vlage na rubovima, na mjestima na kojima papirna traka ne prelazi, oni nisu bitni jer ne utječu na samu kvalitetu papira. Profil vlage je relativno stabilan i ne odstupa značajno niti na jednom dijelu profila.

Srednja vrijednost propusnoti iznosi 855 ml/min, što je za 197 ml/min manje od prvog ponovljenog mjerenja. Uz toliko manju propusnost, ne čudi povećanje vlage u filcu. Kako je navedeno, propusnost pada tijekom vremena radi prljavštine, punila i zaostala vlakana unutar strukture. Profili propusnosti dobiveni mjerenjem izgledaju drugačije radi nepristupačnosti pozicije, koje onemogućuje operatera da ujednačenim korakom izvede mjerenje. Iz drugog mjerenja može se vidjeti razlika propusnosti na lijevoj i desnoj strani filca. Takva razlika koja nije postupna, ne može biti djelo vakuskih kutja (zbog naglog pad), niti šprica (na ostalim profilima ujednačeno), već je vjerojatno uzrokovana samim operaterom i zahtijevnošću pozicije.

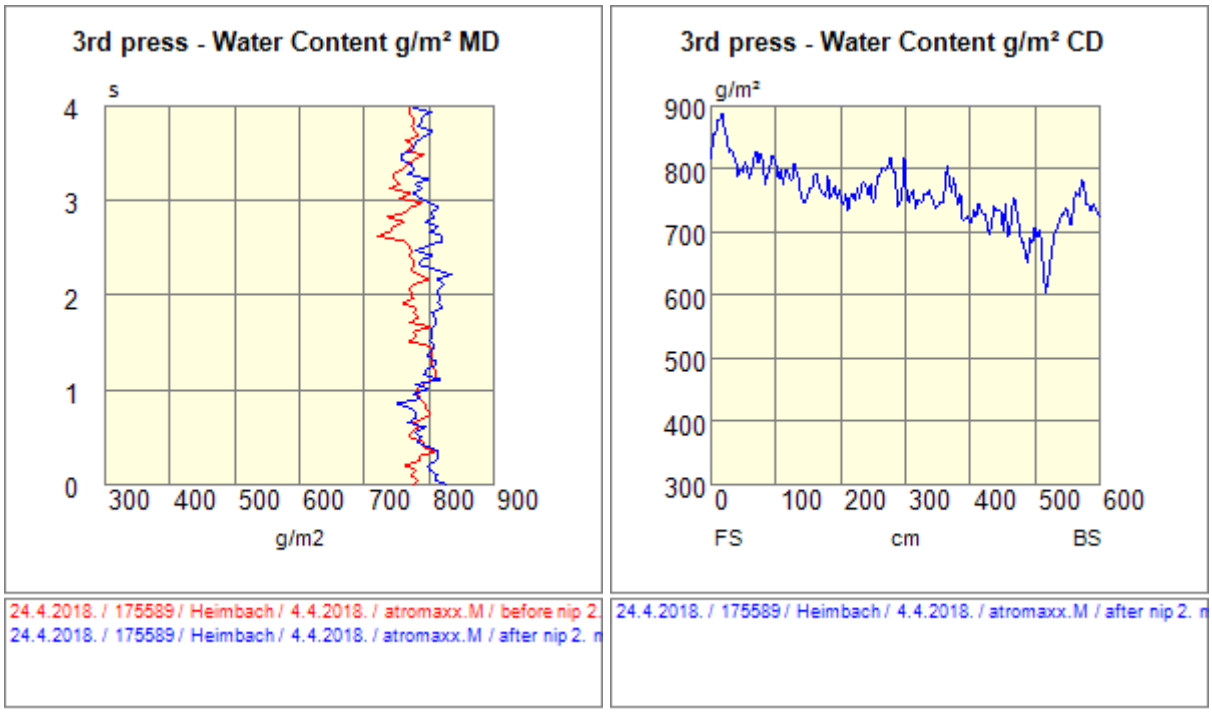
4.4.3.5. Treći donji filc



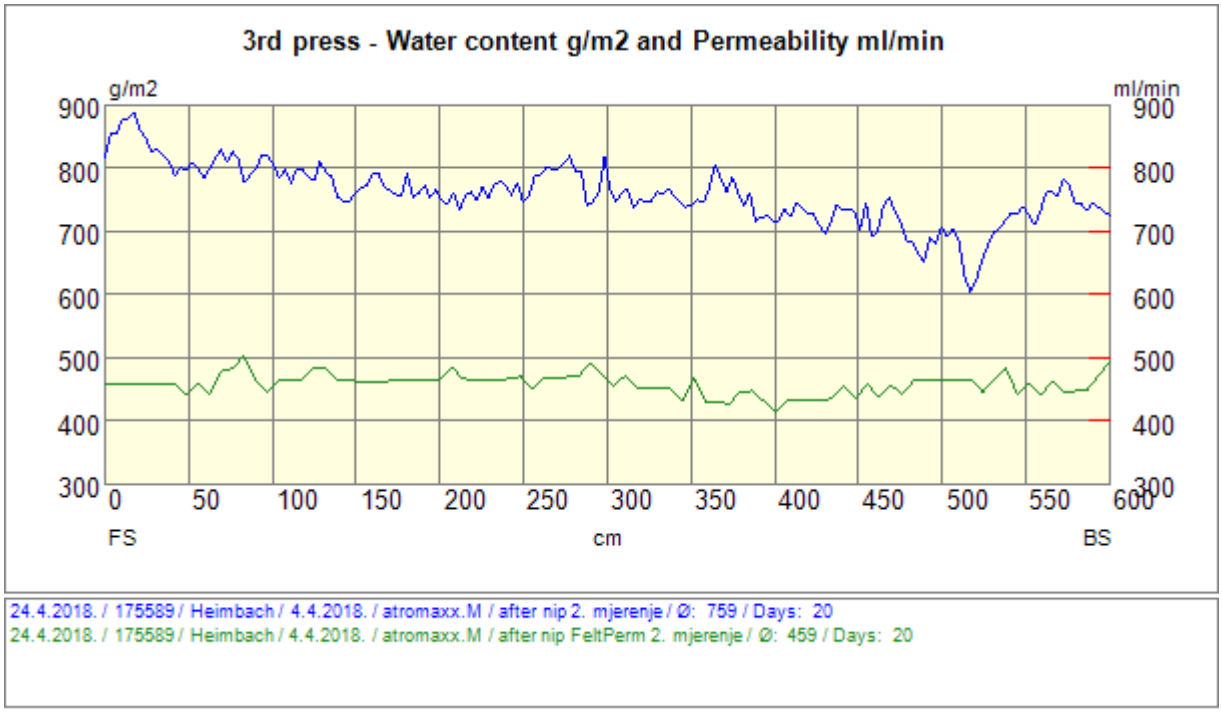
Slika 82. Treći donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, MD i CD količina vode



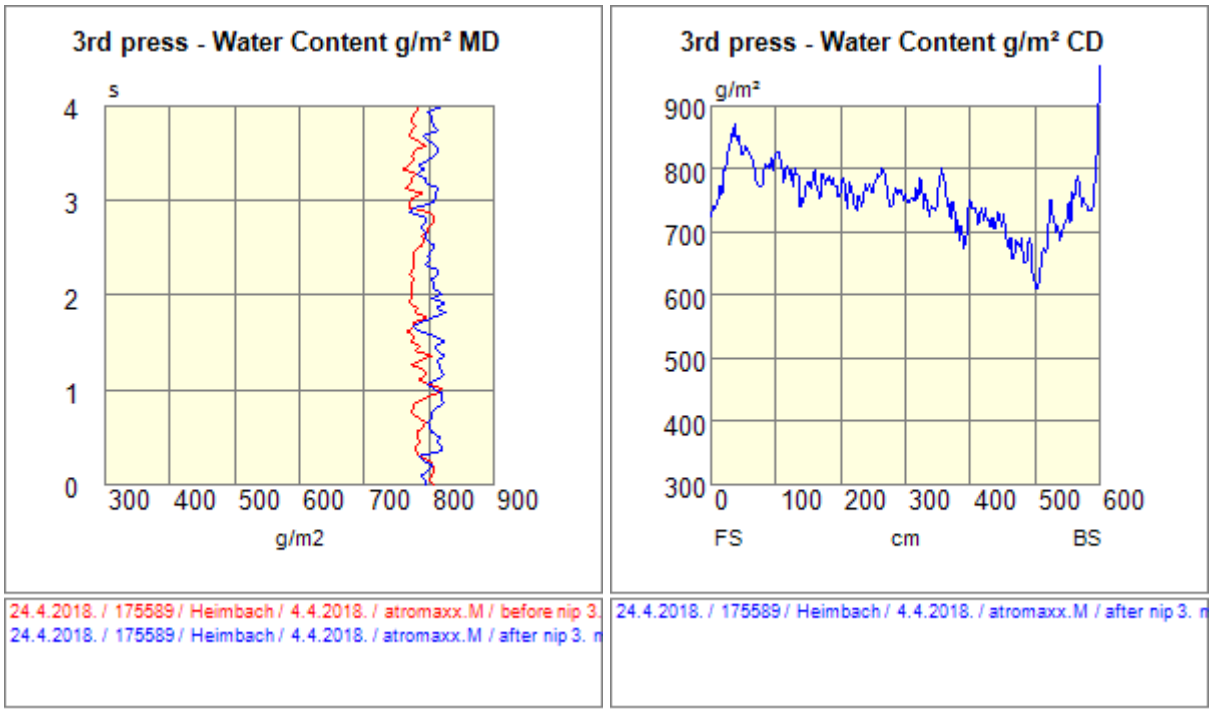
Slika 83. Treći donji filc ponovljeno, prvo mjerenje, CD količina vode i propusnost



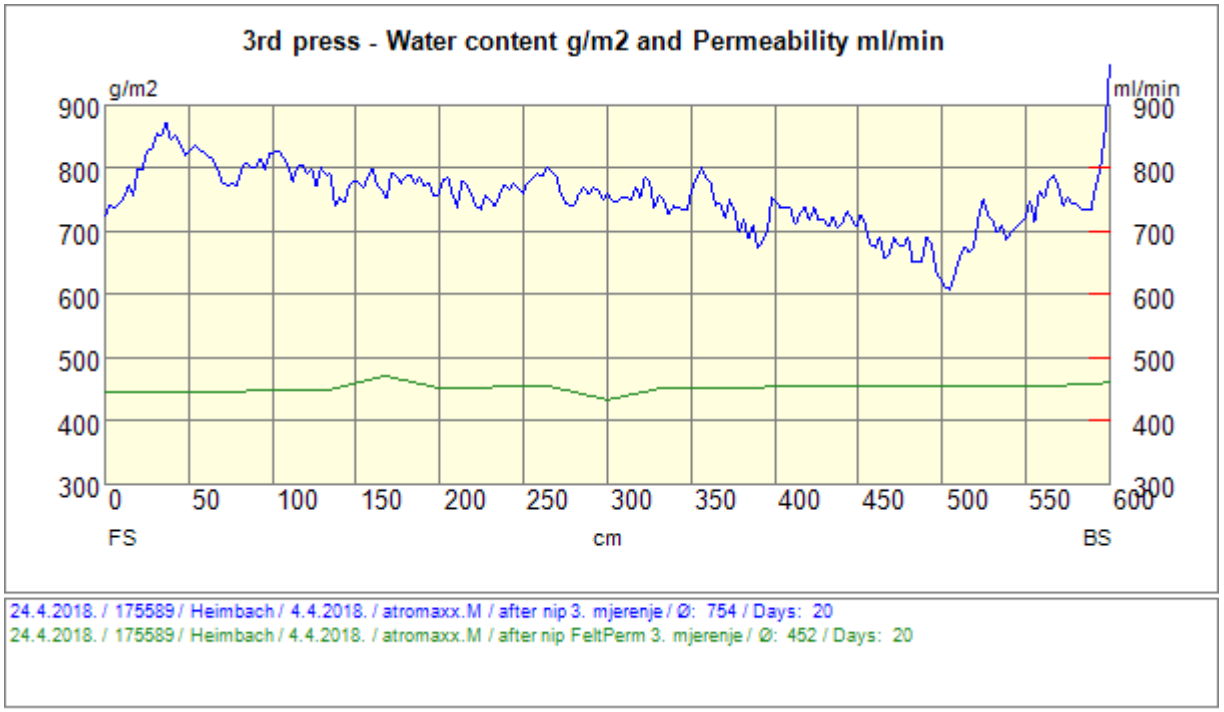
Slika 84. Treći donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 85. Treći donji filc ponovljeno, drugo mjerenje, CD količina vode i propusnost



Slika 86. Treći donji filc ponovljeno, treće mjerenje, MD i CD količina vode



Slika 87. Treći donji filc ponovljeno, treće mjerenje, CD količina vode i propusnost

4.4.3.6. Zaključci ponovljenog mjerenja trećeg donjeg filca

Srednja izmjerena vrijednost količine vlage u filcu, u smjeru machine direction prije pritiska valjaka iznosi 787 g/m^2 (811 g/m^2, 772 g/m^2, 778 g/m^2), što je za 127 g/m^2 više nego prvo mjerenje. To se može objasniti kao i kod drugog ponovljenog mjerenja Prvog donjeg filca, tako što Pick-up filc više ne odvodi onoliko vode koliko je odvodio dok je bio nov i nekontamniran. Srednja izmjerena vrijednost količine vlage također u machine direction poslije nipa iznosi 793 g/m^2 (783 g/m^2, 797 g/m^2, 801 g/m^2). Razlika je vidljiva i u ovom mjerenju te iznosi 163 g/m^2 u odnosu na prvo ponovljeno mjerenje. Kako je vidljivo iz rezultata, razlika u količini vode u filcu gotovo da ne postoji. Iako preša vjerojatno i istišće vodu, šprice ponovo vrate vodu u filc. Ovakvo stanje nije dobro i zahtijeva dubinsku analizu problema na Trećem donjem filcu.

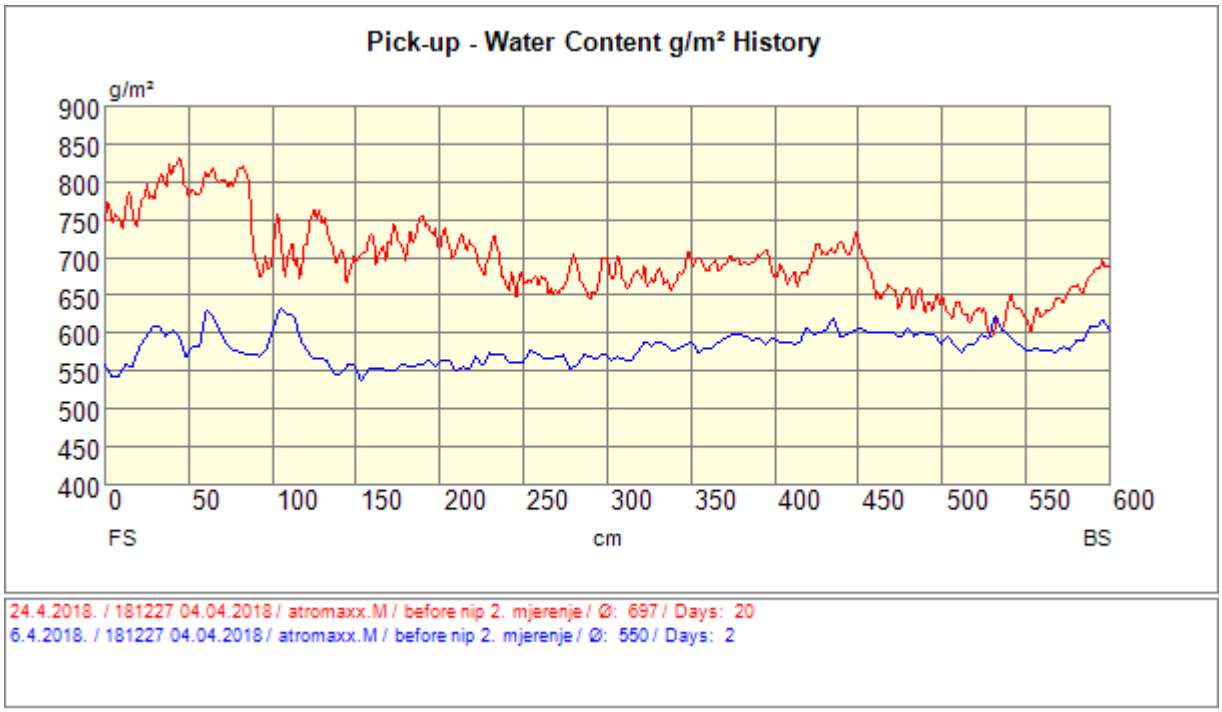
Upravo radi ovakvih saznanja su mjerenja mikrovalovima potrebna na stroju.

Srednja izmjerenja vrijednost u poprečnom smjeru iznosi 761 g/m^2 (770 g/m^2, 759 g/m^2, 754 g/m^2). Razlika prvog i drugog ponovljenog mjerenja je 152 g/m^2, što je u skladu s prijašnjim mjerenjima. Jasno se vidi pad količine vode u filcu od poslužne prema pogonskoj strani, no za razliku od prvog mjerenja, u ovom profil propusnosti ne daje oblik koji bi odgovarao lošem radu šprica na jednoj strani. Također, povišenje količine vode, odnosno promjerna trenda, pri kraju filca isključuje mogućnost pada podtlaka vakuumske kutije udaljavanjem od ulaznog ventila i isključuje mogućnost neravnomjerno postavljenog valjka. Iz ovih zaključaka vidljivo je kako je potrebna detaljnija provjera rada tog dijela press sekcije.

Srednja izmjerena vrijednost propusnosti (sa isključenjem 3. mjerenja jer je uziman premalen broj mjerenja u sekundi, iznosi je 452 ml/min) je 467 ml/min (474 ml/min, 459 ml/min). Ona je manja od prvog ponovljenog mjerenja i rezultat je promjene strukture filca uslijed preša i kontaminacije filca. Profil trećeg mjerenja je loš, iz razloga što ne daje realnu sliku stanja i iz tog razlog se odbacuje. Druga dva profila daju relativno stabilne profile, koji rastu na mjestu gdje pada količina vlage, odnosno gdje je filc bolje očišćen.

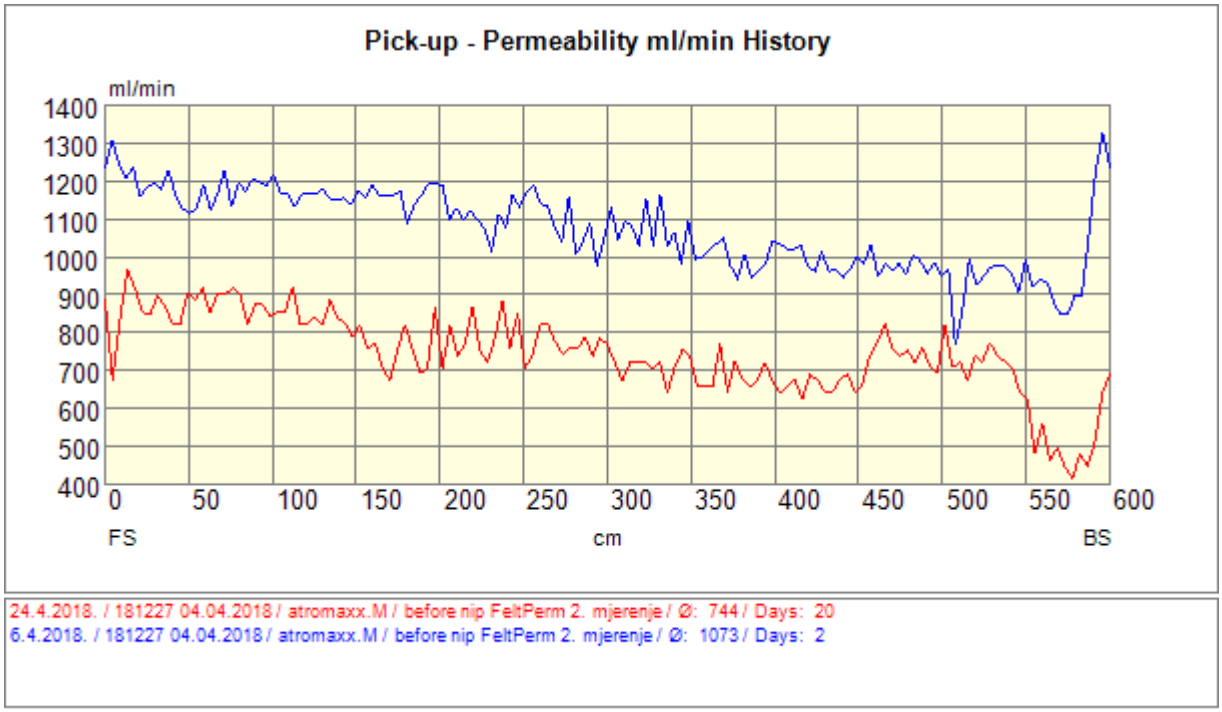
4.5. Usporedbe profila prvog i ponovljenog mjerenja

Nakon mjerenja, rezultati su postavljeni jedan uz drugog, kako bi se jasno vidjela razlika u novom filcu kojemu je struktura otvorena, i filcevima koji su nakon određenog vremena postigli predviđenu strukturu.



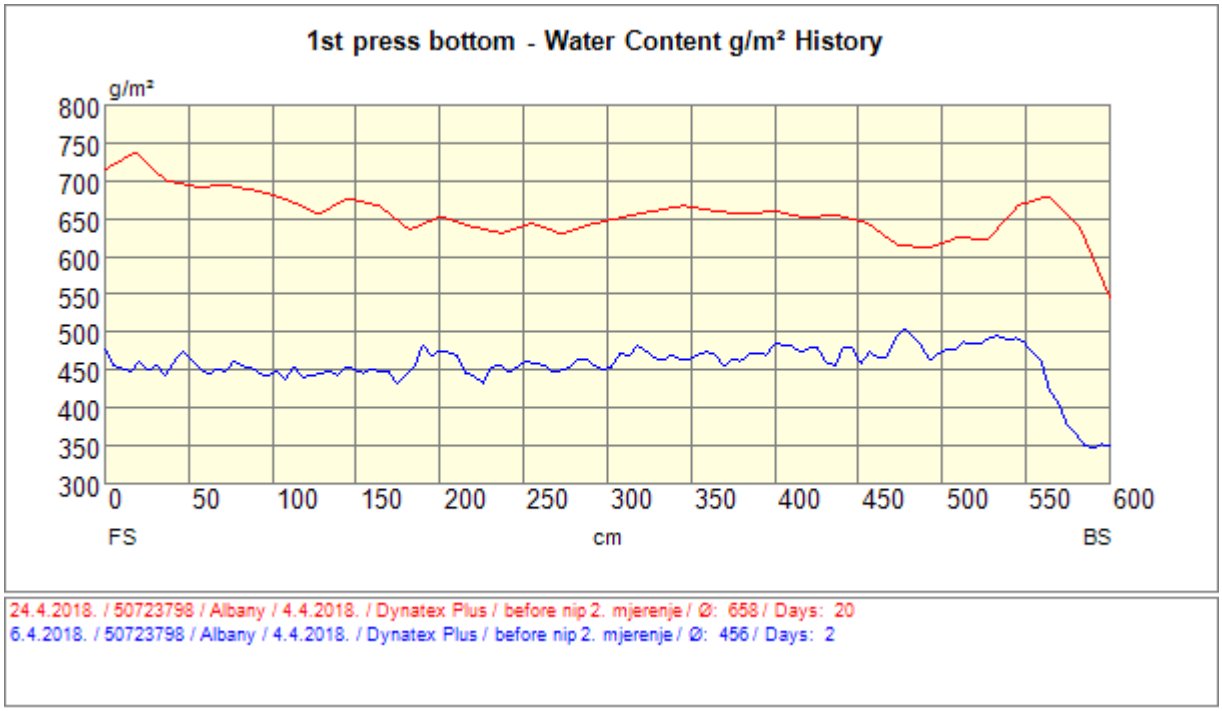
Slika 88. Pick-up CD količina vode nakon 2 dana i nakon 20 dana

Kako je vidljivo na Pick-up filcu, profili su relativno slični, no postotak vode na poslužnoj strani je dosta veći u odnosu na pogonsku stranu. U tom dijelu se zadržava više vode, što znači da je manje prohodan, odnosno kontaminiraniji na toj strani. Porast vlage na pogonskojj strani filca, koji je star 2 dana, i pad vlage na pogonskoj strani na filcu starom 20 dana može biti naznaka slabijeg pritiska valjaka na toj strani. Taj pad vlage znači da ona ostaje u papiru, odnosno da filc nije preuzeo vlagu iz papira. Pritiskom valjaka, novi filc nije pod tolikim utjecajem preša, pa je pogonskoj i poslužnoj strani relativno sličan. Nakon ostvarivanja većeg pritiska na poslužnoj strani, filc upija više vode.



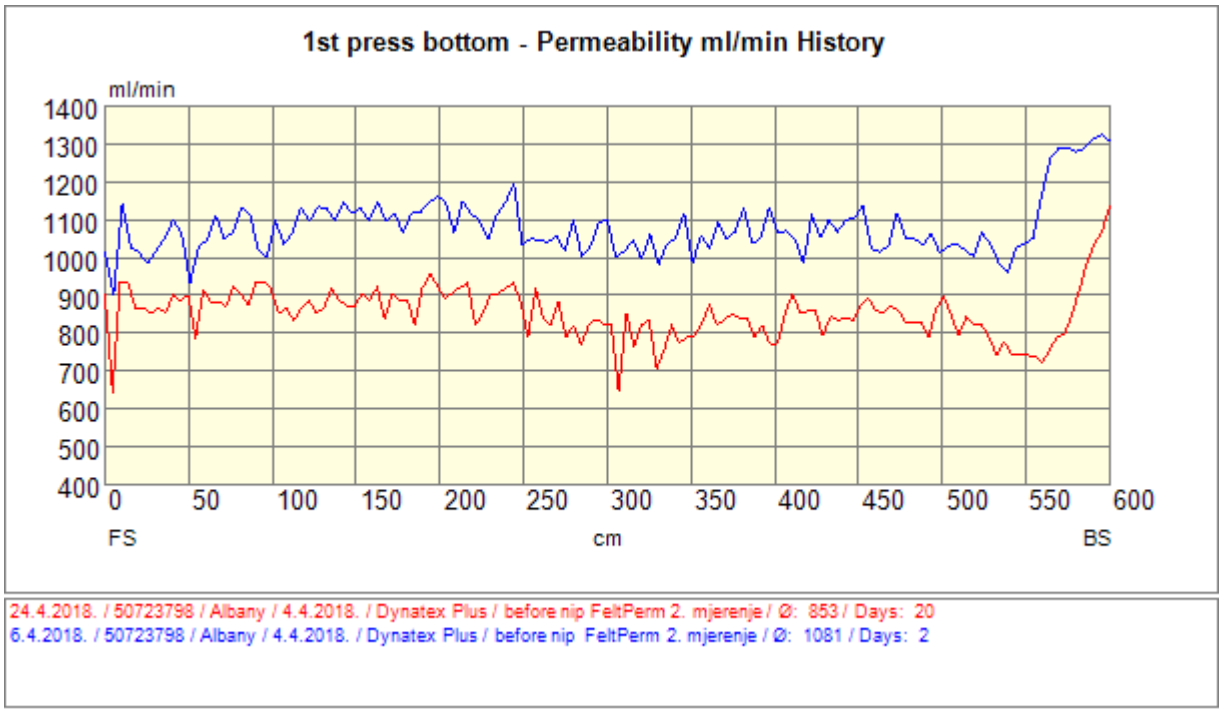
Slika 89. Pick-up, CD propusnost nakon 2 dana i nakon 20 dana

Iz dijagrama propusnosti vidimo kako su profili slični oblikom, no velika je razlika u samoj količini propusnosti. Jasno je vidljiva razlika svojstava filca prolaskom vremena, prolaskom vremena propusnost filca opada.



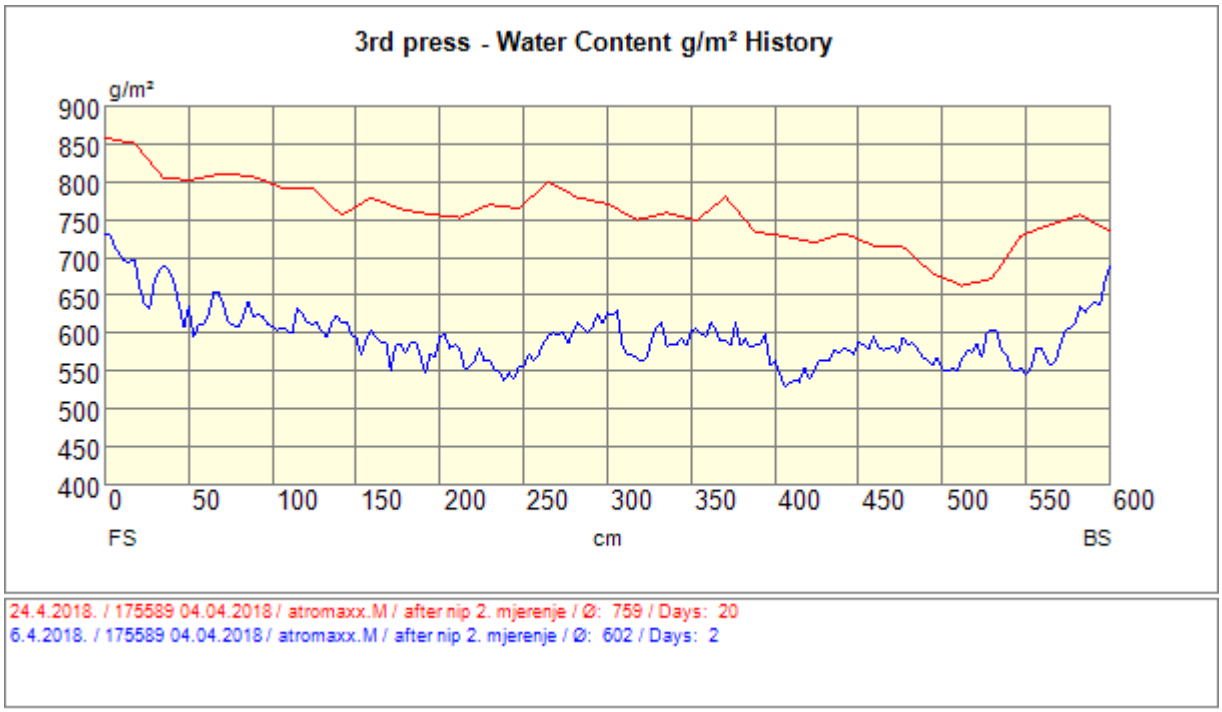
Slika 90. Prvi donji filc, CD količina vode nakon 2 dana i nakon 20 dana

Također, kod Prvog donjeg filca vidljiv je isti trend rasta količine vlage prolaskom vremena.



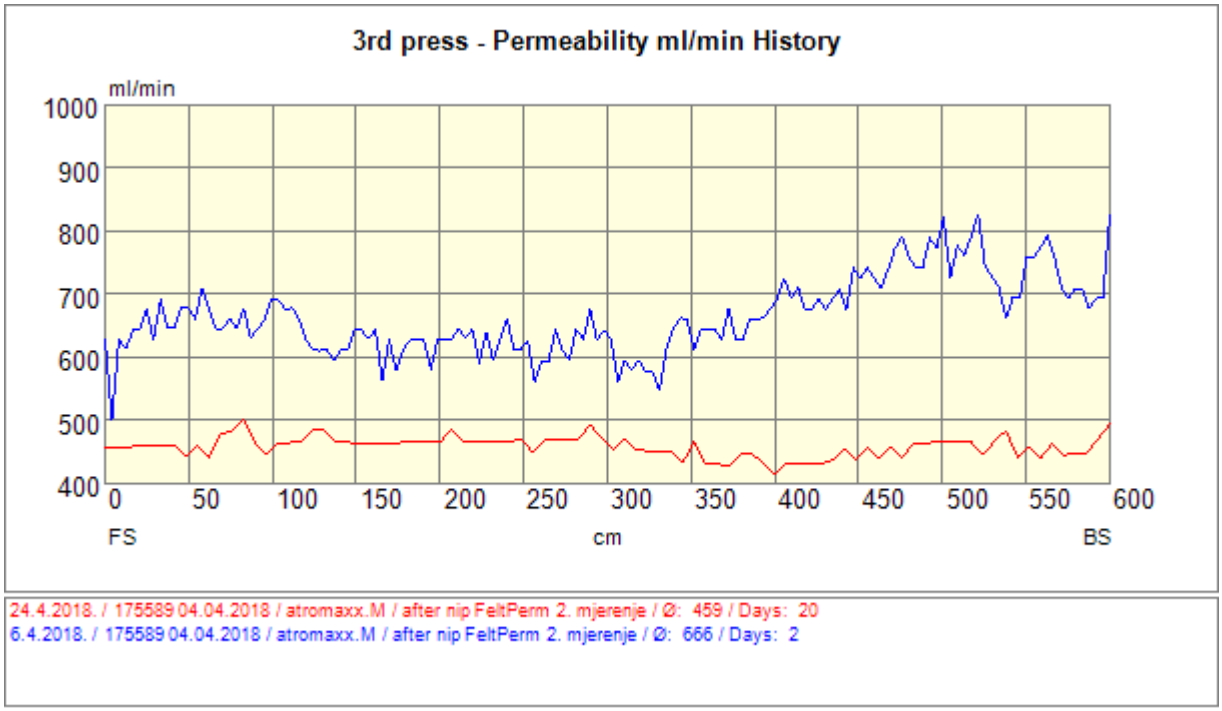
Slika 91. Prvi donji, CD propusnost nakon 2 dana i nakon 20 dana

Profili propusnosti Prvog donjeg filca su zadovoljavajućeg uniformnog oblika, te pad propusnosti u 18 dana iznosi približno jednako kao kod onog na Pick-up filcu.



Slika 92. Treći donji, CD količina vode nakon 2 dana i nakon 20 dana

Osim očekivanog porasta vlage prolaskom vremena, vidljiv je i porast inicijalnih odstupanja filca, koje su se vremenom pojačale.



Slika 93. Treći donji, CD propusnost nakon 2 dana i nakon 20 dana

Kod Trećeg donjeg filca vidljiva je osjetljivost otvorenog filca na sve vanjske utjecaje, dok je nakon 18 dana utjecaj tih faktora manji.

5. ZAKLJUČAK

Kao što je pokazano, mjerenje press sekcije mikovalovima, nerazornom metodom, možemo dobiti uvid u kvalitetu papira još za vrijeme rada stroja. Iako papirna masa ima veliku ulogu u kvaliteti papira, mehaničko i termodinamičko oblikovanje papira ima još i veći utjecaj na samu kvalitetu. Ukoliko se papirna traka uspješno formira na press sekciji, ne bi trebalo biti problema do kraja procesa. Upravo iz tog razloga je press sekcija pod posebnim povećalom.

U press sekciji voda se odvaja mehanički te je bitno imati na umu slijedeće: rad valjaka, kvalitetu filca, rad šprici za čišćenje i vakuumskih pumpi. Iako postoje još utjecaja poput napinjača i kemikalija koje se koriste za čišćenje, njihov utjecaj nije lako vidljiv bez zaustavljanja stroja, koje je, kako je napomenuto u uvodu, izuzetno skup.

Iz svega navedenog vidljivo je da je nerazorno mjerenje mikrovalovima najbolja opcija za brzo utvrđivanje mogućih problema s kvalitetom papira. Također može dovesti do velikih ušteda pravovremenim reagiranjem na znakove komplikacija.

LITERATURA

[1] Husein Duraković, Tehnologija proizvodnje papira, Sarajevo, 2010.

[2] Filip Ćorlukić, Tehnologija papira, Zagreb, Školska knjiga, 1987.

[3] http://www.historyofpaper.net (pristupljeno 17.11.2017.)

[4] https://www.heimbach.com/en/heimbach-group.html (pristupljeno 18.11.2017.)

[5] http://www.swicofil.com (pristupljeno 18.11.2017.)

[6] Reese, R. A., "Pressing Operations" in Pulp and Paper Manufacture, Volume 7: Paper Machine Operations, Eds. B. A. Thorp and M. J. Kocurek, TAPPI Press, 1991.

[7] http://www.paper-machine-papcel.com (pristupljeno 27.02.2018.)

[8] http://www.ibs-ppg.com/ (pristupljeno 29.02.2018.)

[9] http://new.abb.com (pristupljeno 02.03.2018.)

[10] Filip Kljajić, Kemijska prerada drva, Zagreb, Školska knjiga, 2000.

[11] D. Žarković, M. Krgović, LJ. Rajaković, Racijonalizacija potrošnje vode u industriji celuloze i papira, Univerzitet u Beogradu, 2005.

PRILOZI

I. CD-R disc