



Alex Näsi

Itsestäänpuhdistavan suodattimen toiminnan kartoitus sekä sensoridatan keräämisen lisääminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

31.5.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Alex Näsi
Otsikko:	Itsestäänpuhdistavan suodattimen toiminnan kartoitus sekä sensoridatan keräämisen lisääminen
Sivumäärä:	35 sivua + 2 liitettä
Aika:	31.5.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Myynti-insinööri Mikko Kuitunen Lehtori Reijo Leinonen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on Sofi Filtration Oy:n kehittämien ja patentoitujen itsestäänpuhdistavien suodattimien toimintojen kartoitus ja verrata niitä muihin markkinoilla oleviin suodatinmenetelmiin. Työssä myös oli tarkoituksena lisätä ja luoda pohjaa tulevalle sensoridatankeräykselle.

Työ toteutettiin ensin perehtymällä eri arvoihin, joita voi mitata vedestä ja niiden vaikutuksista vedensuodatukseseen. Sitten tutustuttiin erilaisiin vedensuodatusteknologioihin. Tämän jälkeen perehdyttiin Sofi Filtrationin omiin suodattimiin sekä niiden eroavaisuuksiin ja hyötyihin verrattuna muihin suodattimiin. Teoreettisen osuuden jälkeen tulee sensoridatan lisääminen. Tämä toteutettiin erikseen irrotettavalla ja helposti asennettavalla putkella, johon on liitetty vedenarvoja mittaavia antureita. Anturit kommunikoivat tietokoneen kanssa itse ohjelmoidulla Arduino Uno -piirilevyllä.

Tulokset tavanomaisten vedensuodatuslaitteiden vertailusta yhtiön itsepatentoimaan laitteeseen olivat selkeät: Sofi Filtrationin laite on teoriassa optimaalisempi ratkaisu teolliseen jätevedensuodatukseseen verrattuna pussi- ja patruuna- tai hiekkasuodattimiin. Yrityksen laite on kustannustehokkaampi, ympäristöystävällisempi ja harvemmin huollettava. Ongelmana yrityksellä on teollisuusluotettavuuden hankkiminen. Asiakkaan suodatettavan veden laatu saattaa rajusti vaihdella, mikä vaikuttaa suodattimen suorituskykyyn. Tämän lisäksi vedensuodatusta tarvitsevat yritykset eivät mielellään halua ottaa riskejä uusien teknologioiden kanssa.

Sensoridatan lisääminen onnistui. Numeromuotoista dataa saa tallennettua tietokoneelle ja käsiteltyä graafiseen muotoon. Työn ainut ongelmakohta oli yksi neljästä vedenarvoja mittaavasta anturista, turbiditeettianturi, joka antoi epäluotettavaa tietoa. Tulokset heittelivät -500 ja 3000 NTU:n välillä, vaikka anturin kalibroitiin puhtaaseen veteen. Vaihtamalla anturi uuteen tuloksien heittely väheni, mutta anturi antoi silti negatiivisia arvoja. Muiden anturien kalibrointi onnistui, ja mittausdata oli luotettavampaa. Niitä voi käyttää suodatuksen tulosten analysoimisessa tulevaisuudessa.

Avainsanat: Vedensuodatus, Datankeruu, Toiminnan kartoitus

Abstract

Author:	Alex Näsi
Title:	Mapping the Functions of a Self-cleaning Filter and Adding Sensor Data Acquisition
Number of Pages:	35 pages + 2 appendices
Date:	31 May 2021
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Electrical and automation engineering
Professional Major:	Automation engineering
Instructors:	Mikko Kuitunen, Sales Engineer Reijo Leinonen, Senior Lecturer

The purpose of this work was to map the functions of the commissioner's self-developed and patented self-cleaning filters, and to compare these then to other filter methods available on the market. The other objective was to improve the collection of sensor data from the filtered water.

The work was started by studying measurable water values, their effects and familiarization with various water filtration technologies. After this, the comparing of Sofi Filtration's self-developed filtration process to the other filtration methods began.

The theoretical part was followed by the addition of sensor data, which was implemented with a separately detachable and easy-to-install pipe, with the sensors attached to it. The communication with the sensors and the computer was done via Arduino Uno, a codable microchip.

The results of the comparison of water filtration methods with Sofi's self-patented device were clear: the Sofi device is a more optimal solution for industrial wastewater filtration compared to bag or cartridge filtration or sand filtration. The major problem for the company is gaining industrial reliability. Companies that need water filtration are reluctant to take risks with new technologies.

The addition of sensor data was relatively easy, the numerical data can be stored on a computer and can be made into a graphical format. The only problem that came up was that one of the four sensors measuring the water values, the turbidity sensor, provided unreliable information. The results ranged from -500 to 3000 NTU, although the sensor was calibrated. Replacing the sensor with a new one provided lower fluctuation with the numerical values, but the sensor still gave out negative values. Other sensors provided reliable information and can be used to analyze the filtering results in the future.

Keywords: Water filtration, Sensor data

Sisällysluettelo

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teollisuusjäteveden mittausarvoja	2
2.1	Veteen liuenneet aineet (TDS)	2
2.2	Vedessä olevat kiintoaineet (TSS)	3
2.3	Sameus (Turbiditeetti)	3
2.4	pH	4
2.5	Lietetiheys (SDI)	4
3	Vedensuodatusmenetelmiä ja käsitteitä	6
3.1	Tangentiaalivirtaus- ja normaalivirtaussuodatus	6
3.2	Arizona dust	7
3.3	Koagulaatio ja flokkulaatio	8
3.4	Hiekkasuodatus	8
3.4.1	Nopea hiekkasuodatus	9
3.4.2	Hidas hiekkasuodatus	10
3.5	Pussi- & patruunasuodatus	10
3.6	Gravitaatiosakeutus (laskeutus)	11
3.7	Kalvoperusteinen suodatus	12
3.8	Keraaminen ultrasuodatus	12
4	Sofi Filter -suodattimet	14
4.1	Suodatinlaite SF-200	15
4.2	Suodatinlaite SF-1000	17
4.3	Sofi Filtration suodattimien hyödyt	18
4.4	Vertailua muihin suodatustapoihin	19
4.5	Ohjelmoitavan logiikan toiminta	20
5	Sensoridatan lisääminen	22
5.1	Anturit ja datan keruu	22
5.2	Arduino Uno ja datan tallennus	23
6	Sensoridatan keräämisen testaus	26

6.1	Testien tulokset ja graafinen analysointi	26
6.2	Suodatettavien vesien mittaukset	26
6.2.1	Ensimmäisen testin tulokset	27
6.2.2	Toisen testin tulokset	29
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1: SF-200 PI-kaavio	
	Liite 2: Python skripti	

Lyhenteet

TDS	Total dissolved solids. Veteen liuenneiden aineiden mitta.
TSS	Total suspended solids. Vedessä olevien kiinteiden partikkelien mitta.
SDI	Silt density index. Nesteessä olevien hiukkasten aiheuttama tuk- keutumispotentiaali.
I/O	Input/Output. Sisääntulo/ulostulo digitaalisilta laitteilta.
CSV	Comma Separated Value. Datankäsittelyssä käytetty tiedostotyyppi, jossa on numeromuotoisia arvoja, jotka on erotettu pilkulla.
NTU	Nephelometric Turbidity Unit. Yleisesti käytetty sameuden yksikkö.
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikkayksikkö.
HMI	Human-Machine Interface. Ihmisen ja logiikan välisessä kommuni- koinnissa käytetty käyttöliittymä.

1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin osana Sofi Filtration Oy:n projektia lisätä vedenarvojen tarkkailua ja datan keruuta heidän laitteidensa suodattamasta jätevedestä. Sofi Filtration on Espoossa sijaitseva suomalainen innovatiivista vedenkäsittelyteknologiaa tarjoava yritys, joka on perustettu vuonna 2011. He ovat patentoineet itsepuhdistavan teollisuusjätevedensuodattimen, joka on heidän päämyyntituotteensa.

Tavoitteena tässä työssä oli kartoittaa vedenkäsittelyyn liittyviä mittareita, muita vedensuodatuksen liittyviä aiheita ja vedensuodatinmenetelmiä sekä vertailla näitä Sofi Filtrationin omaan suodatinlaitteeseen.

Lisäksi työn tavoitteena oli luoda pohjaa yhtiön tulevalle hankkeelle lisätä vedenarvojen datankeruuta suodatinprosessista. Työssä on tavoite rakentaa vedenarvoja mittaava laite, joka tallentaa arvoja tietokoneelle.

Opinnäytetyön aihe valittiin yhdessä toimeksiantajan kanssa, koska he tarvitsivat suodattimilleen toiminnan kartoitusta sekä tarkkaa tietoa, miten laitteen suodatus vaikuttaa vedenarvoihin.

2 Teollisuusjäteveden mittausarvoja

Teollisuudesta tulevien jätevesien on tarkoitus päästä takaisin veden luonnolliseen kiertokulkuun. Jotta tämä voidaan tehdä, niin veden pitää olla tarpeeksi puhdasta ja täyttää tietyt kriteerit. Veden puhtautta voidaan mitata monilla eri tavoilla, riippuen siitä, mitä haetaan. Tässä luvussa käsitellään erilaisia mitattavia arvoja, mistä ne muodostuvat ja miten ne vaikuttavat vedenkäsittelyyn.

2.1 Veteen liuenneet aineet (TDS)

Total dissolved solids (TDS) on vedenlaatuun liittyvä mittasuure veteen liuenneista mineraaleista, suoloista, metalleista sekä orgaanisista aineista. Nämä liuenneet aineet päätyvät vesiin joko luonnollisesti maassa olevista mineraaleista tai ihmisistä johtuvista tekijöistä, kuten teiden suolauksesta tai teollisuusjätteistä. Vain alle 2 µm:n partikkelit luetellaan TDS:ään. [1.]

Alhainen TDS-arvo saattaa tarkoittaa sitä, että vesi ottaa mineraaleja sekä metalleja ympäristöstään kuten putkistosta, joka johtaa putkiston korroosioon. Korkea TDS-arvo indikoi veden vahvaan sähkönjohtavuuteen liuenneiden kemikaalien johdosta. Puhdas vesi, jossa ei ole yhtään liuenneita aineita, ei johda sähköä. TDS-arvo vaikuttaa myös käänteisesti pH-arvoon, mitä korkeampi TDS sekä sähkönjohtavuus on, sen alhaisempi on pH. [1.]

TDS mitataan yleisesti sähkönjohtavuudella seuraavasti:

$$TDS = K_e * EC$$

Missä K_e on kerroin, joka vaihtelee 0,55 ja 0,8 välillä, ja EC on sähkönjohtavuus mikrosiemensinä 25 celsius-asteessa.

2.2 Vedessä olevat kiintoaineet (TSS)

Total suspended solids (TSS) on vedenlaatuun liittyvä mittasuure vedessä olevien partikkelien kuivapainosta, jotka eivät ole lienneet veteen. Nämä partikkelit koostuvat orgaanisesta jätteestä, kuten hajoavien kasvien osista, eläinten jätöksistä, levästä tai planktonista sekä epäorgaanisista jätteistä kuten hiekasta, mudasta ja muista mahdollisista pienistä hiukkasista. TSS:ään lasketaan kaikki hiukkaset, jotka ovat isompia kuin 2 μm . [2.]

TSS mitataan juoksuttamalla vettä ennalta punnitun filtterin läpi. Filtteri on yleensä tehty lasikuidusta, jonka huokoskoko on 0,45 μm . Siihen jäävät kaikki ylimääräiset partikkelit vedestä, joka sitten kuivatetaan ja punnitaan uudestaan, jotta saadaan filtteriin jääneen lian paino. Filtterin kuivatus yleensä tapahtuu uunissa, jotta saataisiin nopeampi lopputulos. Tulos lasketaan muotoon milligrammaa per litra (mg/l). [3.]

2.3 Sameus (Turbiditeetti)

Turbiditeetillä mitataan veden sameutta, eli kuinka hyvin vesi heijastaa valoa. Tämä johtuu vedessä olevien partikkelien määrästä, joten yleensä sameus korreloi TSS:n kanssa. Korkea turbiditeetti osoittaa sitä, että vesi ei ole läpinäkyvää vaan sameaa.

Sameutta voidaan mitata monella eri tapaa, mutta yleisin on ottaa näyte vedestä, laittaa valo menemään näytteen läpi ja mitata, paljonko valo heijastuu partikkeleista fotodiodin avulla. Valon ja fotodiodin kulma toisistaan riippuu mitalaitteesta. Jotkut laitteet mittaavat nesteen läpäisevän valon määrää, kun taas toiset laitteet mittaavat nesteessä olevien partikkelien heijastaman valon määrää. [4.]

Nephelometric turbidity unit (NTU) mitataan laittamalla valo 90 asteen kulmaan anturista, joten anturi havaitsee partikkelien heijastaman valon. Mitä suurempi turbiditeetti on, sitä enemmän on partikkeleja, jotka heijastavat valoa, joten sitä

suurempi NTU. NTU-mittari käyttää valonlähteenä valkoista valoa. Formazin Nephelometric Unit (FNU) mitataan samalla tavalla, mutta käyttäen lähes infra-punavaloa (860 nm). NTU ja FNU ovat arvoltaan samoja, joten $1 \text{ NTU} = 1 \text{ FNU}$. [5.][6.]

2.4 pH

PH (potential hydrogen) on mitta sille, kuinka emäksistä tai hapanta vesi on. Se skaalautuu asteikolla 0-14. pH:n skaala on logaritminen ja osoittaa käänteisesti vedessä olevien vetyionien määrää. Neutraalin veden pH on 7. Jos pH on alempi, niin vesi on hapanta, ja jos pH on suurempi, niin vesi on emäksistä. Veden pH riippuu myös vahvasti sen lämpötilasta, joten yleisesti laskuissa oletetaan nesteen olevan 25 °C . Esimerkiksi puhtaan veden pH on nollassa celsius-asteessa 7,47, mutta sadassa celsius-asteessa 6,14. [7.]

Helpoin pH:n mittaamiseen käytettävä mittari on kertakäyttöinen lappu, joka vaihtaa väriä riippuen nesteen pH-arvosta. Tulos on tosin silmämääräinen ja suuntaa antava eikä kovin tarkka. Yleisin digitaalinen pH-sensori on kombinaatiosensori, joka käyttää viite-elektrodiä ja mittauselektrodiä. Viite-elektrodi tuottaa tasaista signaalia, ja mittauselektrodi mittaa signaalin vaihtelua pH:n takia. Differentiaalisensori koostuu kolmesta elektrodista, joista kolmas on maadoitettu elektrodi. Laboratoriosensori toimii samalla tavalla kuin kombinaatiosensori, mutta elektrodit ovat 12 mm paksun lasikuoren sisällä. [7.]

2.5 Lietetiheys (SDI)

Silt density index (SDI) mittaa vedessä olevia kaikkia suspendoituneita partikkeleja, jotka voivat aiheuttaa membraanin tai filtterin likaantumista. SDI on siis mitta hiukkasten aiheuttamasta filtterin tukkeutumispotentiaalista. SDI:llä ei mitata partikkelien määrää, koska niiden koko ja muoto saattavat vaihdella. Turbiditeetillä, TSS:llä ja SDI:llä ei siis ole mitään suoraa korrelaatiota, mutta on huomattu, että alle yhden NTU:n turbiditeetillä ei ole kovin suurta tukkeutumispotentiaalia. [8.]

SDI on jäteveden yksi tärkeimmistä tekijöistä suodatukseen liittyen, koska voidaan kertoa, kuinka usein suodatinta pitää puhdistaa ja huoltaa.

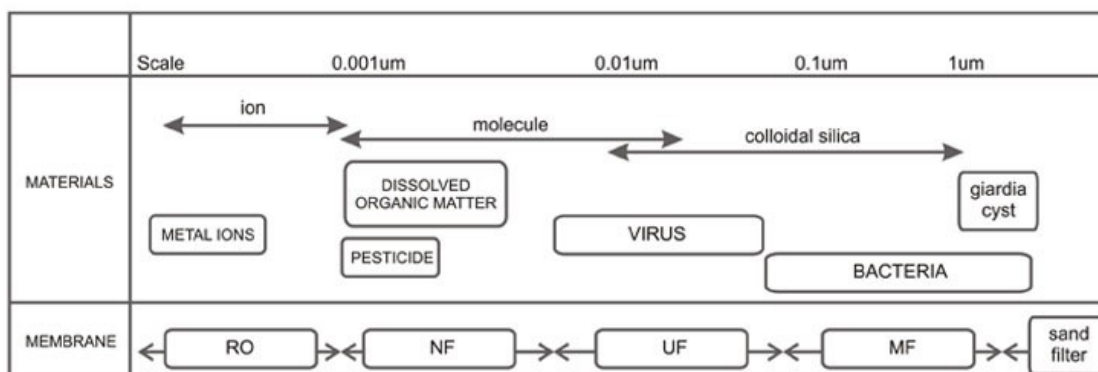
SDI:n mittaamiseen käytetään suodatinpaperia 0,45 µm, jonka läpi vettä juoksetetaan. Ensin mitataan, kuinka kauan kestää, kun 500 ml:n pullo täyttyy (T_i), sitten annetaan veden juosta suodatinpaperin läpi, yleensä 15min (T_t). Tämän jälkeen mitataan uudestaan, kuinka kauan kestää kun 500 ml:n pullo täyttyy (T_f). Nämä tulokset sijoitetaan alla olevaan kaavaan ja saadaan SDI. [9.]

$$SDI = \frac{P_{30}}{T_t} = \frac{100 * (1 - \frac{T_i}{T_f})}{T_t}$$

Missä P_{30} =prosentuaalinen tukkeutuminen 30 PSI:n paineella, T_t = Käytetty aika minuutteina, yleensä 15min, T_i = Alkuperäinen aika käytetty tuloksen saamiseen ja T_f = Aika käytetty tuloksen saamiseen T_t :n jälkeen.

3 Vedensuodatusmenetelmiä ja käsitteitä

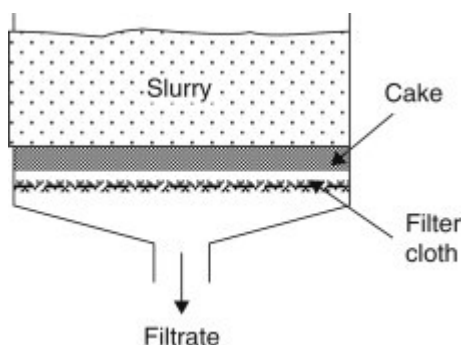
Jotta jätevedestä saadaan vähennettyä esimerkiksi sameutta tai liuenneita aineita, niin se täytyy suodattaa. Vedensuodatuksessa käytetään monia eri tyyppisiä sekä kokoisia suodattimia, yleensä peräkkäin, jotta lopputulos on niin puhdas, kuin tuotteesta on haluttu. Suodatinkokoja on monia (kuva 1), kuten mikrosuodatus, ultrasuodatus, nanosuodatus sekä käänteisosmoosi. Mitä pienemmäksi filtierielementti menee, sitä enemmän joudutaan käyttämään painetta, jotta vesi suodattuisi.



Kuva 1. Membraanisuodatuksien koot. Kuvan yläosassa näkyy hiukkaskokojen jakauma ja alaosassa näkyy, mikä membraanin huokoskoko sopii minkäkin kokoisten hiukkasten suodatukseseen. Materials-osio antaa yleisesti kuvaa, mitä milläkin hiukkaskokoalueella voisi olla. [10.]

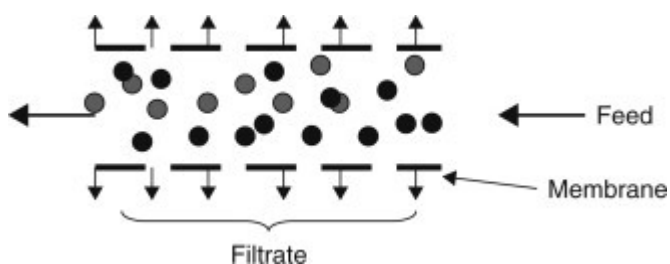
3.1 Tangentiaalivirtaus- ja normaalivirtaussuodatus

Fyysiset suodatinmenetelmät on lueteltu kahteen eri tekniikkaan: dead-end-suodatukseseen sekä cross-flow-suodatukseseen. Dead-end-suodatuksessa virtauksen suunta on kohtisuora filtierin pintaa kohti. Partikkelit jäävät jumiin filtierin pintaan muodostaen ”kakun” (kuva 2). Tämän takia dead-end-suodatusta joskus kutsutaan nimellä ”Cake filtration”. Filtierin pinnalle muodostunut ”partikkelikakku” pienentää huokosten kokoa, vähentää suodatuksen tehoa mutta parantaa suodoksen laatua. Tätä kutsutaan ”kakkuefektiksi”, joka on suodatuksen kannalta hyödyllinen prosessi, jos tuloksena halutaan mahdollisimman suodatettua vettä eikä vedensuodatuksen nopeutta. [11.]



Kuva 2. Suodatuksen aikana muodostunut suodatinkakku [12.]

Cross-flow-suodatuksessa virtauksen suunta on tangentiaalinen pintaa kohti (kuva 3). Tämä estää partikkelien kasaantumista suodatinmembraaniin. Cross-flow-suodatusta käytetään yleensä nesteille, joilla ei ole korkea partikkelipitoisuus.



Kuva 3. Cross-flow-suodatus. Suodatettavan veden virtaussunta on tangentiaalinen membraanipintaa ja suodosta nähden.[11.]

Likaista vettä ei kannata heti laittaa käänteisosmoosilaitteeseen, koska liian korkea SDI, TSS ja turbiditeetti tukkivat käänteisosmoosimembraanin. Suodatettava jätevesi kannattaa ensin esikäsitellä eli laittaa karkeamman filtierielementin läpi. [11.]

3.2 Arizona dust

Arizona dust on ISO-standardoitua (ISO 12103-1) erittäin hienojakoista hiekkaa, jota käytetään teollisuussuodatuksessa yleisenä kalibrointi- ja testausaineena. Sitä lisätään veteen haluttu suhdemäärä ja katsotaan suodatuksen tuloksia.

Hiekka koostuu enimmäkseen kvartsista. Arizona dust -hiekkaa käytetään yleensä ongelmienratkaisuun. Samassa suhteessa käytetty Arizona dust/vesi -seos suodatettuna kahdessa eri saman tyyppisessä suodattimessa pitäisi tuottaa samat mittaustulokset.

Arizona dust -testaushiekkaa on erilaatuisia, ja se vaihtelee A1:stä A4:ään hienousjärjestyksessä. Sofi filtration käyttää enimmäkseen hienouksia A1- ja A2-testauksiinsa. Hienoimman hiekan A1 suurin sallittu partikkelikoko on 22 µm [13]. Karkeamman hiekan A2 suurin sallittu partikkelikoko on 120 µm [14].

3.3 Koagulaatio ja flokkulaatio

Koagulaatiota sekä flokkulaatiota käytetään jäteveden partikkelien suodatuksen helpottamiseksi. Kummatkin tavat perustuvat siihen, että partikkelit tarrautuvat toisiinsa ja muodostavat isompia partikkelimassoja, jotka suodattuvat helpommin. Koagulaatio tapahtuu lisäämällä veteen kemiallista ainetta, joka neutralisoi hiukkasten varauksen, jotta ne eivät hylji toisiaan. Flokkulanttikemikaaleja käytetään, jotta hiukkaset kasaantuisivat yhteen, mutta eivät vaikuta hiukkasten varaukseen. Kumpaakin yleensä käytetään monen suodatusmenetelmän yhteydessä, kuten laskeuttamisessa sekä hiekkasuodatuksessa. [15.]

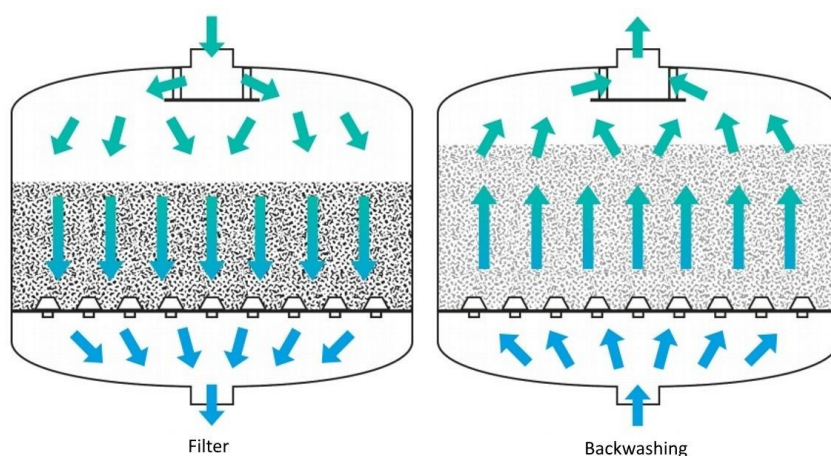
3.4 Hiekkasuodatus

Hiekkasuodatus on fysikaalinen mikrosuodatusmenetelmä, jossa puhdistettava vesi suodatetaan laittamalla vesi virtaamaan hiekkapatjan läpi, joka toimii suodatinväliaineena. Suodatinhiekan partikkelikoko on yleensä 0,7 mm. Jätevedessä olevat likapartikkelit jäävät hiekkapatjaan. Hiekkasuodatus voidaan jakaa kahteen tyyppiin: nopeaan hiekkasuodatukseseen sekä hitaaseen hiekkasuodatukseseen. [16. s. 38.]

3.4.1 Nopea hiekkasuodatus

Nopeassa hiekkasuodatuksessa (rapid sand filtration) veden annetaan kulkea hiekkapatjan läpi painovoiman avulla tai pumpattuna korkealla paineella. Näiden yhteydessä yleensä käytetään koagulaatiokemikaaleja, jotta lopputulos olisi puhtaampaa. Yksinkertaisimmillaan suodattimessa on yksi 0,5-2 m:n kerros yhdenlaatuista hiekkää, mutta mitä enemmän on erikokoisia hiekkakerroksia, sitä parempi suodatustulos on. Suodattimen suodatusnopeus saadaan laskettua muotoon metriä tunnissa (m/h) jakamalla suodattimen läpi menevä virtaus (m^3/h) suodattimen pinta-alalla (m^2). Nopean hiekkasuodatuksen suodatusnopeus vaihtelee 5-20 m/h riippuen suodatintyypistä.

Kun uusi puhdas suodatin käynnistetään ensimmäistä kertaa, sillä kestää vähän aikaa ennen kuin suodatin saavuttaa parhaan tehonsa. Likapartikkelien poiston tarkkuus riippuu erilaatuisista hiekkakerroksista sekä niiden partikkelikoosta. Nopea hiekkasuodatus tukkeutuu helposti jatkuvassa käytössä, joten takapesu on pakollinen pitkäaikaisessa käytössä. Takapesu (kuva 4) toimii vastakkaiseen virtaussuuntaan kuin normaalissa suodatuksessa. Puhdasta vettä työnnetään paineella alhaalta ylöspäin irrottaen liat hiekkapatjasta. [16. s. 39-40.]



Kuva 4. Nopean hiekkasuodattimen takapesu. Vasemmalla hiekkasuodatin toimii normaalisti, ja suodatettava vesi virtaa hiekkapatjan läpi alaspäin. Oikealla on kuvaus takapesusta. Tässä vesi virtaa vastakkaiseen suuntaan kuin suodatusvaiheessa. [17.]

3.4.2 Hidas hiekkasuodatus

Hitaat hiekkafiltterit ovat nimensä mukaan hitaampia, mutta tuottavat puhtaamman lopputuloksen vähemmällä huollolla. Hidassuodatuksen suodatusnopeus on keskiarvoltaan noin 0,15 m/h. Tällä suodatusmetodilla pyritään yleensä saamaan jätevedestä juomakelpoista vettä. Hitaan hiekkafiltterin toimintaperiaate ei perustu itse hiekan suodatusominaisuuteen, vaan sen päällä kasvavaan biologiseen kalvoon, virallisella nimellä schmutzdecke. Hiekka toimii kasvualustana biofilmille, joka muodostuu noin 10-20 päivän päästä filtterin alustuksesta. [16.]

Biofilmi koostuu bakteereista, sienikasvustosta sekä mikroskooppisista orgaanisista olioista, kuten ratas- sekä alkueläimistä. Kun vesi läpäisee kalvon, ylimääräiset orgaaniset sekä epäorgaaniset partikkelit suodattuvat pois, hiekan päälle kasvava biofilmi hajottaa orgaaniset aineet ja päästää puhtaan veden läpi. Tällä metodilla poistetaan veden sisältämiä epäpuhtauksia kuten rautaa, ammoniumia, hajua sekä makua aiheuttavia aineita sekä humusta. Hidas hiekkafiltteri vähentää bakteerisoluja noin 90-99 %. Pitkällä aikavälillä biofilmille voi alkaa kasvaa levää sekä muita olioita kuten sammaleläimiä, nivelmatoja ja kotiloita. [19.]

Hidassuodatin menettää tehoaan, kun kalvo kasvaa paksummaksi ajan myötä, mutta voidaan puhdistaa ottamalla hiekan pintakerros pois paljastamalla tuoretta hiekkaa. Tämä pitäisi tehdä yleensä 6–12 kk:n välein riippuen suodatettavan veden pitoisuuksista. Uuden biofilmin kasvaminen kestää 1–2 päivää, joten jotta suodatus olisi jatkuvaa, suodattimia pitäisi olla useampi. [16. s 41.]

3.5 Pussi- & patruunasuodatus

Pussi- sekä patruunasuodattimet ovat fysikaalisia suodattimia, joilla on iso skaala eri huokoskokoja. Yleisesti pienin käytetty patruunasuodattimen huokoskoko on 0,1 µm. Pussi- sekä patruunasuodattimien toimintaperiaate on samanlainen: puhdistettava neste suodatetaan kovalla paineella suodoselementin läpi, joka on yleensä tehty polypropeenistä. Suodoselementti kerää nesteessä olevat

partikkelit ja päästää suodoksen läpi. Patruunat sekä pussit ovat kertakäyttöisiä, joten kyseinen suodatusmenetelmä ei ole kovin ekologinen tai kustannustehokas. [20.]

Pussi- sekä patruunasuodattimia suositaan niiden helpon huollettavuuden sekä laajan soveltuvuuden takia. Suodatinelementti päästää läpi vain tietyn kokoisia partikkeleja, sitä suuremmat partikkelit jäävät jumiin elementtiin. Suodattimen suodatusteho pienenee, kun kiintoainemäärä lisääntyy verkon pinnalla. Kun kiintoainepitoisuus on tarpeeksi suuri, suodatusteho laskee huomattavasti ja suodatin on vaihdettava. Yleisimmät pussisuodattimet ovat manuaalisia, jossa suodattimet pitää manuaalisesti vaihtaa, mikä saattaa olla työntekijöille terveydellisesti vaarallista riippuen suodatettavasta aineesta. [20.]

3.6 Gravitaatiosakeutus

Gravitaatiosakeutus, eli laskeutus, tarkoittaa fysikaalista menetelmää erottaa partikkelit jätevedestä painovoiman avulla. Jäteveden annetaan olla paikallaan ilman häiriötekijöitä, ja antaa kiintoaineiden painovoiman avulla tippua pohjalle. Tämä menetelmä ei sovellu partikkeleihin, jotka ovat lienneet veteen tai bakteereiden suodatuksen. Tätä menetelmää käytetään enimmäkseen TSS:n vähentämiseen. Riippuen suodatettavan veden ominaisuuksista laskeuttamalla voidaan saada noin 2-10 % kuiva-ainepitoisuus. Veden laskeuttamisaika riippuu hyvin paljon siitä, mitä kiintoaineita vedessä on. Vaikuttavia tekijöitä ovat partikkelien koko sekä jäteveden viskositeetti ja tiheys. [21.]

Laskeutukseen käytetään yleensä isoja tankkeja laskeutusaltaina, jotka pumpataan täyteen suodatettavaa jätevettä. Painovoiman avulla laskeutettu kiintoainekerros poistetaan säännöllisesti pohjalta, ja käsitelty vesi viedään jatkosuodatuksen. Laskeutuksessa voidaan käyttää koagulantteja prosessin toiminnan nopeuttamiseksi sekä paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.

3.7 Kalvoperusteinen suodatus

Kalvoperusteinen suodatus perustuu kahden nesteen välillä olevaan puoliläpäisevään kalvoon. Kalvon kummallakin puolella virtaa neste, ja kalvon läpi pääsee valikoivasti hiukkasia. Kalvoperusteinen suodatus voi olla mikrosuodatusta, ultrasuodatusta, nanosuodatusta tai käänteisosmoosia riippuen halutusta lopputuloksesta. Läpi pääsevien hiukkasten kokoa voidaan valikoida valitsemalla tiheämpi kalvo sekä korkeampi tai matalampi syöttöpaine. [22.]

Kalvon läpäisevää vettä kutsutaan permeaatiksi, eli tuotevedeksi ja kalvon läpäisemätöntä vettä rejektiksi tai konsentraatiksi. Puhtaan veden ja syötetyn veden määrien välinen suhde on ultra- ja mikrosuodatuksessa ~95 % ja käänteisosmoosilla sekä nanosuodatuksella 65-75 % [16. s. 45.].

Kalvojen huolto koostuu kalvojen säännöllisestä pesusta mekaanisesti tai kemiallisesti. Mekaaninen pesu onnistuu suurella vesimäärällä ja pienellä paineella. Kemiallinen pesu onnistuu käyttämällä pesuliuosta mekaanisen pesun yhteydessä. Kalvojen pesu tulee aiheelliseksi yleensä, kun suodatuksen tuotto on vähentynyt 10-15 %. Kalvojen huoltoväli vaihtelee kuukaudesta vuoteen, riippuen syötettävästä vedestä. [16. s. 45.]

3.8 Keraaminen ultrasuodatus

Keraamiset ultrasuodatusmembraanit ovat nyt vähitellen tulleet markkinoille kilpailijana polymeereistä valmistetuille suodatinmembraaneille. Yleinen ultrasuodatusmembraani koostuu lieriöstä, johon on tehty monta onttoa reikää, joiden läpi suodatettava neste kulkee. Keraamisten suodattimien huono puoli on niiden hinta.

Toisin kuin keraamiset membraanit, nämä yleisesti käytetyt polymeerimembraanit ovat alttiita teollisuusjätteissä oleville kemikaaleille, korkeille lämpötiloille, voimakkaille pH-vaihteluille, öljyille sekä rasvoille [23]. Nämä heikentävät poly-

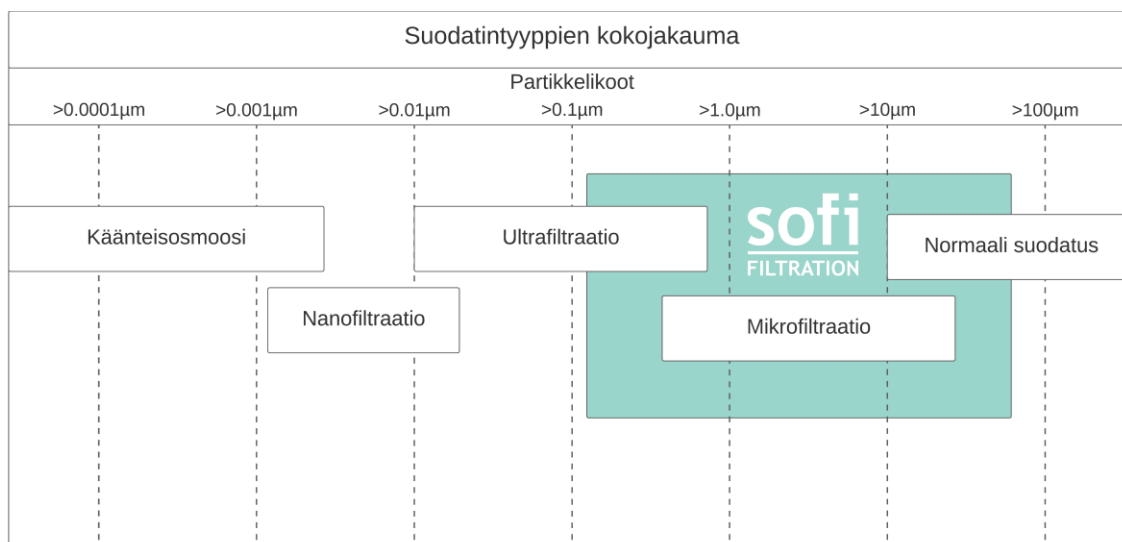
meereistä valmistettujen membraanien elinikää sekä vähentävät niiden tehokkuutta. Keraamisella suodatinelementillä on siis huomattavasti korkeampi elinikä näihin verrattuna. Keraamisten suodatinmembraanien huolto ja puhdistus tehdään puhtaan veden takapesulla puhdistuen filtriin jääneet partikkelit/liat.

4 Sofi Filter -suodattimet

Sofi Filtrationin suodattimet ovat itsestään puhdistavia mikrosuodattimia, jotka on suunniteltu käytettäväksi teollisen jäteveden suodatukseen ilman kemikaa- leja. Suodatinlaitteita voi ajaa dead end- tai cross flow -tiloissa, mutta ne on suunniteltu päälähtöisesti cross flow -käyttöön. Dead end -tilassa laite pumppaa suodatettavaa vettä kohtisuoraan membraania kohti, kun taas cross flow -ti- lassa vesi laitetaan kiertämään membraania ympäri korkeilla nopeuksilla.

Yhtiön suodattimien innovaatio antaa mahdollisuuden korkealle cross flow -vir- taukselle matalalla syöttöpaineella ilman mitään liikkuvia osia. Yleinen käyttötar- koitus suodattimille on veden puhdistaminen ennen käänteisosmoosiprosessiin siirtymistä, joka tukkeutuu helposti, jos vedessä on isompia partikkeleita.

Sofin suodatinkokoja käytetään kaupallisesti enimmäkseen alueella 0,3-20 µm. Suurempiakin huokoskokoja on 200 µm:iin asti, mutta niitä harvemmin käyte- tään.



Kuva 5. Sofi Filtrationin suodattimien soveltuvuusalue

Suodatettava vesi pumpataan lieriön muotoisen membraanin ulkopuolelle, ja se laitetaan kiertämään korkeilla nopeuksilla lieriötä ympäri, tangentialisesti suodattimen pintaa nähden ympyrää. Suodos läpäisee suodatinelementin, ja partikkelit jäävät ulkopuolelle. Automaattinen itsensä puhdistava ominaisuus on tehty ultraäänisauvan avulla, joka on sijoitettu onton lieriömuotoisen suodatinelementin keskelle. Tämä mahdollistaa tehokkaan takapesun nopean paineilmaiskun avulla.

SOFI FILTER UNIT	SF200	SF1000
CAPACITY m ³ /h	0.5 - 5	5 - 35
CAPACITY gpm	2.2 - 22	22 - 154
SEPARATION SIZE um		0.2 - 20
METHOD	Patented High Cross-Flow Filtration	
SELF-CLEANING FEATURES	Backpulse & Integrated Ultrasonic	
FEED PRESSURE	0.5 - 1.5 Bar (50-150 kPa)	
TEMPERATURE (max.)	85°C (185°F)	
pH RANGE	2 - 11	
WEIGHT (approx.)	40 kg/88 lbs	200 kg/440 lbs
MEASURES cm (approx.)	50x50x100	100x200x100
MEASURES in (approx.)	19.7x19.7x39.4	39.4x78.7x39.4

Kuva 6. Sofi Filtrationin suodatinmallit. [24.] Kuvassa näkyy kaksi eri suodatinkokomallia. Ensimmäinen on Sofi Filtrationin pienin suodatin, SF-200, joka on tarkoitettu pienille vesimäärille ja sitä yleisesti käytetään testilaitteena pienen kokonsa vuoksi. Seuraavaksi on SF-1000, jota käytetään huomattavasti suurempiin vesimääriin.

4.1 Suodatinlaite SF-200

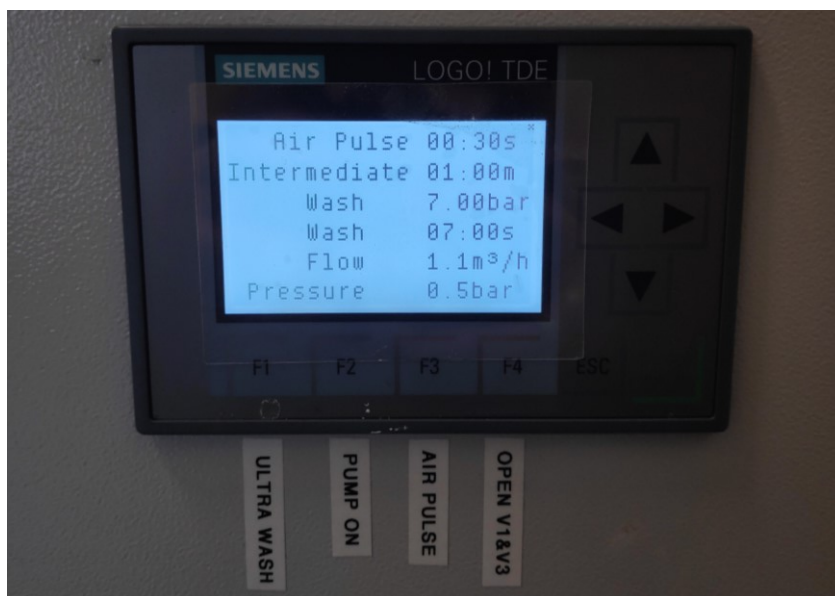
SF-200 on pienin versio suodatinlinjastosta. Sen suodatuskapasiteetti vaihtelee 0,5–5 kuutiometriä vettä per tunti. SF-200-filtterielementti on vaihdettavissa 0,3

μm :n huokoskoosta 200 μm :iin asti. Membraani on valmistettu 316 tai 904 ruostumattomasta teräksestä. Kummatkin ovat suhteellisen samankaltaisia, mutta 904 kestää korroosiota sekä teollisia kemikaaleja paremmin.



Kuva 7. SF-200-suodatinelementti

Laite toimii Siemens LOGO!-n ohjelmoitavalla logiikalla, joka on asennettu laitteen kyljessä olevaan sähkökaappiin. Sähkökaapin oveen on asennettu Logo! TDE -käyttöliittymä, jolla voi ohjata pumpun eri arvoja, kuten syöttöpainetta, takapesun sykliä sekä paineilmapulssin pituutta.



Kuva 8. SF-200-ohjauspaneeli

4.2 Suodatinlaite SF-1000

SF-1000 on suuremmille jätevesimäärille tarkoitettu vedensuodatuslaite. Veden suodattaminen, ohjaus sekä filtterielementit toimivat samalla tavalla kuin SF-200, mutta suodatuskapasiteetti on paljon suurempi. SF-1000 pystyy suodattamaan 5-35 kuutiota nestettä tunnissa. Niin kuin pienempi versio, laitteen runko on rakennettu ruostumattomasta teräksestä.



Kuva 9. SF-1000 3D mallinnus [24.]

4.3 Sofi Filtration suodattimien hyödyt

Suodattimien hyöty tulee ekologisuudesta, kustannustehokkuudesta sekä harvoista huoltoväleistä. Prosessi säästää huomattavasti enemmän vettä kuin muut markkinoilla olevat suodatusmenetelmät, ja suodattimet ovat kooltaan kompaktimpeja ja siirrettävämpiä. Verrattuna muihin markkinoilla oleviin itseään puhdistaviin mikrosuodattimiin, Sofi Filtrationin kehittämä mikrosuodatin eroaa teknisesti kolmella eri tavalla:

1. Suodattimien virtaussuunta toimii käänteisesti verrattuna yleisiin itsensäpuhdistaviin suodattimiin. Yleisesti vesi syötetään lieriömuotoisen elementin sisältä ulos, mutta Sofi Filtrationin suodattimissa virtaus tulee suodatinmembraanin ulkopuolelle, jotta suodosvirtauksen suunta on ulkoa sisäänpäin. Virtaussuunta mahdollistaa cross-flow-suodatuksen lieriömuotoisen suodatinelementin ympäri korkeilla virtausnopeuksilla.

Tämä johtaa siihen, että lika ei keräänny membraanin pintaan yhtä helposti kuin dead-end-suodatuksessa.

2. Koska lieriön vaippa kestää enemmän Newtoneita sisältä ulospäin menevää rikki, takapesun yhteydessä käytetty ilmapulssi voidaan ampua korkealla paineella. Ilmapulssin paine on noin 6 bar, ja normaalin suodatuksen yhteydessä vesi työnnetään membraanin läpi 0,5–2 barin paineella.
3. Kolmas ominaisuus on tuubin keskellä oleva ultraäänisauva. Se ei itsessään poista likaa, mutta löysentää partikkelien otetta toisistaan avustaen paineilmalla tapahtuvaa takapesua. Nopea vedenpaineen vaihtelu ultraäänen avulla muodostaa veteen hetkellisesti pieniä tyhjiöitä, jotka luhistuvat nopeasti. Nämä pienet luhistuvat tyhjiöt nostavat paikallisesti sekä hetkellisesti veden lämpötilaa. Tätä kutsutaan kavitaatioilmiöksi, ja se on myös hyödyllinen lian irrottamisessa. [25.]

4.4 Vertailua muihin suodatustapoihin

Sofin suorat kilpailijat ovat pussi- sekä patruunasuodattimet, mutta myös hiekkasuodattimia sekä laskeutusaltaita pystyttäisiin korvaamaan Sofin suodattimilla. Verrattuna pussi- sekä patruunasuodattimiin, jotka ovat kertakäyttöisiä sekä vaativat usein manuaalista vaihtoa, Sofin suodattimet ovat ekologisempia, pitkäikäisempiä sekä niiden huoltoväli on huomattavasti harvempi. Pussi- sekä patruunasuodattimien suurin hyöty on niiden suuri laaja käyttöalue suodatuksessa, johon pystyvät myös Sofin suodattimet niiden vaihdettavilla filttierielementeillä. [20.]

Hiekkasuodattimiin tai gravitaatiosakeutukseen verrattuna Sofin suodattimien hyöty on liikutettavuus, pieni koko ja nopea käyttöönotto. Esimerkiksi pienin suodatinlaite SF-200 voidaan rakentaa suoraan pyörien päälle ja asentaa kohteeseen alle tunnissa. Hiekkasuodattimet ja laskeutusaltat ovat pinta-alaltaan

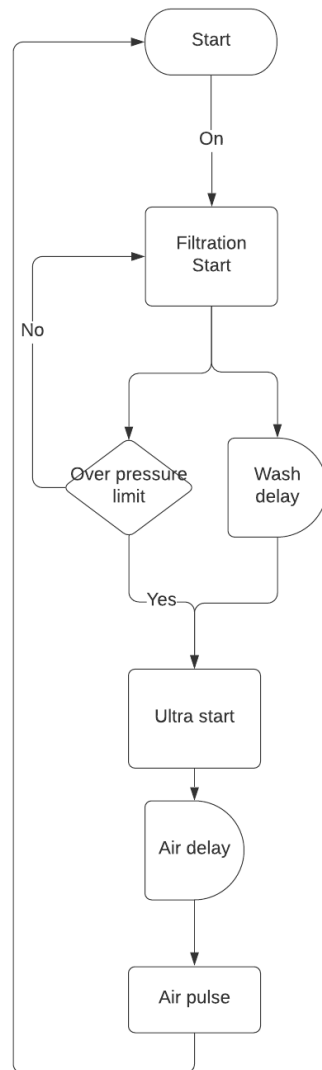
huomattavasti suurempia, ja hiekkasuodattimien aloitus vaatii aikaa, jotta suodos olisi puhdasta. Yrityksen suodattimien suodoksen laatua saa helposti vaihdettua vaihtamalla filterielementti saadakseen halutun lopputuloksen.

Vaikka Sofi Filtrationin suodattimet vaikuttavat olevan optimaalisempia ratkaisuja muihin suodatusmenetelmiin, niin monet yritykset mieluummin suosivat vanhoja ja luotettavia menetelmiä, jotka ovat jo toiminnassa. Yritykset, jotka suunnittelevat uusia vedenkäsittelyosastoja palkkaavat siihen yleensä suunnittelutoimistoja, jotka mieluummin käyttävät tapoja, joita he ovat tottuneet käyttämään. Tämä johtaa siihen, että pienet yritykset kuten Sofi Filtration ei saa tarvittavia referenssejä päästääkseen teollisuusstandardiksi suodatusmaailmassa. Tämän lisäksi yleensä yritykset välttävät riskien ottamista, kun on kyse uusista teknologioista.

4.5 Ohjelmoitavan logiikan toiminta

Suodatinyksikön toiminta perustuu PLC-ohjaimeen, joka ohjaa koko laitetta. Ohjelmoitava logiikka kontrolloi kaikkia venttiilejä, pumppuja, ultraäänisauvaa sekä takapesun käynnistystä. Laite on hyvin pitkälle automatisoitu: se osaa havaita, milloin sen tarvitsee käynnistää takapesu, kun membraani on tarpeeksi tukkeutunut. Logiikan toimintaa voi muokata siihen kytketystä näytöstä. HMI-käyttöliittymästä voi valita paineilmapulssin sekä ultraäänen pituuden ja pesusyklin nopeuden.

Suodattimen logiikan kulku on suhteellisen suoraviivainen (kuva 10). Prosessi alkaa laitteen käynnistämällä, joka aloittaa veden virtauksen suodatinmembraanin ympärille. Kun tarpeeksi pitkä aika on kulunut, tai paine-ero suodatinmembraanin ulko- ja sisäpuolella on riittävän suuri, niin alkaa pesuvaihe. Veden kierto loppuu ja ultraäänisauva saa virtaa, jonka seurauksena se rupeaa löyhentämään partikkeleita likaiselta membraanipinnalta. Tämän jälkeen, kun ultraäänisauva on ollut säädetyn ajan päällä, paineilmapulssi työntää liat rejektiventtiilistä ulos. Kun rejekti on ulkona, niin prosessi alkaa alusta.



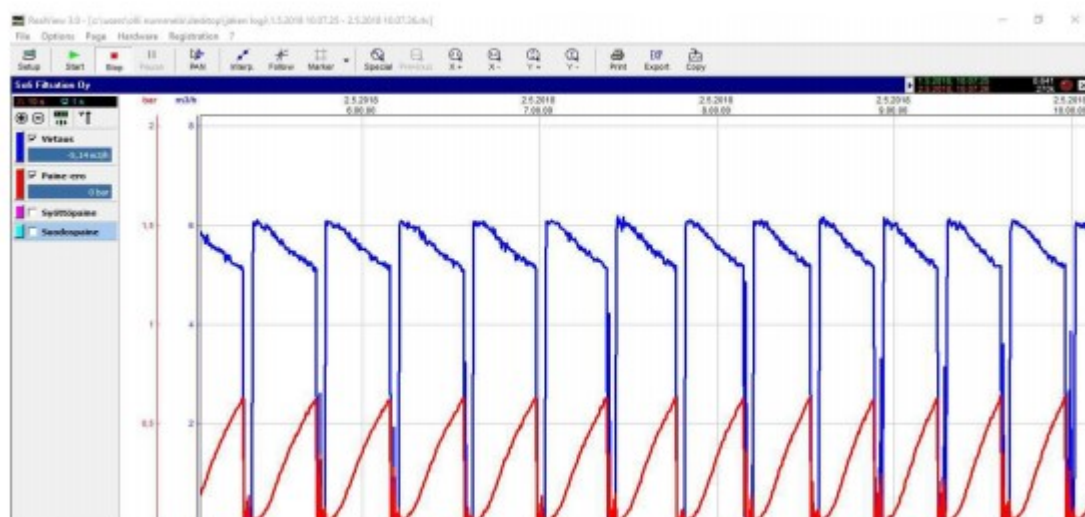
Kuva 10. Suodatinprosessin koodin esitys graafisesti vuokaaviona

5 Sensoridatan lisääminen

5.1 Anturit ja datan keruu

Sensoridatan lisääminen tapahtui SF-200-pilottilaitteeseen, johon oli jo valmiiksi asennettu virtaus- sekä paineanturit. Datan keräyksen lisääminen onnistui Arduino Uno -piirilevyllä sekä siihen hankituilla antureilla. Jo valmiiksi asennettuja virtaus- sekä paineantureita luettiin Labjack U3-HV -liittimen avulla, joka oli liitetty tietokoneeseen USB-johdon kautta.

Labjack U3-HV -liittimessä on neljä korkeajänniteanalogista sisääntuloa, 12 joustavaa I/O-liitäntää sekä neljä digitaalista I/O:ta. Joustavat I/O-liitännät voidaan säätää digitaalisiksi tai analogisiksi. SF-200-laitteesta kerätään jatkuvasti tietoa vedenpaineesta ja virtauksesta, joka syötetään Labjack U3-HV:n kautta tietokoneelle, joka prosessoi datan graafiseen muotoon Realview 3.0 -ohjelmalla. Labjack-liittimeen on liitetty vedenpaineen sekä veden virtausnopeuden anturi. [26.]



Kuva 11. Esimerkki RealView 3.0 -ohjelman graafisesta näyttöliittymästä. Punainen käyrä esittää suodatinmembraanin sisäpuolen ja ulkopuolen paine-eroa. Paine-ero kasvaa jokaisen suodatussyklin loppua kohti, kun membraanin huokoset tukkeutuvat suodatettavista partikkeleista. Sininen käyrä esittää suodattimelle syötettävän veden virtausnopeutta, joka myös laskee, kun membraani tukkeutuu suodatussyklin loppua kohti.

Suodatuksen tehokkuutta ja toimintaa seurattiin virtauksen avulla (kuva 11). Jos virtauksen käyrä toisti samaa kuviota ilman vaihtuvuutta, niin suodatin ei menettänyt tehoa. Mitä nopeammin virtauksen käyrä laskeutuu, sitä enemmän membraani tukkiintuu ja suodattaa nesteestä likaa. Jos sininen käyrä, eli virtaus, lähentelee kanttiaaltoa, niin suodatin ei suodata nesteestä mitään, ja vesi menee tukkimatta membraanista läpi.

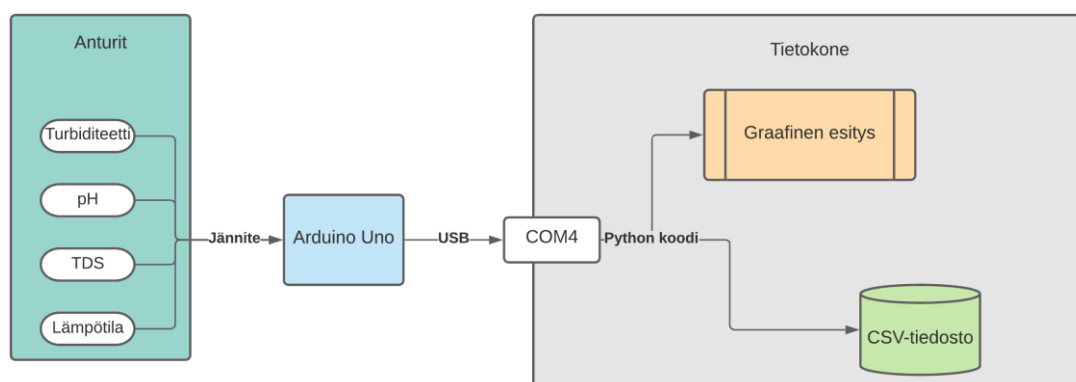
5.2 Arduino Uno ja datan tallennus

Sensoridatan lisääminen onnistui Arduino Uno -koodattavalla piirilevyllä, johon tilattiin turbiditeetti- [27], pH [28], lämpötila- [29] sekä TDS [30] -anturit. Anturit kommunikoivat jännitevaihtelun avulla piirilevyn kanssa. Piirilevy koodattiin C# - kielellä lähettämään halutut vedenarvot tietokoneelle ja tietokoneen puolella pyörii python-kielellä ohjelmoitu skripti, joka tallentaa annetut tiedot. Kaikki anturit laitettiin sarjaan muoviputkeen kiinni, jonka saa asennettua helposti camlock-liittimillä suodatinsysteemiin kiinni (kuva 12).



Kuva 12. Datankeruuseen tehty muoviputki, jossa on käsin säädettävä venttiili ja Camlock-liittimet kummassakin päässä. Vasemmalla putkessa näkyvät anturit, jotka on asennettu sarjaan.

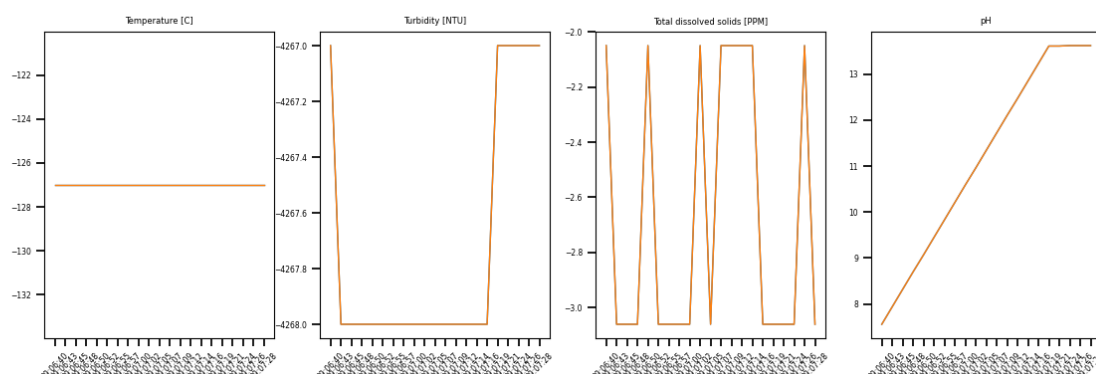
Arduino kommunikoi tietokoneen kanssa USB-johdon kautta (kuva 13). Arduinon sisälle ohjelmoitu koodi ensin lukee antureilta tiedot ja muuttaa ne numero-muotoon. Sen jälkeen se lähettää USB-kommunikointiväylän COM4:n kautta tiedot baudinopeudella 9600, joka on Arduino Unolle standardinopeus. Vaikka piirilevy kommunikoi tietokoneen kanssa nopeudella 9600 bittiä per sekunti, kestää sen sisälle ohjelmoidulla ohjelmalla paljon pidempään lukea antureilta tiedot. Piirilevy lähettää noin kerran sekunnissa anturien lukemat tietokoneelle string-muodossa, ja erottaa anturien tiedot toisistaan pilkuilla.



Kuva 13. Kommunikointidiagrammi

Python-skripti (liite 2) kerää Arduinon lähettämät arvot COM4-väylältä ja tallentaa ne CSV-tiedostoon sekä näyttää mitatut arvot graafisesti reaaliaikaisesti tietokoneella. Ensin ohjelma kysyy käyttäjää antamaan CSV-tiedostolle nimen, kuinka monta minuuttia se kerää piirilevyltä tietoa ja mikä on pumpun säädetty taajuus. Tämän jälkeen, kun tiedot on syötetty ohjelmalle, niin se alkaa lukemaan piirilevyltä tietoa. Se sitten lisää tiedot listaan, jolla se erottaa numerodatat toisistaan pilkun avulla. Ohjelma aloittaa datan näyttämisen graafisissa kuvaajissa (kuva 14) ja samalla tallentaa niitä itse nimettyyn CSV-muotoiseen tiedostoon. Kun aiemmin syötetty aika on kulunut, niin se sulkee itsensä automaattisesti.

Figure 1



Kuva 14. Esimerkki datan reaaliaikaisesta mittauksesta. Neljä kuvaajaa näyttää jokaisen mitatun muuttujan käyrää ajan suhteen. Ensimmäinen vasemmalta on lämpötila, toinen on turbiditeetti, kolmas TDS ja viimeinen on pH. Kuvaajat ovat epärealistisia, kun katsoo mittausarvoja. Lämpötila on tasaisesti -128 celcius asteessa, joka viittaa kontaktihäiriöön piirilevyssä. Turbiditeetin arvo NTU:na lähentelee -4000:tta, joka ei ole mahdollista, koska sameuden mitta-arvot ovat aina positiivisia.

6 Sensoridatan keräämisen testaus

Näissä testeissä käytetyssä laitteessa oli vesisäiliö, johon mahtui noin 50 litraa suodatettavaa nestettä. Suurimmissa osissa testeistä käytettiin hanavettä, johon oli sekoitettu suodatettavaa ainetta.

6.1 Testien tulokset ja graafinen analysointi

Graafinen esitys datapisteistä tehtiin CSV-muotoisesta tekstitiedostosta itsetehdyllä ohjelmalla, joka on toteutettu Python-koodikielellä. Ohjelmassa käytettiin matplotlib- sekä seaborn data -analyysikirjastoja. Valitsin datan esitysmuodoksi viuludiagrammin (violinplot) [32], koska se näytti parhaiten kyseisen numero-muotoisen datan jakaumaa sekä määrää. Toisina vaihtoehtoina oli laatikkodiagrammi [33] ja pistediagrammi [34], mutta näiden esitysmuoto oli epäselvempi ja vaikeasti luettavampi.

6.2 Suodatettavien vesien mittaukset

Ensimmäinen suodatettava seos tuotettiin sekoittamalla hanavettä ja rautaoksidista koostuvaa metallipulveria. Kyseinen näyte tuli Sofi Filtrationille testattavaksi metalliteollisuusyritykseltä peittausprosessista. Tämä testi valittiin ensimmäiseksi testiksi, koska samalla testattiin, miten hyvin suodatinelementti suodattaa kyseistä seosta. Metalliseosta testattiin kolmessa eri suhteessa: 50 mg/l, 100 mg/l ja 200 mg/l. Eli yhteensä metalliseosta nestesäiliössä oli 2,5 g, sitten 5 g ja lopuksi 10 g.

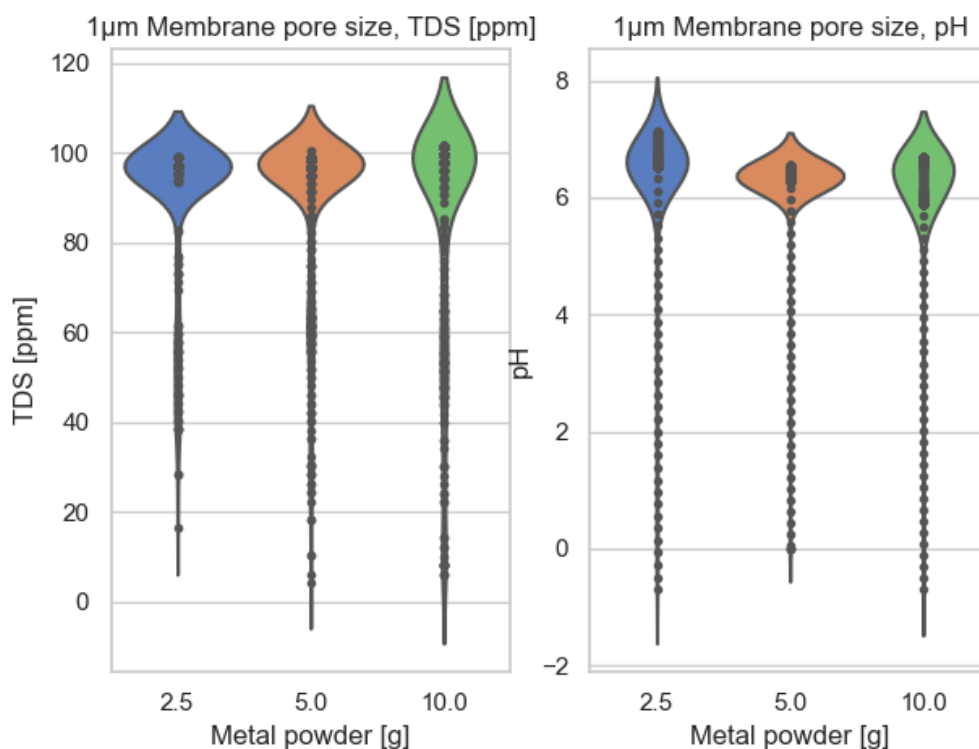
Toinen suodatettava seos, mitä testattiin, oli hanaveden sekä Arizonda dust -pulverin sekoitus. Tämä valittiin toiseksi testiksi, koska kyseinen seos on helppo tehdä laboratorio-olosuhteissa ja seos on yleinen standardi suodatusteollisuudessa. Arizona dust -testiä tehtiin kolmessa eri suhteessa: 25 mg/l, 50 mg/l ja 100 mg/l. Eli yhteensä testihiekkaa nestesäiliössä oli 1,25 g, sitten 2,5 g ja lopuksi 5 g.

Putki, jossa anturit olivat kiinni, oli asennettu laitteen suodosputkeen jatkeeksi, joten tulokset ovat suodatetun veden arvoja. Suodattimessa oli 1 μm huokoskoinen elementti ja pesusykli oli 30 s.

6.2.1 Ensimmäisen testin tulokset

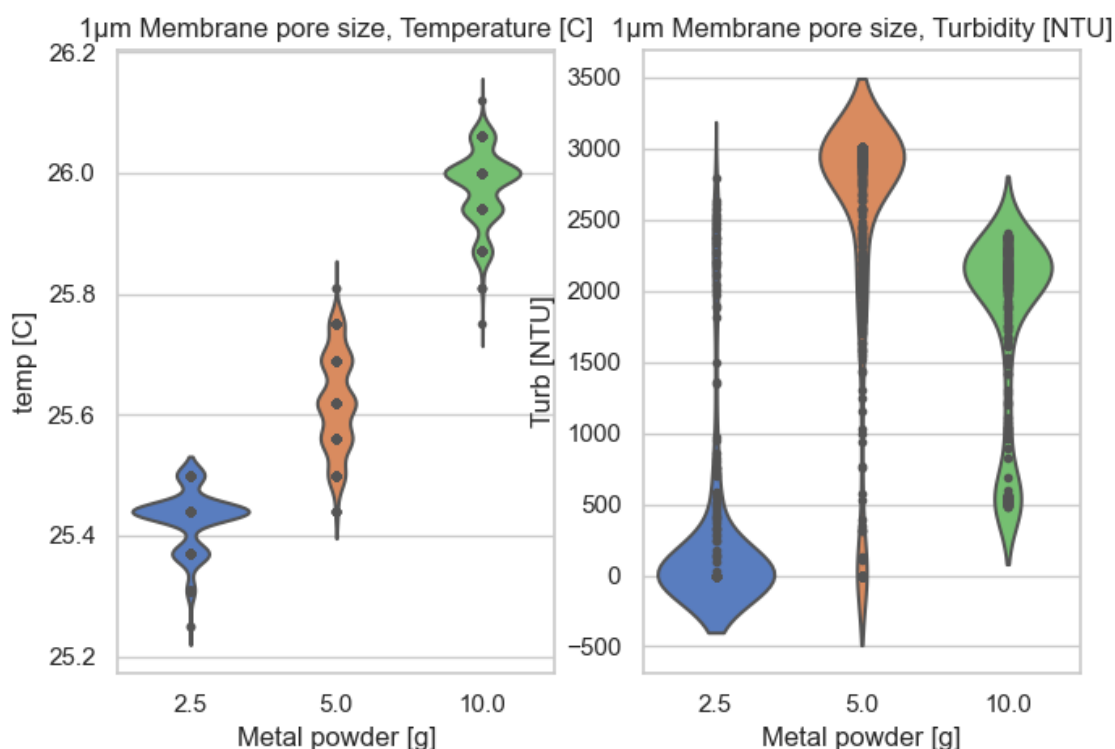
Datapisteitä ensimmäisessä testissä oli noin 1200, joka on riittävän suuri otos esittämään suodattimen vaikutusta. Testi aloitettiin 2021/3/31 10:50:21 ja lopetettiin 2021/3/31 11:50:00, joten veden arvoja mitattiin noin tunti ja näytteenottoväli oli noin 3 s.

Ensimmäisenä TDS- sekä pH-mittauksien numeeriset arvot prosessoitiin graafiseen muotoon (kuva 15). Mittaustulokset ovat suhteellisen tarkkoja sekä niistä saa helposti katsottua, miten mitatut vedenarvot ovat vaihdelleet, kun veteen on lisätty erimäärä metalliseosta.



Kuva 15. TDS ja pH, testi 1. X-akselilla on metalliseoksen määrä kolmessa eri vaiheessa ja y-akseli esittää mitattavia arvoja. Vasemmassa kuvassa on TDS:n suhde rautaoksidiin ja oikealla on samanlainen kuvaaja pH:sta.

Seuraavaksi veden sameus sekä lämpötilan vaihtelu laitettiin graafiseen muotoon (kuva 16). Vaikka ultraäänen tuottama kavitaatioilmiö nosti nesteen lämpötilaa, mitä kauemmin suodatusprosessi kesti, lämpötilan mittatulokset olivat tarkkoja ja luotettavia. Veden lämpötila ei paljoa vaihdellut ja sopeutui lähinnä laboratorion huoneenlämpöön. Toisin kuin lämpötila-anturi, turbiditeettianturin numeeriset tulokset olivat epäluotettavia ja enintäänkin suuntaa-antavia. Turbiditeetin arvot heittelivät välillä -500-3500. Sameuden arvot NTU:na eivät voi teoriassa saada negatiivisia arvoja, ja yli noin 1000 NTU:n arvoja ei pitäisi näin pienellä määrällä metalliseosta saada.

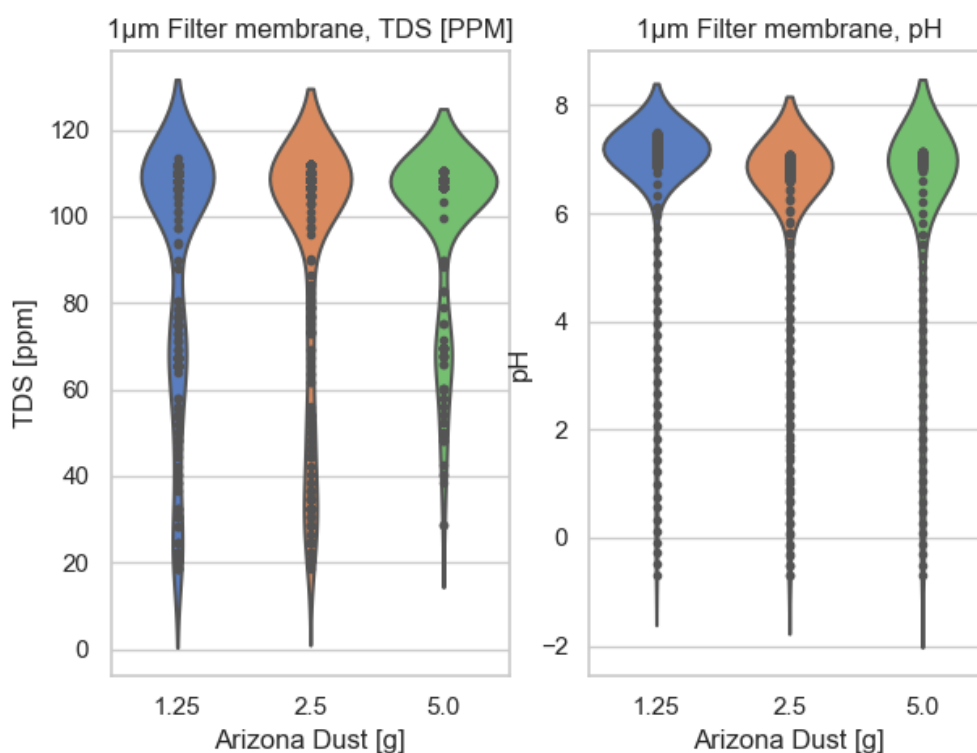


Kuva 16. Lämpötila ja turbiditeetti, testi 1. X-akselilla on metalliseoksen määrä kolmessa eri vaiheessa, ja y-akseli esittää mitattavia arvoja. Vasemmassa kuvassa on lämpötilan suhde rautaoksidiin ja oikealla on samanlainen kuvaaja turbiditeetista.

6.2.2 Toisen testin tulokset

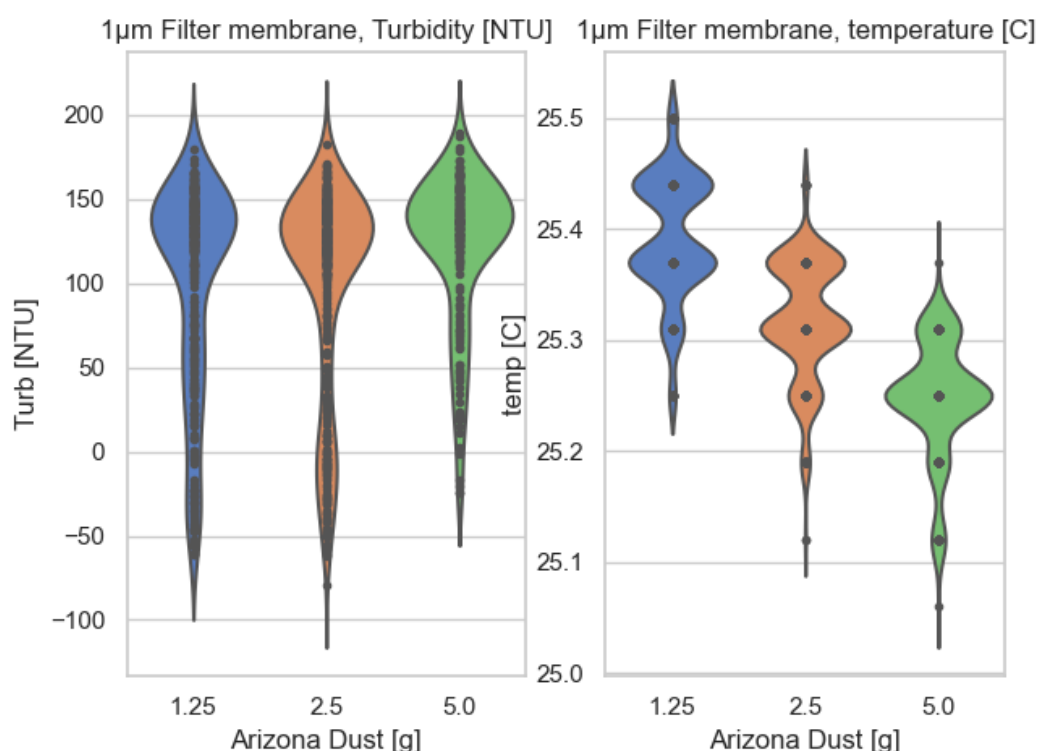
Datapisteitä toisessa testissä oli noin 1000, joka on vähän vähemmän kuin ensimmäisessä testissä, mutta riittää silti esittämään suodattimen vaikutusta. Testi aloitettiin 2021/4/19 15:14:12 ja lopetettiin 2021/4/19 15:45:00, joten veden arvoja mitattiin noin puoli tuntia ja näytteenottoväli oli noin 2 s. Ennen toista testiä vaihdoin turbiditeettianturin toiseen identtiseen SEN0189-anturiin nähdäkseni, johtuivatko tuloksien heittelyt rikkinäisestä anturista.

Kuten aikaisemmassa testissä, tuloksista voi päätellä, että TDS- sekä pH-anturit toimivat moitteettomasti (kuva 17). Arizona dust -hiekan ei pitäisi vaikuttaa TDS- tai pH-mittauksiin, koska hiekan ei pitäisi vaikuttaa sähkönjohtavuuteen tai pH-arvoon vedessä.



Kuva 17. TDS ja pH, testi 2. X-akselilla on Arizona dust -hiekan määrä kolmessa eri vaiheessa ja y-akseli esittää mitattavia arvoja. Vasemmassa kuvassa on TDS:n suhde Arizona dust -hiekan määrään ja oikealla on samanlainen kuvaaja pH:sta.

Analysoimalla sameuden mittaustuloksia voi päätellä, että vaihtamalla turbiditeettianturi uuteen korjasi mitattujen arvojen heittelyt (kuva 18), mutta anturi silti antoi välillä negatiivisia tuloksia. Turbiditeetin pitäisi myös nousta, kun Arizona dust -hiekan suhde nousee veteen nähden, mutta anturin mittaamat arvot eivät vaihdelleet paljoa. Tämä saattaa johtua siitä, että suodatin toimi hyvin, eikä päästänyt likapartikkeleita paljoa läpi. Lämpötila-anturi antoi tarkkoja lukemia, jotka eivät vaihdelleet kuin pari desimaalia.



Kuva 18. Turbiditeetti ja lämpötila, testi 2. X-akselilla on Arizona dust -hiekan määrä kolmessa eri vaiheessa ja y-akseli esittää mitattavia arvoja. Vasemmassa kuvassa on turbiditeetin suhde Arizona dust -hiekan määrään ja oikealla on samanlainen kuvaaja lämpötilasta.

7 Yhteenveto

Työn ensimmäisessä osassa analysoitiin suodatinmenetelmiä ja tultiin lopputulokseen, että Sofi Filtrationin suodattimet ovat hyötysuhteeltaan optimaalisempia kuin kilpailijansa pussi- sekä patruunasuodattimet. Yhtiön suodattimet voisivat myös korvata helpon asennuksen, pienen fyysisen kokonsa sekä nopean käyttöönoton vuoksi suuren kokoiset sekä hitaat hiekkasuodattimet. Ongelma-kohtana Sofi Filtration Oy:llä on teollisuusluotettavuuden hankkiminen, joka tulee ajan ja referenssien kautta. Yritykset eivät mielellään halua ottaa riskejä uusien teknologioiden kanssa, ja he mieluummin sijoittavat vanhaan sekä luotettavaan vedenkäsittelymenetelmään, vaikka se onkin epäoptimaali.

Sensoridatan tuoton lisääminen onnistui hyvin suurimmalta osalta. Työssä eniten tuotti hankaluuksia anturien laatu sekä niiden tuloksien heittely, etenkin veden sameusanturin SEN0189 lukemat olivat enemmänkin suuntaa antavia kuin tarkkoja tuloksia. Sameusanturin arvot heittelivät -500 ja 3000 NTU:n välillä, vaikka anturi oli moneen otteeseen kalibroitu puhtaalla hanavedellä. Puhtaan hanaveden turbiditeetti pitäisi olla lähellä nollaa NTU:ta. Vaihtamalla anturi uuteen korjasi arvojen heittelyn, mutta se silti antoi negatiivisia tuloksia. Uusi anturi ei myöskään mitenkään reagoinut, kun testihiekan suhdetta nostettiin. Muiden mitattavien suureiden tulokset olivat suhteellisen tarkkoja, kun putki oli täynnä vettä. SF-200:n puhdistussyklin paineilmapulssin aikana laite sulkee suodosventtiilin, joten putki tyhjenee vedestä ja täyttyy ilmalla, joka vaikutti sameus- sekä TDS-anturien mittatuloksiin.

Työ antoi yritykselle tietoa kilpailijoistaan ja dataa suodatuslaitteen suodoksen vedenarvoista. Projektia voisi jatkaa sijoittamalla laadukkaampiin antureihin ja keräämällä enemmän datapisteitä erilaisista suodatettavista vesistä. Yhtiön tavoitteena onkin lähitulevaisuudessa sijoittaa huomattavasti enemmän aikaa ja rahaa datan keruuseen ja data-analytiikkaan, joten tämä työ on hyvä lähtökohta hankkeeseen.

Lähteet

- 1 Islam, Rubiat ym. 2017. Assessment of pH and Total Dissolved Substances (TDS) in the Commercially Available Bottled Drinking Water. Tutkimustyö.

<<https://www.iosrjournals.org/iosr-jnhs/papers/vol6-issue5/Version-9/E0605093540.pdf>> 23.10.2017. Luettu 16.1.2021.
- 2 Michaud, Joy. 1994. A citizen's guide to understanding and monitoring lakes and streams. Verkko-opas.

<<https://web.archive.org/web/20100730171415/http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/management/joymanual/4tss.html>>. Luettu 16.1.2021.
- 3 Measuring Total Suspended Solids In Water. 2019. Verkkoaineisto. Sterlitech.

<<https://www.sterlitech.com/blog/post/measuring-total-suspended-solids-in-water>>. Luettu 17.1.2021.
- 4 Turbidity and Water. Verkkoaineisto. United States Geological Survey.

<https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/turbidity-and-water?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Luettu 17.1.2021.
- 5 Turbidity -- Units of Measurement. 2017. Verkkoaineisto. United States Geological Survey.

<<https://or.water.usgs.gov/grapher/fnu.html> >. 4.9.2017. Luettu 17.1.2021
- 6 Measuring Turbidity: NTU, FTU, FAU. 2019. Verkkoaineisto. Pure Water Gazette.

<<http://www.purewatergazette.net/blog/measuring-turbidity-ntu-ftu-fau/#:~:text=Labs%20usually%20report%20turbidity%20in,%3D%201%20FTU%20%3D%201%20FAU>>. 23.3.2019. Luettu 17.1.2021.
- 7 Types of Ph Sensors: What You Need to Know. Verkkoaineisto. Sensorex.

<<https://sensorex.com/blog/2019/09/09/ph-sensors-need-to-know/>>. Luettu 18.1.2021.
- 8 Silt Density Index – SDI. Verkkoaineisto. Lenntech.

<<https://www.lenntech.com/sdi.htm>>. Luettu 18.1.2021

- 9 Procedure for Measuring Silt Density Index (SDI). 2013. Teknisen palvelun tiedote. Nitto Group Company.

<<https://membranes.com/docs/tsb/TSB113.pdf>>. 10.2013. Luettu 20.1.2021.
- 10 Membrane Filtration MF,UF,NF and RO. Verkkoaineisto. 3R Tehcnology.

<<http://www.3rtechnology.in/membrane.php>>. Luettu 20.1.2021.
- 11 Basile & Pereira Nunes. 2011. Advanced Membrane Science and Technology for Sustainable Energy and Environmental Applications. Verkkokirja.

<<https://www.sciencedirect.com/book/9781845699697/advanced-membrane-science-and-technology-for-sustainable-energy-and-environmental-applications>>. 24.8.2011. Luettu 21.1.2021.
- 12 Berk, Zeki. 2018. Food Process Engineering and Technology. Verkkokirja.

<<https://www.sciencedirect.com/book/9780123736604/food-process-engineering-and-technology>>. 16.2.2018. Luettu 22.1.2021.
- 13 PTI Arizona Test Dust A1 ultrafine. DMT-group. Verkkodokumentointi.
<<https://testdust.dmt-group.com/en/standard-test-dust/161/pti-arizona-test-dust-a1-ultrafine>>. Luettu 12.2.2021
- 14 PTI Arizona Test Dust A2 fine. DMT-group. Verkkodokumentointi.
<<https://testdust.dmt-group.com/en/standard-test-dust/162/pti-arizona-test-dust-a2-fine>>. Luettu 12.2.2021
- 15 Vedenpuhdistus – Water purification. 2005. Verkkoaineisto. Wikipedia.

<https://fi.qaz.wiki/wiki/Water_purification>. Luettu 25.1.2021.
- 16 Isomäki, Eija ym. 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Ympäristöopas. Vammalan Kirjapaino Oy. Luettu 25.1.2021.
- 17 Reijnen, Joshua. 2020. How does a sand filter work?. Verkkoaineisto.

<<https://royalbrinkman.com/knowledge-center/technical-projects/water-filter-technologies-horticulture/sand-filter>>. 23.2.2020. Luettu 1.2.2021
- 18 Guchi, Ephrem. 2015. Review on Slow Sand Filtration in Removing Microbial Contamination and Particles from Drinking Water. Tutkimustyö.

<https://www.researchgate.net/publication/275097978_Review_on_Slow_Sand_Filtration_in_Removing_Microbial_Contamination_and_Particles_from_Drinking_Water_Ephrem_Guchi_1>. Luettu 1.2.2021

- 19 Wegelin, Martin. 1996. Surface Water Treatment by Roughing Filters - A Design, Construction and Operation Manual. Manuaali.

<<http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0cdl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-0l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-10&cl=CL2.19&d=HASH01165bbf8a8dc3251af16cd9.6.5.2>=1>>. Luettu 2.2.2021
- 20 Dedyulin & Skoritskaya. 2019. Pussisuodattimen suunnittelu ja toiminta: Suodatinpussin vaihtamisen edut ja haitat + ominaisuudet. Verkkoaineisto.

<<https://engineer.decorapro.com/fi/vent/oborud/ustroystvo-i-rabota-rukav-nogo-filtra.html>>. Luettu 3.2.2021
- 21 Augustyn, Adam. Sedimentation tank – water treatment. Encyclopaedia Britannica. Verkkoaineisto.

<<https://www.britannica.com/technology/sedimentation-tank>>. Luettu 3.2.2021
- 22 Kalvotekniikka ja kalvosuodatus. ProMinent. Verkkoaineisto.
<<https://www.prominent.fi/fi/Tuotteet/Tuotteet/Kalvotekniikka-ja-kalvosuodatus/pg-membrane-technology-and-filtration.html>>. Luettu 4.2.2021
- 23 Ceramic Filtration – Safe Water System. 2012. Centers for Disease Control and Prevention. Verkkoaineisto.

<<https://www.cdc.gov/safewater/ceramic-filtration.html>>. 21.3.2012. Luettu 8.2.2021
- 24 Sofi filtration. Kotisivut.

<<https://www.sofifiltration.com/>>. Luettu 9.2.2021
- 25 Brennen, Earls. 1995. Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press. Luettu 9.2.2021
- 26 Labjack U3. Labjack.Tuote-esittely.

<<https://labjack.com/products/u3>>. Luettu 9.2.2021
- 27 Turbidity sensor SKU SEN0189. DFRobot. Verkkodokumentointi.

<https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189>. Luettu 11.2.2021
- 28 PH meter SKU SEN0161. DFRobot. Verkkodokumentointi.

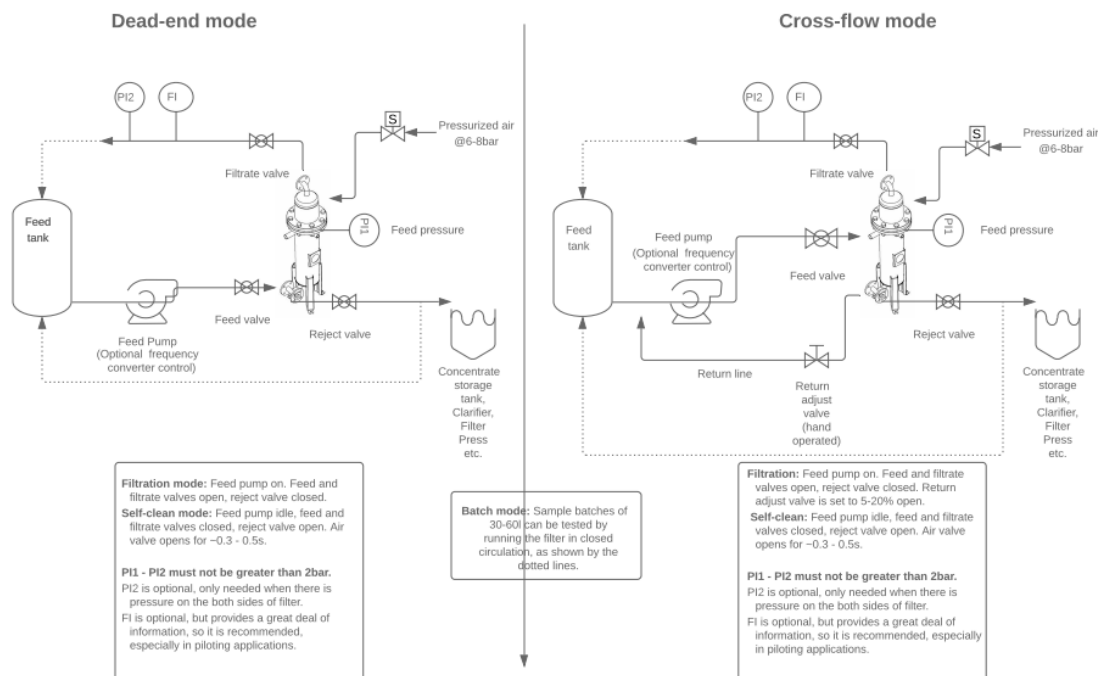
<https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_>. Luettu 11.2.2021

- 29 Waterproof 1-Wire DS18B20 Compatible Digital temperature sensor. Adafruit. Myyntisivu.
<<https://www.adafruit.com/product/381>>. Luettu 11.2.2021
- 30 Gravity Analog TDS Sensor Meter For Arduino SKU SEN0244. DFRobot. Verkkodokumentointi.
<https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor___Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244>. Luettu 11.2.2021
- 31 Instruction manual for Sofi Filter SF200P mobile pilot unit
- 32 Waskom, Michael. Violinplot. Verkkodokumentointi. <<https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.violinplot.html>>. Luettu 1.3.2021
- 33 Waskom, Michael. Boxplot. Verkkodokumentointi <<https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.boxplot.html>>. Luettu 1.3.2021
- 34 Waskom, Michael. Stripplot. Verkkodokumentointi <https://seaborn.pydata.org/examples/jitter_stripplot.html>. Luettu 1.3.2021

SF-200 PI-kaavio

SF200 pilot P&ID

Sofi Filtration | January 3, 2020



Python skripti

```
import serial
import csv
import datetime
import time
import seaborn as sns
from matplotlib import pyplot as plt
import matplotlib.dates as md
import matplotlib.animation as animation
import numpy as np
import pandas as pd

arduino_port = "COM4" #Arduinon portti
baud = 9600 #Arduinon BaudRate

global ser
global fileName
global samples
ser = serial.Serial(arduino_port, baud)

def main():

    def input_function():
        global ser
        global fileName
        global samples
        global pumpFrequency

        textname = input("Give CSV name: ")
        fileName=textname+".csv"
        line=0;
        samples =30 #Default minutes if no input is given.
        samples = input("How many minutes?: ")
        samples = int(samples)
        pumpFrequency = input("What is the pumps frequency?: ")
        pumpFrequency = str(pumpFrequency)+","

    def data_logging():
        line=0

        global ser
        global fileName
        global samples
        global pumpFrequency
        global ax
        #global data

        cnt=0
        showData = False

        fig, (ax1, ax2, ax3, ax4) = plt.subplots(1,4,figsize=(20,4))
```

```

x = []
YTEMP = []
YTURB = []
YPH = []
YTDS = []

Aika=datetime.datetime.now()
Minutes=Aika.minute+samples
Hour=Aika.hour

print_labels = True
write=False
counter=False
Console = input("Do you want the console to print
data?(True/False): ")

while Minutes >= 60:
    Hour+=1
    Minutes=Minutes-60
    print(Minutes)

    print("Collecting data untill "+str(Hour)+":"+str(Minutes))
    while str(Minutes) != str(Aika.minute) or str(Hour) !=
str(Aika.hour):
        Aika=datetime.datetime.now()
        data = str(ser.readline().decode())

        x=x[-20:]
        YTEMP=YTEMP[-20:]
        YTURB=YTURB[-20:]
        YPH=YPH[-20:]
        YTDS=YTDS[-20:]

        if print_labels:
            if line==0:
                print("Printing Column Headers")
                counter=True
            else:
                if Console==True:
                    print("writing untill
"+str(Hour)+":"+str(Minutes)+"\ndebug:"+str(write)+" "+str(counter)+"
"+str(line)+" "+str(showData))

Time=str(Aika.year)+"/"+str(Aika.month)+"/"+str(Aika.day)+
"+str(Aika.hour)+":"+str(Aika.minute)+":"+str(Aika.second)+","

        if "Time" in data:
            write=True
        if "Time" in data: #This writes the headers
            print(data)
            file = open(fileName, "a")
            file.write(data)
        if "Time" not in data: #This writes the actual values

```

```

        if Console==True:
            print(str(Time)+str(pumpFrequency)+data)
        file = open(fileName, "a")
        file.write(str(Time)+str(pumpFrequency)+data) #write
data with a newline
        if write == True and counter == True:

            listOfData=data.split(',')
            temperature=listOfData[0]
            tds=listOfData[1]
            turbidity=listOfData[2]
            pH=listOfData[3]
            #0=temp 1=tds 2=turb 3=pH

            x.ap-
pend(datetime.datetime.now().strftime('%H:%M:%S'))
            YTEMP.append(float(temperature))
            YTURB.append(float(turbidity))
            YTDS.append(float(tds))
            YPH.append(float(pH))
            ax1.clear()
            ax1.plot(x, YTEMP)
            ax2.clear()
            ax2.plot(x, YTURB)
            ax3.clear()
            ax3.plot(x, YTDS)
            ax4.clear()
            ax4.plot(x, YPH)

            sns.set_context("notebook", font_scale=0.5,
rc={"lines.linewidth": 1})

            plt.setp(ax1.xaxis.get_majorticklabels(), rotation
= 45)

            ax1.set_title('Temperature [C]')
            sns.lineplot(ax = ax1, y=YTEMP, x=x)
            plt.grid()

            plt.setp(ax2.xaxis.get_majorticklabels(), rotation
= 45)

            ax2.set_title('Turbidity [NTU]')
            sns.lineplot(ax = ax2, y=YTURB, x=x)

            plt.setp(ax3.xaxis.get_majorticklabels(), rotation
= 45)

            ax3.set_title('Total dissolved solids [PPM]')
            sns.lineplot(ax = ax3, y=YTDS, x=x)

            plt.setp(ax4.xaxis.get_majorticklabels(), rotation
= 45)

            ax4.set_title('pH')
            sns.lineplot(ax = ax4, y=YPH, x=x)
            plt.grid()

            plt.show(block=False)
            plt.pause(0.1)

```

```
                plt.pause(0.01)
            if counter==True:
                line = line+1
            plt.show()
        print("Data collection complete!")
        file.close()

    input_function()
    data_logging()

if __name__ == '__main__':
    main()
```