

Pauli Vilkkö

SOFI FILTRATIONIN SIHTITUOTTEIDEN SOVELTUVUUS JAKEIDEN PUHDISTUKSEEN KARTONKIKONEELLA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Biotuotetekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Pauli Vilkkö
Työn nimi	Sofi Filtrationin sihtituotteiden soveltuvuus jakeiden puhdistukseen kartonkikoneella
Toimeksiantaja	Stora Enso Oyj
Vuosi	2023
Sivut	77 sivua, liitteitä 6 sivua
Työn ohjaaja(t)	Paavo Herttuainen, DI (Stora Enso Oyj) Jarkko Männynsalo, (Xamk)

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suodattaa laitetoimittajan sihtituotteilla kuitupitoisia vesiä ja pigmenttipartikkelipitoisia vesiä mahdollisimman puhtaiseen suodokseen Stora Enson Kartonkikoneilla. Suodatuksen tarkoituksena on veden käytön vähentäminen ja ulkoiseen puhdistukseen päätyvän kiintoainemäärän vähentäminen.

Kokeellinen osuus käsitti kolme jaetta, joita oli laimea sekä sakea kuitupitoinen vesi ja pigmenttipartikkelipitoinen vesi. Kuituvesien testeissä käytettiin 1, 5 ja 10 mikronin metalliverkkosuodatinta, joita testattiin dead-end-menettelmällä. Cross-flow-menettelmällä testattiin myös 10 mikronin elementtiä. Parhaimpaan suodokseen ja kapasiteettiin näiden testien aikana päästiin 10 mikronin elementillä dead-end-menettelmää käyttäen, joka antoi täysin kiintoainevapaan suodoksen sakeilla kuitupitoisilla vesillä ilman sihdin tukkeutumiseen viittaavia merkkejä. Laimeammilla vesillä päästiin myös erinomaiseen suodokseen kuituvesien osalta.

Sihtejä testattiin pigmenttipartikkelipitoisilla vesillä, jonka ulkopuolelle jätettiin 10 ja 5 mikronin sihti suodoksen laadun ollessa täysin riittämätöntä, tuloksiin otettiin 1 ja 0,3 mikronin sihdit. 1 mikronin sihdillä päästiin heikkoon suodokseen, joka ei juurikaan poistanut kiintoainesta syöttövirrasta. Tiheintä 0,3 mikronin sihtiä käyttämällä saatiin suodoksessa oleva kiintoainemäärä laskemaan hieman yli puoleen syötöstä, mikä osoittautui parhaaksi sihdiksi pigmenttipartikkelipitoisilla vesillä.

Tämän tutkimuksen johtopäätöksinä voidaan todeta saatujen tulosten perusteella, että Sofi Filtrationin sihtituote soveltuu kuitupitoisten vesien suodatuksen kartonkikoneella. Suodattamalla kuitupitoiset vedet tehokkaasti voidaan puhdas vesi jatko hyödyntää kiertojärjestelmissä suurta puhtautta vaativissa kohteissa. Parhaimmassa tapauksessa voidaan saavuttaa positiivinen vaikutus tuotantoon sekä veden käytön ja energian kulutuksen vähentymiseen. Vastaavasti pigmenttipartikkeleita sisältäviä vesiä ei suositella puhdistettavaksi suurta puhtautta vaativiin kohteisiin näillä sihdeillä, kuitenkin ulkoisen puhdistuksen kuormitusta on mahdollista pienentää suodattamalla osa kiintoaineksestä pois sihtituotteella.

Asiasanat: erotusmenetelmät, suodatus, jäteveden käsittely, kiintoaines, virtaus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Pauli Vilkkö
Thesis title	Suitability of Sofi Filtration's filter products for cleaning fractions in board machine
Commissioned by	Stora Enso Oyj
Time	April 2023
Pages	77 pages, 6 pages of appendices
Supervisor	Paavo Herttuainen, MSE (Stora Enso Oyj) Jarkko Männynsalö, (Xamk)

ABSTRACT

The goal of this thesis was to filter fiber containing water and water containing pigment particles to the purest possible concentration using the filter products of Sofi Filtration in the Stora Enso's board machines. The purpose of filtration is to reduce the use of water and the amount of solids that end up in external cleaning.

The experimental part consisted of three portions, which were; dilute, thick water containing fiber and water containing pigment particles. In the fiber water tests, 1, 5 and 10 micron metal mesh filters were used, which were tested using the dead-end method. 10 micron elements were also tested using the cross-flow method. The best filtrate and capacity during these tests were achieved with a 10 micron element using the dead-end method, which gave a completely solids-free filtrate in thick fiber-rich waters without signs of strainer clogging. With thinner waters, excellent filtration was also achieved for fiber waters.

The filters were tested with waters containing pigment particles, outside of which the 10 and 5 micron filters were left out as the filtrate quality was completely insufficient, and the 1 and 0.3 micron filters were taken instead. A 1 micron sieve resulted in a weak filtrate that did not remove much of the solid matter from the feed stream. By using the densest 0.3 micron sieve, the amount of solids in the filtrate was reduced to slightly more than half of the feed, which proved to be the best sieve for pigment-particle-rich waters.

As the conclusions of this study, it can be stated, based on the obtained results, that Sofi Filtration's filter product is suitable for filtering water containing fiber within a board machine. By filtering the fiber-rich waters efficiently, the clean water can be further used in circulation systems in areas that require high cleanliness. In the best case, a positive effect on production and a reduction in water use and energy consumption can be achieved. Similarly, water containing pigment particles is not recommended to be cleaned for objects requiring high purity with these filters, however, it is possible to reduce the load of external cleaning by filtering out part of the solid matter with a filter product in question.

Keywords: separation methods, filtering, wastewater treatment, solid matter, flow

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	LÄHTÖKOHDAT.....	8
2.1	Jätevesien vaatimuksia.....	8
2.2	Jätevesien kokonaiskuormitus.....	9
2.3	Jätevesien haittoja.....	11
3	JÄTEVESIEN MÄÄRÄT JA KÄSITTELY YLEISTÄ.....	11
3.1	Jätevesien määrät.....	11
3.1.1	Jätevesien koostumus.....	12
3.1.2	Jätevesien käsittely.....	13
3.2	Kiertovesijärjestelmät.....	14
3.3	Kiertoveden puhdistus.....	17
3.4	Suljettu kierto-vesijärjestelmä.....	17
4	SUODATUS.....	19
4.1	Suodatukseen vaikuttavat tekijät.....	20
4.1.1	Suodattavan väliaineen vaikutus.....	20
4.1.2	Suotoväliaine ja suotoapuaineen käyttö.....	20
4.1.3	Suodattumisen aiheuttavat voimat.....	21
4.1.4	Suodatusnopeus.....	21
4.2	Suodattimet.....	22
4.2.1	Hiekka- ja allassuodatin.....	22
4.2.2	Suotopuristin.....	23
4.2.3	Rumpu- ja kiekkosuotimet.....	24
4.2.4	Lingonta.....	26
5	SIHDIT.....	28
5.1	Toimintaan vaikuttavia tekijöitä.....	30
5.2	Ultraääni.....	31
5.3	Sihtipinnan tapahtumat.....	32

5.4	Sihdin rakenne.....	33
6	KALVOSUODATUS.....	33
6.1	Kalvosuodatuksen haasteet.....	34
6.2	Dead end ja Cross flow suodatus	35
6.3	Erotusmenetelmät.....	36
6.3.1	Mikrosuodatus	36
6.3.2	Ultrasuodatus.....	37
6.3.3	Nanosuodatus.....	37
6.3.4	Käänteisosmoosi	37
7	KOKEELLINEN OSUUS	38
7.1	Sofi filtration SF1000 tekniset tiedot	38
7.2	Koeajolaite SF200	38
7.3	Toimittajan esikoe.....	40
7.4	Ristivirtaputki- ja suodatinelementit	41
7.5	Koevalmistelut ja näytteiden otto	42
7.6	Koeajo säiliöt	43
8	TESTIEN TULOKSET.....	45
8.1	Testi A	45
8.1.1	10µm suodatinelementti.....	46
8.1.2	5 µm normaalisuodatus	47
8.1.3	5 µm normaalisuodatus, korkea kuitupitoisuus	48
8.1.4	10 µm Cross-flow-suodatus	51
8.2	Testi B	52
8.3	Testi B2	54
8.4	Testi C	60
8.4.1	1 µm normaalisuodatus	61
8.4.2	1 µm ristivirtasuodatus.....	62
8.4.3	300 nm normaalisuodatus.....	64
9	PÄÄTELMÄT	65

9.1	Jatkokehitys	68
9.2	Yhteenveto	69
	LÄHTEET.....	72

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Laboratorio raportti 1/6

Liite 2. Laboratorio raportti 2/6

Liite 3. Laboratorio raportti 3/6

Liite 4. Laboratorio raportti 4/6

Liite 5. Laboratorio raportti 5/6

Liite 6. Laboratorio raportti 6/6

1 JOHDANTO

Työ toteutettiin toimeksiantaja yritykselle Imatran Stora Enso Oyj:lle, joka koostuu kahdesta tehdasintegraatiosta, Kaukopäästä ja Tainion- tehtaista. Tehtaat valmistavat sellua, elintarvike- ja pakkauskartonkeja. Näiden tuotantoon käytetään paljon prosessivesiä, sekä prosessissa syntyvien jätevesien määrät ovat korkeahkot suuren tuotannon johdosta, joita puhdistetaan eri menetelmin sakeuttamalla, selkeyttämällä, suodattamalla ja puhdistamalla.

Työn tavoitteena on selvittää veden käytön vähentämismahdollisuuksia, mikä osaltaan vähentää energian tarvetta ja säästää puhdasta vettä. Lisäksi toisena tavoitteena on epäpuhtauksien vähentäminen prosessien jätevesissä ennen ulkoista jäteveden käsittelyä joka osaltaan vähentää jätevedenkäsittelylaitoksen kuormitusta.

Työn kirjallisuusosassa käydään läpi teorian puolella yleisimpiä suodatus- ja suodatinmenetelmiä sekä tutustutaan näiden toimintaan, joita käytetään sellu- ja kartonkiteollisuuden prosesseissa vesien puhdistuksessa. Teoriassa käsitellään myös suodattumiseen vaikuttavia tekijöitä. Teoriapuolella käydään myös läpi erityyppisiä kalvosuodatusmenetelmiä nano, mikrosuodatuksesta käänteisosmoosiin. Teoriatasolla tarkastellaan myös laitetoimittajan laitteiston tekniikka ja sen toimintaa sekä kokeellisen osan yhteydessä koeajolaitteistoa.

Työ toteutettiin Sofi Filtration Oy:n sihtituotteita testaamalla ja käsittelemällä kuitupitoisia kartonkikoneen vesiä useammassa sakeudessa. Tämän lisäksi tässä työssä sihtituotteita testattiin vesiä, jotka sisältävät pigmenttipartikkeleita.

Kokeellinen osa käsittää dead-end -ja cross-flow -suodatuksen. Testiajoissa käytettiin 300nm, 1, 5 ja 10 µm metalliverkkosuodatinelementtejä. Testiajojen tulokset tilattiin kartonkitehtaan laboratoriolta, jolloin ne olivat suoraan käytettävissä. Kiintoainepitoisuus määritettiin suodattamalla ja punnitsemalla suodinpaperille suotautunut näyte laboratorion henkilökunnan toimesta. Valmiit tulokset raportoitiin kokeellisen osan yhteyteen.

2 LÄHTÖKOHDAT

Tehtailla syntyy suuria määriä käytettyjä prosessivesiä, joita puhdistetaan eri menetelmin jatkokäyttöön prosesseissa kiertovesijärjestelmiin, suljettuihin kiertoihin ja osa näistä vesistä palautuu myös takaisin ympäristöön vesistöihin jäteveden puhdistamojen kautta. Veden puhtaus asettaa myös omat laatuvaatimuksensa jatkokäytössä sellu- ja kartonkitehtaiden prosesseissa. Tämän takia raakaveden käyttö on ollut suurta ennen kunnollisia puhdistusmenetelmiä.

Kiintoaine- ja biologinen hapenkulutus biological oxygen demand (BOD)-pitoisuudet ovat 1970-luvulla tyypillisesti olleet korkeita ympäristöön päätyvissä vesissä. BOD kuvastaa hajoavan orgaanisen aineksen osuutta. Tärkeitä seurattavia päästöjä ovat myös typpi ja fosfori sekä AOX, joka kuvastaa adsorboituvien orgaanisten halogeeniyhdisteiden päästöä. Vesien puhdistusta on saatu tehostettua ja vesien kiintoainekuormitus on tullut alaspäin, joka osaltaan on pudottanut myös raakaveden kulutusta. Makeanveden vähentyessä vedestä tulee nykypäivänä arvokkaampaa. Myös sen puhdistusta on kehitettävä ja pyrittävä kohti nollapäästöjä, jotta vesistöjen kuormitukset eivät kasvaisi ja puhdas vesi säilyisi myös tulevaisuudessa. Lainsäädäntö asettaa tiukat kriteerit jätevesien päästöille ja kuormitukselle. On myös sen takia tärkeää pyrkiä mahdollisimman puhtaisiin vesiin.

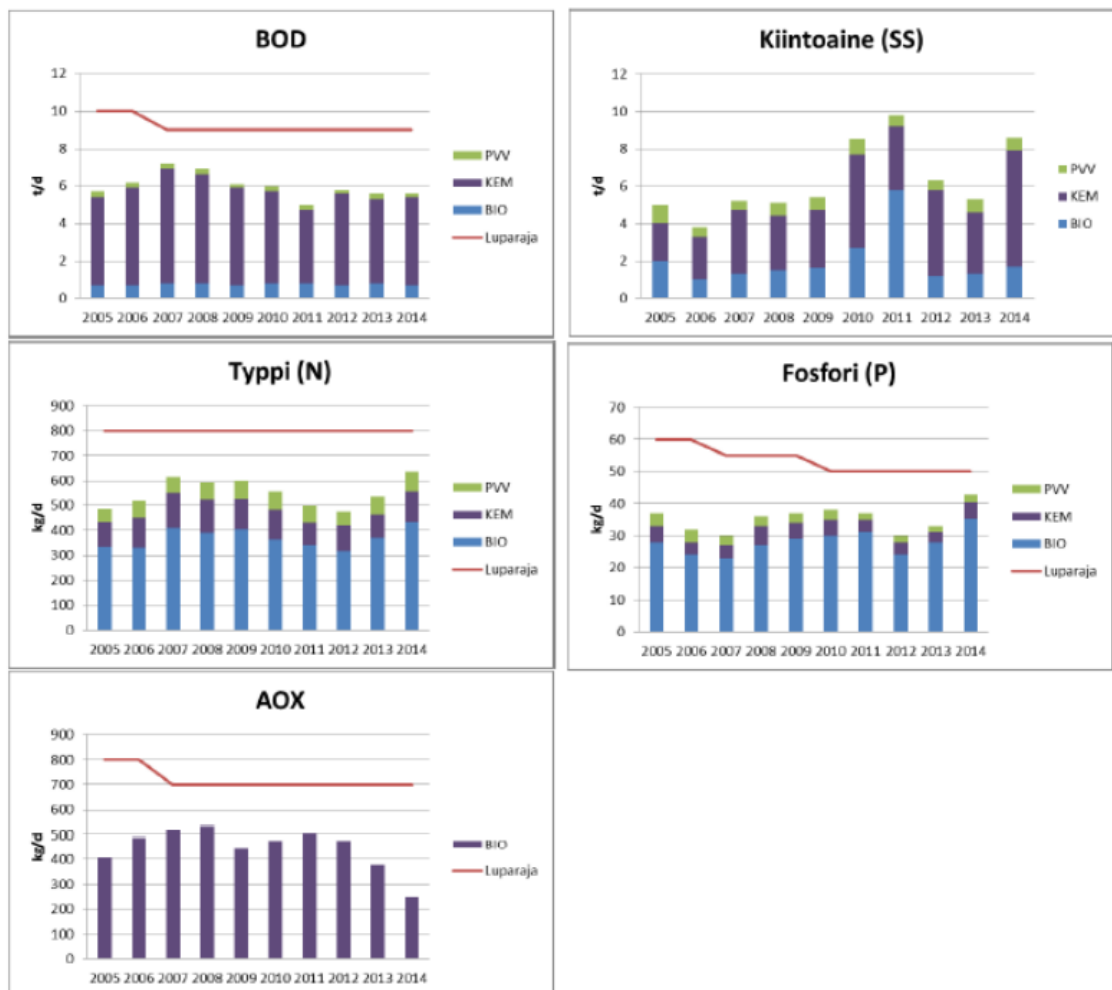
2.1 Jätevesien vaatimuksia

Ympäristönsuojelulaki on asettanut raja-arvot jätevesien päästöille ympäristöön ja vesistöihin. Orgaanisen aineksen mittarina pidetään BOD-koetta, vastaten vesinäytteen hapen kulutusta standardi olosuhteissa. Ravintoaineiden tyypin ja fosforin mittarina ainepitoisuuksina ja kiintoainekset yleisimmin mitataan suodattamalla. Ravintoaineilla ja kiintoaineksella on myös useita muita mittareita ja analyysimenetelmiä käytössä. Jäteveden kokonaiskuormitus (kg/d, t/d) saadaan kertomalla vesinäytteen pitoisuustulos näytettä vastaavalla tilavuusvirtauksella. Ominaiskuormitus (kg/t, g/t) saadaan kokonaiskuormitus jakamalla vastaavan ajan tuotantomäärällä. (Arjas 1983b, 922.)

2.2 Jätevesien kokonaiskuormitus

Imatran jätevesien kokonaiskuormitus tehtaiden osalta, jossa kiintoaine määrät ovat olleet vuonna 2014 noin 8 t/d ilman erinäistä raja-arvoa. Typen osalta noin 620 kg/d, raja-arvon ollessa vuoden 2014 tasossa 800 kg/d. Fosforin päästöt vuonna 2014 olivat noin 42 kg/d, raja-arvon ollessa 50 kg/d. AOX (organisten klooriyhdisteiden) päästöt vuonna 2014 olivat noin 250 kg/d raja-arvon ollessa 700 kg/d. Orgaanisen aineksen BOD osalta päästöt olivat vuonna 2014 noin 6 t/d raja-arvon ollessa 9 t/d. Vesien kokonaismäärät ovat olleet vuonna 2014: 250 000 m³/d tämä sisältää kemiallisesti puhdistetun sekä biologisesti puhdistetun veden määrän ja puhtasvesiviemäriin johdetun veden määrän. (AVI 2017, 35–37.)

Kuvassa-1 esitettynä jätevesien päästö määrät vuosien 2005 ja 2014 ajalta, jossa PVV tarkoittaa puhtasvesiviemäriä, KEM kemiallisesti puhdistettua ja BIO biologisesti puhdistettua vettä.



Kuva 1. Päästöt vesistöihin sekä vuosiluparajat 2005–2014 (AVI 2017).

Imatran tehtaiden jätevesien raja-arvot ovat pysyneet ennallaan vuosien 2005–2022 välisenä aikana ympäristöluvan ESAVI/48478/2022 mukaan. Päästöissä vesistöihin ei näin ollen ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kemialliselle puhdistamolle joutuvan kuidun määrä on ollut vuonna 2020 noin 25 000 t/a, kun taas vuonna 2022 on päästy 18 000 t/a tuntumaan. Kemiallisen puhdistamon virtaus on tuotannosta riippuen vaihdellut välillä 70 000 – 90 000 m³/d vuositasolla ollen keskimäärin noin 925 l/s. (AVI 2023, 46.) Jätevesipäästöjen osalta ollaan noudatettu vuodesta 2019 olevia luparajoja, jotka ovat 2014 vuoden tasolla kokonaisuudessaan AOX: ia lukuun ottamatta, jolla raja-arvo on tiukentunut 600 kg/d tasolle. Kiintoaineen osalta raja-arvo on tullut myös voimaan vuonna 2019, joka on 8 t/d vuositasolla. (AVI 2017, 95.)



Kuva 2. Päästöt vesistöihin ja luparajat 2013–2022 Stora Enson Imatran tehtaiden mukaan (mukaillen Muhonen 2022).

Vuosien 2013 ja 2022 välisenä tarkkailujaksona, joka esitetty kuvassa 2 ei päästöissä vesistöihin ole ollut merkittäviä muutoksia. Vesistöön johdettavan kiintoaineen määrä on laskenut vuonna 2022, 5,8 t/d tasolle. AOX on laskenut alle 200 kg/d, BOD-kuormitus on noin 5,5 t/d, fosforin päästöt noin 40 kg/d ja typen osalta noin 600 kg/d. Kokonaisvirtaama vesistöön on ollut 250 957 m³/d vuonna 2022 joka käsittää puhdasvesiviemärin ja kemiallisesti sekä biologisesti puhdistetut vedet.

2.3 Jätevesien haittoja

Järvivesistöihin palautettavia vesiä, jotka ovat muuttuneet kemiallisilta ja fyysikaalisilta ominaisuuksiltaan, tällöin puhutaan jätevesistä. Pyrkivät nämä muuttamaan vesistöjen tilaa ja ekosysteemiä, jolloin puhutaan haitasta. Haittavaikutukseltaan tärkeimpänä voidaan pitää vesiin liuenneita orgaanisten ja ravinnekemikaalien välillisesti ja välittömästi aikaansaamaa vesistöön liuenneen hapen kulumista, kun vesistön mikrobit hajottavat orgaanista ainesta. Syntyy myös rehevöitymisestä erilaisia vaikutuksia. Rehevöitymiseen vaikuttavat erityisesti typen ja fosforin päästöt. Muita haittavaikutuksia syntyy kiintoaineksen aiheuttamasta vesien samentumisesta sekä kerääntymisestä vesistöjen pohjiin ja muista vesieliöiden biologista toimintaa haittaavista ominaisuuksista. (Arjas 1983b, 922.)

Kiintoaineksen laskeutuessa vesistöjen pohjille syvänteisiin syntyy sedimentin paksuuntumista. Ekosysteemiin ja vesieliöihin vaikuttava pintasedimentin ravinnepitoisuus on yksi tärkeä tekijä arvioitaessa kiintoaineksesta aiheutuvaa kokonaiskuormitusta.

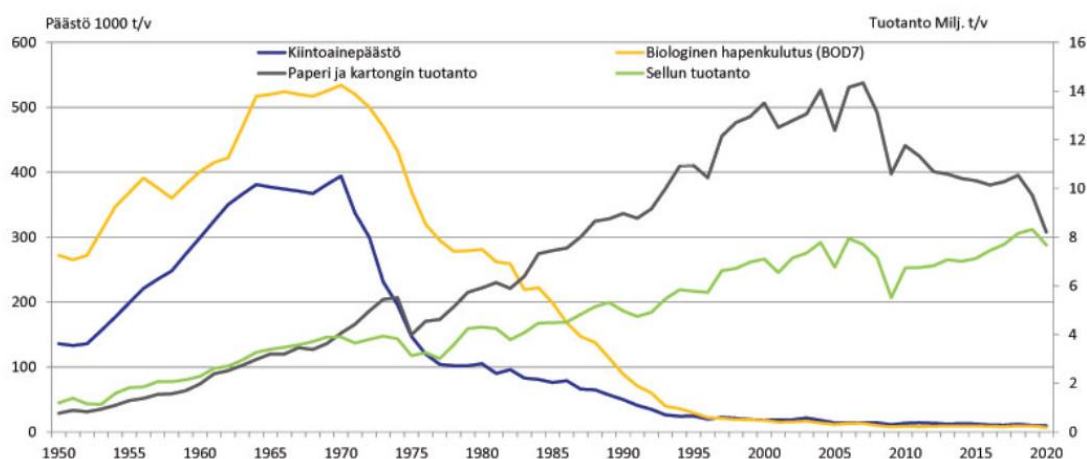
3 JÄTEVESIEN MÄÄRÄT JA KÄSITTELY YLEISTÄ

Raakavettä tarvitaan kartongin ja sellun valmistuksessa korvaamaan kierrosta poistuvia prosessijätevesiä, haihtuvia vesiä ja rejektin mukana poistuvia vesiä. Modernin kartonkitehtaan jätevesimäärät vaihtelevat 5–15 m³/t välillä. Valkaisematonta massaa tuottavan tehtaan prosessijäteveden määrä on noin 5–10 m³/t. Tuotantoprosessissa haihtuva ja rejektin mukana poistuva vesi ei näy jätevesikuormassa, mikä on tyypillisesti noin 2–4 m³/t. (Seppälä ym. 2005, 171.)

3.1 Jätevesien määrät

Jätevesien päästöissä metsäteollisuudessa on tapahtunut suuri lasku 1970-luvun ja 2000-luvun välisenä aikana tuotantomäärien kasvaessa. Lasku on kuitenkin tasoittunut viimeisen 20 vuoden aikana. Klooriyhdisteiden päästöt

sekä happea kuluttava kuormitus ovat laskeneet merkittävästi 2020 luvulle tultaessa. Suurin lasku on saatu aikaan siirryttäessä käyttämään biologisia jätevedenpuhdistamoita sekä happidelignifointi sellun valmistuksessa on pudottanut myös päästöjä. (Prowledge Oy 2023.) Imatran tehtaiden jätevesivirtaama on kemiallisesti puhdistetulla vedellä noin 900–1 000 l/s ja biologisesti puhdistetulla noin 1 000 l/s. Vesien suuri virtaama aiheuttaa haasteen jatkopuhdistukselle tämän vaatiman kapasiteetin vuoksi. Tällä työllä pyritään löytämään osaltaan ratkaisuja puhdistettujen vesien jatkokäsittelyyn ja päästöjen vähentämiseen.



Kuva 3. Paperi- ja kartonkiteollisuuden tuotanto ja jätevesikuormitus (Prowledge Oy 2023)

Kuvassa 3 nähdään biologisen hapenkulutuksen ja kiintoaineen laskeneen merkittävästi 1970-luvun alusta 2000-luvulle mennessä, vaikka tuotantomäärät ovat nousseet. Tämä johtuu osittain jätevedenpuhdistuksen kehityksestä ja kiertovesijärjestelmien kehityksestä.

3.1.1 Jätevesien koostumus

Prosessiteollisuudessa sellun ja kartongin valmistus käyttää runsaasti vettä ja on tavanomaista näiden likaantuminen prosessin aikana, jolloin ne joudutaan puhdistamaan ennen takaisin johtamista vesistöön. Kuitupitoiset jätevedet sisältävät alkoholeja, ligniiniä ja tärkkelystä muuttuneessa muodossa tai alkupe-
räisessä. Jätevedet sisältävät myös huomattavia määriä kemikaaleja, proses-

sin apuaineita kuten täyteaineita ja päällystyspigmenttejä. Mekaanisen massan valmistus aiheuttaa yksinomaan puuperäisiä jätekomponentteja jätevesiin. Kuorimoiden jätevedet sisältävät puunkuorinnassa liuenneita hartsi- ja rasvahappoja, terpeenejä.

Fosfori ja typpi lisäävät vesistöjen rehevöitymistä. Näiden kokonaismäärä metsäteollisuudessa on ollut vuonna 2020 noin 2 000 tonnia. Fosfori on peräisin puuraaka-aineesta sekä fosforihaposta, jota lisätään jätevedeen ennen aktiivilietelaitosta. Tällä pyritään varmistamaan aktiivilaitoksen tehokas toiminta. Typeä liukenee jätevesiin aivan kuin fosforia puusta ja lisäämällä tätä virtaan ennen aktiivilietelaitosta. (Prowledge Oy 2023.)

Hapenkulutusta vesistöissä lisääviä yhdisteitä ovat sokerit ja alkoholit. BOD- ja kemiallisen hapenkulutuksen chemical oxygen demand (COD)-arvoilla kuvataan hapenkulutusta. Sellun valmistuksessa liennut ligniini, joka sisältää alkoholiyhdisteitä ja liennutta hemiselluloosaa, joka sisältää hiilihydraatteja kuluttavat happea hajotessaan vedessä. Jäiden alla talviaikaan voi erityisesti esiintyä näiden aiheuttamaa happikatoa. (Prowledge Oy 2023.)

Kiintoainekuormitus vesistöihin aiheutuu enimmäkseen puukuitujen, kiviaines sekä täyte- ja päällysteaineiden kulkeutumisesta vesistöön. Yhtenä kuituna on massanvalmistuksen ylijäämä 0-kuitu, joka koostuu pitkistä ja lyhyistä kuituista sekä hemiselluloosasta, selluloosasta ja ligniinistä. Muita kuormitusta aiheuttavia tekijöitä ovat orgaaniset halogeenit (AOX), orgaaniset rikkiyhdisteet sekä rasva- ja hartsihapot, jotka ovat myrkyllisiä vesistön eliöstölle sekä aiheuttavat aineenvaihdunnan muutoksia eliöstössä. (Prowledge Oy 2023.)

3.1.2 Jätevesien käsittely

Ulkoiset jätevesienkäsittelyt voidaan jakaa kolmeen luokkaan, joita on primäärikäsittely, sekundäärikäsittely sekä tertiäärikäsittely.

- Primäärikäsittely: johon kuuluu suodatus, selkeytys ja kemialliset menetelmät, näillä pyritään poistamaan kiintoainesta
- Sekundäärikäsittely: johon kuuluu BOD:n ja COD:n poisto biologisin menetelmin

- Tetriäärikäsitteily: jolla pyritään poistamaan bioflokien, värin, jäännös COD:n jäänteitä

Primäärikäsitteily tarkoittaa menetelmää, jossa kiintoaineiden poistoon käytetään suodatin ja selkeytin laitteistoja, näitä löytyy erityyppisiä. Nämä voidaan jakaa erityyppisiin sihteihin, viirakangassuodattimiin sekä hiekka- ja monikerrossuodattimiin. Yleisimmin käytettyjä ovat kiekkosuodattimet, kaarisihdit ja rumpusuodattimet ja selkeytyksessä käytetyin tekniikka on flotaatioselkeytys, joka voidaan yhdistää hiekkasuodatuksen esivaiheeksi. Sekundäärikäsitteily tarkoittaa menetelmää, jossa jätevedestä poistetaan liuenneita orgaanisia yhdisteitä, joista aiheutuu BOD -ja COD-kuormitus. Tämä tapahtuu biologisin menetelmin, joihin kuuluu aerobiset ja anaerobiset prosessit ja näiden yhdistelmät. Primäärikäsitteily on suoritettava kiintoaineen poistamiseksi ennen biologista käsitteilyä, jottei inertti aines akkumuloituisi biolietteeseen. (Seppälä ym. 2005, 172–175.) Tetriäärikäsitteily tarkoittaa jätevesien biologisen puhdistusvaiheen jälkeistä jatkokäsitteilyä. Tällä pyritään poistamaan jätevesien värejä sekä jäännös COD. Tertriäärikäsitteily voidaan toteuttaa kemiallisella saostuksella ja gravitaatio- tai flotaatioselkeytyksellä. Myös aktiivihiiisuodatusta voidaan käyttää, mutta aktiivihiiilen regenerointi aiheuttaa kohtuuttomat kustannukset. (Seppälä ym. 2005, 181–182.)

3.2 Kiertovesijärjestelmät

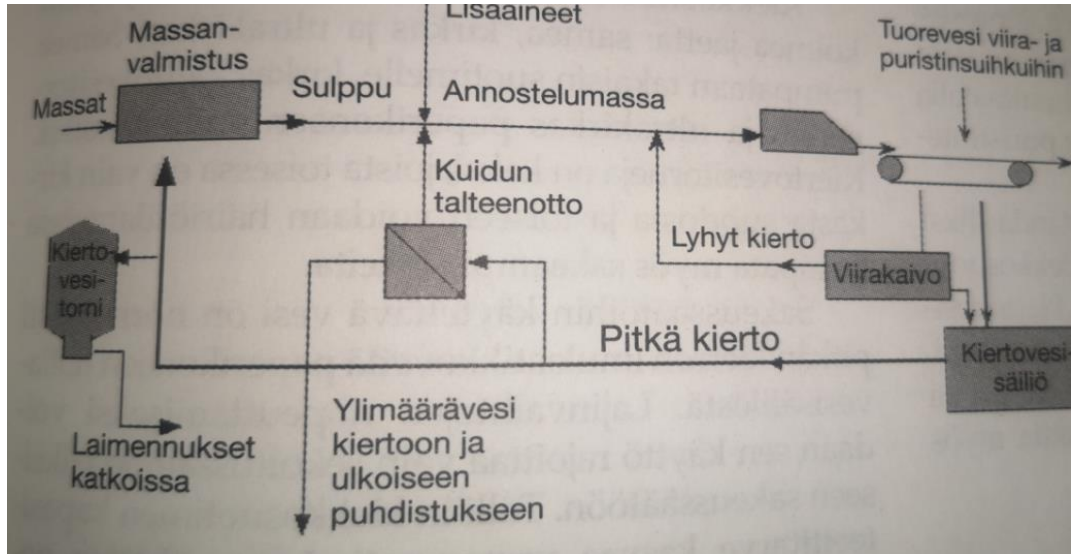
Kiertovesijärjestelmät koostuvat kartonkitehtailla useista kierroista. Kartongin koostuessa useista kerroksista jokaisessa voi olla oma koostumuksensa kuitujen sekä apu- ja täyteaineiden osalta. Tästä syystä kiertovesijärjestelmiä voi olla useampia, näin saadaan varmistettua kerrosten ja apuaineiden pysyminen erillään. Järjestelmässä virtaava kiertovesi on tyypillisesti kuitupitoista, joka on erottunut massasulpusta sellun- ja kartongin valmistusprosessin eri vaiheissa. Kartongin valmistuksessa massaa laimennetaan ja saostetaan useita kertoja optimi sakeuteen tuotteen vaatimusten mukaisesti. Saostusvaiheen vettä voidaan käyttää uudelleen laimennusvaiheessa. Kartonkikoneelle tulee myös ylimääräistä vettä kemikaalien ja massan mukana sekä prosessiin joutuvan raakaveden muodossa. Ylimääräinen vesi johdetaan vähäkuituisena jakeena jätevedenpuhdistusjärjestelmään kuiduntalteenoton jälkeen. Kuitupitoisen veden kierrätystä prosessissa kutsutaan kiertovesijärjestelmäksi. Tällä

tavoin kuidut saadaan käytettyä tehokkaasti ja raakaveden käyttö vähenee prosessissa. (Sepsilva Ltd oy 1997, 155–156.)

Kiertovesijärjestelmä jaetaan pääasiassa:

1. Lyhytkiertoon, jossa kuitupitoinen vesi viiranläpäisyn jälkeen ohjataan viirakaivoon ja siitä konesäiliöön. Konesäiliöstä kuituvesi johdetaan sakean massan laimentamiseen perälaatikkosakeuteen. Tämän lisäksi massa voidaan laimentaa pudistuslaitteiden vaatimaan sakeuteen ennen perälaatikkoa. Pääasialliset tehtävät lyhyellä kierrolla ovat laimennus, ilmanpoisto, veden ja kiintoaineen palautus takaisin rainaan, massan puhdistus sekä tasata perälaatikon häiriöitä. Puhdistaminen voi tapahtua lyhyessä kierrossa painesihdeillä, pyörrepuhdistimilla sekä ilmanpoisto erityisessä säiliössä, jossa ilma erotetaan keskipakopumpulla.
2. Pitkäkiertoon eli varsinaiseen kiertovesijärjestelmään, jossa virtaa viiraosan läpäissyt ylimääräinen kuitupitoinen vesi lyhyestä kierrosta, tämä käsittää myös massankäsittelyssä suodattuneiden vesijakeiden palautuksen prosessien käyttöön ja ylimääräveden poistaminen ulkoiseen puhdistukseen kuidun talteenoton kautta. (Hägglom - Ahnger & Komulainen 2000, 117–120.)

Kiertovesijärjestelmä on ratkaisevassa asemassa päästöjen ja vedenkulutuksen vähentämisessä, jonka periaate nähdään kuvassa 4. Lisäksi määränpääntämisen hallinta ja hyvä lämpötila puoltavat mahdollisimman puhtaita kierto-vesiä. Lajinvaihdon kannalta kierto vedet ovat huono ratkaisu, koska tämä synnyttää lajinvaihtohylkyä ja siten lisää kustannuksia. Lajinvaihto kuluttaa kallista aikaa, koska säätöpiirit ja kone- ja sekoitussäiliöt toimivat viiveellä ja tämä johtaa myös lajinvaihtohylyn syntyyn. Toisaalta parempaan tilanteeseen päästäisiin kierto vesien ollessa tarpeeksi puhtaita. Näin lajinvaihtohylkyä ei pääsisi muodostumaan yhtä suuria määriä.



Kuva 4. Kiertovesijärjestelmän virtauskaavio (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000)

Lajinvaihdon nopeuttamiseksi kiertovesiin voidaan ottaa enemmän vesiä, jotka ovat puhdistettu pelkkää kuidun talteenottoa tehokkaimmilla menetelmillä mm. mikroflotaatio, hiekkasuodatus, nanosuodatus, mikro- ja ultrasuodatus menetelmällä. Myös käänteisosmoosia voidaan käyttää, mutta tämä tulee kysymykseen täysin suljetun kierron järjestelmissä. Toisaalta paperi- ja kartonkikoneilla puhtain vesi tarvitaan nimenomaan viira- ja puristinosan jokaisen huovan pesu- ja puhdistussuihkuihin häiriöttömän käynnin varmistamiseksi sekä kemikaalien valmistukseen kartonkitehtaan prosesseihin. Märkäviirat, joita on useampia, puhdistetaan ajon aikana jatkuvasti oskilloivalla korkeapainesuihkulla. Näin pyritään minimoimaan kartongin ja paperin laatuvahtelut ajon aikana sekä mahdolliset ratakatkot. Tästä syystä suihkut tarvitsevat mahdollisimman puhtaita vesiä. Puhtailla vesillä estetään myös suutinputkien tukkeutumista, pigmenttien ja kiintoaineiden kertymistä putkistojen seinämiin, joka voi olla erittäin suurta kiekkosuotimien häiriön aikana. Prosessissa voi irrota epäpuhtauksia teloista, huovista ja viiroista. Nämä kulkeutuvat kaukalovesiin, siksi näitä vesiä on tarpeen suodattaa jatkuvatoimisesti. Näitä voidaan suodattaa kiekkosuotimilla ja josta erotetaan nykyisin kolme jaetta: ultrakirkas, kirkas- ja sameasuodos. (Hägglom - Ahnger & Komulainen 2000, 117–119; Prowledge Oy 2023.)

3.3 Kiertoveden puhdistus

Kiertoveden puhdistus käsittää kartonkikoneen sisäisen puhdistuksen, joka tapahtuu kartonkikoneen kiertovesijärjestelmässä. Yleisimpiä puhdistustekniikoita ovat mekaaninen puhdistus, jossa yleisimpänä menetelmänä on kiekko-suodin. Myös laskeutusta eli sedimentointia voidaan käyttää sekä vaahdotusta eli flotaatiota. Puhdistustekniikka valitaan kuitenkin käyttökohteen mukaan, sekä puhdistettavan kiertoveden koostumuksen ja vesien puhdistukselle asetettujen vaatimusten mukaisesti. Valintaan vaikuttaa myös tarvittavan ja puhdistetun kiertoveden määrä. Lähtökohtaisesti mekaaninen suodatus sopii kaikentyyppisille kiertovesille. (Sepsilva Ltd oy 1997, 157.)

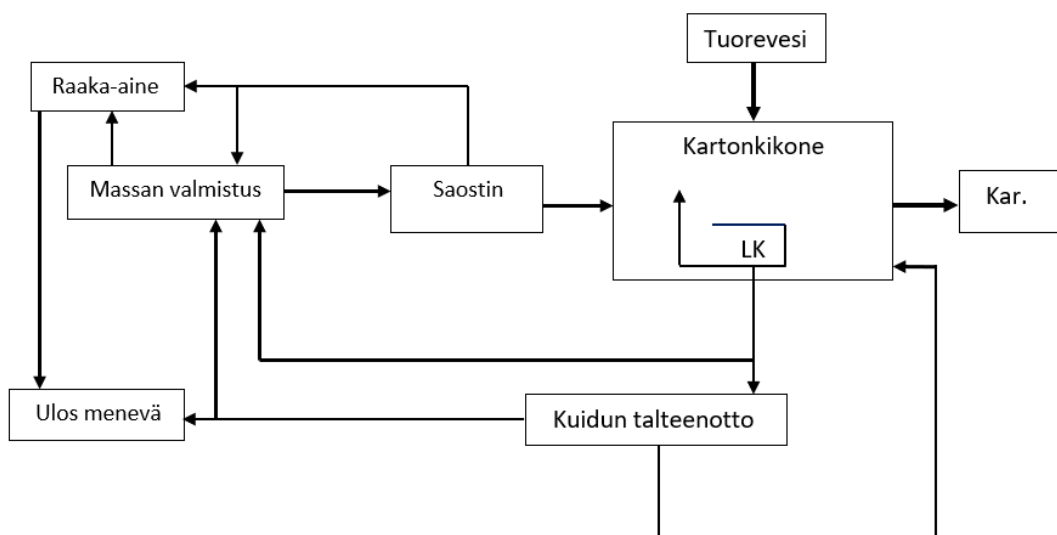
Puhdistuksen tavoitteena on palauttaa kiertovedessä oleva kuitu- ja kiintoaines takaisin prosessiin. Osa kiertovesistä pystytään myös puhdistamaan uudelleen käyttöön soveltuvaksi eri kohteisiin. Mahdollisimman puhtaat kiertovedet mahdollistavat myös siirtymisen suljettuun kiertoon, joka vähentää tuore- ja raakaveden tarvetta prosesseissa merkittävästi. Puhdistuksen myötä paranee ulkoiseen jätevedenkäsittelyyn menevän jäteveden laatu. Johdettavan veden määrä vähenee, jonka myötä päästöt myös vähenevät. Tällä on myös vaikutusta paperi- ja kartonkitehtaiden juokseviin kustannuksiin.

3.4 Suljettu kiertovesijärjestelmä

Prosessijätevesien määrä riippuu yleisimmin lopputuotteesta sekä tuotantolaitteista. Kiertovesijärjestelmän sulkeminen ja sen sisäinen puhdistuslaitteisto voi vähentää jätevesimäärää merkittävästi. Ongelmana kuitenkin on haitallisten aineiden rikastuminen kiertoon sekä talteen otetun kuiva-aineksen jatkokäsittelymahdollisuudet.

Paperi- ja kartonkitehtaissa vedenkulutuksen vähentämismahdollisuudet ovat yleensä sidoksissa lopputuotteen laatuun, koneen ajettavuuteen ja häiriöiden minimoimiseen. Vedenkulutuksen vähentyessä uhkana ovat tukkeumat ja kertymät kiertovesijärjestelmässä. Sekä liuenneiden orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden pitoisuus suurenee, joka voi johtaa mikrobikannan kasvuun ja liman muodostumiseen. Uhkien poistamisen vedenkäytön vähentämisessä ja suljettuihin kiertoihin siirryttäessä ovat mahdollistaneet kiertovesien biologinen ja kemiallinen puhdistus sekä haihdutus ja membraaniprosessit, kuten ultra- ja nanosuodatus. (Seppälä ym. 2005, 171–172.)

Suljettaessa kiertovesijärjestelmää kartongin valmistuksessa positiivisena vaikutuksena raakaveden kulutus laskee, valmistusprosessista tulee ympäristöystävällisempi ja taloudellisempi. Vedenpoisto viira- ja puristinosalla paranee prosessilämpötilan kohoamisen seurauksena sekä bakteerien aktiivisuus laskee tietyillä lämpötila-alueilla. Kiintoaineiden talteenotto paranee ja häviöt laskevat prosessissa ja tämän myötä jäteveden kiintoainepitoisuus ja vesimäärät laskevat. Tähän lopputulokseen pääsemiseksi kiertovedet tulisi tehokkaasti puhdistaa, jotta raaka- ja tuorevedet voidaan korvata suurta puhtautta vaativissa kohteissa, kuten viiraosan suihkuissa. Toisaalta järjestelmän sulkeminen aiheuttaa myös negatiivisia vaikutuksia lämpötilan noustessa. Pihkan tarttuminen puristinhuopiin paranee, mikä voi johtaa ajettavuusongelmiin. Prosessissa voi alkaa ilmetä mm. korroosiota, likaantumista, hajuhaittoja, liman muodostumista ja vaahtoamista. Tästä syystä tuotanto voi vaikeutua ja laskea. Nämä negatiiviset ongelmat kiertovesijärjestelmän sulkemisesta ovat kuitenkin vältettävissä kohtuullisilla investoinneilla, fysiikkaa ja kemiaa noudattaen. (Sepsilva Ltd oy 1997, 158.)

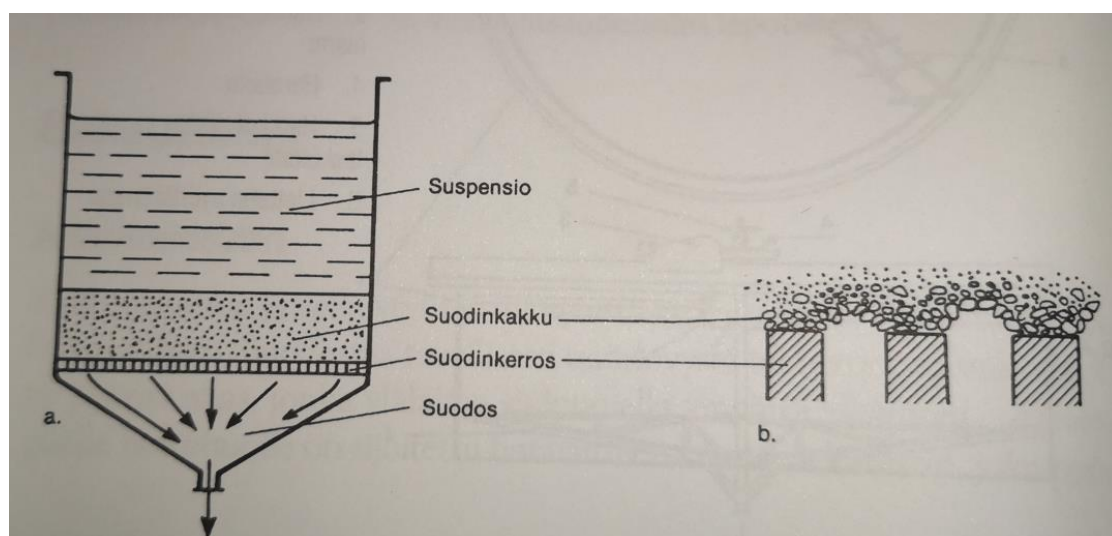


Kuva 5. Paperin- ja kartongin valmistuksen vastavirtaperiaate SEPSILVA: n mukaan. Jossa Lk on lyhytkierto ja Kar vastaa lopputuotetta.

Pitkälle suljetussa järjestelmässä voidaan käyttää niin sanottua kuvassa 5 kuvattua vastavirtaperiaatetta, jossa tuorevettä käytetään vain kartonkikoneella ja likaisinta vettä kuorimolla. (Sepsilva Ltd oy 1997, 158.)

4 SUODATUS

Suodattamiseksi kutsutaan tapahtumaa, jonka avulla erotetaan kaasuihin tai nesteisiin sekoittuneet kiintoainesosaset. Menetelmän tarkoituksena on kiintoaineksen talteenotto, sekä nesteiden tai kaasujen puhdistus. Nesteen sisäl- täessä vain hieman kiintoainesta puhutaan kirkastamisesta, selkeyttämisestä tai puhdistamisesta. Vastaavasti, kun kiinteitä osasia on runsaasti, puhutaan varsinaisesta suodatuksesta. Suodatustapahtumaan vaikuttaa joukko erilaisia tekijöitä: suspension kiintoainepitoisuus, kiintoainepartikkelin koko, suotoväli- aine, suspension lämpötila -ja viskositeetti, suodatuksessa käytettävä yli- tai alipaine sekä mahdollisen syntyvän kakun paksuus ja sen ominaisuudet. Kakku on suodatuksessa apuna käytettävän suodinkerroksen, suotoväliaineen pinnalle syntynyttä kiintoaineksen muodostamaa kakkua eli kiintoainekerrosta. Kiintoainekerroksen synnyttyä myös tämä toimii suotoväliaineena. Kakun pak- suus kasvaa kiintoaineksen kerrostuessa kakun pinnalle. Tämän läpäisevää virtaa kutsutaan suodokseksi. (Pihkala 2018, 56–57.)



Kuva 6. Suodatuksen periaate (Pihkala 2003)

Suodinkakku muodostuu erikokoisista kiintoainepartikkeleista, joiden muoto ja koko ovat usein sattumanvaraisia. Suodatuksen alkuvaiheessa suotoväliai- neen huokosten, reikien läpi pyrkii joukko väliaineen aukkoja pienempiä partik- keleita. Nämä pyrkivät menemään suodokseen, suuremmista partikkeleista muodostuu verkkomainen rakenne huokosten, reikien päälle. Tämän taakse kiintoainek- si sekä pienimmätkin hiukkaset kasaantuvat ja muodostavat suodin-

kakun. Suodinkakku kasvaa paksummaksi mitä enemmän kiintoainesta kerrostuu kakkuun, tästä syystä normaali suodatus vaatii kiintoaineen poistoa suodinkerroksen pinnalta. Kiintoaineen poistoon suodinkerroksen pinnalta on olemassa erilaisia tekniikoita. Tällä pyritään varmistamaan suodoksen riittävä virtaus. (Pihkala 2018, 56–57.) Normaalisuodatuksen periaate kuvassa 6 kuvattuna, jossa suspensiosta muodostuu kakku ja suodos läpäisee suotimen.

4.1 Suodatukseen vaikuttavat tekijät

Suodatukseen vaikuttaa joukko fysikaalisia ja kemiallisia tekijöitä, jotka on otettava huomioon suodatintekniikkaa ja menetelmää valittaessa.

4.1.1 Suodattavan väliaineen vaikutus

Suodattavan väliaineen vaikutus suodatukseen syntyy suotoväliaineen tyyppistä, joka jakautuu ohutkerroksiseen suotoväliaineeseen ja paksukerroksiseen suotoväliaineeseen. Ohutkerroksisia suotoväliaineita ovat ohuet materiaalit, joihin voi toimia suodatinkankaat, viirat, suodatinverkot ja -paperit. Väliaineen läpäisee vain väliaineen aukkoja pienemmät partikkelit ja muodostaa esteen, joka pidättää aukkoja suurempia partikkeleita. Ohutkerroksisia suotoväliaineita käytettäessä on huomioitava suspension ollessa limaista, voi kakku tukkeutua ja itse suodatus pysähtyä. Tällöin valitaan paksukerroksinen suotoväliaine. Paksukerroksinen suotoväliaine omaa suodatettavan suspension partikkeleita suuremmat aukot läpimitaltaan. Partikkelit voivat kulkeutua pitkän matkaa väliaineen muodostamassa verkkorakenteessa, ennen kuin takertuvat verkkorakenteeseen ahtaimpiin aukkoihin. Näin kiintoainepartikkelit levittäytyvät väliainekerrokseen tasaisesti, eikä väliaine pääse tukkeutumaan ja pysäyttämään suodatusta. (Pihkala 2018, 57.)

4.1.2 Suotoväliaine ja suotoapuaineen käyttö

Väliaineena voi toimia hiekka, erilaiset sihtipinnat, huokoiset levyt, kalvot, paperi, kudokset, viirat ja jokin jauhe. Tavallisimpia ovat hiekka, piimaa, lasivilla, lasisintteri- ja lasivillakudokset sekä tekokuitukankaat. Itse suodatuksessa syntyvä kakku voi toimia myös suotoväliaineena. Suotoväliaineen tulisi kestää

prosessissa esiintyviä olosuhdemuutoksia. Näissä tulisi ottaa huomioon kestävyys kemiallisia olosuhteita vastaan, kyky kestää suuriakin lämpötilanvaihteluita ja pidemmän aikaa, raekoon asettamat vaatimukset ja lujuuden oltava riittävällä tasolla. Suodatettaessa nesteitä, joissa esiintyy limamaisia partikkeleita, on limamaisilla partikkeleilla mahdollisuus tunkeutua suotoväliaineen huokosiin ja tukkia ne. Tämän torjumiseksi voidaan suotoväliaineen pinta päällystää jauhemaisella suotoapuaineella esimerkiksi piimaalla tai perliitillä, johon nämä lima-ainekset tarttuvat. Suotoapuaine voidaan myös sekoittaa suodatettavaan suspensioon. Riittävä määrä apuainetta on noin 0,1–0,5 % suodatettavan nesteen kiinteiden osasten määrästä. Suotoapuaineen käyttö usein edistää tavallista umpikujasuodatusta. On huomioitava menetelmää käytettäessä suotoapuaineen ja kiintoaineksen muodostaessa kakun yhdessä, voi apuaineen erottaminen kiintoaineesta tulla ongelmaksi, jos kiintoaines on tarkoitus hyödyntää jatkossa. (Pihkala 2018, 58.)

4.1.3 Suodattumisen aiheuttavat voimat

Neste, joka sisältää kiintoainesta, voi kulkeutua väliaineen eli suodinkerroksen läpi vain jonkin tähän vaikuttavan voiman vaikutuksesta. Vaikuttava voima aikaansaa virtauksen, joka aiheuttaa suotautumisen. Vaikuttavia voimia ovat:

- painovoima
- suspensioon vaikuttava paine
- suspensioon vaikuttava alipaine
- paineen ja alipaineen yhteisvaikutus
- keskipakovoima

Painovoimaa käytetään suurissa hiekkasuodattimissa ja laboratoriomittakaavan suodatuksissa. Useimmat prosessiteollisuuden suodattimet perustuvat paineen tai alipaineen hyödyntämiseen suodatusajan lyhentämiseksi, kapasiteetin kasvattamiseksi ja laitekoon pienentämiseksi. Keskipakovoimaa käytetään enimmäkseen lingoissa kiintoaineen erotukseen. (Pihkala 2018, 58.)

4.1.4 Suodatusnopeus

Suodatusnopeuteen vaikuttaa 4.1.3 luvussa esitetty voima, usein paine- tai alipaine. Mitä suurempi paine-ero saadaan aikaan suodinkerroksen eri puolille, sitä suurempi on myös suodatusnopeus. Nopeuteen vaikuttavat erityisesti suodinkerroksen ja suodinkakun aiheuttama virtausvastus. Mitä suurempi vir-

tausvastus on, sitä pienempi on myös suodatusnopeus. Virtausvastus on riippuvainen suodatettavien kiintoainehiukkasten koosta. Mitä hienompaa kiintoaines on, sitä suurempi on suodatusvastus ja pienempi nopeus. Suodatettavan nesteen viskositeetti on riippuvainen lämpötilasta. Tämän kasvaessa viskositeetti pienenee, jonka seurauksena suodatusnopeus kasvaa. Suodatusnopeus voidaan määrittää suodoksen määränä aikayksikköä kohti, joka läpäisee yhden neliömetrin suuruisen suodinkerroksen. (Pihkala 2003, 45.)

Suodatusnopeus aikayksikössä lasketaan yhtälön 1 mukaan:

$$s = \frac{V}{At} \quad (1)$$

jossa

s =	suodatusnopeus
v =	tilavuus
A =	suodatuspinta-ala
t =	suodatusaika

4.2 Suodattimet

Suodatuksessa käytettävät laitteet voidaan jakaa vaikuttavan voiman ja suodattimen ominaisuuksien mukaan pääsääntöisesti kolmeen luokkaan: painovoima-, paine- ja imusuodattimiin. Painovoimasuodattimet voidaan jakaa hiekkasuodattimiin ja allassuodattimiin. Painesuodattimiin kuuluu suotopuristimet ja imusuodattimiin tyypillisesti rumpu- ja kiekkosuodattimet sekä taso- ja nauhasuodattimet.

4.2.1 Hiekka- ja allassuodatin

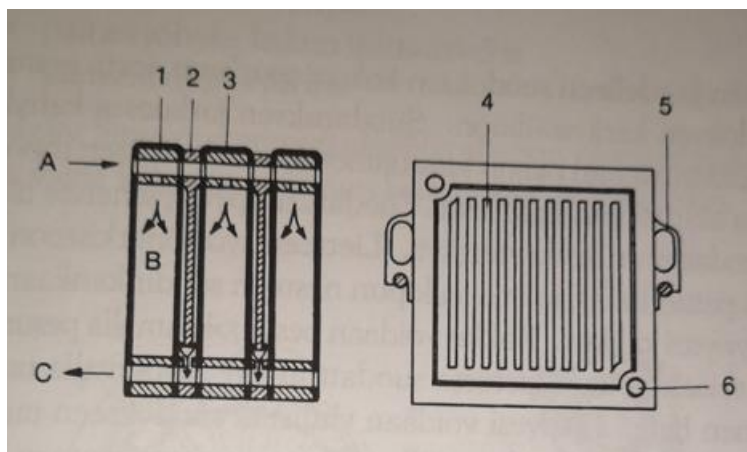
Painovoimaa käyttävä hiekkasuodin voi olla jatkuvatoiminen, jolloin se ei tarvitse erillisiä pesutaukoja. Hiekkasuotimessa tiheällä ritilällä varustettu säiliö on täytetty hiekalla, jonka raekoko kasvaa ylöspäin tultaessa. Suodin puhdistetaan vastavirtahuuhtelulla, kun väliaine täyttyy kiintoaineesta tämä käy ilmi suotautumisen hidastumisena. Pesuri on sisäänrakennettu, tällä veden ja suodatushiekan pesu on jatkuvaa. Hiekkana käytetään normaalia kvartsihiekkää, jonka raekoko on 0,9–1,2 mm. Puhdistettava neste syötetään suodattimen alaosaan syöttöjakajaan. Tästä vesi virtaa hiekan läpi ja poistuu suodattimen

yläpäässä sijaitsevasta suodosyhteestä. Likainen hiekka siirtyy mammutpum-
pun avulla pohjakartiosta yläpään pesuriin. Hiekan puhdistus alkaa jo pum-
pussa voimakkaan sekoituksen irrottaessa likapartikkelit hiekkarakeista. Lop-
pupesä tapahtuu pumpun yläpäässä pesulabyrintissä, johon karkeapuhdis-
tettu hiekka valuu vapaasti. Suodostilasta virtaava pieni vesi määrä labyrinttiin
mennessään vie mukanaan hiekkassa jäljellä olevia epäpuhtauksia ylöspäin
poistuen suodattimen pesuvesipoiston kautta rejektinä. Hiekkasuodatin on pit-
käikäinen ja huoltovapaa ilman liikkuvia osia. Allassuodatinta puolestaan käy-
tetään erottamaan pienempiä nestemääriä suurista kiintoainemääristä. Allas-
suodin on avonainen sisältäen usein välipohjan, joka on päällystetty suodatin-
kankaalla. Suspension annetaan valua painovoiman vaikutusta hyväksikäyt-
tämällä suodinkerroksen läpi kakun jäädessä kankaalle. Imu- ja painelaitteistoa
käyttämällä kapasiteettia voidaan hyvin nostaa. (Pihkala 2018, 60–61.)

4.2.2 Suotopuristin

Painesuodattimiin jaoteltava suotopuristin koostuu kehys-suotopuristimesta,
jossa irrallinen joukko levyjä on asetettu kannatinkiskojen varaan. Levyissä on
pystysuuntainen uritus, levyt ovat tyypillisesti päällystetty suodinkankaalla.
Urat yhdistetään alhaalla kokoojauralla, josta suodos ohjataan pientä reikää
myöten jokaisesta levystä suodoksen kokoojaputkeen. Levyjen välissä on vas-
taavat tyhjät kehykset, jotka muodostavat suodinpatterin yhdessä levyjen
kanssa. Kehykset ja levyt puristetaan yhteen karalla sekä näiden ja kankaiden
kulmissa on reiät, jotka muodostavat putken paketin ollessa koottuna. (Pihkala
2003, 47.)

Suotopuristimen rakenne kuvattuna kuvassa 7, jossa A on suspension sisään-
meno syöttö. C, jossa aksepti läpäisee suodinkankaan ja virtaa kokoojauria
pitkin poistoputkeen. B kuvastaa kiintoainesta, joka jää kehyksien väliin kan-
kaiden rajoittamaan tilaan ja muodostaa kakun.



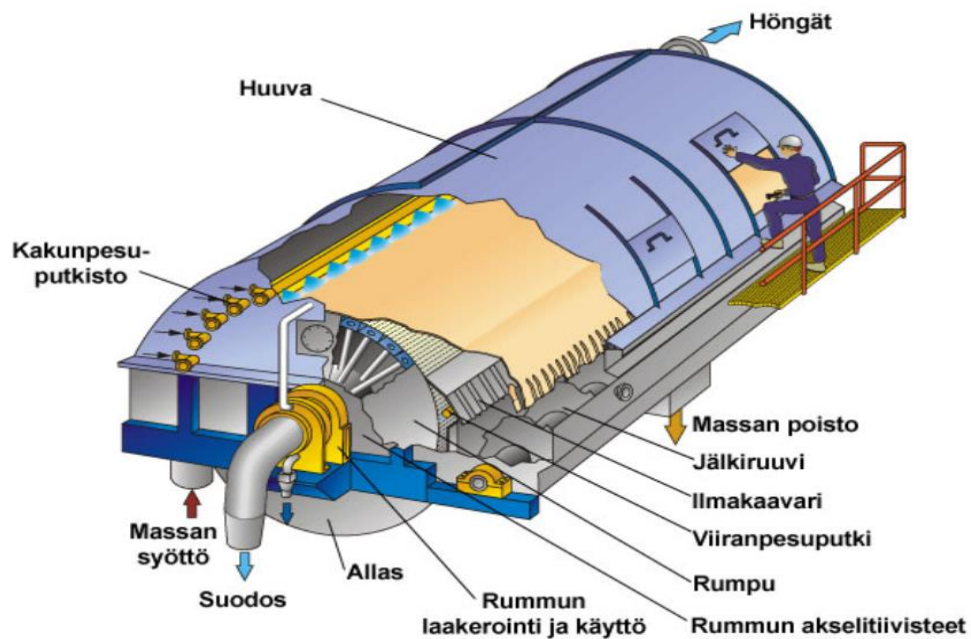
Kuva 7. Kehyssuotopuristimen rakenne (Pihkala 2003)

1. Kehys
2. Levy
3. Suodinkangas
4. Kokoojaurat
5. Kannatinkorvake
6. Reiät, jotka muodostavat putken

Suspensio johdetaan suotimeen yläkulmasta, jossa suspensio kulkeutuu levyjen välissä olevien tyhjien kehyksien sisällä. Paineen aikaansaamana liuos läpäisee levyjen pinnassa olevan suodinkankaan, jolloin suodos joutuu uriin ja siitä edelleen kokoojaputkeen. Suodattamisen jatkuessa kiintoaines alkaa kerääntyä, jolloin kehyksen muodostama tila alkaa täyttyä. Tällöin nopeus pienenee ja suodatus on lopetettava. (Pihkala 2003, 48.)

4.2.3 Rumpu- ja kiekkosuotimet

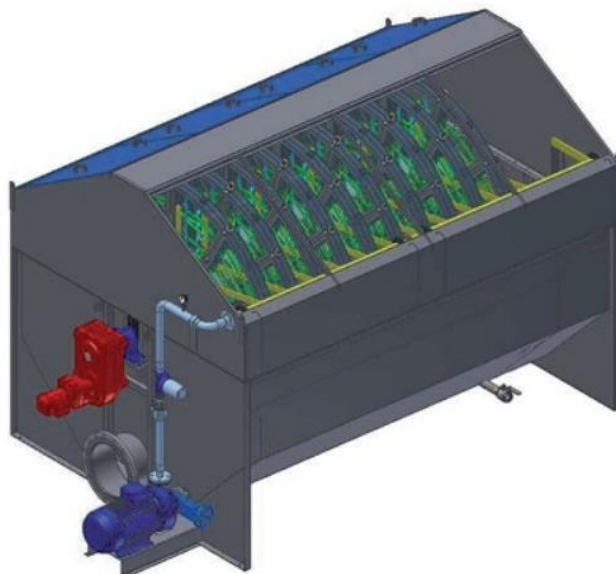
Rumpusuodattimen pääosa on vaakasuoran akselin ympäri hitaasti pyörivä altaaseen osittain upotettu suodinkankaalla päällystetty rumpu, joka on jaettu akselin suuntaisiin ja pituisiin kammioihin. Rumpu koostuu toimintavyöhykkeistä, joita ovat suodatusvyöhyke, kakun pesu- ja kuivausvyöhyke, paine- ja irrottamisyöhyke ja kankaan pesu- ja kuivausvyöhyke. Vyöhykkeitä ohjaa ohjauselin, joka säätelee kulloisenkin toimintavaiheen. Suspensio syötetään altaaseen, josta se imetään kankaalle ja sen läpi, jolloin suodinkakku muodostuu rummulle. Syöttö voi tapahtua myös altaan pohjasta, jolloin laskeutuminen estetään osittain neste- ja virtauksella, joka sekoittaa altaassa olevaa suspensiota. On myös olemassa päältä syötettäviä malleja nopeasti laskeutuville lietteille. Kakku poistetaan rummun pinnalta kaavarilla, telalla, ilmanpuhalluksella tai narulla. On huomioitava, että nämä eivät ole suinkaan ainoat kakun poistomenetelmät. (Pihkala 2018, 63; Männynsalonen 2020.)



Kuva 8. Rumpusuodattimen rakenne (Knowledge 2023)

Rumpusuodin, joka on kuvattuna kuvassa 8. Nämä voidaan jakaa imurumpusuotimiin ja paineellisiin rumpusuotimiin sen mukaan, millä keinoin massa kerätään rummun pinnalle. (Knowledge 2023.)

Kiekkosuotimen ja mikrokiekkosuotimen toiminta on periaatteeltaan samankaltainen kuin rumpusuotimella. Tässä suodattimen muodostaa joukko onttoon, kanaviin jaettuun akseliin kiinnitettyjä suodinlevyjä. Suodinlevyt ovat puoliksi suodatettavassa nesteessä, yksittäiset levyt on jaettu useaan lohkoon, jotka ovat akselin välityksellä yhteydessä vastaavaan säätöön kuin rumpusuotimessa. Levyt on päällystetty suodinkankaalla, näille muodostuu kakku, kuten rumpusuotimessa. Kakun noustessa ylös altaasta ilma ja painevyöhyke yhdessä irrottaa kakun, joka on kerrostunut levyn molemmille puolille. Tämän jälkeen kakku kaavitaan veitsellä pois levyn pinnasta ennen lohkon pyörähtämistä takaisin suodatettavaan nesteeseen. (Knowledge 2023.)



Kuva 9. Mikrokiekkosuodatin (Waterplan 2023)

Kiekkosuodatinta hienompaan suodokseen yltää kuvassa 9, oleva mikrokiekkosuodatin, jonka toimintaperiaate on samankaltainen kuin karkeammin suodattavassa kiekkosuotimessa. Mikrokiekkosuotimella voidaan saavuttaa jopa 2–3 mg/l suodosaste, syötettävän suspension kiintoainepitoisuuden ollessa 50–70 mg/l. Mikrokiekkosuotimia voidaan hyödyntää kiertoveden hienosuodatuksessa prosessiteollisuudessa raakaveden käytön vähentämiseksi sekä myös jäteveden hienosuodatuksessa. Karkeammin suodattavaa kiekkosuodatinta hyödynnetään kuitujen erottamisessa hienoaineksesta sekä kuitujen talteenotossa. Kiekkosuodatinta käytetään myös vesien puhdistuksessa kiintoaineen erotuksessa vesistä sekä jäteveden käsittelyssä. (Waterplanfinland oy 2023.)

Kiekkosuotimista voidaan erottaa kolmea jaetta: sameasuodos, kirkassuodos sekä ultrakirkas suodos. Sameasuodos kierrätetään takaisin suotimelle ja kirkassuodos kiertovesitorneihin sekä ultrakirkassuodos kartonkikoneiden suihkuihin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 118.)

4.2.4 Lingonta

Suodattamiseen voidaan käyttää myös linkoa eli sentrifugia, jossa kiintoaines erotetaan laitteessa syntyvän keskipakovoiman avulla nesteestä. Lingot voidaan jakaa kori-, lautas- ja lietelinkoihin. Pysty- tai vaaka-akselin ympäri suu-

rella nopeudella pyörivä kori, jonka seinämä on reikämäinen tai ehjä, muodostaa erottavan voiman. Tämä aikaansaa kakun muodostumisen suodinväliaineen pinnalle nesteen läpäistessä kakun ja suodinkerroksen. Linkokorissa suodinväliaineena voi toimia sihti tai suotokangas. Suodatuslingossa korin seinämä on seulamainen ja sakeutuslingon kori on ehjäseinäinen. (Pihkala 2003, 52.)

Keskipakovoima yhdessä maan vetovoiman kanssa aikaansaavat partikkelin erottumisen ja sijoittumisen ulkokehälle, tähän vaikuttaa myös lingon kehänopeus, joka saadaan kaavasta 2 piin arvoa käyttämällä

$$V = 2 * \pi * r * n \quad (2)$$

Jossa	V	lingon kehänopeus
	r	lingon rummun säde
	n	lingon kierrosluku

Keskipakovoima, joka kohdistuu partikkeliin kehällä, on myös riippuvainen partikkelin massasta. Tästä voidaan johtaa kaava

$$F = \frac{m * V^2}{r} \quad (3)$$

Jossa	F	Keskipakovoima
	m	partikkelin massa
	V	lingon kehänopeus
	r	rummun säde

Keskipakovoimaksi saadaan sijoittamalla kehänopeuden kaava keskipakovoiman kaavaan

$$F = m * 4 * \pi^2 * n^2 * r \quad (4)$$

Jossa F on keskipakovoima

Partikkeliin vaikuttaa maan vetovoima, joka saadaan kertomalla partikkelin massa maanvetovoiman kiihtyvyydellä g :

Lingon erotuskerrointa sanotaan G -arvoksi, tämä saadaan kaavasta 5:

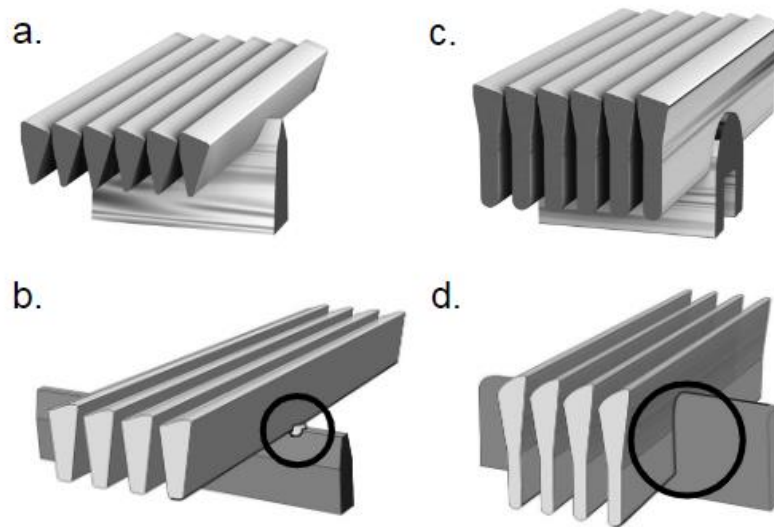
$$G = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot r}{g} \quad (5)$$

Jossa	g on	maan vetovoiman kiihtyvyys	(9,81 m/s)
	G	erotuskerroin	

Suodatuslingon G -arvo kuvastaa kuinka moninkertainen voima kohdistuu partikkeliin lingossa suhteessa maan vetovoimakenttään. (Pihkala 2018, 67–68.) Voidaan ajatella lingonassa, että kiintoainehiukkasen massan kasvaessa myös tähän vaikuttava voima kasvaa ja päinvastoin.

5 SIHDIT

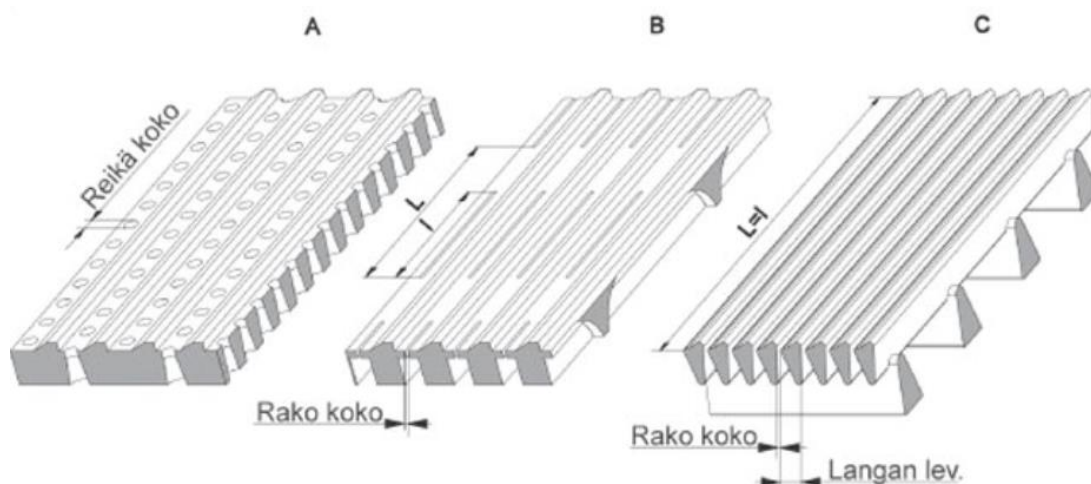
Sihdit voidaan luokitella puhdistuslaitteisiin, joiden reikäkoko voi olla mikrometreistä (μm) aina millimetreihin (mm) asti. Sihti perustuu reiälliseen tai raolliiseen metalliseen sihtilevyyn tai kartiomaiseen sihtielementtiin, joka aikaansaa lajittelun. Sihti voidaan estää tukkeutumasta saattamalla syötettävä suspensio sykkivään tai värähtelevään liikkeeseen mekaanisesti tai ultraääntä hyväksikäyttäen, joka aikaansaa likaa irrottavan kavitaation. Sihti jakaa syötetyn massan hyväksytyyn (aksepti) ja hylättyyn (rejekti) jakeeseen epäpuhtauksien ja kuitujen fysikaalisten erojen perusteella, joita ovat koko, paino, muoto, tiheys. Erotuskykyyn sihdissä vaikuttavat eniten sihdin reikäkoko ja rejektisuhde. Reikälevyissä reiän halkaisija ja rakolevyssä raon leveys ilmaisevat sihdin reikäkoon. Erotuskykyyn vaikuttavat myös näiden lisäksi reikäjako, sihdin avoin pinta-ala, sihdin kuormitus, syöttösakeus ja sihdin rakenne. (Arjas 1983a, 509.) Sihdit voidaan valmistaa ristikkäispunonnalla, jolloin rakenteesta saadaan tiivis. Käytön mukaan myös kiilalankamallisenä, joilla reiän halkaisija voi olla 3 millimetristä 0,25 millimetriin. Näitä käytetään enimmäkseen seulonassa.



Kuva 10. Perinteiset Kiilalankamallit (Lönnerberg 2009)

Kuten kuvassa 10 nähdään, nykyaikainen menetelmä on upottaa kiilalangat tukirakenteeseen ja lukita laserhitsauksella, jolloin etuna on luotettavuus ja lujuus, koska syväälle upottaminen tukirakenteisiin tekee rakenteista vahvempia ja antaa tiukemman toleranssin raon leveydelle. Myös puuttuvat hitsaus purseet eliminoivat kuitujen kertymistä ja tukkeutumista. Kuvassa oikeanpuoleinen c ja d edustavat nykyaikaista menetelmää ja vasemmanpuoleiset a ja b vanhempaa perinteistä menetelmää, jossa hitsaus purseet erottuvat. Karkeaseulonnassa, riippuen käyttökohteesta, reiän halkaisija on tyypillisesti 1,2–3,0 mm avoimen alueen ollessa 10–25 %:ia pinta-alasta. Kuitujen hienoseulonnassa raon leveys on 0,10–0,25 mm ja avoin pinta-ala 4–10 %:ia lankasihdillä. (Lönnerberg 2009, 290–291.)

Seuraavassa kuvassa 11 on esitetty yleisimpiä reikä- ja rakosihtien rakenteita, joita käytetään prosessiteollisuudessa sihtirummuissa oksanerottimissa, painelajittimissa ruskean massan hienolajittelussa ja yhdistelmäajittimissa.



Kuva 11. Sihtien yleisimmät rakenteet (Prowledge Oy 2023).

Sihti A kuvastaa tyypillistä reikäsihtiä, jossa reiän koon ilmoittaa halkaisija. Sihti B on koneellisesti jyrssitty rakosihti, jossa reiän koon ilmoittaa raon pituus ja halkaisija. Sihti C on perinteinen kiilalankasihti. Näiltä kaikilta vaaditaan korkea lujuutta ja ruostumattomuutta, materiaalina onkin käytetty yleisesti ruostumatonta terästä.

5.1 Toimintaan vaikuttavia tekijöitä

Sihdin toimintaan vaikuttava tekijä on lajittelukyky, joka määritellään erottumistodennäköisyytenä. Tämä ilmoitetaan rejektisuhteen funktiona. Sihdin rei'issä voi esiintyä myös painehäviötä, joka aiheuttaa virtausvastusta. Tämä tulee ilmi syöttö- ja akseptipaineen erotuksena. Painehäviö on verrannollinen sihdin virtausmäärään, joka yleisimmin on olosuhteista riippuen 20–100 kPa. Syötösuspension sakeuden ollessa korkea on rejektisuhdetta pienennettäessä otettava huomioon sihdin tukkeutuminen. Tukkeutumisen estämiseksi on laimennusvettä syötettävä rejektitilaan. Yleiskuva sihdin erotuskyvystä saadaan Arjaksen mukaan määrittämällä rejektisuhte kaavasta 6:

$$r = \frac{C_R}{C_S} = \frac{C_S - C_A}{C_R - C_A} * \frac{C_R}{C_A} \quad (6)$$

Jossa	r	rejektisuhte
	C_R	epäpuhtauspitoisuus rejektissä
	C_S	epäpuhtauspitoisuus syöttömassassa

rejektisuhde on rejektin ja syötön massavirtojen suhde. Erottumistodennäköisyys lasketaan kaavalla 6 epäpuhtauksien osalta. Tämä antaa havainnollisen kuvan sihdin toiminnasta. (Arjas 1983a, 511–517.)

Sihdin toimintavarmuuteen vaikuttavat rejektisuhde ja syöttövirtaama, joka ei saisi ylittää sihdin kapasiteettia. Mikäli tämä ylittyy, on vaarana tukkeutuminen. Syöttömassan sakeus vaikuttaa sihdin toimintaan. Alle 0,7 %:in sakeudella ei ole suuria muutoksia sihdin toimintaan, kun taas korkeammat sen sijaan vaikuttavat kapasiteettiin ja toimintaan. Rejektinpoistotapa vaikuttaa sihdin toimintaan. Optimaalisin tapa olisi poistaa rejekti jatkuvana virtaamana, mikä ei aiheuta suuria muutoksia akseptiin. Sihdin valinnassa on otettava huomioon myös syöttömassan koostumus. Suurella partikkelikoolla valitaan isompi reikäkoko ja pienempi vapaa reikäpinta-ala. Valittaessa sihtirakennetta on valittava sihti, joka ei kerää kuituja sekä kiintoainesta sihdin osiin. Reikäkoko sihdissä vaikuttaa myös erottumistapahtumaan. Reiän ollessa pieni erotuskyky paranee, mutta toisaalta kapasiteetti ratkaisevasti pienenee ja suurien partikkelien rejektoitumistodennäköisyys kasvaa. Reiän ollessa riittävän pieni kakku muodostuu sihdin pinnalle ja paine-ero kasvaa, jolloin suodattuminen tai puhdistuminen hidastuvat ja sihti alkaa tukkeutua. Tämä on ehkäistävässä saattamalla suodatettava neste värähtelevään liikkeeseen hyödyntämällä esimerkiksi ultraääntä. (Arjas 1983a, 512–514.)

5.2 Ultraääni

Ääniaalto, joka toimii 18 Kiloherziä (KHz) suuremmilla taajuuksilla, on ihmiskorvan kuulokynnyksen yläpuolella ja tätä sanotaan ultraääneksi. Tämä aikaansaa kavitaation, joka synnyttää pieniä kaasumaisia kuplia nesteessä. Näillä kuplilla on ominaista niiden mikroskooppisen kokonsa ansiosta kyky irrottaa likaa ahtaimmistakin paikoista sekä ne sisältävät alipaineista kaasua tai höyryä. Ympäröivä paine saa aikaan kuplan romahtamisen, joka synnyttää korkeanopeuksisia suihkuvirtauksia ja paineiskuja, sekä lämpötilan, joka voi olla jopa 5 000 celsiusastetta. Näiden syntyvien vaikutusten aikaansaamana epäpuhtaudet irtoavat tehokkaasti puhdistettavalta pinnalta, vaikka kavitaati-

tiokupla onkin lyhytikäinen. Ultraäänen parhaimman toimivuuden kannalta pestilanteessa on nesteen lämpötilan oltava 50–60 astetta, joka aikaansaa tehokkaan likaa irrottavan vaikutuksen yhdessä veden matalan viskositeetin kanssa. (Pulli 2015, 9–14.)

5.3 Sihtipinnan tapahtumat

Suodatettava neste sihdillä on yleensä sattumanvaraista kuitujen koon, kiintoainepartikkelien koon osalta. Suodattimen rakenteella ja toiminnalla pyritään estämään kuitujen ja kiintoaineksen kietoutumista toisiinsa sekä näiden aikaansaamaa kapasiteetin laskua. Luotettavan toiminnan kannalta on erittäin tärkeää sihdin pysyminen puhtaana tai avoimena ja suspension homogeenisena eli tasalaatuisena ennen sihtiä lajittelutilassa. Sihdin on mahdollista pidättää syötettävästä nesteestä reikäkokoa pienempiä partikkeleita. Lajittelu voidaan määritellä seuraavilla tunnetuilla teoria ilmiöillä: huopautuminen, orientoituminen- ja barrierteoria. (Myyryläinen 2014, 14.)

Huopautumisteoriaan perustuen sihti toimii karkeana seulana, jonka päälle kuiduista tai partikkeleista muodostuu hienoseula, joka päästää lävitseen vain veden ja halutun kokoiset kuidut tai partikkelit. On kuitenkin huomattava, että sihtipinta pyritään pitämään puhtaana nesteeseen kohdistetulla värähtelyllä ja paineiskuilla. Sihdin pinnalle syntynyt kuituverkko pyrkii tukkimaan sihtipintaa, mutta tämä toimii myös osaltaan suodatuspintana. Kuituverkon syntyminen sihtipinnalle vaatii suotuisat olosuhteet, kuten partikkelien juuttumisen sihdin rakkoon. Tämä alkaa keräämään kiintoainesta ja synnyttää kuituverkon. Tämän seurauksena sakeus nousee sihdin pinnalla ja virtaus heikkenee. Orientoitumisella on huomattava merkitys etenkin kuitupitoisilla vesillä. Etenkin ristivirtasuodatusta käytettäessä suodatuksessa pysyy suspensio homogeenisena, kun taas normaalissa umpikujasuodatuksessa suspensio pyrkii huopautumaan. Ristivirtasuodatuksessa kuidut ja muut partikkelit pyrkivät suuntautumaan virran mukaisesti. Mitä korkeampi virtausnopeus on, pyrkivät kuidut suuntautumaan pyörivän virtauksen mukaisesti. (Myyryläinen 2014, 14–15.)

Mitä pitempiä kuidut tai partikkelit ovat, sitä enemmän virtauksesta syntyvät voimat orientoivat sitä. Partikkelin ja sihdin kohtauskulma tämän seurauksena pienenee ristivirtasuodatusta käytettäessä, jolloin sihtipinta pysyy avoimena

paremmin. Toisaalta liian suuri virtaama sihdin läpi pyrkii kohdistamaan kuituihin voimia, jotka saavat kuidun ja sihdin välisen kulman kasvamaan lähemmäs kohtisuoraa linjaa. Orientoitumiseen voidaan vaikuttaa rakokoolla ja sihdin geometrialla. Kuitenkin erottumistodennäköisyys määräytyy sihtipinnan mukaisen virtausnopeuden, sihdin läpivirtauksen voimakkuuden ja sihdin paine-eron perusteella. (Myyryläinen 2014, 14–15.) Barrier-teoriassa sihdin reikäkoko määrittelee läpäisevän kiintoainehiukkasen tai kuidun ominaisuudet. Eli sen, ettei reikää suuremmat yksilöt läpäise sihtiä, kun taas pienemmät pyrkivät läpäisemään. (Herttuainen 2010, 18.)

5.4 Sihdin rakenne

Suodattava metallinen sihtiverkko voidaan valmistaa ruostumattomasta teräksestä sekä haponkestävästä teräksestä. Rakenteeltaan metallinen sihtiverkko on tiheä ja valmistus tapahtuu kutomakoneilla, jotka toimivat automaattisesti. Yleisin kudontatapa on palttinasidos, jossa lanka kulkee yhden ali ja yhden yli, kuteessa sekä loimessa. Palttinasidoksella metalliverkon aukko on neliön muotoinen, jossa pituussuuntaiset langat ovat loimilankoja ja poikittaissuuntaiset ovat kudelankoja. Sihdin reikäkoko voidaan ilmoittaa Mesh-lukuna. Tämä tarkoittaa, kuinka monta lankaa yhteen suuntaan kulkee yhdellä tuumalla. Esimerkiksi 20 mesh tarkoittaa 20 lankaa yhdellä tuumalla yhteen suuntaan. Sihdin avoin pinta-ala kuvastaa, mikä osuus reikien yhteispinta-alasta on koko verkon pinta-alasta. Metallisilla sihtiverkoilla kudontatapoja on useampia ja suodatus aste voi alkaa jo 0,2 μm reikäkoosta. (Oy Brynolf Grönmark Ab 2023.)

6 KALVOSUODATUS

MembraanisuoDATUS eli kalvosuoDATUS on menetelmä, jolla pystytään erottamaan erilaiset molekyylit toisistaan. KalvosuoDATuksessa erotusvoima perustuu paine-eroon puoliläpäisevän erikoiskalvon eri puolien välillä. SuoDATuksessa kalvo, joka toimii fysikaalisena esteenä, jakaa suoDATettavan nesteen kahdeksi virraksi permeaatiksi, joka on läpäissyt kalvon ja retentaatiksi, joka ei ole läpäissyt kalvoa ja sisältää huomattavasti epäpuhtauksia. KalvosuoDATUK-

nessa kalvo koostuu huokosista, jotka ovat erittäin pieniä. Näiden koko ilmoitetaan Ångströmin asteikolla. Kalvon rakenteen takia tarvitaan suuri paine-ero, jotta neste saadaan pakotettua kalvon läpi. (Alfa Laval Nordic Oy 2023.)

Kalvosuodatuksessa on käytettävissä suodatuskalvoja. Nämä jakautuvat erotettavan molekyylin koon mukaan, joka on erotettava nesteestä. Kalvot jakautuvat mikrosuodatus-, ultrasuodatus-, nano- ja käänteisosmoosikalvoihin, mikrosuodatuksen ollessa karkein. Kalvosuodatusta käytettäessä vesi on käytännössä ainut elementti, joka läpäisee kalvon vastaavaan sihtisuodatukseen verrattuna.

Membraanisuodatuksessa suodatin koostuu suodattavasta kalvopatruunasta, joka vaatii puhdistusta aika ajoin. Tämä voidaan tehdä prosessissa vastavirtaperiaatteella, mutta järjestelmän ollessa suljettu ei puhdistuksen tasosta ole varmuutta eikä patruunan puhtaudestakaan. Suodatuksen toimivuus kalvomenetelmissä pyritään varmentamaan prosessin aikana puhtaanveden virtaamasta, mutta tämä ei ole kovinkaan luotettava, tähän tullaan luvussa 6.1. Kalvosuodatuksesta tuttua mikrosuodatusmenetelmää voidaan käyttää myös muissa erotusmenetelmissä. Kuten suodattavan väliaineen ollessa sihtimäinen, tulee mikrosuodatus kyseeseen, kun halutaan puhdistaa vesistä suurimpia ja pienempiä kiintoainehiukkasia, aina 0,2 mikrometriin asti.

6.1 Kalvosuodatuksen haasteet

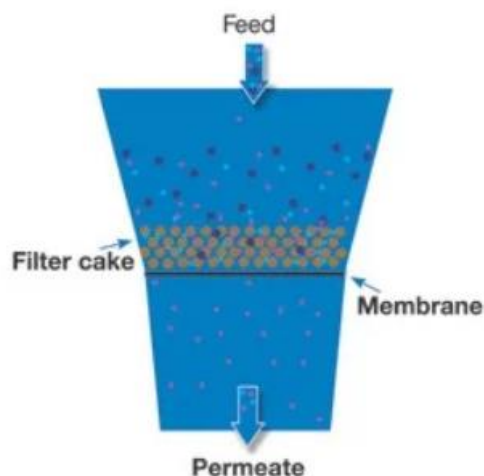
Vaikka kalvosuodatus on vakiintunut selektiivisenä ja energiatehokkaana erotusprosessina, tiedetään kuitenkin likaantumisen olevan suurin haaste membraaniprosessien käyttöönotolle kartonki- ja selluteollisuudessa. Ajan myötä kalvon kapasiteetti pienenee likaantumisen vaikutuksesta, vaikka kalvojen puhdistus voidaan suorittaa kemiallisesti. Puhdistuksen jälkeistä puhdasta vesivirtaa käytetään arvioimaan, onko puhdistus onnistunut. Tämä ei ole kuitenkaan luotettava tapa, koska puhtaan vesivirran talteenotto ei takaa, että likaantumiset kalvosta ovat poistuneet ja kapasiteetti palautunut. Luotettavan puhdistuksen varmistamiseksi on kalvon pinta ja sisus tutkittava, että siellä olevat kerrostumat on saatu poistettua. Vaikean tästä tekee kartonki- ja selluteollisuudessa kalvosuodatuksissa esiintyvät kerrostumat, jotka koostuvat monimutkaisista ainesosista. Tämä edellyttää useita eri analyysimenetelmien

käyttöä näiden havaitsemiseksi. Tyypillisimmin on käytetty kuitenkin pyyhkäisyelektronimikroskopia (SEM) ja heikennettyä kokonaisheijastus-Fourier-muunnosinfrapunaspektroskopia (ATR-FTIR). (Rudolph ym. 2021.)

6.2 Dead-end ja Cross-flow-suodatus

Dead end, toisin sanoen normaaliumpikujasuodatus on tapahtuma, kun virtaus kohdistuu kohtisuorasti suodinväliaineen sihdin tai kalvon pintaan nähdessä. Reikä tai huokoskoko pienemmät hiukkaset ja partikkelit kulkevat läpi suodoksena eli permeaattina tai akseptina ja suuremmat hiukkaset pyrkivät kerääntymään kakuksi suodattimen pinnalle ja tukkimaan tätä. (Synderfiltration 2023.)

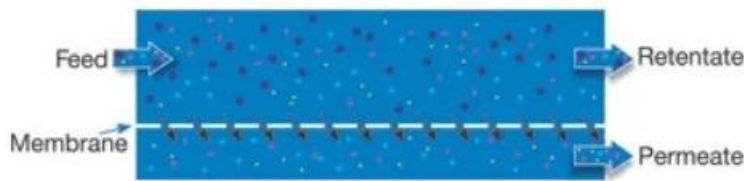
Niin kuin kuvassa 12 nähdään, toimii suodinväliaineena kalvo. Tämän läpäisevää nestettä kutsutaan permeaatiksi. Tämä sisältää vain hieman pienimolekyylistä ainesta. Suodinväliaineena voi kalvon lisäksi toimia myös sihti, jolloin suodosta kutsutaan akseptiksi. Kakku pyrkii kerääntymään kalvon tai sihdin pinnalle, joka näkyy suodinpinnan paksuuntumisena. Tämä alkaa hidastamaan suodattumista, jolloin paine-ero kasvaa ja virtaama eli suodattimen kapasiteetti pienenee tai jopa tukkeutuu.



Kuva 12. Umpikujasuodatuksen toimintaperiaate (Alfa Laval Nordic Oy 2023)

Cross-flow-suodatus eli ristivirtasuodatus on tapahtuma, jossa syöttövirtaus levittyy tangentialisesti yhdensuuntaisesti suodin pinnan yli. Tämän periaate

on kuvattuna kuvassa 13. Syötön virratessa suodinpinnan yli suodos kulkee tämän läpi, kun vastaavasti taas retentaatti jää suodinpinnan vastakkaiselle puolelle ja poistetaan rejektinä eli konsentraattina. Virtaus voi nousta erittäin suureksi. Tällä tavoin pyritään estämään suodinpinnan pinnalle syntyvän kakun muodostuminen. Tangentiaalinen virtaus luo leikkauspinnan suotimen pinnalle, mikä vähentää osaltaan tukkeutumista. Kovan virtauksen vuoksi kiintoaineksesta pieni määrä voi päätyä myös uudelleen kiertoon (Mäkelä 2006, 9; Synderfiltration 2023.)



Kuva 13. Ristivirtasuodatuksen periaate (Alfa Laval Nordic Oy 2023)

Ristivirtasuodatuksen edut normaaliin suodatukseen nähden ovat suuret. Tässä tulee kyseeseen etenkin suurempi kapasiteetti, puhtaampi suodos ja huoltovapaampi suodatin, mikä on ristivirtasuodatuksen ansiota. Ristivirtasuodatuksessa kiintoaines ei laskeudu myöskään yhtä nopeasti kuin umpikuja suodatuksessa, virran ansiosta. Täten se estää kakun muodostumista suodatimen pinnalle. Ristivirtasuodatuksessa suodatin pinnan pysymistä puhtaampana voidaan tehostaa käytön aikaisella ultraäänellä, joka aikaansaa puhdistavan ilmiön. Tätä voidaan myös hyödyntää normaalisuodatuksessa. (Synderfiltration 2023.)

6.3 Erotusmenetelmät

6.3.1 Mikro-suodatus

Mikro-suodatus MF on matalapaineinen fyysinen erotusprosessi, jossa käytetään kalvoja, joiden rakenne on huokoinen. MF suodattimia voidaan valmistaa epäorgaanisesta materiaalista, kuten ruostumattomasta teräksestä, keräamista sekä orgaanisista polymeeripohjaisista kalvoista. Mikro-suodin, jonka huokos- tai reikäkoko on 0,1–10 µm, pystyy poistamaan suuria hiukkasia pää-

asiassa suspendoituneet kiintoaineet, rasvat ja mikrobit prosessinesteistä samalla päästämällä pienmolekyylisiä molekyyliä, suoloja, proteiineja ja sokeita lävitseen. Mikro-suodatusta voidaan käyttää osana muita menetelmiä, kuten esipuhdistuksessa ennen ultra- nano- ja käänteisosmoosia. (Synderfiltration 2023.)

6.3.2 Ultrasuodatus

Ultrasuodatus UF on samankaltainen prosessi kuin mikro-suodatus, mutta tiukemmalla huokoskoollla, joka voi vaihdella 0,01–0,1 µm välillä. Ultrasuodatuskalvot toimivat 3,4–8,3 bar välillä ja ovat riippuvaisia paineesta erotusprosessin ohjaamiseksi. UF-kalvoilla voidaan erottaa suurempia hiukkasia, kolloideja, rasvoja, bakteereja sekä proteiineja. (Synderfiltration 2023.)

6.3.3 Nanosuodatus

Nanosuodatus NF on erotusprosessi, jonka huokoskoko on 0,1–10 nm välillä. Nanosuodatuskalvo antaa veden sekä pienten ionien mennä läpi, mutta sulkee suuremmat ionit ja orgaaniset yhdisteet pois virrasta. Nanosuodatuksessa toiminta paine on korkeampi kuin ultrasuodatuksessa, mutta käänteisosmoosia matalampi, alueen ollessa 4–10 bar. Nanosuodatusta voidaan hyvin hyödyntää väriaineiden poistossa.

6.3.4 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi RO erotusmenetelmässä on tiukempi kalvo kuin nanokalvossa veden ollessa käytännössä ainut kalvon läpäisevä aine. Menetelmä perustuu veden pakottamiseen kalvon läpi väkevämmälle puolelle. Tämä aikaansaa paineen ja tätä kutsutaan osmoosiksi. Prosessissa paine, joka on tuotu ulkopuolelta, kohdistetaan väkevemmän liuoksen puolelle. Näin osmoottinen paine pyritään ylittämään. Erotustapahtuma pysähtyy osmoottisen paineen ja nestepintojen hydrostaattisen paineen ollessa samat. Prosessi pakotetaan näin toimimaan käänteisesti ja sitä kutsutaan käänteisosmoosiksi. (Mäkelä 2006, 11.)

7 KOKEELLINEN OSUUS

7.1 Sofi filtration SF1000 tekniset tiedot

SF1 000 on teollisen mittakaavan pienempi yksikkö, mikä sopii vaativiin prosessiteollisuuden olosuhteisiin vesienpuhdistuksessa. Teknologian tärkeimmät edut ja ominaisuudet ovat kiintoainehiukkasten poisto aina 0,3 µm asti. Integroitu ultraäänitekniikka yhdessä ilman takaisinpuhdistuksen kanssa estävät suodatinelementin tukkeutumisen ja likaantumisen pitämällä suotoväliaineen puhtaana. Automatisoitu puhdistustoiminto ja kierrätysnopeus vaihtelevan syöttöveden käsittelyä varten mahdollistavat tasaisen toiminnan, sekä varustettu IoT-toiminnalla hallintaa ja etävalvontaa varten.

- Kapasiteetti on 5–35 m³/h
- Erottelukyky 0.2–20 µm
- Metodina on patentoitu korkea ristivirta suodatus
- Itsepuhdistuva laitteisto ilman takaisinpuhdistusta ja integroidulla ultraäänellä
- Syöttövirran paine 0.5–1.5 bar
- Korkein mahdollinen käyttölämpötila +85 astetta
- pH alue 2–11
- Laitteiston paino 200 kg

Laitteistolla on myös alhaiset käyttökustannukset kestävästä suodinmateriaalin ansiosta, joka ei tarvitse vaihtoa käytössä. Suodinmateriaali on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja kestää erittäin hyvin kulutusta. Kapasiteettia on mahdollista kasvattaa kytkemällä laitteita useampia rinnakkain. (Sofi Filtration 2023.)

7.2 Koeajolaite SF200

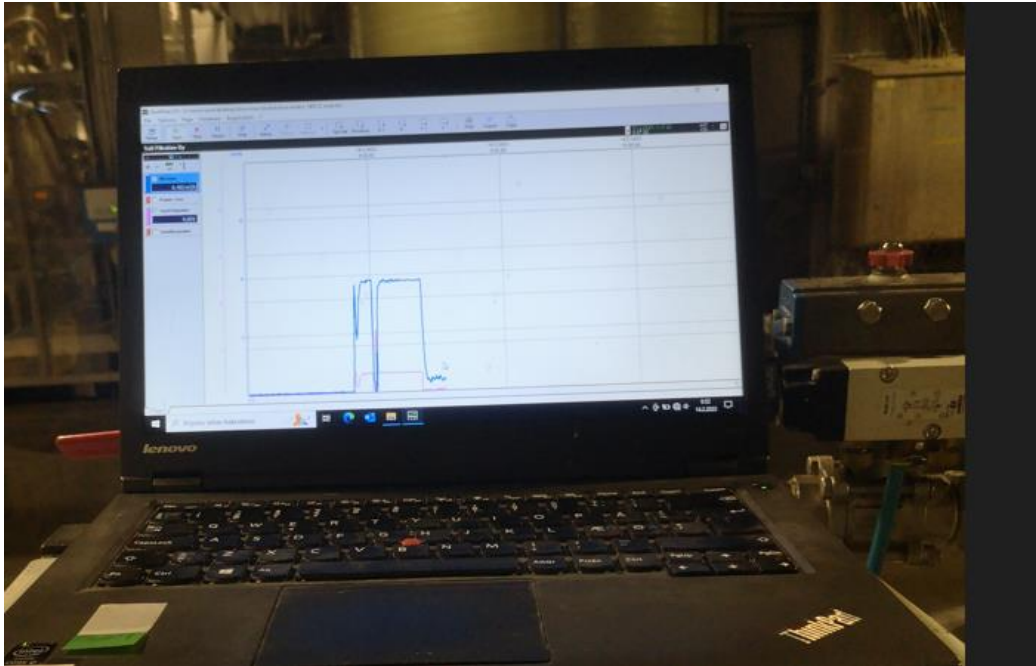
Koeajolaitteisto koostui itse Sofi Filtration SF200-suodatinyksiköstä, syöttöpumpusta, kiinteästä syöttötankista, virtausmittarista, jossa myös on lämpötilanosoitin. Painemittarista, ohjauskaapista, jonka kyljessä kontrollipaneeli ja erillisistä IBC konteista, näitä käytettiin suspension syötössä ja akseptin sekä rejektin talteenotossa. Paineilman tuotossa käytettiin erillistä kompressoria, joka tuottaa yli 6 bar paineen. Suodattimen puhdistukseen käytetään komp-

ressorin tuottamaa painetta, jolla ilman takaisinpulsssi puhdistaa suodatinta yhdessä ultraäänen kanssa. On huomioitava, että virtaus pysähtyy normaali-suodatuksella puhdistusjakson ajaksi, joka vaikuttaa kokonaiskapasiteettiin.



Kuva 14. SF200 suodatinyksikkö ja ohjauskaappi

Ohjauskaappi sisältää mustan ultraäänen ohjausyksikön, jolla tuotetaan 25kHz ultraäänipesu. Kuvan 14 oikeassa alareunassa nähdään sininen ohjauslaite, joka on syöttöpumpun taajuusmuuttaja. Labjack vastaa tiedonkeruusta ja koko pilot-laitteiston järjestelmän ohjauksesta vastaa Siemensin lojikka. Ohjauskaapista saadaan tieto ajettua tietokoneelle tiedonsiirtokaapelia pitkin.



Kuva 15. PC ja käyttösovellus

Tietokone ja ajonaikainen data ovat kuvassa 15 esitettynä. PC:n ohjelma kerää ajodatan ja käsittelee tämän luettavaan muotoon. Ohjelma ilmoittaa reaaliaikaiset syöttöpainetiedot sekä virtaaman nopeuden.

7.3 Toimittajan esikoe

Laitetoimittaja Sofi Filtration Oy suoritti esikokeen omassa laboratoriossaan kuitupitoisillavesillä, jonka tarkoituksena oli selvittää laitteiston soveltuvuus suodatusmenetelmään Imatran Stora Ensolla. Suodatusmenetelmänä oli normaalisuodatus ja ristivirtasuodatus. Kokeissa Sofi käytti 10 µm metalliverkkosuodatinelementtiä sekä 5 µm elementtiä. Kokeissa käytettiin SF200-yksikköä, jossa suodos ja konsentraatti syötettiin takaisin säiliöön, eli testi tapahtui suljetussa kiertojärjestelmässä. Suodatinelementin oikea valinta on tärkeässä asemassa kiintoaineen erottamisessa. Toimitetun kiintoainenäytteen kokonaispitoisuus oli 1,6–1,7 %:ia, josta ensisijainen näyte laimennettiin 0,01 %:in syöttöpitoisuuden syötön lämpötilan ollessa 50–60 astetta. Näytteet analysoitiin Sofin toimesta standardin SFS-EN 872:2005 mukaan. (Sofifiltration 2023.)

Ensimmäinen ajo suoritettiin 5 µm normaalisuodatuselementillä ja 50 asteen lämpötilassa. Syöttövirran kiintoainepitoisuus oli 120 mg/l. Tästä päästiin alle 2 mg/l suodokseen, joka on erinomainen tulos. Tässä testissä rejektin pitoi-

suus oli 420 mg/l, joka osoittaa erottumisen olevan tehokasta. Testissä suodoksen virtausnopeus laskee 1,6 kuutiosta tunnissa alle 0,6 kuutioon tunnissa kiintoaineen kiinnittyessä suodinelementin pintaan. Tätä voidaan kuitenkin torjua optimoimalla pesu- ja käyttöparametrit. Toinen ajo tapahtui samalla elementillä, mutta suodoksen ollessa 60 asteinen. Tulokset olivat hyvin samankaltaiset, mikä osoittaa, ettei lämpötilan muutoksella ole merkittävää vaikutusta laboratoriotutkimuksiin verrattuna. Täytyy kuitenkin huomioida, että testauksen tavoitteena ei ollut optimoida ajoparametreja, vaan todentaa tekniikan soveltuvuus haluttuun erotteluun. Suodosvirtauksen kasvattamiseksi ajettiin koeajo normaalisuodatuselementillä, jonka koko oli 10 µm. Suodoksen laatu oli kuitupitoisellavedellä erinomainen, kuten tiheämmällä elementillä syötön ollessa 150 mg/l ja suodoksen jäädessä 2 mg/l tuntumaan. Rejekti oli tässä virtaamassa luokkaa 280 mg/l. (Sofifiltration 2023.)

Ristivirtaus menetelmä testattiin 10 µm metalliverkolla poikittaisvirtausputkea käyttämällä, jotta havainnoidaan, onko suodatinelementin tehoon tai tukkeutumiseen liittyviä vaikutuksia havaittavissa. Ristivirtausputkessa on tangentialiset leikkaukset, jotka lisäävät virtausnopeutta sekä kapasiteettia ja pitävät suuremmat ainekset suodatinelementistä erillään. Koeajo ei kuitenkaan onnistunut tällä elementillä, koska silmämääräisesti oli havaittavissa, että kuitumateriaali tukki ristivirtausputken leikkaukset. Voidaan kuitenkin päätellä, että suodoksen laatu on erinomainen 5 ja 10 µm metalliverkkoelementillä. Kiilalankaelementti testattiin myös, mutta siinä oli silmämääräisesti havaittavissa suodoksen riittämätön puhtaus, joten se suljettiin näiden testien ulkopuolelle. (Sofifiltration 2023.) Toimittajan koeajojen tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteinä. Kiilalankaelementti rajattiin myös tehtaalla suoritettavien ajojen ulkopuolelle.

7.4 Ristivirtaputki- ja suodatinelementit

Koeajoissa käytettiin kuvassa 16 olevia elementtejä. Jokaisella elementillä on erilainen kyky pidättää partikkeleita nominaalisen ja absoluuttisen reikäkoon perusteella. Ristivirtausputki vahvistaa tangentialista virtausta, jonka seurauksena kapasiteetti myös nousee. Suodatinelementti sijoitetaan ristivirtausputken sisälle, joka tehostaa cross flow menetelmän virtausta ja erottelukykyä.



Kuva 16. Käytetyt elementit vasemmalta lukien 10, 5,1 μm suodattimet sekä ristivirtausputki.

Ajoissa käytettiin 10, 5, 1 mikronin metalliverkkosuodatin elementtejä sekä ristivirtausputkea sekä 0,3 mikronin elementtiä, joka ei ole kuvassa. Sihtien kوندontatekniikkaan ei tässä työssä oteta kantaa laitetoimittajan liikesalaisuuden säilyttämisen vuoksi. Sihdit koostuvat useammasta metalliverkko kerroksesta sekä suojaavasta pintakerroksesta elementin ulkokerroksessa.

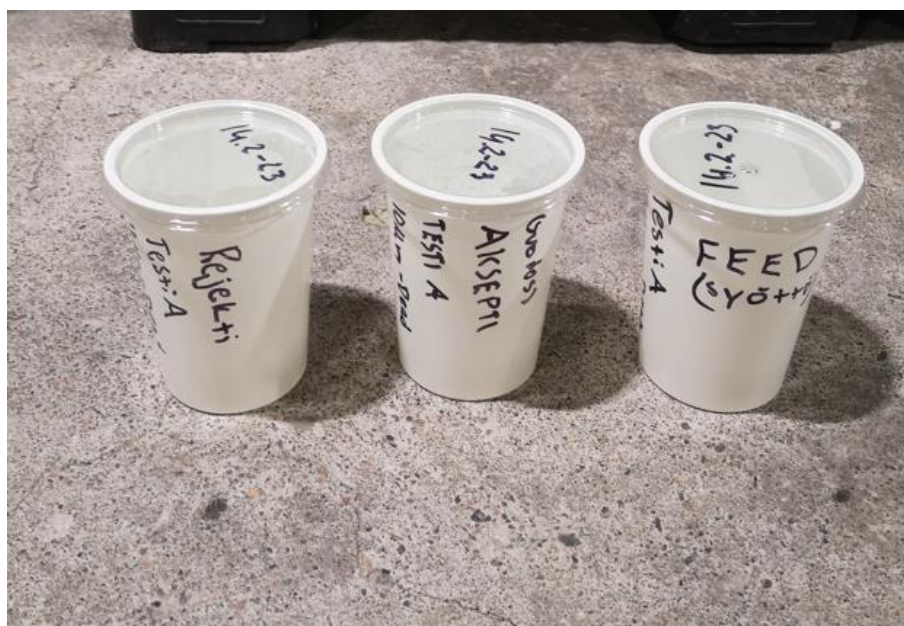
7.5 Koevalmistelut ja näytteiden otto

Kokeet valmisteltiin etukäteen kartonkitehtaalla. Näyteastianä toimii puhdas kuution kokoinen kemikaalisäiliö, josta otettiin syöttövirta itse koelaitteistolle SF200:lle. SF200-laitteesta erotettiin tulevan virran lisäksi poistuva hyväksytty virta, aksepti ja hylätty virta, rejekti. Kaikista virroista kerättiin omat näytteet ja toimitettiin laboratorioon analysoitavaksi, purkit kuvattuna kuvassa 17.

Testissä A kokeista otettiin pH ja kiintoainepitoisuudet. Testi A, joka koostui kuitua sisältävästä vedestä, ei otettu tarkempia analyyseja, koska kuidut käyttäytyvät sihtipinnalla kiintoaineen tavoin. Partikkelit kasaantuvat kokeen analyysivaiheessa suodin pinnalle antaen kiintoainepitoisuuden kokonaistuloksen.

Testi B suoritettiin ikään kuin puhtaammilla kuitupitoisilla vesillä, josta mitattiin kiintoaineksen kokonaispitoisuus, samalla menetelmällä kuin testissä A. Testissä B2 ajettiin koe erittäin sakeilla kuituvesillä, joiden pitoisuus oli 480 mg/l luokkaa todellisen kapasiteetin selvittämiseksi. Kuituvesillä ajettiin myös pidemmän mittakaavan ajo suljetun kierron periaatteella erittäin sakeilla vesillä, joka vastaa enemmän tuotannollista käyttöä ja häiriön sietokykyä prosesseissa. Kuitupitoisilla vesillä erotettava aines käyttäytyy kuin kiintoaine. Tästä syystä ei myöskään tässä tarkempia koostumuksia mitattu ennen eikä jälkeen virran.

Testi C suoritettiin pigmenttipartikkeleita sisältävillä vesillä, jossa mitattiin kiintoaine. Näin saadaan kuva, onko kyseinen tekniikka soveltuva myös vaativampaan vesien puhdistukseen kartonkikoneilla. Tulokset antavat myös osviittaa, että voisiko puhdistuslaitteistoa hyödyntää suuremmassakin mittakaavassa ja useammassa sekä suurta puhtautta vaativissa käyttökohteissa.



Kuva 17. Näytteiden analyysi purkit

Näytteet kerättiin 0,5 litran näytepurkkiin, jotka kuvattuna kuvassa 17. Kaikki näytteet kerättiin omiin purkkeihin ja toimitettiin analysoitavaksi.

7.6 Koeajo säiliöt

Näytesuspensiot kerättiin puhtaisiin 1 000 litran IBC kontteihin. Tästä suodatettava neste pumpattiin näissä testeissä käytettävään SF200-yksikköön, josta

ennen erotusta otettiin suspension näyte. Suodatuksen jälkeen erotettiin virrat aksepti ja rejekti, joista otettiin näytteet myös analysoitavaksi. Näytteenotto-tapa oli samankaltainen jokaisessa testissä. Analyysi tapahtui kartonkitehtaan laboratorioissa. IBC-kontti kuvattuna kuvassa 18, johon vesipitoiset ajonäytteet kerättiin.



Kuva 18. Suspension keräysastia

Ajon aikana suspensio johdettiin SF200-yksikköön, josta erotettiin oma virta rejektisäiliöön ja toinen oma virta akseptisäiliöön. Ensimmäisessä testissä ajettiin 1 100 litraa suspensiota yksikön läpi, joka jakautui rejektiin ja akseptiin.



Kuva 19. Kuvassa vasemmalla rejekti, jonka pinnan korkeuden osoittaa nuoli ja oikealla aksepti, jonka pinnan korkeuden osoittaa nuoli.

Kuvasta 19 nähdään rejektin määrän olevan erittäin alhainen, joka kertoo hyvästä rejektisuhteesta akseptiin nähden. Rejektia muodostui tästä ajosta noin 60 litraa.

8 TESTIEN TULOKSET

Kappaleessa 8 käsitellään jokaisen testin tulokset erikseen. Testi A:n tulokset ovat raportoituna vaiheittain taulukoilla ja suodatustapahtuman kuvaajilla laimeiden kuituvesien osalta. Testi B:n tulokset ovat raportoitu kokonaisuudessaan erittäin alhaisen kiintoainepitoisuuden osalta kuituvesillä taulukolla ja kuvaajalla. Testi B2 on raportoitu vaiheittain suuren kiintoainepitoisuuden osalta kuituvesillä. Tulokset ovat taulukoituina sekä suodatustapahtumat kuvattuna kuvaajilla. Testi C on raportoituna pigmenttipartikkelipitoisten vesien osalta kokonaisuudessaan vaiheittain eri sakeuksilla. Tulokset ovat esitettyinä taulukoin sekä suodatustapahtumat kuvaajilla.

8.1 Testi A

Testi A:n tarkoituksena oli selvittää, että soveltuuko Sofi Filteri sameampien kuitupitoisten vesien suodattamiseen. Parhaimmat tulokset saatiin käyttämällä 5 µm metalliverkkosuodatinelementtiä. Suodos oli käytännössä lähellä nollaa kiintoainepitoisuuden osalta näin ollen erinomainen. Myös 10 mikronin sihdillä päästiin hyvään tulokseen normaalisuodatusta hyödyntäen.

Taulukko 1. Testitulokset eri elementeillä ja menetelmällä

Koepäivä	reikäkoko (µm)	suodatus menetelmä	TSS (mg/l)	Virtaus noin (m ³ /h)	Lämpötila C
14.2.2023	5	normaali	0,6537	2,37	45-50
14.2.2023	10	normaali	2,2845	2,25	45-50
15.2.2023	5	normaali	0	3	45-50
15.2.2023	10	cross-flow	0	2,99	45-50

Tulokset on esitettyinä taulukossa 1. Virtaus on suuntaa antava. Tarkempi kuvaus on yksittäisissä testituloksissa, tämä nähdään myös kuvasta 20.

8.1.1 10µm suodatinelementti

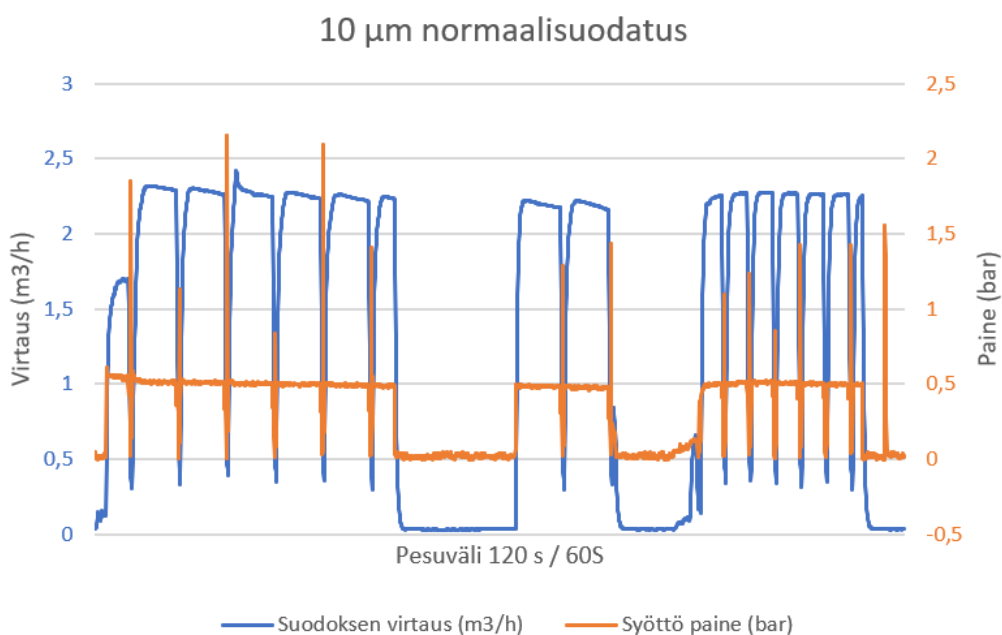
Ensimmäinen ajo tehtiin 10 µm suodatinelementillä syöttöveden ollessa alle 50 astetta. Koeajo tehtiin normaalisuodatus menetelmällä, missä syöttö kohdistetaan suoraan elementin läpi. Suodatusaika testissä oli yhteensä 36 minuuttia, jonka aikana kokonaisvirtaama oli noin 1 200 litraa kahdessa erässä.

Taulukko 2. 10 µm normaalisuodatus

Suodatin reikä koko (µm)	10
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,51
virtaus (m ³ /h)	2,25
Pesun aikaväli (s)	120 / 60

TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	17,32
Aksepti (mg/l)	2,2845
Rejekti (mg/l)	214,9697

Rejektin määrä tässä ajossa osoittautui korkeaksi, mikä kertoo hyvästä ja tehokkaasta erottelutapahtumasta, joka nähdään taulukosta 2.



Kuva 20. Suodatin- ja syöttöpaine tiedot 10µm normaalisuodatus ajolla.

Suodatustulos oli erinomainen näinkin suurella virtausmäärällä, mikä nähdään kuvasta 20. Ajon alussa pesusykli tapahtui 120 s:in välein, joka nähdään virtauskäyrän muutoksena. Tässä on havaittavissa kuidun kerääntymistä suodinelementin pinnalle, joka pudottaa loivasti virtausnopeutta. Tämä kuitenkin palautuu lähtöpisteeseen pesun jälkeen. Ajon loppupuolella pesuväli lyhennettiin 60 sekuntiin, mikä osoittaa suodin pinnan pysymisen puhtaampana virtauksen ollessa tasaisempi. Syöttövirran paine pysyi tasaisesti 0,5 bar tuntu-
massa ajon aikana. Pesun aikana venttiilien sulkeuduttua myös paine tippuu hetkellisesti lähemmäs nollaa.

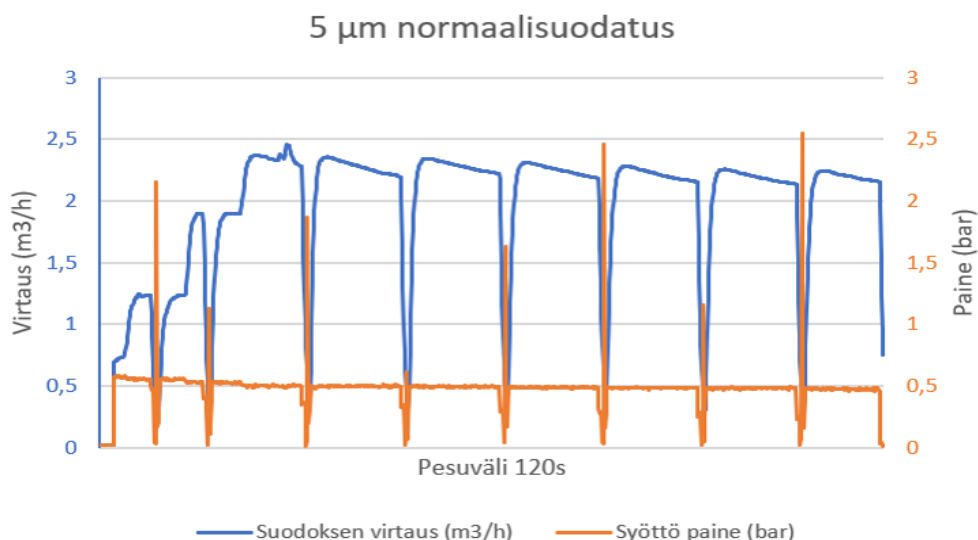
8.1.2 5 µm normaalisuodatus

Toinen ajo suoritettiin 5 µm suodatuselementillä samassa lämpötilassa 120 sekunnin pesusyklillä. Tässä suodoksen laatu oli erinomainen, käytännössä puhdas, suodoksen kiintoainepitoisuuden ollessa 0,6537 mg/l. Tulokset ovat taulukoituina taulukossa 3 ajoparametrien ja tulosten osalta.

Taulukko 3. 5 µm normaalisuodatus

Suodatin reikä koko (µm)	5
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,5
virtaus (m ³ /h)	2,37
Pesun aikaväli (s)	120
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	15,709
Aksepti (mg/l)	0,6537
Rejekti (mg/l)	203,3417

Kokonaisvirtaama oli noin 900 litraa kokonaisajoajan ollessa 17 minuuttia. Suodattimen toiminta oli tasaista ja rejektiä muodostui hyvällä suhteella.



Kuva 21. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 5µm normaalisuodatus ajolla.

Kuvasta 21 nähdään selkeästi virtaaman laskua, mikä kertoo suodatustapah-tuman olevan käynnissä ja suodatettavan veden sisältävän kiintoainesta. Ka-pasiteetti laskee tässä loivasti. Automaattinen ilman takaisinpulssi puhdistaa suodin pintaa palauttaen kapasiteetin lähelle lähtöpistettä. Näin suodin pysyy myös puhtaampana.

8.1.3 5 µm normaalisuodatus, korkea kuitupitoisuus

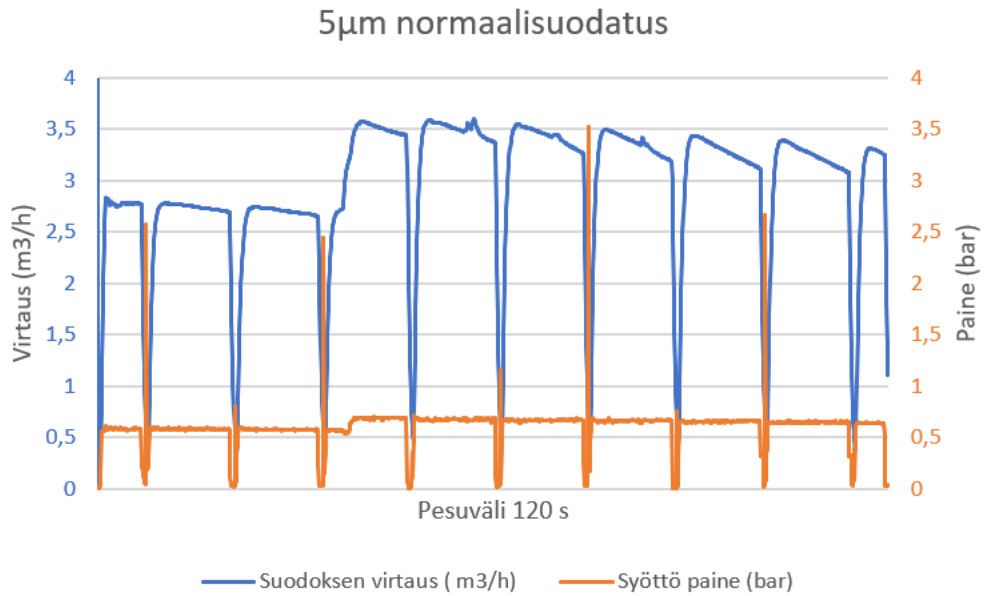
Tämä testi suoritettiin kahdessa erässä jälleen 5 µm normaalisuodatinelemen-tillä. Suodatettava vesi oli selvästi sakeampaa kuin edellisessä testiajossa. Sakeampi vesi antoi paremman kuvan vaativammassa käytössä kuituvesillä. Testeissä virtaaman lämpötila oli sama kuin aiemmin kokonaissuodatus mää-ränä ollessa noin 2 000 litraa ja ajoajan ollessa 19 minuuttia ja toisen erän ajo-ajan ollessa 17 minuuttia. Tulokset ovat esitetty alla taulukossa 4.

Taulukko 4. 5 µm normaalisuodatus 15.2.2023

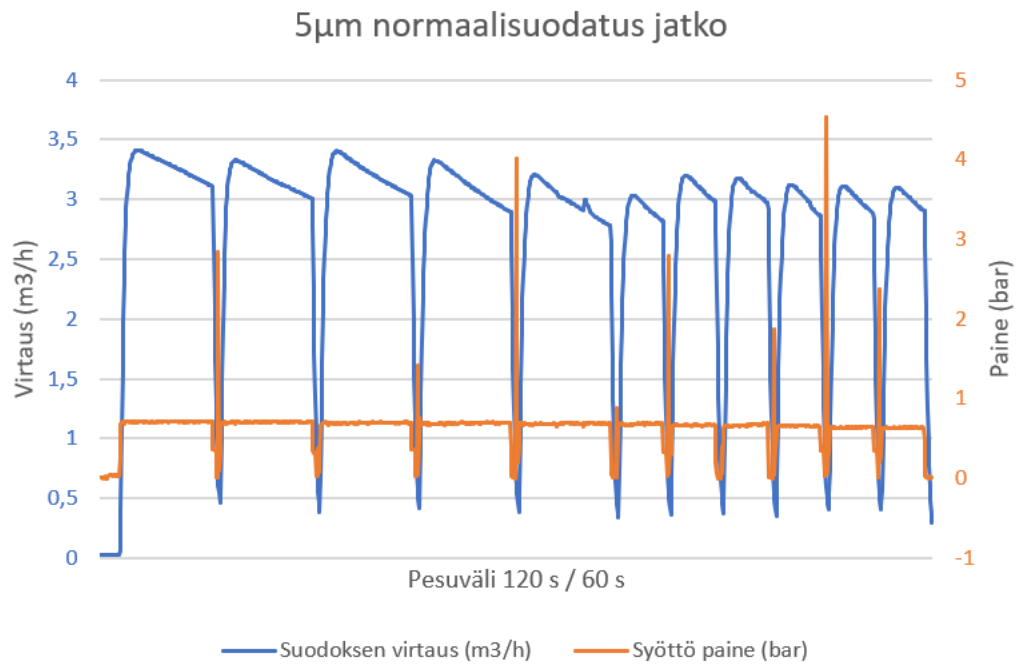
Suodatin reikä koko (µm)	5
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,6 / 0,7
virtaus (m3/h)	2,7 / 3,4 / 3,11
Pesun aikaväli (s)	120 / 60

TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	36,664
Aksepti (mg/l)	0
Rejekti (mg/l)	610,2841

Keskimääräinen virtaama oli aluksi alle 3 m³/h tämä kuitenkin nostettiin yli 3 kuutioon tunnissa, joka nähdään kuvasta 22, tämä oli erinomainen kapasiteetti.



Kuva 22. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 5µm normaalisuodatus ajolla 15.2.2023



Kuva 23. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 5µm normaalisuodatus ajolla 15.2.2023

Suuremman suodosvirtauksen saavuttamiseksi parametreja optimoitiin, jolloin virtaama nousi yli 3 kuutioon. Tässä oli selvästi havaittavissa kapasiteetin laskua, joka jokseenkin korjaantui pesusyklin jälkeen. Suodattimen pinnalle muodostui ohuehko kuituverkko, joka osaltaan toimi myös suotoväliaineena. Kuitenkin kokonaisvirtaama pysyi erinomaisena tässä ajossa. Pesuväli muutettiin 60 sekuntiin ajon aikana, joka piti suodin pinnan avoimempuna ja kapasiteetin ollessa näin tasainen. Ajonaikaiset parametrit on esitetty kuvissa 22 ja 23, joista nähdään virtaaman muutos ja pesusyklin muutos ja näiden vaikutusta voidaan arvioida sihtipintaan.

Suodattimen pinnalle huopaantunut ohut kuitumatto nähdään kuvasta 24. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi kapasiteettiin näissä ajoissa.



Kuva 24. 5 μ m elementin pinnalle muodostunut kuituverkko.

Suodoksen laatu oli kokonaisuudessaan erinomainen ja rejektinsuhde optimaalinen.



Kuva 25. 5µm normaalisuodatus: vasemmalla syöttö, keskellä aksepti ja oikealla rejekti.

Suodoksen, syötön ja rejektin laatu nähdään selvästi yllä olevasta kuvasta 25. Suodoksen laatu kertoo kiintoainevapaasta suodoksesta ja rejektin korkea määrä hyvästä erottelukyvystä

8.1.4 10 µm Cross-flow-suodatus

Testeissä kokeiltiin ristivirtasuodatuksen vaikutusta kapasiteettiin ja nähtiin, että onko suodattimen tehoon ja tukkeutumiseen liittyviä vaikutuksia olemassa ristivirtausputkessa. Suodinelementtinä toimi 10 mikronin metalliverkkosuodatin. Ajettava koe-erä oli jo huomattavasti sakeampaa kuin aiemmin suodoksen ollessa, kuitenkin erinomaisella tasolla. Ajon aikainen lämpötila oli 45 ja 50 asteen välissä. Rejektin muodostuminen ristivirtausmenetelmässä oli myös hyvällä tasolla. Tulokset tästä kokeesta ovat taulukoituna alla taulukossa 5.

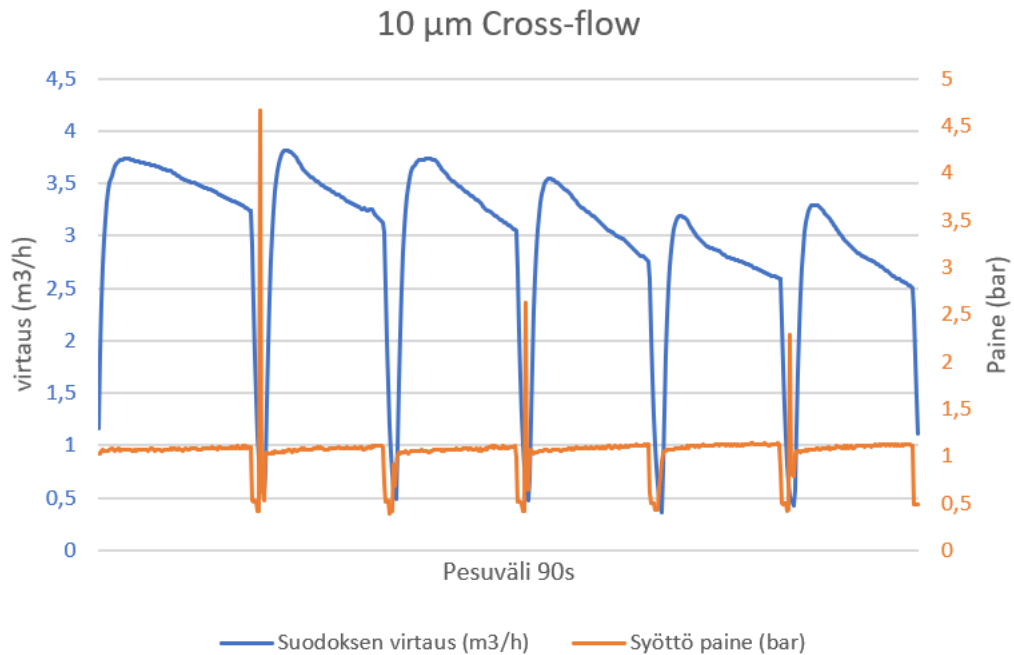
Taulukko 5. 10 µm Cross-flow-suodatus

Suodatin reikä koko (µm)	10
elementin tyyppi	metalliverkko ristivirtasuodatin
Syöttövirran paine (bar)	1
virtaus (m ³ /h)	2,99
Pesun aikaväli (s)	90

TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	117,6808
Aksepti (mg/l)	0
Rejekti (mg/l)	272,9345

Ajon jälkeen oli silmämääräisesti havaittavissa kuitujen kerääntymistä ja tarttumista cross-flow-putkeen, joka pyrki tukkimaan tangentialista virtauspintaa.

Putki pysyi kuitenkin osittain avoimena, joka mahdollisti ajon ajamisen loppuun. Tämän seurauksena on pääteltävissä, ettei poikkivirtausputki ole sovelias näiden kuitupitoisten vesien suodatuksessa ja kapasiteetin kasvattamisessa sellaisenaan. Joten nämä tulokset olivat ainoat tämän menetelmän osalta kuitupitoisilla vesillä.



Kuva 26. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 10 μm Cross-flow ajolla.

Ajon aikainen data on kuvattuna yllä kuvassa 26. Käyrässä näkyy selvä kapasiteetin lasku, mikä ei palaudu lähtötasolle pesun jälkeen. Tämä kertoo selvästi tukkeutumisesta ja riittämättömästä tehosta poikkivirtausputken osalta.

8.2 Testi B

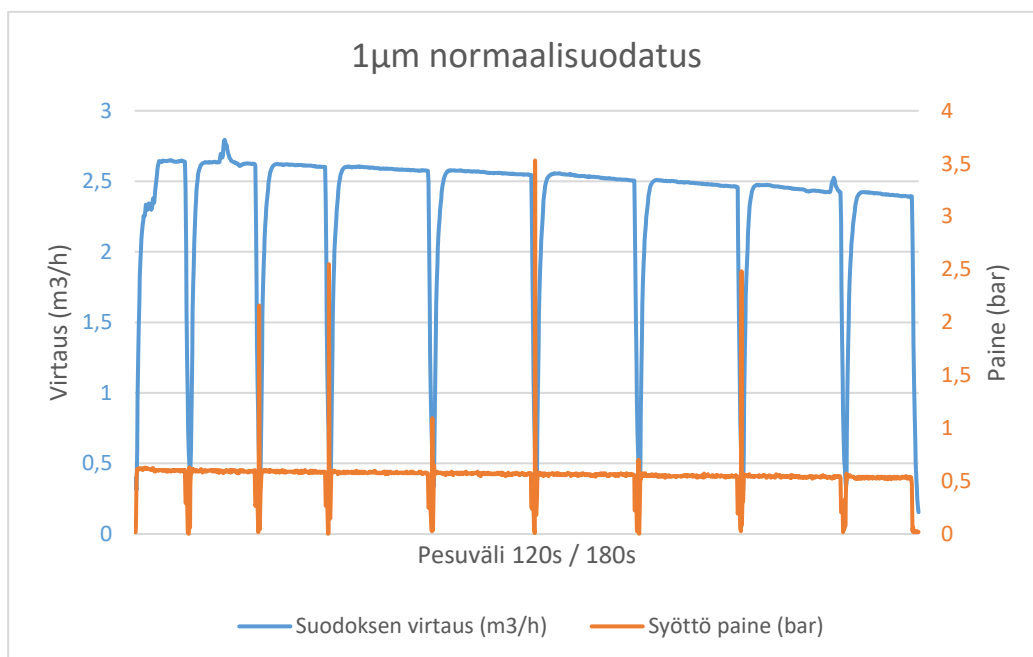
Testi B suoritettiin käytännössä kirkkailla kuitupitoisilla vesillä, jossa jäännöskuidun osuus oli erittäin alhainen. Tämä nähdään kuvasta 27. Tässä ei myöskään saatu suspension kiintoaine arvoja syöttövirrassa olevan kiintoaineen vähäisyydestä ja keveydestä johtuen. Ajo tapahtui tiheimmällä 1 μm suodatinelementillä ja käyttäen normaalisuodatus menetelmää kiintoainepitoisuuden vähäisyydestä johtuen. Kokonaisajoaika testissä B oli 24 minuuttia ja kokonaisvirtaama noin 1 000 litraa.

Testissä akseptin laatu oli erinomainen tällä suodattimella. Vaikka kiintoainepitoisuus oli vähäinen syötössä, niin se kerääntyi hyvin rejektiin antaen erinomaisen tuloksen. Tämä havaitaan taulukosta 6, jossa syötön ja akseptin laatu on erinomainen, mutta missä vähäinen kiintoainepitoisuus on saatu talteen ja erotettu virrasta.

Taulukko 6. 1µm normaalisuodatus kirkkailla kuitupitoisilla vesillä

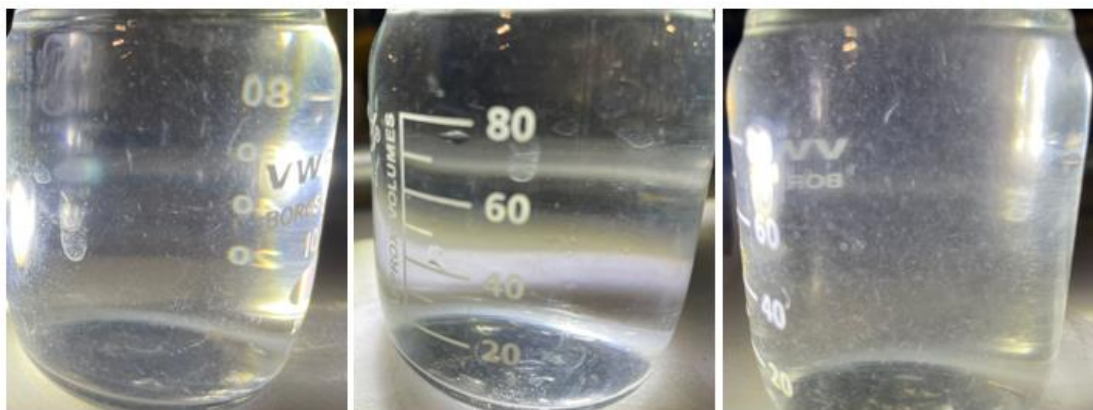
reikäkoko (µm)	suodatus menetelmä	TSS (mg/l)	Virtaus (m ³ /h)	Lämpötila
1	normaali	0	2,6	45
Suodatin reikä koko (µm)		1		
elementin tyyppi		metalliverkko normaalisuodatin		
Syöttövirran paine (bar)		0,5		
virtaus (m ³ /h)		2,6		
Pesun aikaväli (s)		120 / 180		
TSS tulokset				
Syöttövirta (mg/l)		0		
Aksepti (mg/l)		0		
Rejekti (mg/l)		39,8219		

Ajon alkupuoliskolla käytettiin 120 s:in pesusykliä, joka pidennettiin ajon loppupuolella 180 sekuntiin kokonaisajan ollessa 24 minuuttia. Virtaama pysyi alkupuoliskolla hyvin 2,6 m³/h tasolla ja lähti laskemaan loivasti loppua kohden laskien 2,4 m³/h tuntumaan pidemmällä pesusyklillä. Suodinelementin reikäkoon ollessa 1µm pidättää tämä pienimmätkin hiukkaset ja pidemmällä pesusyklillä on havaittavissa pientä virtaaman laskua, mikä nähdään kuvasta 27. Suuremmalla elementillä ja pienemmällä pesusyklillä vastaavaa laskua ei tuskin olisi havaittavissa näin puhtailla vesillä.



Kuva 27. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 1µm normaalisuodatuksella.

Kuvassa 28 nähdään käytännössä puhtaassa suspensiossa olevia kevyitä kuitupartikkeleita, joiden määrää ei pystytty määrittämään vähäisyyden ja keveyden vuoksi. Nämä kuidut kuitenkin suodattuivat kauttaaltaan pois ja kerääntyivät rejektiin antaen erinomaisen tuloksen kirkkailla vesillä.



Kuva 28. 1 µm normaalisuodatus: vasemmalla syöttö, keskellä aksepti ja oikealla rejekti.

8.3 Testi B2

Testiajossa B2 oli tarkoitus selvittää suodattimen kapasiteettia mahdollisen häiriön sattuessa ja selvittää, onko tukkeutumiseen ja likaantumiseen liittyviä vaikutuksia havaittavissa. Testi ajettiin kokonaisuudessaan 10 µm elementillä ja kahdessa vaiheessa, jossa ensimmäisen ajon sakeus oli 4,65 % laboratoriotesteillä mitattuna ja syöttövirrassa kiintoainepitoisuuden ollessa 480 mg/l.

Suodatettava määrä oli noin 1000 litraa ja ajoaika oli 27 minuuttia. Tämän vaiheen tulos oli erinomainen antaen puhtaan akseptin suodatettavasta suspensiosta.

Toinen ajovaihe käsitti pidemmän mittakaavan ajon, jossa selvitettiin pesusyklin vaikutusta suodoksen laatuun sekä rejektiin. Testivaihe suoritettiin niin sanotulla suljetulla kierrolla, jossa suspensio pysyi vakiona ja tasalaatuisena. Tämän lisäksi näytteet kerättiin 1 h kuluttua lyhyemmällä pesusyklillä ja 2 h kuluttua pidemmällä syklillä. Molempien pesusyklar ajokaika oli yhteensä 2 h käsittäen 1 h 60 sekunnin syklillä ja 1 h 120 sekunnin syklillä. Tulokset pidemmän mittakaavan ajossa olivat erinomaisia päästen täysin puhtaaseen suodokseen. Testin tulokset ovat esitetty taulukossa 7 ja yksittäiset vaiheet erikseen.

Täytyy huomioida, että matalan lämpötilan ajoissa lämpötilalla on suuri vaikutus ultraäänen optimaaliseen toimivuuteen puhdistuksen osalta, joka ei ole paras mahdollinen matalassa lämpötilassa.

Taulukko 7. Testitulokset 10 µm elementillä ja testivaiheilla

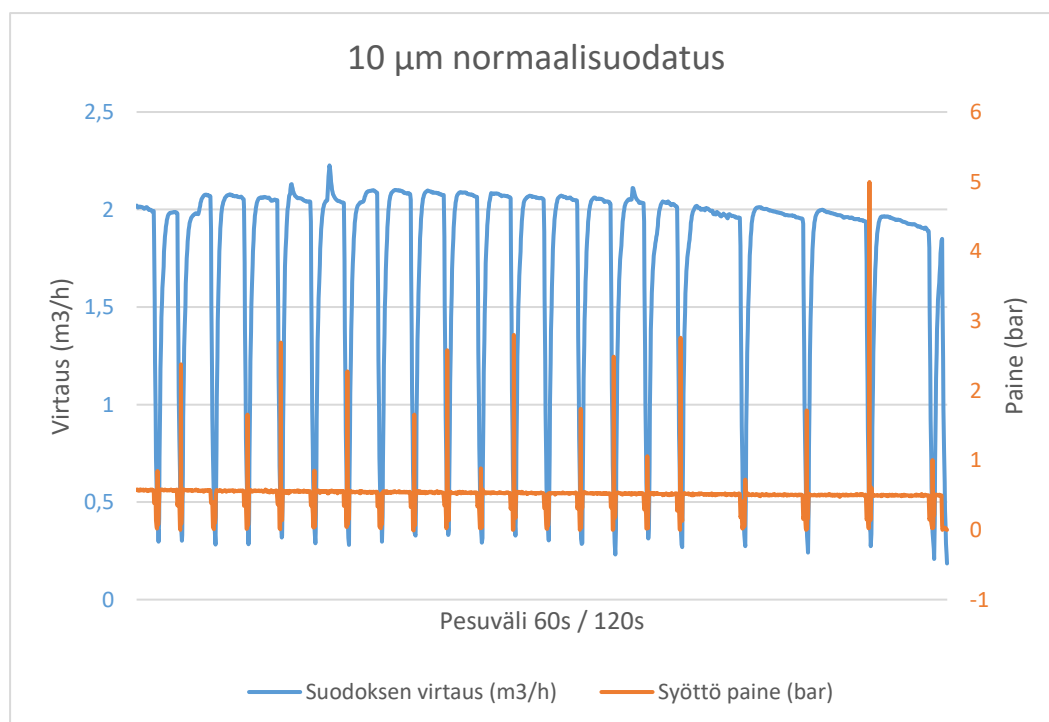
reikäkoko (µm)	suodatus menetelmä	TSS (mg/l)	Virtaus (m ³ /h)	Lämpötila C
10	normaali	0	2,1	7
10	normaali 1h	0	2–2,6	7,2
10	normaali 2h	0	2–2,4	7,2

Suurella pitoisuudella Testi B2 osalta ensimmäisessä vaiheessa käytettiin 60 sekunnin pesusykliä ja 1000 litran kokonaisvirtaamaa, jossa ei ollut havaittavissa juurikaan kapasiteetin laskua tällä ajoajalla. Syötön lämpötila oli 7 astetta johtuen tuotannon katkosta. Tämä antoi taas paremman kuvan suodatuksen toimivuudesta kylmällä vedellä, viskositeetin ollessa korkeampi ja suotautuvuuden heikompaa. Suodoksen virtaus pysyi hyvin lähellä vakiota 2,1 m³/tunnissa eikä laskenut merkittävästi. Suodoksen laatu oli erittäin hyvä näinkin korkealla syötön pitoisuudella. Rejektin määrä oli myös korkea antaen hyvän tuloksen syöttövirtaan nähden. Suuren pitoisuuden tulokset ovat taulukoituna taulukossa 8.

Taulukko 8. 10 µm normaalisuodatus suurella sakeudella

Suodatin reikä koko (µm)	10
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,55
Suodos virtaus (m ³ /h)	2,1
Pesun aikaväli (s)	60
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	481,5864
Aksepti (mg/l)	0
Rejekti (mg/l)	3452,1502

Ajoparametrit nähdään kuvasta 29, jossa suurta virtaaman laskua ei ole havaittavissa ja syöttövirran paine pysyy hyvin 0,55 bar tuntumassa kokonaisuudessaan pesusyklin ollessa 60 sekuntia. Pesusyklin pidentäminen 120 sekuntiin vaikutti hieman virtauksen alenemaan, mutta ei tässäkään niin merkittävästi. Ajon jälkeen silmämääräisesti ja valolla tarkasteltuna suodinelementti näytti puhtaalta. Tämä tarkastettiin ilman erillistä huuhtelua syöttövirran lämpötilan ollessa alhainen, ei erillistä jäähdytystä tarvittu elementille.



Kuva 29. 10 µm normaalisuodatus sakealla syötöllä.

Pidemmän ajon syöttövirran pitoisuus oli seuraavassa testissä hieman laimeampi, noin 200 mg/litrassa. Suodoksen laatu oli erinomainen ja rejektin muodostuminen myös hyvällä tasolla. Syöttöpaine pysyi koko testivaiheen

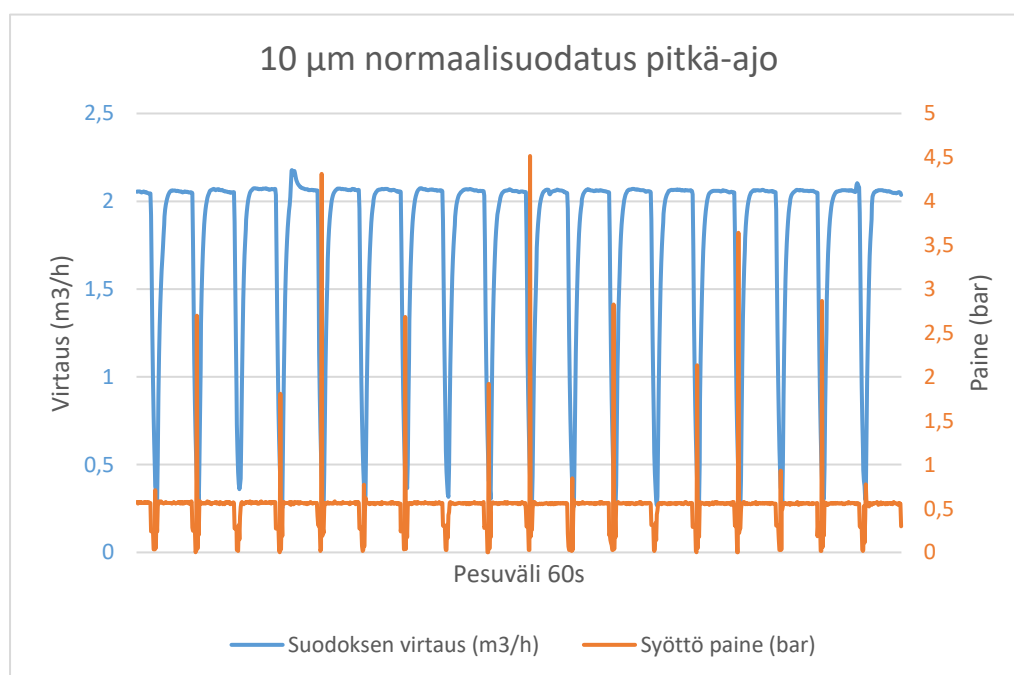
ajan 0,56 bar tuntumassa. Testissä kerättiin näytteet, kun ajoaikaa oli kulunut 1 tunti. Tulokset ovat taulukossa 9 kokonaisuudessaan.

Taulukko 9. 10 µm normaalisuodatus tulokset lyhyellä pesusykliillä

Suodatin reikä koko (µm)	10
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,56
Suodos virtaus (m ³ /h)	2,1-2,5
Pesun aikaväli (s)	60
Kulunut ajoaika (h)	1
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	210,5157
Aksepti (mg/l)	0
Rejekti (mg/l)	1870,464

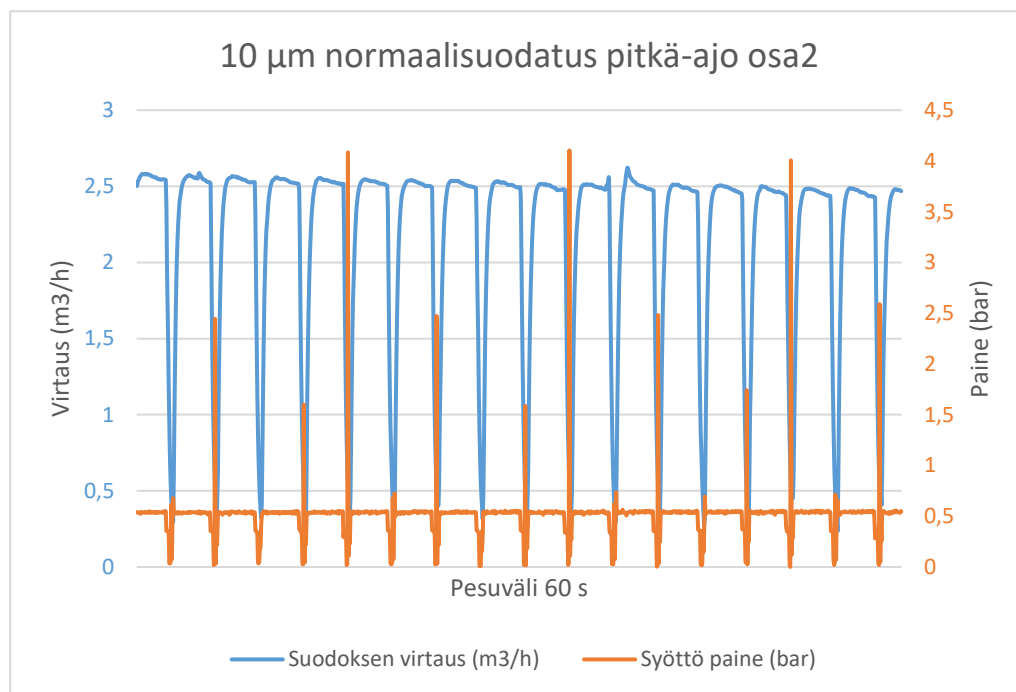
Testissä käytettiin 60 sekunnin pesusykliä, jolla päästiin tasaiseen virtaukseen ensimmäisten 34 minuutin aikana. Tämän vaiheen aikana kapasiteetti pysyi erittäin hyvin halutulla tasolla. 26 minuuttia tästä testistä ajettiin korkeammalla virtausnopeudella 2,6 m³/h, joka laski tämän loppupuolella 2,5 m³/h tasolle.

Virtausmuutokset eivät olleet kovinkaan merkittäviä 60 sekunnin pesusyklin testissä, näillä pitoisuuksilla ja syötön lämpötilalla. Lämpötila omaltaan osaltaan vaikuttaa suodautumiseen ja uä-puhdistuksen toimivuuteen. Ajoparametrit virtauksen ja paineen osalta ovat esitettyinä kuvassa 30 virtauksen ollessa 2 m³/h.



Kuva 30. 10 µm normaalisuodatus: 2 m³/h virtaamalla

Ajoparametrit virtauksen ollessa 2,5 m³/h ovat esitetty kuvassa 31 pesusyklin ollessa 60 sekuntia.



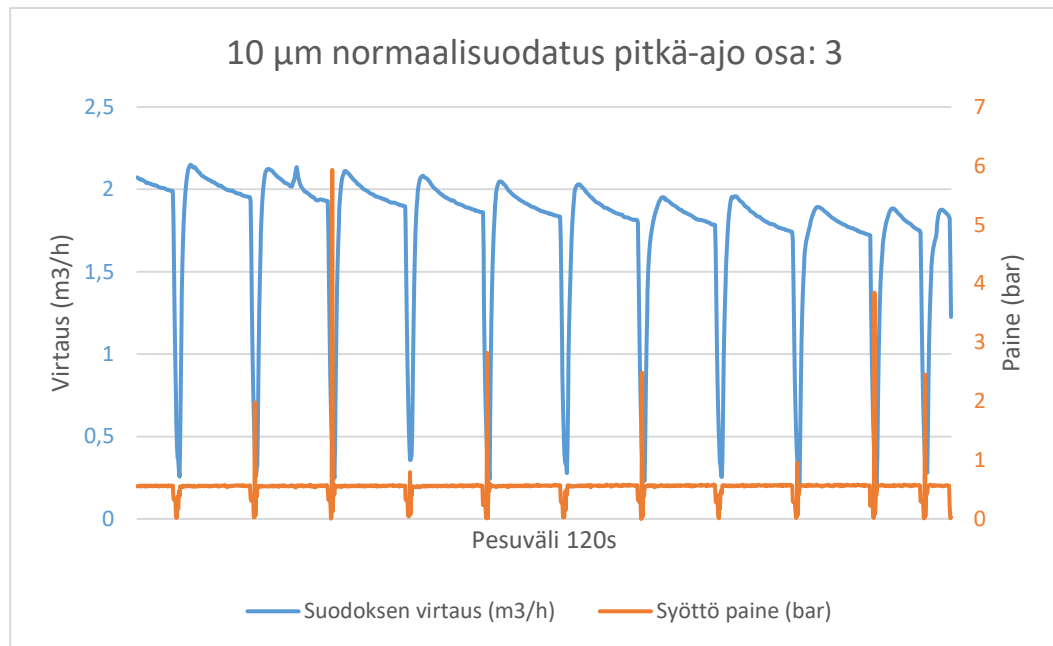
Kuva 31. 10 µm normaalisuodatus: 2,5 m³/h virtaamalla

Testi B2 viimeisessä vaiheessa suodattimen pesusykli pidennettiin 120 sekuntiin. Ajoaika tällä ajalla oli yhteensä 1 tunti. Testissä päästiin puhtaaseen suodokseen ja rejektin määrä oli erinomainen. Tämän vaiheen tulokset ovat suoraan verrattavissa edelliseen vaiheeseen syöttövirran ja rejektin osalta. Tulokset on esitetty tämän osalta taulukossa 10.

Taulukko 10. 10 µm normaalisuodatus tulokset pitkällä pesusyklillä

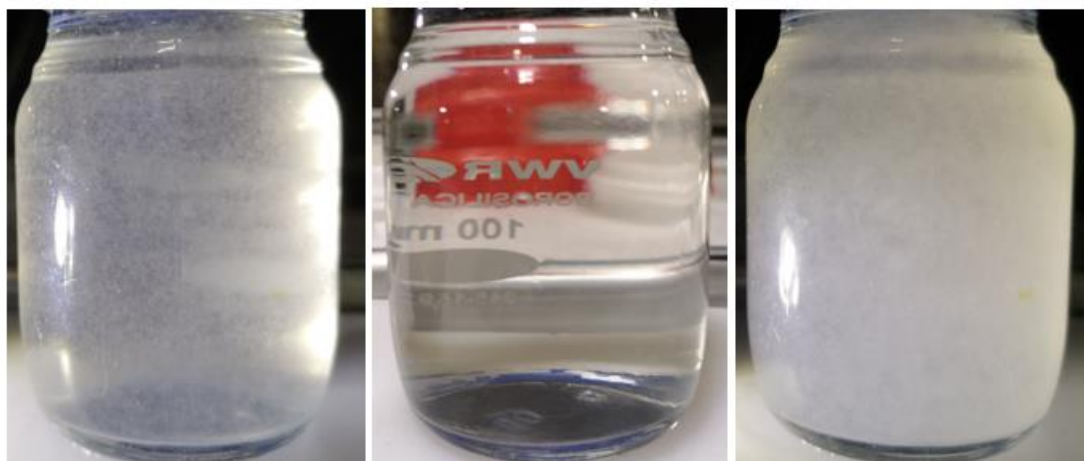
Suodatin reikä koko (µm)	10
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,55
virtaus (m ³ /h)	2–2,5
Pesun aikaväli (s)	120
Kulunut ajoaika (h)	2
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	188,0134
Aksepti (mg/l)	0
Rejekti (mg/l)	3399,2203

Pesusyklin pidentäminen lisää huomattavasti kuidun määrää sihtipinnalla, joka poistuu pesuvaiheessa suurena rejektipitoisuutena. Pitkää aikaa käytettäessä kuituaines laskee loivasti sihdin virtaamaa, paineen pysyessä kuitenkin vakiona. Suodoksen virtaus oli pidemmän syklin alussa 2,44 m³/h ja laski loppua kohden 1,9 m³/h tuntumaan. Ajoparametrit pidemmällä pesusyklillä ovat esitetty kuvassa 32.



Kuva 32. 10µm normaalisuodatus suodatin- ja syöttöpainetiedot pitkällä pesuvälillä.

Kuten kuvasta 32 nähdään, virtausnopeus laskee loivasti ja lopussa virtauksen hidastuminen pysähtyy ja tasoittuu, kun pesusykliä lyhennetään. Testin B2 tuloksista on nähtävissä, että suurilla sakeuksilla optimi pesusykli on 60 sekuntia pitäen kapasiteetin tasaisena ja liiallisen kiintoaineen tarttuminen sihtiin on vähäisempää. Myöskään pesusyklin muutoksella ei ole vaikutusta akseptin laatuun, joka kertoo suodattimen hyvästä toiminnasta 10 mikronin elementillä kuitupitoisillavesillä. Testeissä täytyy kuitenkin huomioida suodatettavan veden matala lämpötila, joka osaltaan huonontaa suodautumista ja siten voi vaikuttaa 120 sekunnin pesusyklin virtaaman alenemaan. Kokonaisuudessaan testien B -ja B2:en tulokset olivat erinomaisia päästen kiintoaineva-paaseen suodokseen.



Kuva 33. Laatu suurella pitoisuudella: vasemmalla syöttö, keskellä aksepti ja oikealla rejekti.

Virtaamien laadut nähdään selvästi kuvasta 33, josta voidaan havaita kiintoainepitoisuuden olevan erittäin suuri, joka suodattui kokonaisuudessaan pois ja kerääntyi rejektiin hyvällä rejektisuhteella.

8.4 Testi C

Testissä C kokeiltiin Sofin sihtituotteiden soveltuvuutta pigmenttipartikkeleita sisältävien vesien suodatuksessa, jotka koostuivat näissä testeissä kaoliinista ja kalsiumkarbonaatista. Testeissä testattiin 10 µm metalliverkkosihtiä normaalisuodatuksella, jonka huomattiin olevan täysin riittämätön suodatukseen hiukkaskoon ollessa pieni. Suodos oli 10 µm elementillä silmin nähden täysin riittämätön, joten se suljettiin pois näiden testien osalta.

Toisena elementtinä oli 1 µm metalliverkkosihti, jota testattiin normaali- ja ristivirtaus menetelmillä. Toisessa testissä normaalisuodatuksen osalta syötön sakeus oli erittäin suuri, tässä päästiin hieman puhtaampaan suodokseen virtausnopeuden ollessa 4 m³/h ja pesuvälin ollessa 120 s. Suodoksen laatu oli tässäkin riittämätön, mutta silmin oli havaittavissa rejektissä suurempaa epäpuhtauspitoisuutta kuin syöttövirrassa. Ristivirtausmenetelmä 1 µm elementin osalta laimeammalla pitoisuudella antoi vastaavia tuloksia kuin normaalisuodatus, joten tämänkin tulos oli riittämätön.

Kolmantena elementtinä testattiin 0,3 µm metalliverkkosihtiä, joka sekään ei täysin poistanut pigmenttipartikkeleita, mutta suodatti kiintoaineksesta noin

puolet laimeammalla pitoisuudella. Rejektin muodostuminen tällä sihdillä oli suhteessa korkeampaa, kuin 1 µm sihtiä käyttämällä. Joten 0,3 µm sihti antoi parhaimman tuloksen pigmenttipartikkeleita sisältävillä vesillä.

Taulukko 11. Tulokset eri sihdeillä ja tekniikoilla

reikäkoko (µm)	suodatus menetelmä	TSS (mg/l)	Virtaus (m ³ /h)	Lämpötila	Ajoaika
10	normaali	Hylätty	Hylätty	-	-
1	normaali	341,793	4	17,7	2h
1	ristivirta	105,808	2,5	17,7	0,5h
0,3	normaali	4,586	2	26,1	1h

Kaikki tulokset testien osalta on esitettyinä taulukossa 11 ja yksittäiset vaiheet erikseen tarkemmilla tiedoilla. Täytyy huomioida, että 10 mikroninsihdin tulokset silmämääräisesti olivat riittämättömät, joten ne suljettiin myös tulosten ulkopuolelle.

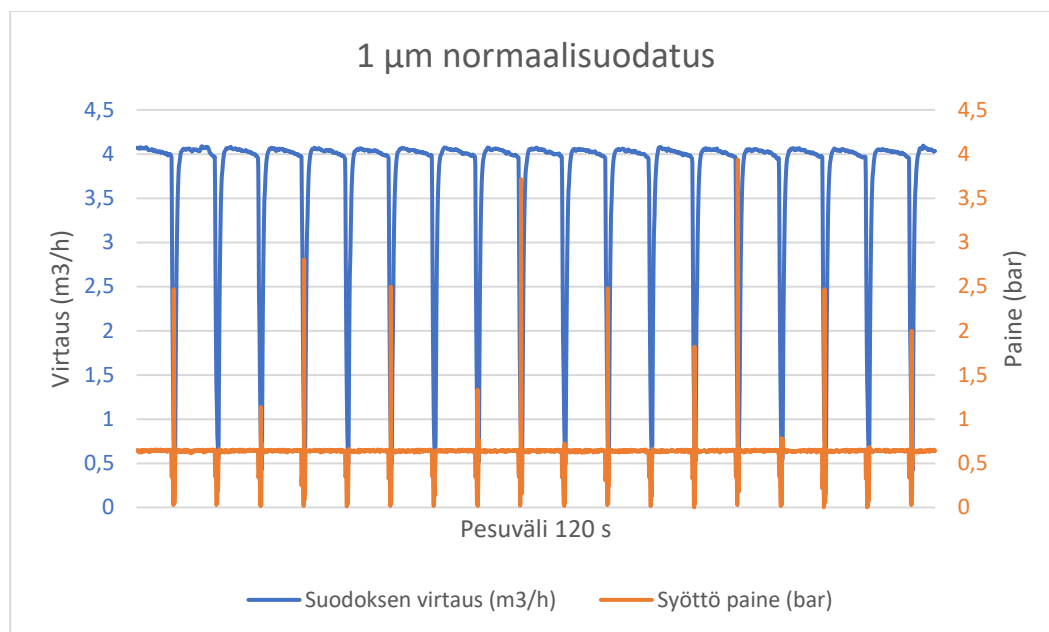
8.4.1 1 µm normaalisuodatus

Testissä C kokeiltiin 1 µm metalliverkkoelementtiä pigmenttipartikkeleita sisältävillä vesillä suurella kiintoainepitoisuudella. Testissä virtaama säädettiin suureen kapasiteettiin hieman yli 4 m³/h ja sihti pysyi tässä täysin avoimena. Tukkeutumista sekä likaantumiseen viittaavia merkkejä ei havaittu testin aikana eikä silmämääräisellä tarkastuksella ajon jälkeen. Akseptin laatu oli täysin riittämätön hiukkaskoon ollessa pieni, mutta tulokset kertovat suodattumista kuitenkin tapahtuvan. Rejektin kerääntyminen oli kohtalaista, mikä osoittaa raaka-aineen osittaista kerääntymistä sihtiin ja poistumista rejektinä. Tulokset on kokonaisuutenaan esitettyinä taulukossa 12 alla.

Taulukko 12. 1 µm tulokset normaalisuodatuksella

Suodatin reikä koko (µm)	1
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0.64
virtaus (m ³ /h)	4,05
Pesun aikaväli (s)	120
Kulunut ajoaika (h)	2
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	396.919
Aksepti (mg/l)	341.793
Rejekti (mg/l)	598.782

Suodattumista nähdään tapahtuvan, joka havaitaan suodoksen virtaaman loivana laskuna, joka palautuu täysin alkukapasiteettiin. Pesusyklin jälkeen ajan ollessa 120 s:ia. Syöttöpaine pysyi tasaisena ajan aikana. Kuvaajasta nähdään sihdin erinomainen toimivuus näinkin pienellä elementillä. Kiintoaineksen erittäin pieni partikkelikoko aiheutti sen, ettei sihti kyennyt tehokkaaseen erottamiseen tällä suspensiolla, vaan päästi suurimman osan kiintoaineksesta lävitseen akseptiin tukkimatta sihtiä.



Kuva 34. 1 µm normaalisuodatuksen suodatin- ja syöttöpainetiedot.

Kuvassa 34 on esitettynä 1 µm normaalisuodatuksen suodatin- ja syöttöpainetiedot. Ajoaika tässä testissä oli 2 tuntia ja virtaama pysyi erinomaisesti yli 4 m³/h tasolla.

8.4.2 1 µm ristivirtasuodatus

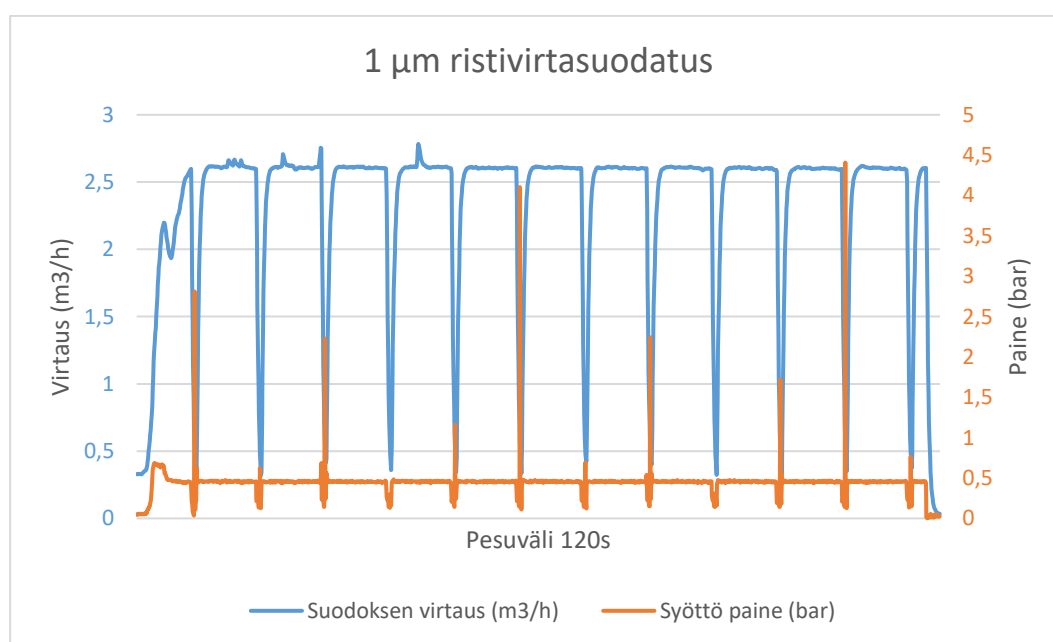
Testi C:ssä laimeammalla pitoisuudella ristivirtasuodatusta ja 1 µm elementtiä käyttämällä päästiin samankaltaisiin tuloksiin kuin normaalisuodatuksella. Tämän testin osalta oli tarkoitus havainnoida, onko normaali- ja ristivirtausuodatuksen välillä eroa suodoksen laatuun. Taulukossa 13 on tulokset kokonaisuudessaan. Virtaama oli testissä 2,6 m³/h syöttöpaineen ollessa alhainen. Syötön sakeus oli noin 130 mg/l ja tästä päästiin 100 mg/l suodokseen, joka sekään ei ole riittävä. Tämä oli myös havaittavissa silmämääräisesti suodoksesta, joka oli selvästikin riittämätön. Rejektin kertyminen oli kohtalaista, samankaltaista kuin sakeammalla syötöllä.

Tämä kertoo osaltaan sihdin toimivuudesta ristivirtaperiaatetta käyttämällä pigmenttipartikkelipitoisilla vesillä. Kiintoaineen hiukkaskoon ollessa pieni ei ristivirtasuodatuskaan pysty pidättämään kiintoainesta suodoksesta käyttämällä 1 µm metalliverkkoelementtiä.

Taulukko 13. Tulokset 1 µm ristivirtasuodatuksella

Suodatin reikä koko (µm)	1
elementin tyyppi	metalliverkko ristivirtasuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0.45
Suodos virtaus (m ³ /h)	2.6
Pesun aikaväli (s)	120
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	132,836
Aksepti (mg/l)	105,808
Rejekti (mg/l)	226,169

Tuloksista on havaittavissa lievää suodattumista, joka nähdään akseptissa olevana kiintoainemääränä, joka on syöttöä alhaisempi. Suodattumisesta kertoo myös kiintoainemäärä rejektissä, mutta nämäkään eivät ole riittäviä tavoiteltaessa mahdollisimman puhtaita vesiä ja kiintoaineksen talteenottoa suuremmalla suhteella.



Kuva 35. 1 µm ristivirtausuodatuksen suodatin- ja syöttöpainetiedot.

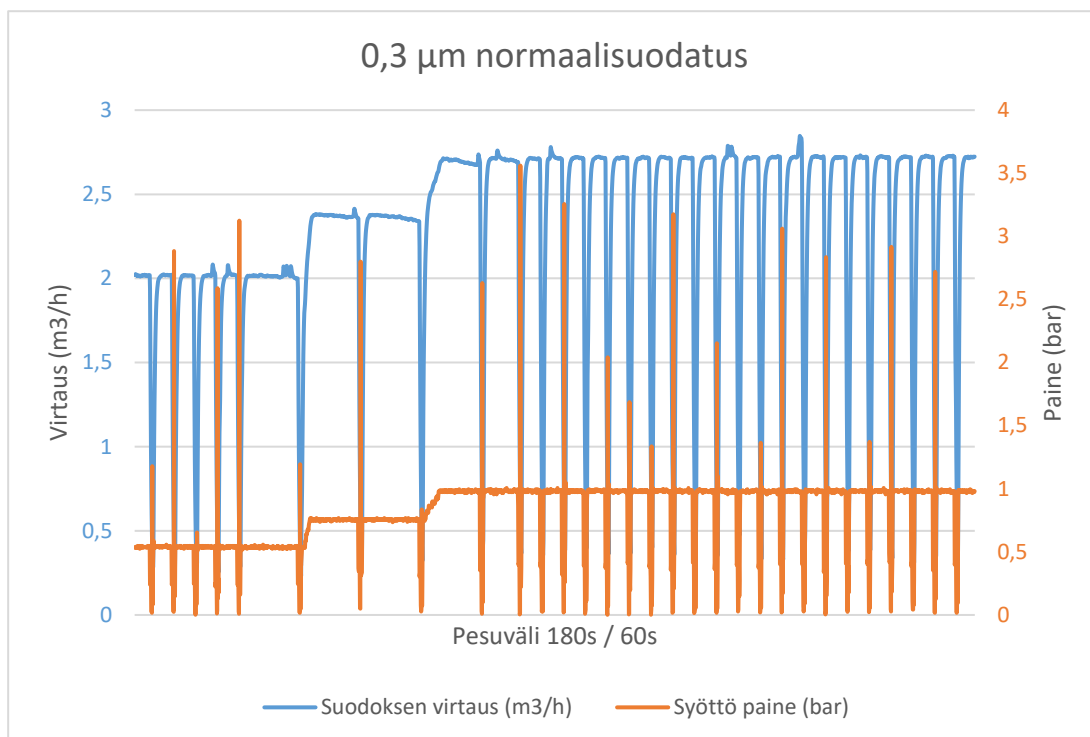
Kuvasta 35 nähdään virtaus- ja painetiedot ristivirtauksen osalta, jossa suodatuksen aikana ei ole kapasiteetin laskua havaittavissa. Ajossa käytettiin 120 s pesusykliä ja ajoaika oli noin 30 minuuttia.

8.4.3 300 nm normaalisuodatus

Pigmenttipartikkeleiden pienen hiukkaskoon perusteella testattiin myös 0,3 µm sihti hieman laimeammalla pitoisuudella. Tavoitteena oli päästä kirkaaseen suodokseen, mutta tässäkin vesi oli selvästi silminnähdessä sameaa. Kiintoaineksen suodattuminen oli hyvää. Mikä myös nähtiin selvästi suodoksen laadusta. Testissä huomattiin myös pidemmän pesusyklin vaikutuksen olevan negatiivinen akseptin laatuun, jonka aikana hiukkaset pääsevät paineen vaikutuksesta uimaan sihdin läpi pienen kokonsa ansiosta. Lyhyemmällä pesusykliä suodoksen laatu oli huomattavasti parempi, mutta ei kuitenkaan riittävä. Toisaalta rejektin muodostuminen tällä sihdillä oli huomattavasti korkeampi kuin 1 µm sihtiä käyttämällä, mikä kertoo taas sihdin paremmasta erottelusta. Tulokset ovat kokonaisuutenaan taulukoituna taulukossa 14.

Taulukko 14. Tulokset 0,3 µm normaalisuodatuksella

Suodatin reikä koko (µm)	0,3
elementin tyyppi	metalliverkko normaalisuodatin
Syöttövirran paine (bar)	0,98
Suodos virtaus (m ³ /h/m ²)	2-2,5
Pesun aikaväli (s)	180 / 60
TSS tulokset	
Syöttövirta (mg/l)	11,094
Asepti (mg/l)	4,586
Rejekti (mg/l)	65,686



Kuva 36. 0,3 µm suodatin- ja syöttöpainetiedot

Kuvassa 36 on esitettyä pigmenttipartikkeleita sisältävien vesien virtaus- ja syöttöpainetiedot. Virtausmäärää kasvattamalla syöttöpaine nousee myös suhteessa virtaukseen. Pidemmällä pesusyklillä on havaittavissa pientä virtaaman alenemaa. Tämä osaltaan kertoo hiukkasten pyrkivän sihdin ahtaimpiin soliin, kulkeutuvat paineen ja virtauksen avulla lävitse. Tosin rejektin muodostuminen tässä oli taas korkeampaa, joka osaltaan kertoo pienestä suodattumisesta. Lyhyemmällä pesusyklillä kapasiteetin laskua ei ollut havaittavissa, näiden tietojen pohjalta tulokset olivat tyydyttävät pigmenttipartikkeleiden osalta.

9 PÄÄTELMÄT

Kokeellisten testiajojen, analyysi- ja mittausdatan perusteella on Imatran kaukopään tehtaan kuitupitoisia vesiä mahdollista puhdistaa ja suodattaa Sofin sihtituotteita käyttämällä normaalisuodatusmenetelmää hyödyntäen.

Sihdin valinnassa on kiinnitettävä huomiota puhdistettavan veden jatkokäyttökohteeseen sekä sen asettamia puhtausvaatimuksia että käytettävän veden määrää. 10 mikronin elementti osoittautui erittäin tehokkaaksi suodatuselementiksi, kokeiden perusteella suuremmilla kiintoainepitoisuuksilla. On huomi-

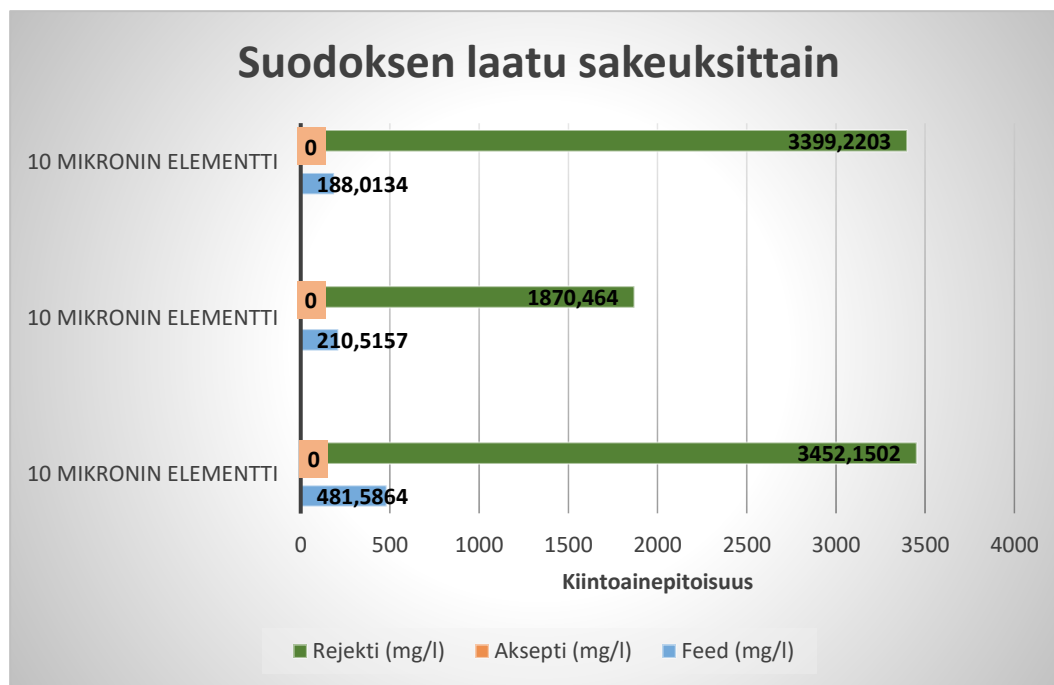
oitava, että laimeita alle 30 milligramman pitoisia virtoja suodatettaessa ei välttämättä päästä täysin kiintoainevapaaseen suodokseen 10 mikronin elementillä.

Käytännössä puhtaita kuitupitoisia vesiä testattiin 1 mikronin elementillä, joka antoi lupaavat tulokset. Tämä nähdään myös testien tuloksista. Puhtaita vesiä, joissa kuitupitoisuus on erittäin vähäinen, on mahdollista myös suodattaa suuremmalla elementillä, jolloin pesusykliä joudutaan pidentämään. Tällöin kuitua pidättävä kerros tai verkosto pääsee syntymään. Suurta puhtautta vaativissa kohteissa 1 mikronin elementtiä voidaan käyttää, mutta tämä vaikuttaa virtaamaan, joka pienemmällä elementillä on vähäisempää. Parhaimmaksi tavaksi tässä muodostuukin pesusyklin ja sihdin oikea valinta, joka vaatisi pidemmän ajan testiajoja. Kuitupitoisilla vesillä päästiin virtaaman osalta hyvään tulokseen, mutta maksimaalisen virtauksen ajot rajattiin näiden testien ulkopuolelle, johon ei opinnäytetyöntekijällä riittänyt aika.

Kirjallisuusosassa on todettu kiintoaineen muodostavan suodinkakun sihdin pinnalle, mikä myös osaltaan toimii suodattimena ja täten pidättää kuituja. Kuitujen vähäisen määrän takia ei tällaista suodattavaa suodinkakkua tai kerrosta pääse tehokkaasti syntymään, jolloin osa kiintoaineesta voi läpäistä suodattimen. Tähän voidaan toisaalta vaikuttaa pesuaikaa pidentämällä, joka täten myös kasvattaa kokonaisvirtaamaa. Mahdollisen häiriön sattuessa ja sakeuden noustessa korkealle on vaarana sihdin tukkeutuminen. Tämä on kuitenkin vältettävissä automaattista ohjausta ja kiintoaineen on-line mittausta hyödyntäen.

Sofin 10 mikronin sihti toimi erittäin hyvin koeajoissa myös suuremmalla sakeudella. Avain asemassa tässä on virtaaman ja pesusyklin optimaalinen toiminta, joka saatiin aikaan lyhyttä pesusykliä ja pienempää 2–2,5 kuution virtausta käyttämällä. Tämä antaa hyvän kuvan suodatinyksikön toiminnasta suodatettaessa vähemmän kiintoainesta sisältäviä vesiä ja prosessien aikana tapahtuvista häiriöistä ja näiden seurauksen kiintoainemäärien äkillisistä nousuista suodatettavissa vesissä. Kokonaisuudessaan kuitupitoisilla vesillä päästiin kiintoainevapaaseen suodokseen yli 30 milligrammaa sisältävissä vesissä käyttämällä 5 ja 10 mikronin elementtiä. Hieman kiintoainesta sisältävät kuituedet saatiin myös täysin suodatettua kiintoainevapaaksi suodokseksi 1

mikronin elementillä. Pesusyklin muutoksilla ei ollut myöskään vaikutusta havaittavissa suodoksen laadussa suurella sakeudella. Myöskään virtaaman muutokset eivät vaikuttaneet suodoksen laatuun kuitupitoisilla vesillä, mikä nähdään kuvasta 37.



Kuva 37. Sakeuden vaikutus suodoksen laatuun

Testien aikaiset tulokset antoivat hyvän kuvan sihdin toimivuudesta suurilla sakeuksilla, kuten kuvasta 37 nähdään, ei sakeudella ollut mitään vaikutusta suodoksen laatuun suurellakaan pitoisuudella kuitupitoisten vesien osalta. Rejektin kerääntyminen oli hyvää, mikä voidaan osaltaan jatko hyödyntää prosesseissa.

Ristivirtausputkea käyttämällä ei päästy hyviin tuloksiin kuidun takertuessa virtausaukkoihin ristivirtausputkessa. Tällä ei kuitenkaan voida täysin pois sulkea sitä, etteikö menetelmä toimisi tehdasmittakaavan yksikössä. Tämä vaatisi kuitenkin testien suorittamista myös tehdasmittakaavan yksiköllä pidemmällä testiajoilla.

Pigmenttipartikkeleita sisältävillä vesillä hiukkaskoko on erittäin pieni, joka vaatii suodattimelta erittäin tiukkaa huokosrakennetta. Tämän takia testi C päädyttiin ajamaan 1 µm elementillä sekä tämän lisäksi 0,3 µm elementillä. Pieni 1 µm elementti ei ollut selvästikään riittävä näiden kokeiden perusteella

sakealla eikä laimeammalla pitoisuudella. Rejektiiä saatiin kerättyä kuitenkin talteen kohtalaisella suhteella syöttövirtaan nähden. 1 µm suodatinelementti pysyi hyvin avoimena koko testin ajan, eikä suodatettava suspensio tukkinut sihtiä 120 s pesusykliä käytettäessä. Suotautuvuus oli heikkoa 1 mikronin sihdillä, joten tulokset olivat riittämättömät tämän sihdin kannalta.

Ristivirtaus menetelmä oli myös käytössä 1 mikronin elementillä, mutta tämäkään ei ollut tehokas poistamaan kiintoainesta virrasta. Toisaalta riittävän voimakas virtaus muodostaa keskipakoisvoimia, joka vetää raskaimpia partikkeleita ulkokehälle, millä voidaan päästä puhtaampaan suodoksen. Kuitenkin tämäkin jäi näiden testien osalta tyydyttäväksi tulokseksi.

Pigmenttipartikkeleita suodatettiin 0,3 mikronin elementillä laimealla pitoisuudella noin 10 mg/l. Tavoitteena oli saada kiintoainevapaa suodos ja poistaa mahdollinen pigmentti vedestä. Testeissä veden kiintoainepitoisuuden ollessa alhainen ei tämäkään riittänyt poistamaan pigmenttiä täysin 0,3 mikronin elementillä. Kiintoaineen osalta suodattuminen oli kuitenkin parempaa kuin 1 mikronin elementillä. 0,3 mikronin elementillä päästiinkin noin puoleen kiintoainepitoisuudessa suodoksen ja syötön suhteen. Rejektin kertyminen oli myös suhteessa suurempaa kuin 1 mikronin elementillä, mikä kertoo paremmasta sihdin toimivuudesta suodatuksessa. 0,3 mikronin elementti antoi täten parhaimman tuloksen pigmenttipartikkeleita sisältävillä vesillä.

Pigmenttipartikkeleita sisältävien vesien osalta tulokset olivat kokonaisuudessaan kuitenkin riittämättömät. Pienen hiukkaskoon takia täytyy pigmenttipartikkeleita suodattaa näitä testattuja sihtejä tiukemmalla sihdillä, jolla voidaan päästä puhtaampaan suodokseen.

9.1 Jatkokehitys

Kuitupitoisten vesien osalta Sofi Filtration Oy:n sihtituote on soveltuva kuitupitoisten vesien suodatuksessa. Sihdin tehokkaalla toiminnalla ja parametrien optimoinnilla päästään kiintoainevapaaseen suodokseen ja virtaaman osalta suurempaan kapasiteettiin. Tässä avainasemassa on oikean sihdin valinta käyttökohteen mukaan. Tämän työn testit puoltavat 10 mikronin metalliverkko-

sihtiä suodatukseen kuitupitoisilla vesillä hyödyntäen normaalisuodatus menetelmää. Suodatettaessa kuitupitoisia vesiä on puhtaalle vedelle käyttökohteita useita, joista muodostuu selviä säästöjä sekä vedenkulutus laskee. Lisäksi puhtailla vesillä saadaan estettyä kuitujen kerääntyminen ja saostuminen vesikiertojärjestelmiin, etenkin suurta puhtautta vaativissa kohteissa, jolla on myös vaikutusta käyttövarmuuteen sekä lopputuotteen laatuun.

Mahdollisimman puhtaat vedet kiertojärjestelmissä pudottavat myös jonkin verran huollon tarvetta. Kuituvedet suodattamalla mahdollisimman tehokkaasti kuituhäviöt pienenevät sekä suodatus pienentää myös kemialliselle puhdistamolle päätyvää kiintoaineen määrää, joka näkyy kemiallisen puhdistamon kuormituksen laskuna. Tämä osaltaan myös säästää kemikaaleja. On kuitenkin jokaisen yrityksen itse tehtävä päätökset tarpeellisten investointien kohdalla. Kokeiden tulokset antavat kuitenkin osviittaa laitteiston toimivuudesta kuitupitoisilla vesillä.

Kuitupitoisilla vesillä rejektin kerääntyminen voitaisiin myös hyödyntää prosesseissa. Tämä vähentäisi osaltaan jonkin verran kuituhäviötä. Tässä täytyisi kuitenkin ottaa huomioon kartongin asettamat laatuvaatimukset.

Pigmenttipartikkeleita sisältäviä vesiä ei voida suositella suodatettaviksi näillä sihdeillä. Yhtenä sihtinä voi tulla kyseeseen pulverisintrattu metalliverkkosihti, joka huokoisen rakenteen ansioista pystyy pidättämään pienimmätkin partikkelit. Tämä vaatisi kuitenkin erillisiä testejä näillä sihdeillä. Sintrattua sihtiä ei tässä opinnäytetyössä testattu vähäisen ajan puutteen takia.

9.2 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli päästä suodatettavilla vesillä mahdollisimman puhtaaseen suodokseen kartonkikoneella. Lähtötilanteessa selvitettiin mahdollisia käyttökohteita Sofin sihdille. Tämän lisäksi selvitettiin jäteveden puhdistamolle päätyvän kuidun määrää vuositasolla sekä muun kuormituksen osuutta vesistöön. Työn tarkoituksena oli suodattaa kuitupitoisia vesiä eri sakeuksilla ja pigmenttipartikkelipitoisia vesiä mahdollisimman pieneen kiintoaine pitoisuuteen. Optimoimalla laitteiston parametrejä suurella sakeudella

saadaan sihti pysymään avoimena ilman tukkeutumiseen viittaavia merkkejä kuitupitoisilla vesillä. Vastaavasti pigmenttipartikkeleita suodatettaessa täytyy sihdin olla tarpeeksi tiukkarakenteinen tehokkaan suodatuksen takaamiseksi.

Jätevedenpuhdistamolle päätyy vuosittain 0- kuitua ja muuta kuitua, joka kuormittaa biologista sekä kemiallista puhdistamaa. Kehittämällä sisäisen puhdistuksen laitteistoa ja tehostamalla kuiduntalteenottoa saadaan ulkoisen puhdistuksen kuormitusta tippumaan, jonka seurauksena vesistön pistekuormitus myös pienenee. Tähän tulisi panostaa tulevaisuudessa jatkuvasti tiukkenevien ympäristölupien vuoksi. Kehittämällä ja investoimalla sisäiseen puhdistukseen ja tehokkaaseen kuidun talteenottoon myös kuituhäviöt pienenevät. Mahdollisimman tehokkaalla kuiduntalteenotolla kiintoainevapaa vesi voidaan tehokkaasti jatko hyödyntää vesikiertojärjestelmissä sekä vesistä suodatettu kuitu hyödyntää prosesseissa. Ympäristökuormitus pienenee tämän seurauksena, joka tulevaisuudessa tuo lisäarvoa entistä enemmän.

Opinnäytetyön kokeellinen osio suoritettiin laimeilla sekä sakeilla kuitupitoisilla vesillä ja pigmenttipartikkeleita sisältävillä vesillä. Testeissä kokeiltiin eri mikronin sihtejä sekä cross-flow -ja dead-end suodatuksen toimivuutta eri jakeilla, testeissä tavoiteltiin kiintoainevapaa ja pigmenttipartikkelivapaat suodosta. Johtuen vallitsevasta työmarkkinatilanteesta talvella 2023 ei useamman vuorokauden ajoja saatu suoritettua itse SF200-laitteella linjaan kytkettynä, vaan testeissä päädyttiin hyödyntämään enemmän suljetun kierron menetelmää. Jatkoehdotuksena tämän työn jälkeen tulisi suorittaa pidemmän ajanjakson testit mahdollisuuksien mukaan tehdasmittakaavan laitteistolla, ennen kuin päädytään ottamaan useampaa yksikköä samanaikaisesti toimintaan. Lisätestien avulla saataisiin laitteistoa testattua itse tuotannollisessa käytössä paremmin sekä optimoimalla parametrit ja vahvoilla venttiileillä saadaan pesun vaikutus tehokkaammaksi.

Työn toteutuksessa opinnäytetyöntekijä sai melko vapaat kädet. Työnäpuna oli suuressa osassa kirjallisuus ja muu tiedon etsintä verkkosivuilta. Työn laajuus oli suuri, joka oli aiheena myös laaja-alainen. Testiajojen tulokset siirrettiin Exceliin, josta saatiin muodostettua jokaisen ajon mittausdatan kuvaajat ja

käyrät. Laboratorion tulokset vietiin taulukoihin ja liitettiin osaksi tuloksia. Liitteissä 1–6 on laitetoimittajan esikokeiden laboratorioraportti, jota käytettiin hyödyksi suunniteltaessa koeajoja.

Toivonkin Stora Enso:n hyödyntävän tässä opinnäytetyössä suoritettuja testejä kuitupitoisilla vesillä sekä jatkokehitys ja hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa tähdätessä entistäkin puhtaampiin vesiin prosesseissa. Kiitokset työni hyvästä ohjauksesta kuuluvat Paavo Herttuaiselle ja Jarkko Männynsalolle sekä kiitokset Kaukopään toimihenkilöille, laboratorion henkilökunnalle ja materiaaliryhmälle opinnäytetyöni avustavasta osallistumisesta.

LÄHTEET

- Alfa Laval Nordic Oy. 2023. Mitä on kalvosuodatus. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.2.2022. Saatavissa: <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/erostustekniikka/kalvot/what-is-membrane-filtration/> [viitattu 1.2.2023].
- AVI Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2023. Imatran tehtaiden toiminnan muuttaminen ja toiminnan aloittaminen, Imatra. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/2360241> [viitattu 18.3.2023].
- AVI Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2017. Vesiluvan muuttaminen, Imatra. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1385702> [viitattu 13.1.2023].
- Arjas, A. 1983b. Paperin valmistus 3. Osa 2. Täysin uudistettu painos. Turku: Oy Turun Sanomat.
- Arjas, A. 1983a. Paperin valmistus 3. Osa 1. Täysin uudistettu painos. Turku: Oy Turun Sanomat.
- Herttuainen, P. 2010. Fraktioinnin tehostaminen lajittelussa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemiantekniikan osasto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201006021942> [viitattu 2.2.2023].
- Hägglom-Ahgner, U. & Komulainen, P. 2000. Kemiallinen metsäteollisuus II - Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Lönnerberg, B. 2009. Papermaking Science and Technology – Mechanical Pulping. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Myyryläinen, J. 2014. Painelajittelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemiantekniikka. Kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/98833/TK%20JMyy%20Painelajittelu%20LUTPub.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 31.1.2023].
- Mäkelä, M. 2006. Kalvoerotusmenetelmien käyttö kemianteollisuudessa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8624/TMP.objres.413.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 1.2.2023].
- Männynsalu, J. 2020. Mekaaniset yksikköprosessit. Luennot Savonlinnassa 25.8.–10.12.2020.
- Oy Brynolf Grönmark Ab. 2023. Metallinen sihtiverkko. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.2.2022. Saatavissa: <https://www.gronmark.fi/tuote/metalliverkot/> [viitattu 13.2.2023].
- Pihkala, J. 2018. Prosessitekniikka – Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. 3. painos. Helsinki: Next Print Oy.
- Pihkala, J. 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Kolmas tarkistettu painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Prowledge Oy. 2023. VTT (Teknologian tutkimuskeskus). Knowpulp versio 21.0. Sellutekniikan, automaation ja prosessinhallinnan oppimisympäristö. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/> [viitattu 16.1.2023].

Pulli, M. 2015. Ultraäänipesutehokkuuden mittausten menetelmän kehitys. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102826/Pulli_Mikko.pdf?sequence=1 [viitattu 6.2.2023].

Rudolph, G., Al-Rudainy, B., Thuvander, J. & Jönsson, A-S. 2021. Comprehensive Analysis of Foulants in an Ultrafiltration Membrane Used for the Treatment of Bleach Plant Effluent in a Sulfite Pulp Mill. *Recent Advances in Membrane Materials and Membrane Processes for Water and Wastewater Treatment* 11. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2077-0375/11/3/201> [viitattu 6.2.2023].

Sepsilva Ltd Oy. 1997. Puusta paperiin – kartonkikoneet. 2. muunnettu painos. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Siironen, R. 2005. Kemiallinen metsäteollisuus I - Paperimassan valmistus. 2–3. painos. Saarijärvi: Opetushallitus.

Sofi Filtration. 2022. Pushing the boundaries of liquid filtration. WWW-dokumentti. Päivitetty ei saatavilla. Saatavissa: <https://www.sofifiltration.com/en/sofi-filter> [viitattu 13.2.2023].

Sofi Filtration. 2023. Laboratory test report. Pöytäkirja. Julkaistu 10.1.2023

Synderfiltration. 2023. Cross Flow Membrane Operations. WWW-dokumentti. Päivitetty ei saatavilla. Saatavissa: <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/cross-flow-membrane-operations/> [viitattu 1.2.2023].

Waterplanfinland Oy. 2023. Energiatehokkaat ratkaisut jäteveden käsittelyyn. WWW-dokumentti. Päivitetty 28.12.2022. Saatavissa: [Kiekkosuodatin \(Densi Disc\) - WATER PLAN FINLAND OY](#) [viitattu 26.1.2023].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Päästöt vesistöihin sekä vuosilupa rajat 2005–2014. AVI 2017.

Kuva 2. Päästöt vesistöihin ja luparajat 2013–2022 Stora Enson Imatran tehtaiden mukaan. Muhonen, P. 2022 Sähköpostiviesti 27.3.2023.

Kuva 3. Paperi ja kartonkitekollisuuden tuotanto ja jätevesikuormitus. Prowledge Oy 2023.

Kuva 4. Kiertovesijärjestelmän virtauskaavio. Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000.

Kuva 5. Paperin- ja kartongin valmistuksen vastavirtaperiaate SEPSILVA:n mukaan. Jossa Lk on lyhytkierto ja Kar vastaa lopputuotetta. Vilkkö, P. 5.3.2023.

Kuva 6. Suodatuksen periaate. Pihkala 2003.

Kuva 7. Kehyssuotopuristimen rakenne. Pihkala 2003.

Kuva 8. Rumpusuodattimen rakenne. Knowledge 2023.

Kuva 9. Mikrokiekkosuodatin. Waterplan 2023.

Kuva 10. Perinteiset Kiilalankamallit. Lönnberg 2009.

Kuva 11. Sihtien yleisimmät rakenteet. Prowledge Oy 2023.

Kuva 12. Umpikujasuodatuksen toimintaperiaate. Alfa Laval Nordic Oy 2023.

Kuva 13. Ristivirtasuodatuksen periaate. Alfa Laval Nordic Oy 2023.

Kuva 14. SF200 suodatinyksikkö ja ohjauskaappi. Vilkkö, P. 16.2.2023.

Kuva 15. PC ja käyttösovellus. Vilkkö, P. 14.2.2023.

Kuva 16. Käytetyt elementit vasemmalta lukien 10, 5,1 μm suodattimet sekä ristivirtausputki. Vilkkö, P. 28.2.2023.

Kuva 17. Näytteiden analyysi purkit. Vilkkö, P. 15.2.2023.

Kuva 18. Suspension keräys astia. Vilkkö, P. 9.2.2023.

Kuva 19. Kuvassa vasemmalla rejekti, jonka pinnan korkeuden osoittaa nuoli ja oikealla aksepti, jonka pinnan korkeuden osoittaa nuoli. Vilkkö, P. 14.2.2023.

Kuva 20. Suodatin- ja syöttöpaine tiedot 10 μm normaalisuodatus ajolla. Vilkkö, P. 16.2.2023.

Kuva 21. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 5 μm normaalisuodatus ajolla. Vilkkö, P. 16.2.2023.

Kuva 22. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 5 μm normaalisuodatus ajolla. Vilkkö, P. 15.2.2023

Kuva 23. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 5 μm normaalisuodatus ajolla. Vilkkö, P. 15.2.2023.

Kuva 24. 5 μm elementin pinnalle muodostunut kuituverkko. Vilkkö, P. 15.2.2023.

Kuva 25. 5 μm normaalisuodatus: vasemmalla suspensio, keskellä aksepti ja oikealla rejekti. Vilkkö, P. 15.2.2023.

Kuva 26. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 10 μm Cross-flow ajolla. Vilkkö, P. 16.2.2023.

Kuva 27. Suodatin- ja syöttöpainetiedot 1 μm normaalisuodatuksella. Vilkkö, P. 16.2.2023.

Kuva 28. 1 µm normaalisuodatus: vasemmalla syöttö, keskellä aksepti ja oikealla rejekti. Vilkkö, P. 16.2.2023.

Kuva 29. 10 µm normaalisuodatus sakealla syötöllä. Vilkkö, P. 21.2.2023.

Kuva 30. 10 µm normaalisuodatus: 2 m³/h virtaamalla. Vilkkö, P. 21.2.2023.

Kuva 31. 10 µm normaalisuodatus: 2,5 m³/h virtaamalla. Vilkkö, P. 21.2.2023.

Kuva 32. 10µm normaalisuodatus suodatin- ja syöttöpainetiedot pitkällä pesuvälillä. Vilkkö, P. 21.2.2023.

Kuva 33. Laatu suurella pitoisuudella: vasemmalla syöttö, keskellä aksepti ja oikealla rejekti. Vilkkö, P. 28.2.2023.

Kuva 34. 1 µm normaalisuodatuksen suodatin- ja syöttöpainetiedot. Vilkkö, P. 1.3.2023.

Kuva 35. 1 µm ristivirtaussuodatuksen suodatin- ja syöttöpainetiedot. Vilkkö, P. 1.3.2023.

Kuva 36. 0,3 µm suodatin- ja syöttöpainetiedot. Vilkkö, P. 17.3.2023.

Kuva 37. Sakeuden vaikutus suodoksen laatuun. Vilkkö, P. 18.3.2023.

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Testitulokset eri elementeillä ja menetelmällä. Vilkko, P. 26.2.2023.

Taulukko 2. 10 µm normaalisuodatus. Vilkko, P. 26.2.2023.

Taulukko 3. 5 µm normaalisuodatus. Vilkko, P. 26.2.2023.

Taulukko 4. 5 µm normaalisuodatus. Vilkko, P. 26.2.2023.

Taulukko 5. 10 µm Cross Flow suodatus. Vilkko, P. 26.2.2023.

Taulukko 6. 1µm normaalisuodatus kirkkailla kuitupitoisilla vesillä. Vilkko, P. 4.3.2023.

Taulukko 7. Testitulokset 10 µm elementillä ja testivaiheilla. Vilkko, P. 4.3.2023.

Taulukko 8. 10 µm normaalisuodatus suurella sakeudella. Vilkko, P. 4.3.2023.

Taulukko 9. 10 µm normaalisuodatus tulokset lyhyellä pesusykliillä. Vilkko, P. 4.3.2023.

Taulukko 10. 10 µm normaalisuodatus tulokset pitkällä pesusykliillä. Vilkko, P. 4.3.2023.

Taulukko 11. Tulokset eri sihdeillä ja tekniikoilla. Vilkko, P. 15.3.2023.

Taulukko 12. 1 µm tulokset normaalisuodatuksella. Vilkko, P. 15.3.2023.

Taulukko 13. Tulokset 1 µm ristivirtasuodatuksella. Vilkko, P. 15.3.2023.

Taulukko 14. Tulokset 0,3 µm normaalisuodatuksella. Vilkko, P. 15.3.2023.

Laboratory test report

Client: Stora Enso, Imatra Test-
ing period: 3.–10.1.2023

Laboratory testing: Elisa Koivisto
Report: Elisa Koivisto, Riina Salmimies, Tommi Kyllästinen

Executive summary

The purpose of the laboratory tests was to initially determine if the Sofi Filter® is suitable for filtering the fibrous waters from Stora Enso, Imatra. The aim was to produce a clean filtrate for re-use at the plant.

Most promising results were achieved with a 10µm wire mesh filter element. The filter quality was excellent with less than 2 mg/L solids in the filtrate. Details on the results are given in Chapter 3.

Table 1. Test results using different filter elements of different pore size.

Pore size (µm)	Filtration mode	Filtrate		Temperature (°C)
		TSS (mg/L)	Flux (m ³ /h/m ²)	
5	dead-end	<2	0.5	50
5	dead-end	<2	2.9	60
10	dead-end	<2	1.4	60
10	cross-flow	fail		50
50	dead-end	fail		50

Equipment

The tests were conducted at the Sofi Filtration laboratory in Espoo, Finland. Sofi Filter SF200 filtration system was used in the tests. The equipment consists of an SF200 filter, a control unit, a feed pump and a feed tank, as shown in Figure 1. Pressure and flow readings are logged by a computer.

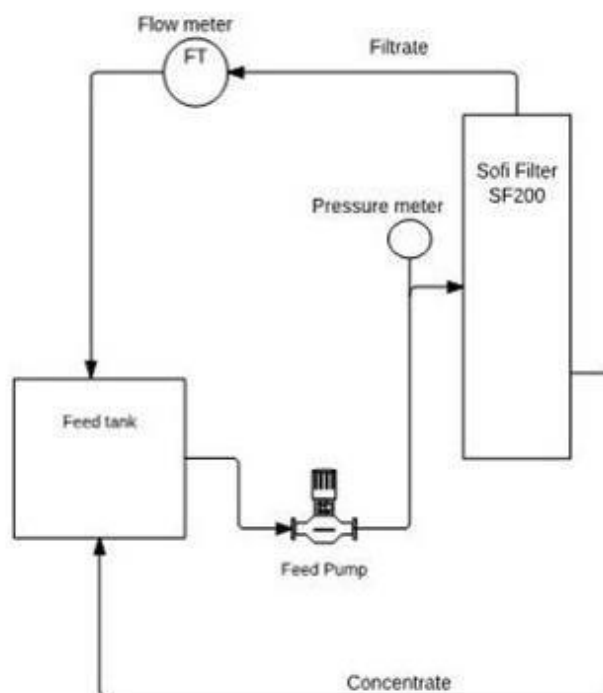
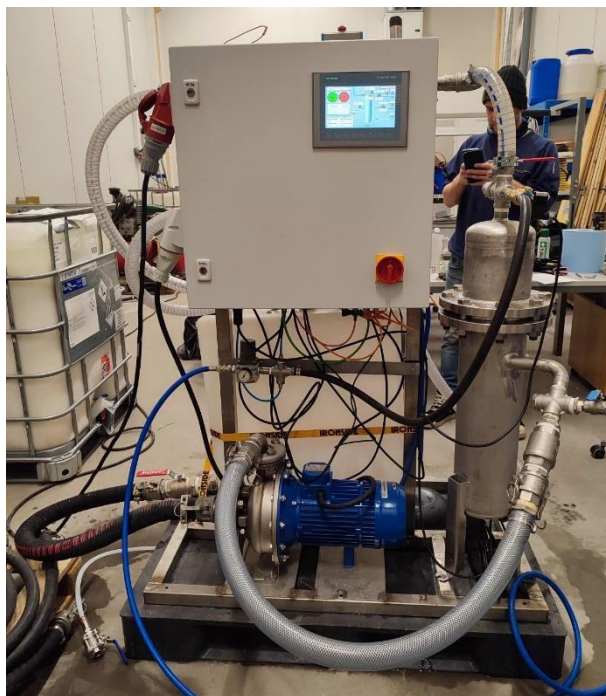


Figure 1. SF200 filter pictured left. Schematics of the test arrangement right.

The filter is equipped with an ultrasonic rod and employs patented cross-flow technology. All the functions e. g. pump speed, valve openings and back washing parameters can be managed from the control unit. Both the filtrate and the concentrate produced by the SF200 are fed back to the feed tank where they mix again, i.e. the tests were done in a closed circulation system.

The selection of the filter element is key for separation. For these laboratory tests, wire mesh and wedge wire elements were tested. Both dead-end and cross-flow filtration were tested.

Testing procedure

The primary sample delivered to the laboratory had a total suspended solids (TSS) content of 1.6–1.7 %, which was confirmed with standardized laboratory analysis. The primary sample was then diluted to a feed concentration of approximately 0.01%. Feed samples were also analyzed with standard laboratory practices for TSS. New feed samples were prepared for each test run to have fresh feed, as it was initially assumed that recirculating the fibrous waters would lead to breakage of the fiber material. All tests were done in 100-liter batches and the feed was heated to 50–60 °C, measuring the exact feed temperature for each test.

TSS analysis was done for samples from the most promising test runs. The samples were analyzed according to the SFS-EN 872:2005 standard, where the measurement uncertainty is 10%.

Results

5 μ m filter element

The first run was done with 5 μ m wire mesh filter element at 50 °C. Test run was done in dead-end mode, which means all the feed was channelled directly through the filter element.

Filter element pore size (μ m)	5
Filter element type	wire mesh
Feed pressure (bar)	3.6
Filtrate flux (m ³ /h/m ²)	0.5
Wash interval (s)	120

TSS results	
Feed (mg/l)	120
Filtrate (mg/l)	< 2
Reject (mg/l)	420

The quality of the filtrate was excellent, as can be seen from Figure 2. Filtrate flow was moderate, but it must be kept in mind that the target of the testing was not to optimize capacity but to obtain a high quality filtrate and demonstrate high degree of separation that is key to the needs of the client.



Figure 2. From left to right; feed, 5 μ m filtrate, 5 μ m reject.

The filtration data can be seen in Figure 3. As is typical, filtrate flow rate decreases as solids attach to the surface of the filter element. This can be counter-acted with optimizing washing and run parameters. It must also be noted that using an average filtrate flux is not the best way to summarize the results due to rather significant variation of the filtrate flow during the test, as can be seen in Figure 3. This is inherent to laboratory testing of complex feeds as the purpose of the testing is not to optimize run parameters but to demonstrate the suitability of the technology for the desired separation.

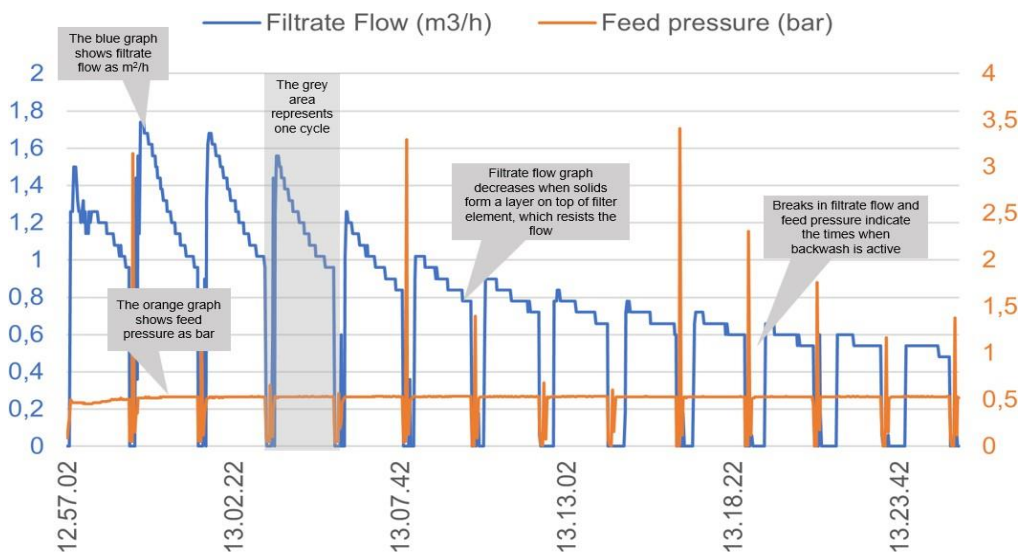


Figure 3. Filtrate and feed pressure logs form 5µm dead-end run.

A second run was done with the same filter element, but at a higher temperature to determine if temperature affects the filtrate flux in this case significantly. Filtration was done at 60°C. The results of the test run were very similar to the first one indicating that a temperature increase of 10°C did not significantly influence the laboratory testing. The run parameters and the TSS results are shown below.

Filter element pore size (µm)	5
Filter element type	wire mesh
Feed pressure (bar)	0.2
Filtrate flux (m3/h/m2)	2.9
Wash interval (s)	120
Temperature (°C)	60

TSS results	
Feed (mg/l)	110
Filtrate (mg/l)	< 2
Reject (mg/l)	240

10µm filter element

To achieve higher filtrate flux, a test run was made with a filter element having 10µm pore size. The quality of the filtrate was excellent, as was with the 5µm filter element, as can be seen in the table below.

Filter element pore size (µm)	10
Filter element type	wire mesh
Feed pressure (bar)	0.2
Filtrate flux (m ³ /h/m ²)	1.4
Wash interval (s)	120
Temperature (°C)	50

TSS results	
Feed (mg/l)	150
Filtrate (mg/l)	< 2
Reject (mg/l)	280

Filtrate flow was moderate also for the 10µm element. It is typical that filtrate flux is increased with increasing the pore size of the filter element. However, it must again be pointed out, that the purpose of this laboratory testing was not to optimize for capacity.

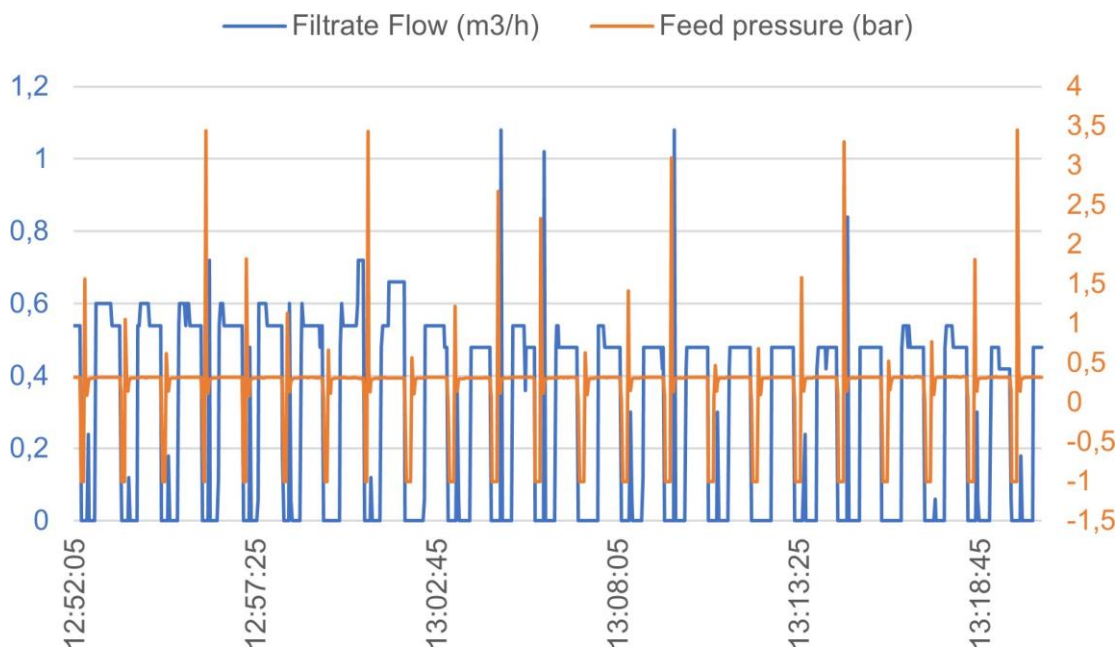


Figure 4. Filtrate flow and feed pressure logs from test run with 10µm filter element.

The test was repeated with the 10 μ m wire mesh, but this time using the cross-flow tube to see if any effects in terms of capacity or blinding of the filter element would be observed. A cross-flow tube has tangential cuts to accelerate fluid flow velocity (promotes capacity) and keep solids off the surface of the filter element (blinding).

The test run was not successful for this particular feed and with visual inspection it was clear that the fibrous material blocks the cuts of the cross-flow tube.

50 μ m filter element

A wedge wire element was tested to determine if capacity changes compared to the wire mesh element. The quality of the filtrate was visibly clearly not adequate and thus TSS measurements were not done.

Conclusions

Overall, the obtained sample from Stora Enso, Imatra, filters well and the fibrous material can be separated using the Sofi Filter®. Excellent filtrate quality was achieved with both 5 μ m and 10 μ m wire mesh filter elements. Based on the testing, the wedge wire element was excluded due to non-adequate filtrate quality. In laboratory testing, dead-end mode gave more promising results than cross-flow. Based on the laboratory testing, moderate changes in temperature do not influence capacity nor filtrate quality significantly.

Further testing is needed to optimize for washing and run conditions to obtain actual results for capacity.