

Juho Silvast

## HIEKKASUODATTIMEN TOIMINNAN KARTOITUS

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto

2013

## Hiekkasuodattimen toiminnan kartoitus

Silvast, Juho

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2013

Ohjaajat: Zenger Pekka (SAMK), Nyqvist Kari (Pori Energia Oy)

Sivumäärä: 34

Liitteitä: 4 kappaletta

Asiasanat: vedenkäsittely, hiekkasuodatus, syöttövesi, ioninvaihto, flokkaus

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli kartoittaa hiekkasuodatuksen toiminta Pori Energia Oy Aittaluodon voimalaitoksella (Aittaluodon voimalaitos) sekä havainnoida siinä esiintyvät puutteet. Havaittujen puutteiden pohjalta Pori Energia Oy:lle ehdotettiin erilaisia vaihtoehtoja prosessin tehostamiseksi ja parantamiseksi. Suodattimien vastavirtahuuhtelussa on ollut vaikeuksia nykyisen vesilaitoksen käyttöönotosta saakka. Hiekkasuodattimien vastavirtahuuhtelussa käytettävä huuhtelupumppu uusittiin vuonna 2002 ja siitä lähtien huuhtelun tulos on jäänyt tavoitellusta.

Hiekkasuodatin toimii viimeisenä suodattimena ennen puhdasvesisäiliötä. Suodattimen tehtävänä on poistaa vedestä flokkaantumaton, toisin sanoen saostumaton maa-aines. Suodatinpatjan pinnalle kertyneet epäpuhtaudet poistetaan vastavirtahuuhtelulla ja ohjataan viemäriin. Huuhtelun jälkeen suodatinpatjan pinnalla tulisi olla korkeintaan muutamien millien kerros epäpuhtauksia. Nyt hiekan pinnalle jää pahimmillaan jopa 70mm paksuinen savikerros.

Työn aikana kartoitettiin suodatinlaitteiden toimintaa, kanaviston ja välipohjan rakennetta sekä hiekkapatjan koostumusta. Vertailupohjaa Aittaluodon hiekkasuodattimille haettiin Porin Veden Lukkarinsannan vedenpuhdistamolalta sekä kirjallisuudesta. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää toimiiko Aittaluodon voimalaitoksen hiekkasuodattimet tarkoituksen mukaisella tavalla ja voiko niiden toimintaa parantaa taloudellisesti kannattavilla ratkaisuilla.

Käytännön testaukset tehtiin koehuuhteluilla, joissa kokeiltiin erilaisia asetusarvoja eri pinnankorkeuksille huuhtelun alussa, sekä niiden vaikutus huuhtelun lopputulokseen. Lopputulos mitattiin hiekkapatjan pinnalle jääneenä savikerroksena. Lopputulosten ja kartoituksen aikana kerätyillä tiedoilla kartoitettiin parhaat menetelmät hiekkasuodattimien vastavirtahuuhteluun ja ne laitetaan käytäntöön vuoden 2013 aikana.

## Operation checkout of sand filtration

Silvast, Juho

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

April 2013

Supervisors: Zenger Pekka (SAMK), Nyqvist Kari (Pori Energia Oy)

Number of pages: 34

Appendices: 4

Keywords: water treatment, sand filtration, feed water, ion exchange, flocculation

---

The subject of this thesis was to explore the operation of sand filtration in Aittaluoto power plant and find out its malfunctions. Based on the detected malfunctions Pori Energia was informed about different options to mend the problem. There have been problems in filter backwash since the current water utility was implemented. The pump that is used in sand filter backwash was renewed in 2002 and since then the results in backwash have been poor.

The sand filter works as a final filter before filtered water reservoir. Its function is to remove the soil that is not flocculated. Impurities that accumulate on filter bed will be washed away by backwash and then directed to sewer. After backwash operation there should be only a few millimetres of impurities on the filter bed. Now there could be even a 70 millimetres thick layer of clay.

During the study the function of filter basins has been studied by researching the channel system, the structure of intermediate floor and the composition of filter bed. References for the sand filters of Aittaluoto power plant were searched from literature and by visiting Lukkarinsanta water treatment plant, which is owned by Porin Vesi. The aim of the study was to find out does the sand filtration of Aittaluoto power plant operates as it should and is possible to improve the process by economically viable solutions.

Practical tests were conducted by test washes where experimented different desired values for different water levels were experimented at the beginning of backwash operation. Remained clay layer of the filter bed surface was measured as the result of the test. The best technique for backwash was defined by results and gathered information during the test period and they will be implemented during year 2013.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	LISÄVEDENVALMISTUKSEN TAVOITTEET JA VAATIMUKSET HÖYRYKATTILALAITOKSESSA.....	6
3	VEDENKÄSITTELYN TEORIAA AITTALUODON VOIMALAITOKSESSA.....	7
3.1	Syöttövedenkäsittelyn määritteitä ja käsitteitä.....	7
3.2	Mekaaninen vedenkäsittely.....	8
3.3	Kemiallinen vedenkäsittely.....	9
3.3.1	Humuksen poisto.....	9
3.3.2	Saviaineksen poisto.....	11
3.4	Täyssuolanpoisto.....	11
4	HIEKKASUODATUS.....	13
4.1	Nopea suodatus.....	13
4.1.1	Erilaiset nopean suodatuksen menetelmät.....	14
4.2	Hidassuodatus.....	15
5	HIEKKASUODATUS PROSESSINA AITTALUODON VOIMALAITOKSESSA.....	16
5.1	Hiekka suodatinmateriaalina ja sen toiminta.....	16
5.2	Suodattimen rakenne.....	17
5.3	Suodattimen pesu.....	19
6	TOTEUTUS.....	21
6.1	Mitattavat muuttujat.....	21
6.2	Mittausvälineet ja mitattavat alueet.....	23
6.3	Suodattimen toiminta vesianalyysin ja käytännön havaintojen perusteella.....	25
6.4	Hiekkapatjan koostumus.....	27
6.5	Aittaluodon voimalaitoksen prosessin toiminta verrattuna Porin Veden yksikön prosessiin.....	27
6.6	Mahdolliset parannuskohteet Aittaluodon voimalaitoksessa.....	30
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Vedenkäsittely on oleellinen osa toimivaa voimalaitosta. Nykyajan voimalaitoksissa käytettävät kattilat toimivat entistä suuremmilla paineilla ja se asettaa käytettävälle vedelle korkeita vaatimuksia. Oikealla vedenlaadulla kattilalaitokset toimivat vakaasti ja omaavat pitkän käyttöiän. Jos prosessikiertoon menevässä vedessä on epäpuhtauksia, ne saostuvat ja kerrostuvat putkistoihin, lämmönvaihtimiin ja turbiiniin siivistöihin, sekä aiheuttavat mekaanista ja kemiallista korroosiota. Pahimmillaan heikkoalaatuinen vesi vaurioittaa turbiinia, aiheuttaa kattilakiveä ja rikkoo höyryputkistoja. Vesi on höyrykattilalaitoksen tärkein elementti, jonka tulee olla kunnossa voimalaitoksen hyvinvoinnin ja parhaimman toiminnan kannalta.

Vedenpuhdistusprosessi raakavedestä syöttövedeksi on pitkä ja monimutkainen. Sen tulee olla jatkuvatoimista, sillä vesi-höyrykierrossa on monia kulutuskohteita. Lisäksi lauhteenpoisto ja ulospuhallus tuovat jatkuvan lisäveden tarpeen. Putkistoissa ja lämmönvaihtimissa on usein jonkinasteisia vuotoja, joiden kautta syntyy myös vedenhukkaa. Jokainen yksittäinen vedenpuhdistusprosessi vaikuttaa seuraavaan puhdistusvaiheeseen, joten vedenpuhdistusprosessi on erittäin herkkä kokonaisuus. Epäpuhtauksia poistetaan isoimmista partikkeleista alkaen päätyen atomitasoinen ioninvaihtomenetelmiin.

Tämän opinnäytetyön painopiste on saostuslaitoksen toiminnassa Aittaluodon voimalaitoksessa. Flotaatiosuodatuksen jälkeen vesi ohjataan hiekkasuodattimille, joista poistetaan viimeiset vedessä olevat kiinteät epäpuhtaudet. Hiekkasuodatukseen tulevassa vedessä on saostumatonta ainesta, joka on pääasiassa savea. Lisäksi flotaatioaltaista karkaa ylijuoksutuksen yhteydessä pieniä määriä humusta, joka kulkeutuu hiekkasuodattimille. Käytännön ongelma liittyy hiekkasuotimien huuhteluun, jonka tulos ei vastaa täysin tavoiteltua tasoa. Savea irtoaa hiekkapatjan pinnalta vastavirtahuuhtelun aikana, mutta suodatinpatjan pinnalle jää siitä huolimatta paksumpi savi-kerros mitä pitäisi. Lisäksi tässä opinnäytetyössä tarkastellaan hiekkasuodattimen toimintaa ja rakennetta, sekä verrataan niitä muualla käytettyihin menetelmiin.

## 2 LISÄVEDENVALMISTUKSEN TAVOITTEET JA VAATIMUKSET HÖYRYKATTILALAITOKSESSA

Voimalaitoksessa tuotettavan lämmön siirtovälineenä kulutuskohteille käytetään vettä nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa. Nykypäivänä voimalaitoskattilat toimivat suurilla paineilla, jotka asettavat käytettävälle vedelle korkeat vaatimukset. Suurissa paineissa on vaarana, että mineraalit, metallit ja muut epäpuhtaudet saostuvat ja rikastuvat höyryn ja veden sekaan. Epäpuhtaudet aiheuttavat korroosiota metallipinnoilla ja muodostavat huonosti lämpöä johtavia kerrostumia lämmönsiirtopinnoille. Oikean tyyppisellä vedellä pystytään luomaan teräsputkistoon hallittu korrosio. Teräsputkien pinnoille saadaan muodostettua ohut passiivikerros, joka reagoi huonosti epäpuhtauksien kanssa. Passiivikerros muodostuu joko magnetiitista  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tai hematiitista  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Veden tulee olla emäksistä, jotta passiivikerros voi muodostua putkiston sisäpinnalle. Muodostuneen passiivikerroksen pystyy tuhoamaan muun muassa liian matala pH-arvo,  $\text{Cl}^-$  tai  $\text{Cu}^{2+}$ -ionit. /2/

Isommissa voimalaitoksissa on aina omat vedenkäsittelyjärjestelmät. Raakavedestä valmistetaan käyttökohteisiin soveltuvaa vettä eri menetelmin. Valmistettu vesi voi olla kemiallisesti puhdistettua käyttövettä tai täyssuolapoistettua lisä- ja syöttövedtä. Tyypillisesti raakavesi pumpataan mekaaniseen vedenpuhdistuslaitoksen kautta saostuslaitokselle, jossa suoritetaan flokkauksia ja hiekkasuodatus. Flokkauksessa voidaan käyttää vaaka- tai pystyselkeytystä tai flotaatiosuodatusta. Hiekkasuodatuksessa vesi suodatetaan hiekkapatjan läpi ja epäpuhtaudet jäävät hiekkapatjan pintaan. Vaihtoehtoja hiekkasuodatukselle on jatkuvatoiminen suodatus säiliötyyppisellä hiekkasuodattimella sekä avosuodatin, jossa vesi virtaa hiekkapatjan läpi omalla painollaan.

Lisävesi ja syöttövesi on täyssuolapoistettua eli ionivaihdettua vettä. Ioninvaihto tapahtuu kationi- ja anionivaihtimissa sekä sekavaihtimissa. Vaihtoehtoinen menetelmä on käänteisosmoosi. Vedestä poistetaan kovuutta aiheuttavat natrium- ja kalsiumionit, magnesium, erilaisia karbonaatteja ja piitä. Puhtaan veden pH on nostettu tasolle 9,0 – 9,5, joka ylläpitää teräspinnoille muodostunutta magnetiitti- ja hematiittikalvoa. Lisäksi sen sähkönjohtavuus on erittäin heikkoa joten vesi reagoi erittäin huonosti metallien kanssa.

Kattilaveteen lisätään kemikaaleja joilla saadaan pidettyä vesi halutun laatusena. Käytetyimpiä kemikaaleja ovat trinatriumfosfaatti  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , hydratsiini  $\text{N}_2\text{H}_4$ , ammoniakki  $\text{NH}_3$  ja natriumhydroksidi  $\text{NaOH}$ .

Ionivaihdetun veden suositellut laatuvaatimukset:

Johtokyky 25 °C	0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
$\text{SiO}_2$	10 $\text{mg}/\text{m}^3$
Na+K	10 $\text{mg}/\text{m}^3$
Fe- ionimuodossa	5 $\text{mg}/\text{m}^3$
Cu- ionimuodossa	1 $\text{mg}/\text{m}^3$
Kok. kovuus	0,001 $\text{val}/\text{m}^3$
Orgaaniset aineet	5 $\text{g}/\text{m}^3$ /3/

### 3 VEDENKÄSITTELYN TEORIAA AITTALUODON VOIMALAITOKSESSA

Vedenkäsittelyä harjoitetaan monenlaisissa ympäristöissä ja siitä johtuen käytössä oleva kalusto sekä toimintatavat pohjautuvat veden käyttötarkoituksen ja raakaveden laadun mukaan. Seuraava teksti käsittelee vedenkäsittelyä voimalaitosympäristössä Aittaluodon voimalaitoksella.

#### 3.1 Syöttövedenkäsittelyn määritteitä ja käsitteitä

##### **Raakavesi**

Käsitlemätöntä luonnonvettä, joko pinta- tai pohjavettä.

##### **Käyttövesi**

Käsiteltyä raakavettä, sekä mekaanisesti että kemiallisesti puhdistettua vettä.

##### **Suolaton vesi**

Ionivaihdettua vettä, jonka suolapitoisuus on alhainen tai lähes nolla.

**Lisävesi**

Lauhteenpoistossa ja ulospuhalluksessa menetetyn veden korvaavaa vettä.

**Syöttövesi**

Lisäveden ja palautuvien puhdistettujen lauhteiden seos.

**Kattilavesi**

Kattilan vesitilassa oleva vesi.

**Kylläinen höyry**

Kattilasta tuleva höyry kyllästymislämpötilassa.

**Tulistettu höyry**

Höyry, jonka lämpötila on korkeampi kuin kyllästymislämpötila.

**Ulospuhallus**

Kattilaveteen liuenneet epäpuhtaudet saostetaan kemikaaleilla ja puhalletaan ulos kattilasta jatkuvasti ja/tai jaksoittain.

### 3.2 Mekaaninen vedenkäsittely

Vedenkäsittely alkaa raakaveden pumppauksesta vedenkäsittelylaitokselle. Raakavesi Aittaluodon voimalaitoksen vedenpuhdistusprosessiin otetaan Kokemäenjoesta. Pori Energia Oy:lla on Kokemäenjoen rannalla pumppausasema, jossa on kolme uppopumppua rinnankytkettynä. Ensimmäinen varsinainen suodatin on välppäsäleikkö ja sen suodatusaste on 10 mm. Välppäsuodattimen tarkoituksena on poistaa vedestä pumppausta haittaavat kiintoaineet, kuten esimerkiksi puunpalaset, risut ja isommat vesieliöt kuten kalat. /4/

Rantapumppaamolta vesi johdetaan mekaaniseen vedenkäsittelyyn, jossa se ohjataan rumpukorisuotimelle. Rumpukorisuotimessa on tiheä suodatinverkko, jonka suodatusaste on 0,5 mm. Suodatinverkko poistaa vedestä isommat pieneliöt kuten madot, äyriäiset ja pikkukalat ja se huuhdellaan vastavirtaperiaatteella. Huuhteluvesitukilta syötetään vettä suuttimien kautta suodatinverkon ulkopinnalle, jolloin verkon sisäpinnalle tarttuneet epäpuhtaudet irtoavat ja ne johdetaan huuhteluveden kanssa viemäriin. Huuhtelujakso on viiden minuutin mittainen ja se käynnistyy suodattimen ja esiselkeytysaltaan välisen pintaeron ollessa yli 200 mm. /4/



Dynaaminen suodatin on rumpukorisuodattimen rinnalla ja se toimii samalla periaatteella. Vesi johdetaan tiheän suodatinverkon läpi, jolloin epäpuhtaudet jäävät suodatinpintojen sisäpuolelle. Suodatusaste dynaamisella suotimella on 0,3 mm ja sen puhdistus tapahtuu kaapimalla suodinpinnat suodattimen sisällä olevan kaapimen avulla. Dynaaminen suodatin toimii silloin kun rumpukorisuodatin on toimintakyvytön huuhtelun tai huollon johdosta. /9/

Rumpukorisuotimen jälkeen veteen syötetään natriumhypokloriittia NaClO, toisinsanoen aktiivista klooria. Sen tarkoitus on tuhota rumpukorisuotimen läpi päässyt pieneliöstö sekä desinfioida vesi. Natriumhypokloriitilla käsitelty vesi johdetaan esiselkeytysaltaaseen, jonka pohjalle kuollut eliöstö vajoaa. Natriumhypokloriittia annostellaan veteen kemikaalinsyöttöön tarkoitetuilla syöttöpumpuilla. Mekaanisesti käsitellystä vedestä mitataan jäännösklooripitoisuutta, jonka tavoitearvo on 0,1 – 0,3 mg/l ja näin voidaan varmistua riittävästä kemikaalinsyötöstä. Tässä tapauksessa säännöllinen näytteenotto on erittäin tärkeää. /4/

### 3.3 Kemiallinen vedenkäsittely

Kemiallisella vedenkäsittelyllä vedestä poistetaan pääasiassa suoloja, orgaanisia epäpuhtauksia sekä erilaisia metalli-ioneja. Suoloja ovat esimerkiksi magnesium, natrium ja kalsium. Epäpuhtauksiksi katsotaan savi, levät ja humus, joita rumpukorisuodin ei ole pystynyt poistamaan vedestä. Metallionit ovat pääasiassa rauta-, alumiini- ja kupari-ioneja. Kattilaputkistoja syövyttävät aineet ovat muun muassa happi, hiilidioksidi ja silikaatti eli piioksidi SiO<sub>2</sub>. Kemikaaleja lisätään vielä kattilaveteenkin, jotta saadaan vedelle parhaat ominaisuudet.

#### 3.3.1 Humuksen poisto

Humus on orgaaninen aines, joka kattilaputkistoihin veden mukana joutuessaan aiheuttaa huonosti lämpöä johtavia kerrostumia, kattilakiveä sekä veden kuohumista. Vesi johdetaan saostuslaitoksella hämmenninaltaisiin ja veteen lisätään flokkaukemikaali. Flokkaukemikaaleja on sekä rauta- että alumiinipohjaisia. Näitä ovat

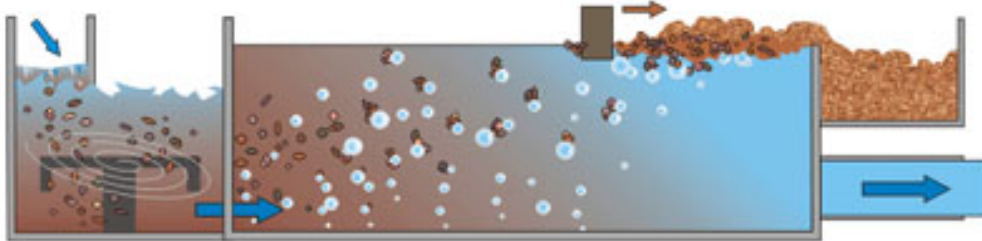
ferrikloridi  $\text{FeCl}_3$ , polyalumiinikloridi  $\text{AlCl}_3$  ja alumiinisulfaatti  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Kemikaalit muodostavat humuksesta hiutalemaisen flokin, joka erotetaan vedestä vaaka- tai pystyselkeytysmenetelmällä. Veden liike hidastetaan ja flokki vajoaa pohjalle. Puhdas vesi ylijuoksetetaan eteenpäin prosessissa ja pohjalle vajonneet epäpuhtaudet kaavitaan pois.

Kolmas tapa on flotaatio, jossa muodostunut flokkihiutale nostetaan pintaan ilmakuplien avulla ja epäpuhtaudet ylijuoksetetaan viemäriin (Kuva 1). Aittaluodon voimalaitoksella käytettävä menetelmä on flotaatiosuodatus. Flotaatiosuodatuksessa flokin nostattajana käytetään dispersiovertä, eli ilmakyllästettyä vettä. Ilmakyllästetyn veden joukossa olevat pienet ilmakuplat tarttuvat flokkihiutaleeseen kiinni ja nostavat sen pintaan, jolloin se saadaan erotettua veden joukosta ja puhdistunut vesi johdetaan flotaatioaltaan pohjan kautta eteenpäin prosessissa. Flokit poistetaan altaasta säännöllisellä ylijuoksetuksella tai kaapimalla ne pinnalta kaavinlaitteella. Altaan tulovirtaamaa kasvatetaan ja näin vedenpinta saadaan nostettua viemärikourun yläpuolelle, jolloin flokkikerros huuhtoutuu veden mukana viemäriin.

Flokkauksessa polyalumiinikloridi syötetään veteen, joka sekoitetaan kolmella pystyhämmenninillä. Syöttöhetkellä saostuskemikaalin sekoittuminen tulee olla mahdollisimman nopeaa, sillä koaguloituminen alkaa 0,1 s kuluessa. Jokainen hämmennin liikkuu toistaan hitaammin, koska prosessissa pyritään välttämään muodostuneiden flokkihiutaleiden hajoaminen, mutta samalla halutaan varmistaa kemikaalin mahdollisimman tasainen jakautuminen vesimassan joukkoon. Flokkeja muodostuu parhaiten pH arvon ollessa 5,8 – 6,3. Mikäli pH ei ole raja-arvojen sisällä, ei flokkeja synny enää yhtä tehokkaasti ja epäpuhtaudet karkaavat prosessissa eteenpäin. Polyalumiinikloridi happamoittaa vettä runsaasti, joten pH:n säätö oikeaan arvoon tapahtuu Aittaluodon voimalaitoksessa natriumhydroksidilla NaOH. Vaihtoehtoinen aine pH:n säätöön on kalkki  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . /4/

Flokkaus on tieteelliseltä nimeltään kolloidisen systeemin destabilointia. Humus-hiutaleet omaavat saman negatiivisen sähkövarauksen joten luonnostaan ne hylkivät toisiaan.  $\text{Al}^{3+}$ - ja  $\text{Fe}^{3+}$ -ionit kiinnittyvät humushiukkasten pinnalle ja muodostavat niille positiivisen sähkövarauksen. Happamuuden ollessa optimaalinen, alkavat positiivisesti varautuneet hiutaleet kerääntyä hydroksidi-ionin ympärille muodostaen

isomman flokkihiutaleen. Orgaanisten epäpuhtauksien mittaamisessa tarkastellaan veden kaliumpermanganaattilukua. Tulos ilmoitetaan milligrammoina kaliumpermanganaattia yhtä kilogrammaa vettä kohden  $\text{mg KMnO}_4/\text{kg}$ . /2/



Kuva 1. Flotaation periaatekuva. /12/

### 3.3.2 Saviaineksen poisto

Saviaineksen poisto tapahtuu hiekkasuodatuksella. Hiekkasuodatuksessa vesi johdetaan hiekkapatjan läpi, jolloin epäpuhtaudet jäävät hiekkapatjan pinnalle. Hiekkapatja huuhdellaan vastavirtamenetelmällä ja epäpuhtaudet johdetaan viemäriin yhdessä huuhteluveden kanssa. Vaihtoehtoinen tapa on jatkuvatoiminen hiekkasuodatus, jolloin hiekkasuodatin puhdistaa itseään tuotannon yhteydessä. /16/

### 3.4 Täyssuolanpoisto

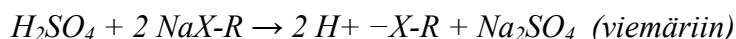
Kemiallisesti puhdistetussa vedessä on vielä kattilaa, putkistoa ja turbiinia kuormittavia kovuussuoloja. Suolojen poisto tapahtuu ioninvaihtomenetelmällä. Suolanpoistosarjassa on kationi-, anioni- ja sekavaihdin kyseisessä järjestyksessä. Kationivaihdin poistaa vedestä positiivisesti varautuneet ionit, joita ovat muun muassa natrium, kalsium ja magnesium sellaisenaan tai karbonaattiyhdisteinä  $-\text{CO}_x$ . Kationivaihdin luovuttaa positiivisesti varautuneen vetyionin  $\text{H}^+$  ottaen tilalle natrium-, kalsium- ja magnesiumionin. Anionivaihdin poistaa negatiivisesti varautuneita suoloja kuten karbonaatteja  $-\text{CO}_x$ , sulfideja  $-\text{SO}_4$  ja silikaattia  $\text{SiO}_2$ . Tilalle anionivaihdin antaa negatiivisesti varautuneen hydroksyyli-ionin  $\text{OH}^-$ . /2/



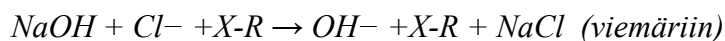
Sekavaihtimen tehtävä on toimia niin sanottuna poliisisuotimena. Se poistaa veteen jääneet kovuussuolat, jotka ovat päässeet ensimmäisten vaihtimien ohi. Sekavaihtimessa hartsimassojen järjestys on sama, kationi-anioni. Vaihtimissa käytetään muovihartsia jotka ovat ladattu vety- ja hydroksyyli-ioneilla. Vaihtimia on olemassa viittä eri tyyppiä. Vahva ja heikko kationivaihdin, vahva ja heikko anionivaihdin sekä sekavaihdin. Järjestys on usein heikko-vahva. Tällä halutaan saada tasaisempi kuormitus jokaiselle vaihtimelle ja näin pystytään optimoimaan vaihtimien toiminta-aika. Haluttu vedenlaatu sekä raakaveden laatu vaikuttaa siihen millaisia ioninvaihtosarjoja pitää rakentaa. Aittaluodon voimalaitoksella ioninvaihtosarja koostuu vahvasta kationivaihtimesta, vahvasta anionivaihtimesta sekä sekavaihtimesta (Kuva 2).

Veden johtokyky pyritään tällä prosessilla saamaan hyvin lähelle nollaa  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Mikäli johtokyky alkaa kasvamaan, alkavat ioninvaihtosarjat menettää tehoaan. Tällöin ne tulee elvyttää, eli hartsimassasta poistetaan kerääntyneet suolat ja ne korvataan uusilla  $H^+$ - ja  $OH^-$ -ioneilla. Elvytys tapahtuu kationivaihtimen osalta rikkihapolla  $H_2SO_4$  tai suolahapolla  $HCl$ , anionivaihdin elvytetään natriumhydroksidilla. Alla on kuvattu elvytystapahtuma kemiallisten reaktioiden kaavoilla. /2/

Kationivaihdin:



Anionivaihdin:





Kuva 2. Suolanpoiston periaatekuva.

## 4 HIEKKASUODATUS

### 4.1 Nopea suodatus

Nopea suodatus menetelmä perustuu painovoimaan, jonka avulla vesi kulkee hiekkapatjan läpi. Nopeaa suodatusta käytetään jäteveden puhdistamoilla ja se on yleensä kytkettynä flotaatiosuodatuksen jälkeen vedenpuhdistusprosessissa. Nopealla suodatuksella puhdistetaan epäpuhtaudet vedestä aina 10 µm asti. /2/ Nopeasuodatus on fysikaalista suodatusta, kemiallisia reaktioita hiekkapatjassa tapahtuu vähäisissä määrin. Nopeassa suodatuksessa käytetään joko yksikerros- tai monikerrossuodattimia. Yksikerrossuodatin koostuu pelkästään hiekasta. Monikerrossuodattimessa voidaan käyttää myös antrasiittia ja muovirakeita. Tärkeää on se, että suodatinkerrokset ovat erillään toisistaan, sillä sekoittuminen saattaa pilata koko suodattimen suodatuskyvyn. Pääsääntö on, että pinnalla on kevyimmät ja pohjalla raskaimmat partikkelit. /7/

#### 4.1.1 Erilaiset nopean suodatuksen menetelmät

Nopeassa suodatuksessa käytetään joko syklistä avoallassuodatusta tai jatkuvatoimista suodatusta. Syklisyydellä tarkoitetaan sitä, että pesujaksot keskeyttävät puhdistusprosessin. Tällöin on oltava olemassa vähintään kaksi suodatinallasta rinnankytkettynä turvaamaan jatkuva vedentuotanto. Normaali suodatusnopeus yksikerrossuotimelle on 5-10 metriä vesipatsasta tunnissa. Monikerrossuotimille suodatusnopeus on 10-20 m/h. Suodatusnopeus (m/h) saadaan jakamalla tulovirtaama ( $m^3/h$ ) suodattimen pinta-alalla ( $m^2$ ). /7/

Toinen sovellus on jatkuvatoiminen hiekkasuodatus. Koko puhdistusprosessi tapahtuu suljetussa ja paineistetussa terässäiliössä. Hyvä esimerkki tästä on DynaSand® suodattimet. Jatkuvatoimisuus tarkoittaa sitä, että samaan aikaan säiliössä tapahtuu sekä veden- että hiekanpuhdistusta (Kuva 3). Vesi syötetään säiliön pohjalle erityisen jakoputkiston avulla ja se poistuu säiliön yläosassa olevan ylikaatoreunan kautta. Teknisesti kyseessä on vastavirtasuodatus. Hiekka puhdistetaan pumppaamalla se veden kanssa keskellä säiliötä sijaitsevaa putkea pitkin hiekkapesuriin, joka sijaitsee säiliön yläosassa. Epäpuhtaudet alkavat irrota hiekasta jo putkessa, pesuriin tullessa hiekka vajoaa astian pohjalle ja lika jatkaa veden mukana viemärikanavaan. Puhdistettu hiekka tuodaan takaisin hiekkakerroksen pinnalle, josta se osallistuu välittömästi puhdistusprosessiin. Säiliöihin tuotava vesi on yleensä esisuodatettua, jolloin suurin osa humuksesta saadaan poistettua. Näin suodattimen kuormitusta saadaan pienennettyä.



Kuva 3. Jatkuvan suodatuksen periaatekuva. /13/

#### 4.2 Hidassuodatus

Hidassuodatus on käytetyin pohja- ja pintavesilaitoksissa, joiden päätuote on juomavesi. Puhdistusprosessi muistuttaa hyvin paljon tavallista hiekkasuodatusta, mutta puhdistusprosessi on enemmän kemiallinen kuin fysikaalinen. Suodatusnopeus on monissa tapauksissa korkeintaan 0,15 m/h. Tämän menetelmän avulla voidaan vedestä poistaa maku- ja hajuhaittoja aiheuttavia yhdisteitä, rautaa, ammoniumia ja mangaania. Hiekkapatja suodattaa myös kiintoaineita kuten humusta, joita on saattanut päästä veden joukkoon. Hidassuodatuksessa hiekkapatjan pintaan muodostetaan biologinen kasvusto, joka toimii hiekkasuodattimen apuna. Kasvuston seassa tapahtuu suurin osa kemiallisista reaktioista. Hidassuodatuksessa käytettävät altaat ovat

käytännössä katsoen aina suuria yksiköitä eikä niitä tästä johtuen käytetä yleensä laitoksissa vaan ne rakennetaan pääosin luonnontilaan.

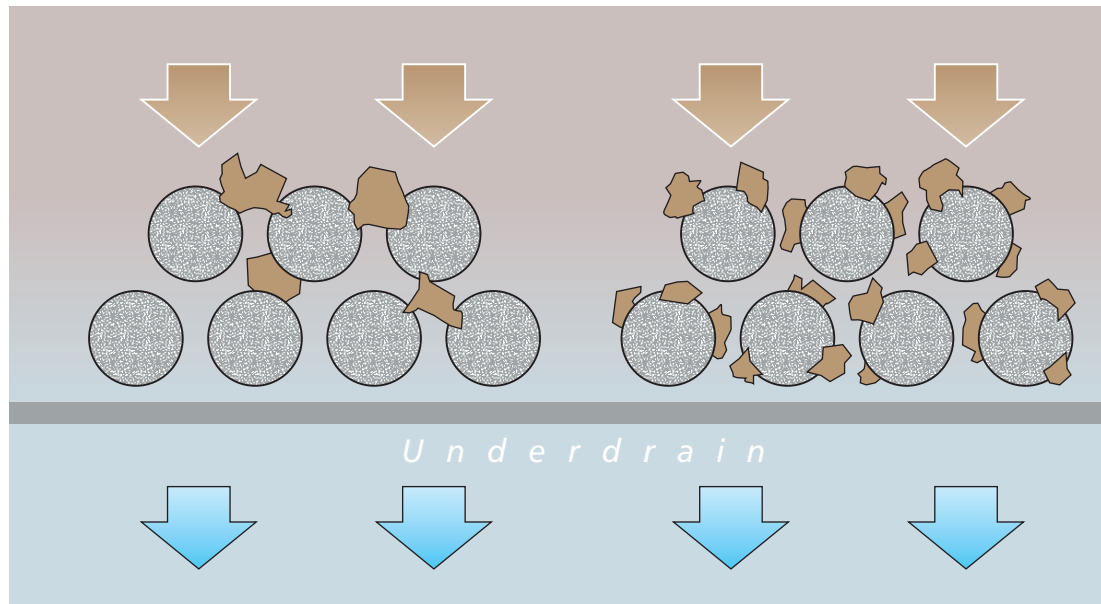
Suodatinta ei nopeasuodatuksen tapaan huuhdella vaan tukkeutuneen suodattimen pinta kuoritaan pois. Kun hiekkapatja on menettänyt noin 30% vahvuudestaan, laiteaan pinnalle uutta hiekkaa. Ennen suodattimen käyttöönottoa sen pinnalle annetaan muodostua uusi biofilmi eli biologinen kasvusto. Sen muodostuminen kestää yleensä muutamasta päivästä muutamaa viikkoon. Tästä johtuen suodattimia on oltava aina vähintään kaksi jolloin vedentuotanto ei keskeytyisi. /7/

## 5 HIEKKASUODATUS PROSESSINA AITTALUODON VOIMALAITOKSESSA

### 5.1 Hiekka suodatinmateriaalina ja sen toiminta

Aittaluodon voimalaitoksessa hiekkasuodattimet ovat kytkettynä flotaatiosuodatuksen yhteyteen. Suodattimet ovat rakenteeltaan avoimia allastyypisiä suodattimia. Hiekan koko määrittelee millaisia epäpuhtauksia halutaan poistaa vedestä. Mitä hienompaa hiekka on, sitä tiiviimmin hiekka pakkautuu suodattimeen. Suodatusaste on 10  $\mu\text{m}$  ja hiekan raekoko on 0,5 – 1,5 mm. Hiekan suodatuskyky on yhtä kuin kahden hiekanjyvän välinen etäisyys toisiinsa nähden, tätä välimatkaa suuremmat partikkelit jäävät suodattimeen (Kuva 4). Lisäksi virtausdynamiikan ja fysiokemiallisten tekijöiden vaikutuksesta hiekkarake pystyy sitomaan itseensä myös itseään pienempiä partikkeleita, mutta osa näistä epäpuhtauksista pääsee suodattimen ohi. /2/





Kuva 4. Epäpuhtauksien kerääntyminen hiekkapatjaan. /14/

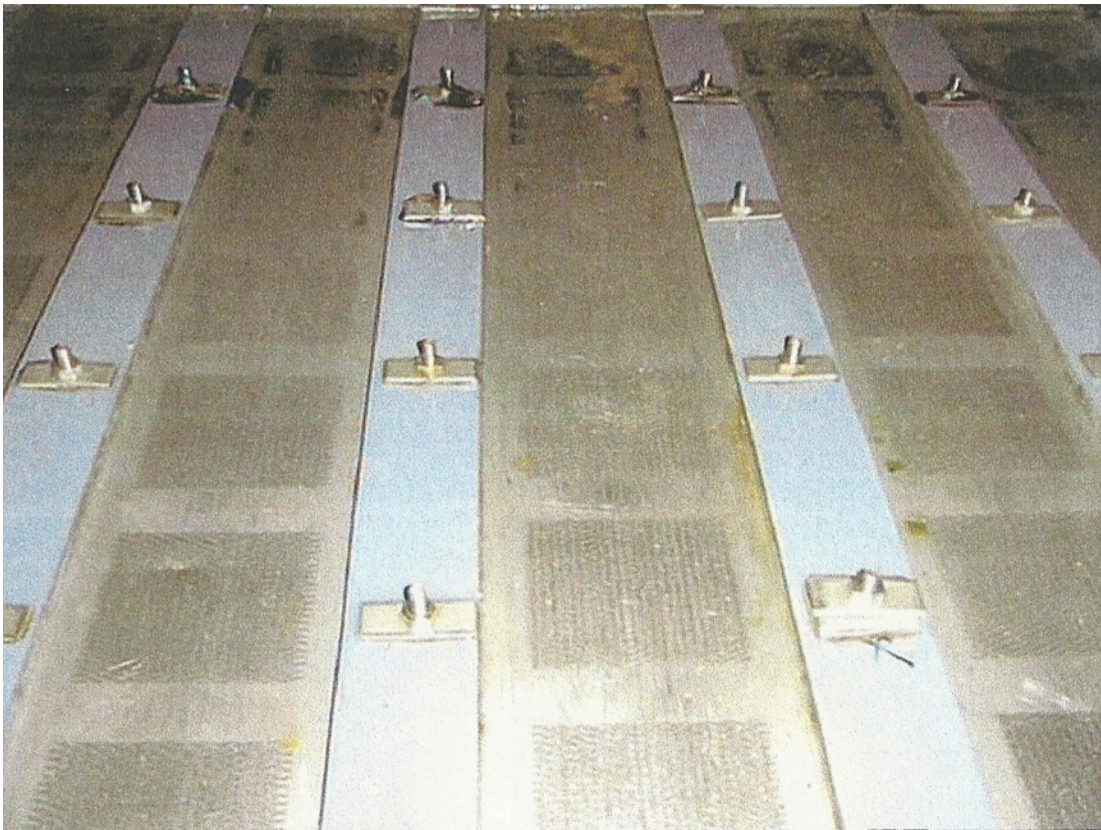
Hiekkapatja Aittaluodon voimalaitoksessa on yksikerroksinen, eli sen hiekka on samaa koko patjan korkeudelta. Monissa paikoissa pohjalle laitetaan kerros astetta karkeampaa soraa joka tasaa virtausta ja estää hienompaa hiekkaa tukkimasta suodatinpohjaa. Hiekkasuodattimen jälkeen otetaan säännöllisesti vesinäytteet. Vesianalyysit kootaan taulukoihin koko vuoden ajalta jolloin voidaan nähdä vedenlaadun muutokset esimerkiksi kevättulvien ja syystulvien aikana (LIITE 4). /7/

## 5.2 Suodattimen rakenne

Aittaluodon voimalaitoksen saostuslaitoksella on kolme hiekkasuodinta. Hiekkasuodin 1 on pinta-alaltaan 18,9 m<sup>2</sup>, hiekkasuodatin 2 19,5 m<sup>2</sup> ja hiekkasuodatin 3 20,7 m<sup>2</sup>. Hiekkasuodatin (allasmalli) koostuu tulovesikanavasta, suodatushiekkapatjasta ja välipohjasta jossa on imusäleiköt (Kuva 5). Tulovesikanava toimii huuhtelun aikana myös viemäriin ohjaavana kanavana. Imusäleikköjen avulla puhdas vesi otetaan talteen sekä huuhteluvesi ohjataan hiekkapatjan alaosaan (Kuva 6). Yhden säleikön mitat ovat arviolta 50 mm x 50 mm. Välipohjan materiaali on ruostumaton teräs. Säleiköt kattavat leveysuunnassa suodattimen alasta noin 50% ja pituussuunnassa noin 75%. Altaat ja viemärikanavat ovat valettu betonista ja suodattimien yläpuolella kulkee hoitotasojä.



Kuva 5. Hiekkasuodatin 2.



Kuva 6. Suodatinpohjan imusäleiköt.

### 5.3 Suodattimen pesu

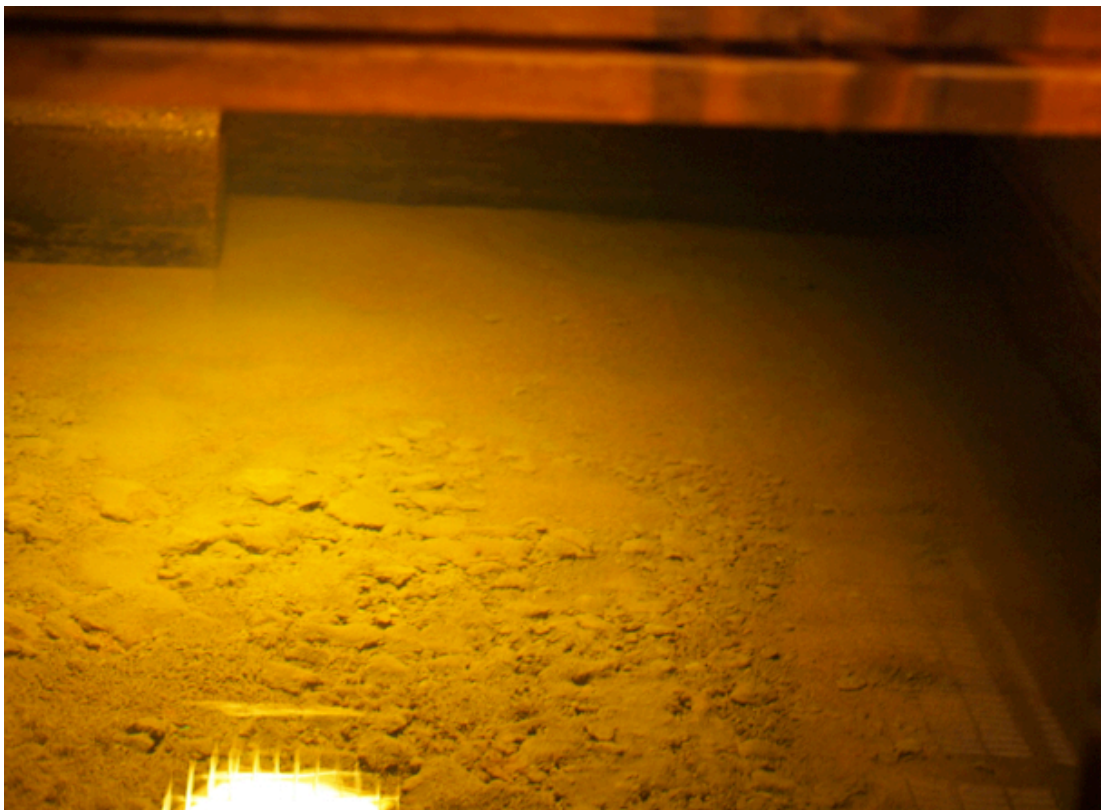
Hiekkapatjan pinnalle kertyy epäpuhtauksia koko suodatusprosessin ajan ja se on pestävä säännöllisesti. Hiekkapatja pestään vastavirtahuuhtelulla. Tälle menetelmälle ei ole määritelty virallisesti EU:n määrittämää parasta käytäntöä eli BAT-menetelmää, Best Available Technic. /10/ Tästä johtuen hiekkasuotimille määritellään käyttäjän toimesta tapauskohtaisesti paras menetelmä. Huuhteluvetenä käytetään kemiallisesti puhdistettua vettä, jota kerätään huuhteluvesisäiliöön puhdasvesisäiliöstä. Näiden säiliöiden välillä on takaiskuventtiili ja virtaus on estetty takaisin puhdasvesisäiliöön. Huuhtelutapahtuma käynnistyy suodattimen erottamisella puhdasvesisäiliöstä ja avaamalla huuhteluvesisventtiili suodattimen pohjasta. Tämän jälkeen huuhtelupumppu käynnistyy pumpaten huuhteluvettä hiekkasuodattimen pohjaan. Vesi tunkeutuu hiekkapatjan läpi ja pyrkii irrottamaan pintakerrokseen tarttuneet epäpuhtaudet.

Yleisesti avosuotimissa käytetään veden kanssa apuna ilmaa, joka auttaa hiekkapatjan pintakerroksen sekoittumista ja saa aikaan paremman lianerotuksen, mutta tois-taiseksi Aittaluodossa ei käytetä ilmaa. Huuhtelussa hiekkapatjan tulisi paisua ilman ja veden avulla 30 – 50%, jolloin likaiset partikkelit saavat tilaa irtaantua hiekasta, samalla hiekkapatjaan saadaan aikaiseksi hiekan kiertoa, joka edesauttaa suodattimen puhdistumista. Päätös ilmattomasta huuhtelusta on tehty PLV Oy:n toimesta vesilaitosprojektin toisessa kokouksessa 23.8.2001. Suositus moni- ja yksikerrossuotimille on käyttää ensin ilmaa ja sen jälkeen vettä. /1/ Likainen vesi johdetaan lopulta viemäriin. Ohjesääntönä voidaan pitää että yhtä suodatinneliötä kohden tulisi juoksuttaa vähintään viisi kuutiometriä vettä hiekkakerroksen läpi. Yleisenä suosituksena on että huuhteluvettä tulisi käyttää alle 3% ajojakson kapasiteetista, mutta altaiden erilaisista rakenteista johtuen suositusta ei pystytä aina noudattamaan. Myös lopputuotteen laatuvaatimus voi vaatia pidempiä ja huolellisempia huuhteluita. /5/

Suodattimen pesu käynnistyy joko määrätyin aikaväleihin tai jos suodatin menettää suodatuskykyään tukkeutumalla. Tällöin vedenpinta altaassa nousee asetusarvon yli ja huuhtelusekvenssi käynnistyy. Huuhtelun tavoitteena on mahdollisimman puhdas hiekkapatja. On hyvä pitää mielessä, että pinnalle muodostuva likakerros on myös yksi suodattava kerros, joten mikäli hiekkapatja on täysin puhdas, vie hetken aikaa

ennen kuin pinnalle muodostuu suodattava lietekerros. Tästä syystä myös hiekkapatjan huuhtelua tulisi välttää tarpeettoman usein. Suodatus- tapahtumassa on jokaista pinta-alayksikköä kohden noin yksi metri vesipatsasta yläpuolella. Puhdas hiekka läpäisee hyvin vettä ja altaassa on koko ajan imua. Liian paksu kerros epäpuhtauksia hiekkapatjan päällä jarruttaa veden liikettä ja yläpuolella oleva vesipatsas alkaa painamaan lietekerrosta kasaan. Näin syntyy suodatinta tukkivia savipaakkuja hiekkapatjan pintakerrokseen, joiden poistaminen normaalilla huuhtelulla on mahdotonta. Lisäksi on vaarana, että savikappaleet kulkeutuvat hiekkapatjassa alaspäin suuremman tiheydensä vuoksi ja lopulta ne saattavat tukkia koko suodattimen. Tästä syystä onnistunut huuhtelu on tärkeässä osassa suodattimen hyvinvoinnin kannalta. /6/

Edellä mainitut ongelmat aiheuttavat myös huuhtelutapahtumaan ongelmia. Huuhteluv veden tullessa hiekkapatjan alaosaan se alkaa etsiä helpointa tietä hiekan läpi. Mikäli hiekkapatjan pinnalla on vettä läpäisemättömiä kohtia, tulee vesi muuta kautta ulos. Näin syntyy kanavoitumista, mikä johtaa siihen, ettei tukkeutuneet alueet tule puhdistumaan jatkossakaan kunnolla (Kuva 7).



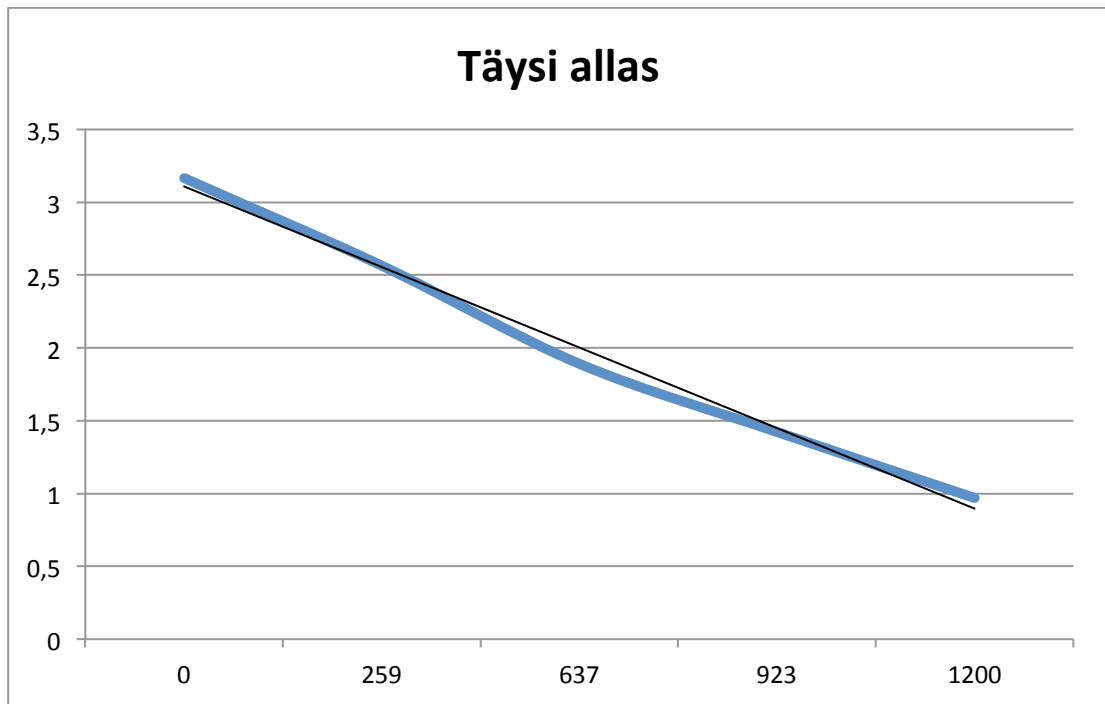
Kuva 7. Altaan takaosan puhdas ja kanavoitunut alue.

## 6 TOTEUTUS

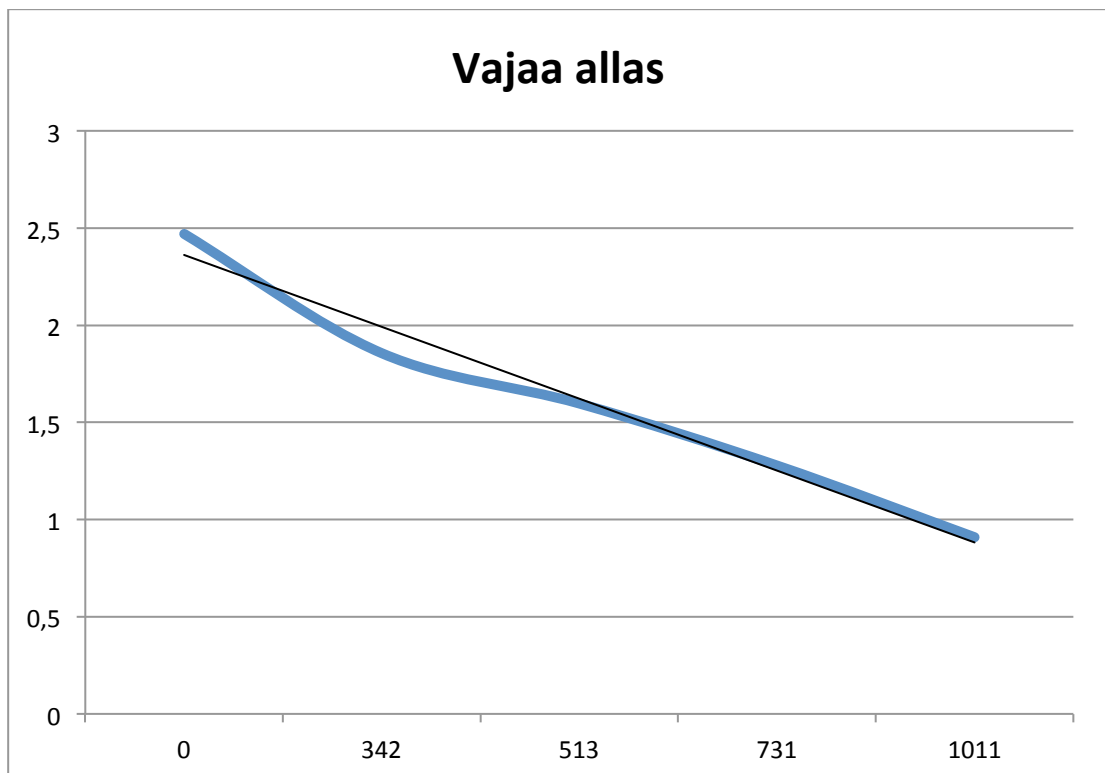
Koeajoksolle otettiin tarkasteltavaksi yksi suodatin, hiekkasuodatin 2. Oletuksena oli se, ettei huuhteluvesisäiliö ehtinyt täyttymään huuhteluiden välissä, joten hiekkasuodatin 2 huuhdeltaisiin aina vajaalla altaanpinnalla. Täten huuhtelupumppu saisi vähemmän takapainetta ja saattaisi kavitoida herkemmin huuhtelun aikana vähentäen pumpun tuottoa ja heikentäen huuhtelun lopputulosta. Hiekkapatjan pinnalle jäänyt savikerros ei poistu kunnolla huuhtelun aikana, joten tämän ongelman poistamiseksi kokeiltiin erilaisia asetuksia huuhteluprosessissa. Mittaukset toteutettiin kahdessa vaiheessa ja niiden tulokset esiteltiin 27.3.2013 Pori Energia Oy:n yhteyshenkilöille. Samalla esiteltiin mahdolliset kehityskohteet ja suositukset ongelmien poistamiseksi. 28.3.2013 suoritettiin vierailu Lukkarinsannan vedenpuhdistamolla, jonka omistaa Porin Vesi.

### 6.1 Mitattavat muuttujat

Mitattavat muuttujat olivat savikerroksen paksuus ja pumpun tuoton mahdollinen vaihtelu huuhtelun aikana. Mittauksia tehtiin kahdessa jaksossa, 48 tunnin ja 24 tunnin huuhteluväleillä (LIITE 1 & LIITE 2). Savikerroksen paksuus mitattiin aina ennen ja jälkeen huuhtelun. Huuhtelupumpun tuoton vaihtelua tarkasteltiin huuhteluvesisäiliön pintatrendistä, joka saatiin käyttöhenkilöstöltä. Pintatrendit muodostettiin kuvaajien avulla täydellä 3,14 m pinnan korkeudella (Kuvio 1) ja vajaalla 2,40 m pinnan korkeudella (Kuvio 2). Niistä voidaan päätellä, että huuhtelun alussa allas tyhjenee nopeammin kuin huuhtelun lopussa. Tästä syystä paras tuotto pumpulle saadaan aikaiseksi, kun huuhteluvesiallas on täysi. Huuhtelun tehokkuutta voidaan verrata suoraan alla oleviin kuvaajiin.



Kuvio 1. Huuhteluvesisäiliön pinta 3,14 m, huuhtelun kesto 1200 s.



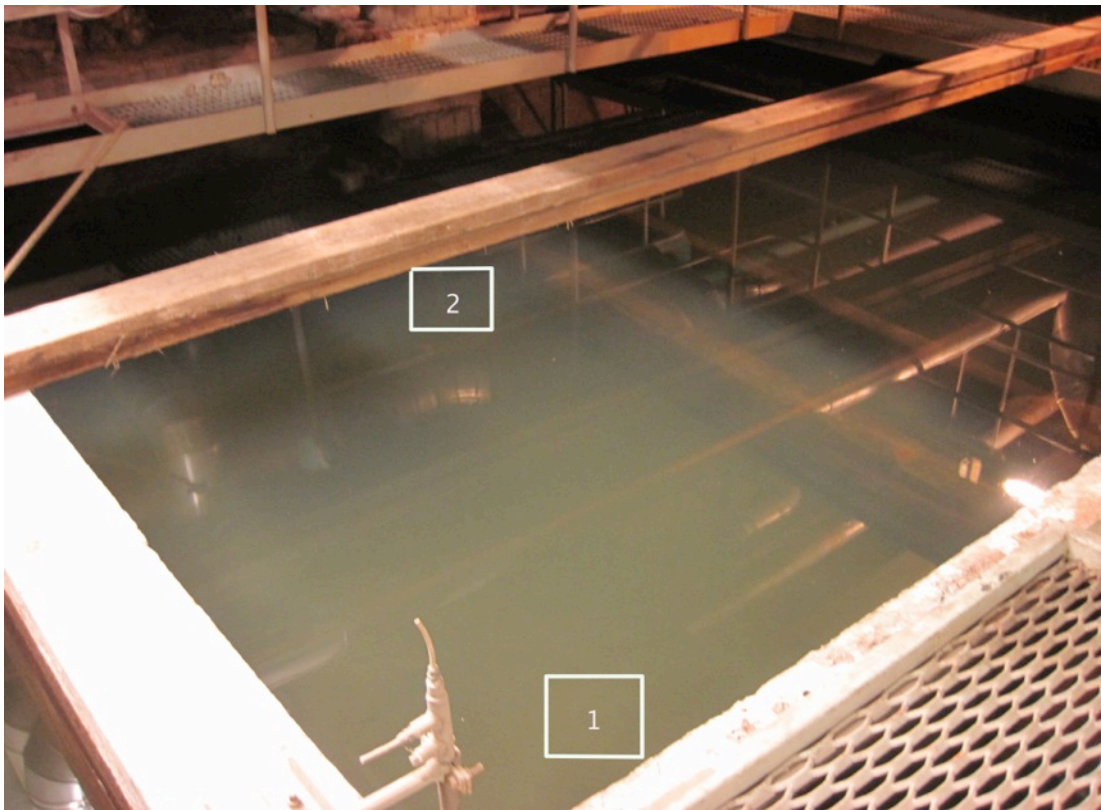
Kuvio 2. Huuhteluvesisäiliön pinta 2,40 m, huuhtelun kesto 1011 s.

## 6.2 Mittausvälineet ja mitattavat alueet

Mittausvälineenä käytettiin läpinäkyvää lasiputkea, jolla otettiin näyte 0,3 m x 0,3 m määritetyltä alalta, työntämällä putken toinen pää kohtisuoraan hiekkapatjaan (Kuva 8). Lasiputkeen otettiin 30 – 100 mm korkuinen kerros hiekkapatjan pinnalta, joka sisälsi savea ja hiekkaa. Tästä pystyttiin mittaamaan hiekkapatjan pinnalla oleva puhdas savikerros. Jokaisella mittauskerralla otettiin vain yksi luotettava näyte ennen huuhtelua ja kaksi huuhtelun jälkeen. Huuhtelun jälkeisistä näytteistä otettiin keskiarvo ja se merkittiin tulokseksi mittauspöytäkirjaan. Hiekkapatja on laaja ja savi on jakautunut sille verrattain epätasaisesti. Tällä tavalla pyrittiin saamaan samalta pieneltä alueelta mahdollisimman luotettava mittaustulos koko testijakson aikana. Mikäli näytteitä olisi otettu useampia ennen huuhtelua, olisi koealueelta poistettu epäpuhtauksia sekä suodatinainesta siten, että luotettavan näytteen saaminen olisi ollut käytännössä mahdotonta koeajojakson lopussa. Näytteenotto-paikkoja oli neljä kappaletta eri puolilla suodatinta (Kuva 9) ja (Kuva 10). Näytteenottopaikat 2, 3 ja 4 ovat hoitotasojen alapuolella ja näytteenottopaikka 1 on suodatinaltaan reunuksella.



Kuva 8. Mittalaite ja näyte.



Kuva 9. Mittauspaikat 1 ja 2.



Kuva 10. Mittauspaikat 3 ja 4.

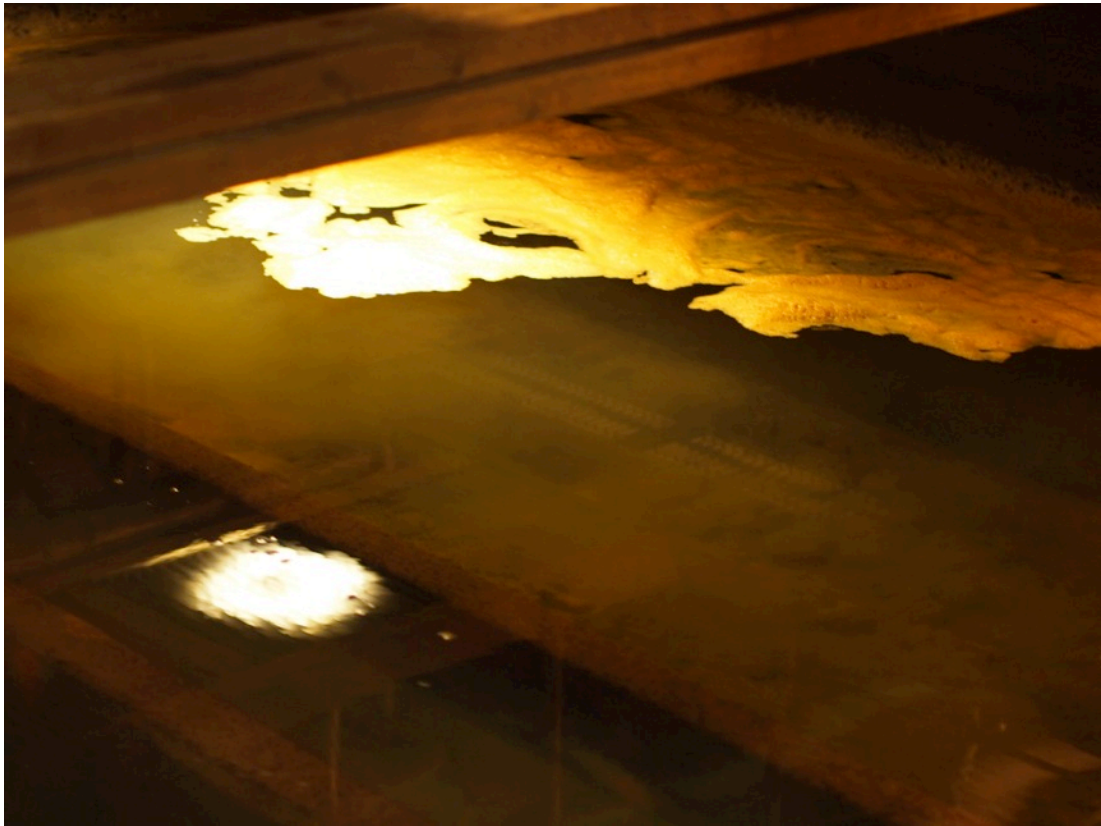


### 6.3 Suodattimen toiminta vesianalyysin ja käytännön havaintojen perusteella

Aittaluodon voimalaitoksella otetaan vesinäytteitä säännöllisesti ja näistä voidaan todeta prosessien toimivuus sekä laitteiston kunto. Hiekkasuodattimien jälkeen vedestä mitataan kaliumpermanganaattiluku (mg)  $\text{KMnO}_4$  /kg, rautapitoisuus (mg) Fe/kg  $\text{H}_2\text{O}$ , alumiini (mg) Al/kg  $\text{H}_2\text{O}$ , kovuus (dH), silikaatti pitoisuus (mg)  $\text{SiO}_2$ /kg, johtokyky (mS/cm) ja happamuus (LIITE 4). Näihin voidaan hiekkasuodatuksella vaikuttaa rauta- ja alumiinipitoisuuksiin sekä kaliumpermanganaattilukuun. Edellä mainituissa arvoissa on havaittavissa lievää ohjearvon ylitystä, mutta pääsääntöisesti vedenlaatu hiekkasuodattimen jälkeen on hyvä. Kaliumpermanganaattiluku korreloi orgaanisten epäpuhtauksien määrää. Puhtausastetta saadaan paremmaksi optimaalisella flotaation toiminnalla sekä hiekkasuodattimen tehokkaalla ja riittäväällä huuhtelulla. Rauta- ja alumiinipitoisuuksia saadaan pienemmiksi veden pidemmällä viipymällä hiekkasuodattimilla. Myös hiekkakerroksen paksuutta kasvattamalla saadaan suodatettua pieniä määriä rautaa ja alumiinia pois vedestä.

Huuhtelu käynnistyy pinnanlaskulla asetettuun arvoonsa. Aittaluodon voimalaitoksessa pinta on laskettu arvoon 0,035 m hiekkapatjan yläpuolelle. Tämä käytäntö on peräisin siitä, että on haluttu pienentää pumpulle kohdistuvaa vastapainetta poistamalla yllä oleva vesipatja. Täten vesi saataisiin virtaamaan suuremmalla nopeudella hiekkapatjan läpi ja näin vesi irrottaisi enemmän savea. Koeajojakson aikana pinnanlaskuasetusta vaihdeltiin arvoilla 0,000 m, 0,035 m, 0,500 m, 0,900 m ja 1,000 m. Huuhteluvesisäiliön pinta pidettiin vakiona arvossa 3,14 m yhtä poikkeusta lukuun ottamatta jolloin huuhtelu aloitettiin arvolla 2,40 m.

Nykyisen huuhteluvesipumpun tuottama tilavuusvirta on 152,5 l/s eli 549  $\text{m}^3/\text{h}$ . Jokainen huuhtelujakso on 20 minuutin mittainen, jolloin vettä kuluu 183  $\text{m}^3$  koko huuhtelun aikana. Jokaista suodatinneliötä kohden tulisi juoksuttaa vähintään 5  $\text{m}^3$  huuhteluvettä. Tämä määrä täyttyy 12 minuutin huuhtelulla, jolloin huuhteluvesi on jo kirkasta (Kuva 11). Huuhtelun loppupuolella poistuu edelleen pieniä määriä savea huuhteluveden mukana, mutta käytännössä tällä ei ole vaikutusta huuhtelun lopputulokseen. Aittaluodon voimalaitokselle tehdyn energia-analyysin mukaan 15 minuutin huuhtelu riittäisi, sillä huuhteluvesi on tällöin jo kirkasta. Tuolloin käytössä oli vuonna 2002 asennettu pumppu, jonka tilavuusvirta oli 92 l/s. /8/



Kuva 11. Veden kirkastuminen seitsemän minuuttia huuhtelun aloituksesta.

Loppuraportin mukaan vettä menee hukkaan vuositasolla 48 h huuhteluvälillä 14 904 m<sup>3</sup>. Huuhtelupumpun juoksupyörän vaihdon jälkeen pumpun tuotto nousi 152,5 l/s, joten kemiallisen veden säästö olisi tänä päivänä 24 705 m<sup>3</sup>/a (LIITE 3). Huuhtelulla, joka kestää 12 minuuttia, vettä säästyisi vuositasolla 39 528 m<sup>3</sup>/a, ja tämä on myös maksimaalinen säästö vedenkulutuksessa.

Tärkeä huomio altaan pinnan vaikutuksesta huuhteluprosessiin on, että korkeammalla pinnalla huuhtelun alussa viemärin imu aiheuttaa suuremman turbulenssin altaaseen. Näin vesimassat altaan vastakkaiselta puolelta johtuvat nopeammin viemäriin ja veteen liuennut savi saadaan poistettua tehokkaammin. Lisäksi huuhtelun alussa suurempi määrä savea liukenee suurempaan vesimassaan ja se parantaa oleellisesti huuhtelun lopputulosta. Tärkein vaihe huuhtelussa on sen aloitus. Mikäli alussa ei saada epäpuhtauksia liikkeelle, ei sitä saada myöskään huuhtelun loppuvaiheessa. Ilman käyttö on yleinen käytäntö avohiekkasuodattimilla, mutta Aittaluodon voimalaitoksessa sitä ei käytetä. Ilman tehtävänä on kuohkeuttaa hiekkapatjaa ja irrottaa lika hiekan joukosta. Ilmaa käytettiin kahteen kertaan koeajojaksolla 9.3.2013 ja

11.3.2013. Ilman käytöstä saatu hyöty on kiistaton ja sen käyttöä tulee harkita vakavasti.

#### 6.4 Hiekkapatjan koostumus

Hiekkapatja on kokonaisuudessaan samaa hiekkaa ja suodattavan kerroksen korkeus on yksi metri ja hiekka on valittu suodatettavan aineen mukaan. Monissa paikoissa käytetään suodattavan patjan alla karkeampaa soraä tasaamassa virtausta. Samalla sora estää hienon hiekka-aineksen vajoamisen imusäleikköjen päälle ja näin tukkimasta niitä. Karkeampi sora myös parantaa veden virtausta pohjassa ja edesauttaa huuhteluveden tasaisempaa jakautumista koko hiekkapatjan alalle.

#### 6.5 Aittaluodon voimalaitoksen prosessin toiminta verrattuna Porin Veden yksikön prosessiin

Porin Veden Lukkarinsannan vedenpuhdistamolle (Lukkarinsanta vedenpuhdistamo) tehtiin vierailu 28.3.2013. Lukkarinsannan vedenpuhdistamon päätuote on juomavesi ja se on otettu käyttöön vuonna 2012. Lukkarinsannan vedenpuhdistamon saostuslaitoksen toiminta on hyvin samantyyppinen mitä Aittaluodon voimalaitoksessa. Raakavesi otetaan Kokemäenjoesta ja se kulkee ensin välppien läpi. Tämän jälkeen suoritetaan otsonointi, jonka tarkoitus on tuhota eliöstö vedestä sekä parantaa makua ja hajua. Tästä vesi pumpataan saostukseen, jossa hämmenninaltaisiin syötetään polyalumiinikloridia flokkauskemikaalina. Selkeytystapana käytetään flotaatimenetelmää. Merkittävä ero Aittaluodon voimalaitokseen on yhdistetty flotaatio- ja hiekkasuodinallas. Flokit poistetaan kaapimalla ne pois pinnalta, jolloin pintaa nostetaan sen verran, että kaavin pystyy viemään epäpuhtaudet ylikaatoreunan yli likaisen veden altaaseen. Selkeytynyt vesi suodattuu hiekkapatjan läpi puhdasvesialtaaseen.

Tällaisia vedenkäsittelylinjoja on Lukkarinsannan vedenpuhdistamolla neljä kappaletta. Hiekkasuotimien pinta-ala on 42 m<sup>2</sup>/allas. Altaissa on kaksi viemärikourua, joiden kautta likainen huuhteluvesi johdetaan likaisen veden altaaseen. Taajuusmuuttajakäyttöisen huuhtelupumpun maksimikapasiteetti on 444 l/s, mutta sen tuottoa säädetään yleensä 200-350 l/s välillä. /11/ Hiekkapatjan korkeus on 1,2 m ja

hiekan raekoko on 0,7 – 1,2 mm. Suodatinpohjana käytetään Hyxo Oy:n valmistamaa Triton®-pohjaa (Kuva 12). Sen etuna on suodatinpinnan jakaantuminen koko pohjan alalle, jolloin huuhtelussa vesi saadaan johdettua kaikkialle hiekkapatjassa. Lisäksi kiilahammaslanka pitää pohjapinnan tehokkaasti puhtaana.

### TRITON-SUODATUSPOHJA



Kuva 12. Triton-suodatuspohja. /15/

Huuhtelussa ei käytetä ollenkaan ilmaa, vaikka valmistajan sivuilla se on annettu ohjeena huuhtelulle. Syynä tähän on se, että ilman kanssa suodatinainesta karkaa huuhteluvien mukana. Huuhtelutapahtuman aikana epäpuhtauksia poistui tasaisesti koko hiekkapatjan alueelta. Huuhtelun alku ei ole merkittävästi aggressiivisempi kuin Aittaluodon voimalaitoksessa, mutta puhtaan hiekkapatjan ja suuremman neliökohtaisen tilavuusvirran johdosta vesi jaksoi irrottaa epäpuhtauksia hiekkapatjasta koko huuhtelun ajan (Kuva 13). Hiekkasuodin huuhdellaan pääasiallisesti 24 tunnin välein. Tehokkaasta huuhtelusta ja tiheästä huuhtelutaajuudesta huolimatta isoimpia partikkeleita joudutaan aika-ajoin poistamaan ihmisvoimin. Tämä kertoo siitä, että hiekkasuodattimia on huollettava säännöllisesti niiden parhaan toiminnan takaamiseksi.

/11/



Kuva 13. Huuhtelutapahtuma Lukkarinsannan vedenpuhdistamolla.

Tekniset tiedot hiekkasuodattimista:

Aittaluodon voimalaitos:

Pinta-ala/suodatin	20m <sup>2</sup>
Pintakuorma	10m/h
Hiekka (kvartsi)	1 – 2,0mm
Hiekkapatjan korkeus	1,0m
Huuhtelupumpun tilavuusvirta	152,5 l/s
Pumpun nostokorkeus	12m
Pumpun teho	18,5kW
Ilman käyttö huuhtelussa	Ei
Hiekkapatjan rakenne	Yksikerros
Viemärikourujen määrä	1kpl
Huuhteluvettä / 1m <sup>2</sup> /s	7,625 l/s

Lukkarinsannan vedenpuhdistamo:

Pinta-ala/suodatin	42m <sup>2</sup>
Pintakuorma	6m/h
Hiekka (kvartsi)	0,7 – 1,2mm
Hiekkapatjan korkeus	1,2m
Huuhtelupumpun tilavuusvirta	444 l/s
Pumpun nostokorkeus	10m
Pumpun teho	55kW
Ilman käyttö huuhtelussa	Ei (valinnainen)
Hiekkapatjan rakenne	Yksikerros
Viemärikourujen määrä	2kpl
Huuhteluvettä / 1m <sup>2</sup> /s	10,57 l/s /11/

#### 6.6 Mahdolliset parannuskohteet Aittaluodon voimalaitoksessa

Nykyisen tilanteen parantamiseksi voidaan tehdä muutoksia melko pienillä kustannuksilla. Huuhtelusekvenssin tulee käynnistyä vasta kun huuhteluveesisäiliön pinta on maksimirajalla 3,14 m. Näin taataan huuhtelupumpun maksimaalinen teho huuhtelun alussa. Huuhtelun kestoa tulee lyhentää 20 minuutista 15 minuuttiin, jolloin kemiallisesti puhdistettua vettä saadaan säästettyä lopputuloksen muuttumatta. Hiekkapatja on päässyt huonoon kuntoon vajaatehoisen huuhtelun johdosta. Tästä johtuen hiekkapatjan uusinta on suositeltava toimenpide. Hiekan raekoko on yleisen suosituksen mukaisesti 0,7 – 1,5 mm, mutta hiekkapatjan paksuus on tarkistettava. Ohjeellinen korkeus on 1000 mm. /1/ Alimman 200 mm kerroksen korvaaminen karkeammalla 3 – 5 mm soralla pitää imusäleiköt varmemmin toimintakunnossa niin ajon kuin huuhtelun aikana. Tämän lisäksi karkeampi sora parantaa veden virtaamaa pohjassa ja estää hiekkapatjan pohjalle kulkevan savipaakun etenemisen ennen sen joutumista välipohjaan.

Ilman käyttöä tulee harkita vakavasti, sillä se tuo huomattavan parannuksen huuhtelutapahtumaan nykyisellä laitteistolla. Ilmaa voidaan syöttää huuhtelupumpun painepuolelle linjaan tai testata pinnan vajautusta suodatinaltaassa lähelle välipohjaa, jolloin huuhteluilma otetaan huonetilasta. Näin saadaan myös puhdasta vettä talteen.

Ajotilanteessa hiekkasuodattimessa on 1,0 m vesipatsasta ja suodattimen ala keskimäärin 20 m<sup>2</sup>. Huhdeltavia suodattimia on kolme kappaletta, joten vettä saadaan talteen vuoden aikana 48 tunnin huuhtelutaajuudella:

$$\begin{aligned} & \text{Vesipatsaan korkeus} * \text{Suodattimen pinta-ala} * \text{huuhtelutaajuus (48h)} * \\ & \text{hiekkasuodattimien lukumäärä} = \text{Veden talteenotto vuodessa} \\ & 1\text{m} * 20\text{m}^2 * (365/2) [1/a] * 3 = 10\,950\text{m}^3/a \end{aligned}$$

Kemiallisesti puhdistettua vettä saataisiin talteen vuoden aikana 10 950 m<sup>3</sup>, mikäli hiekkasuodin tyhjennettäisiin vedestä täysin ennen jokaista huuhtelua käyttäen huoneesta otettua ilmaa huuhtelussa. Sillä korvattaisiin 99 huuhtelukerran vaatima vesimäärä 12 minuuttia kestävällä huuhtelulla. Tämä vaatii hyvää suunnittelua ja tarkkaavaisuutta pinnanlaskun aikana ettei vedenpinta laske liian alas ja aiheuta paineiskun vaaraa. Tämä säästö verrattuna asetukseen, jossa pinnanlaskua ei tapahdu vaan huuhtelu aloitetaan suoraan ajotilanteesta.

Käytännön testaukset osoittavat kumpi menetelmä on kannattavampi. Ulkoisena ilmantuottajana riittää paineen tuotoltaan huuhtelupumpun nostokorkeuden ylittävä ilmapuhallin. Raakaveden huonomman laadun aikaan tihennetty huuhtelutaajuus auttaa pitämään hiekkapatjan parhaassa mahdollisessa toimintakunnossa. Mikäli edellä mainitut toimet eivät tuota tyydyttävää lopputulosta, on myös huuhtelupumppu uusittava ja mitoitettava uudelleen. Vuonna 2012 on annettu tarjous seuraavan tyyppisestä pumpusta.

Pumpun tuotto	600m <sup>3</sup> /h (166,7 l/s)
Nostokorkeus	9,98m
Ottoteho	19,44 kW
Vaadittu imujalka (NPSH)	4,73m
Painepuolen paine	1,48bar
Huuhteluvettä /1m <sup>2</sup> /s	8,335 l/s

Kyseinen pumppu ei tule riittämään likaisen hiekkapatjan huuhteluun ilman erillisen ilman käyttöä, vaan pumpun tulee olla tuotoltaan suurempi, mikäli halutaan varmistaa riittävä huuhtelutulos kaikissa tilanteissa. Taajuusmuuttajakäytöllä voidaan ajaa

myös eri vaihtelevalla teholla huuhteluvettä hiekkapatjan läpi, joilla voidaan tehostaa huuhtelua. Tämän lisäksi ennakkohuoltotöihin tulee lisätä hiekkapatjan pinnan sekoittaminen huuhtelun ollessa käynnissä. Näin voidaan varmistua siitä ettei hiekkapatjan pinnalle synny uusia vaikeasti poistettavia kerrostumia.

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Suodattimet Aittaluodon voimalaitoksessa toimivat pääpiirteittäin tarkoituksenomaisella tavalla. Ongelman muodostaa vastavirtahuuhtelu joka ei ole yhtä tehokas kuin ennen vesilaitoksen uusintaa vuonna 2002. Huuhtelutapahtumassa poistuu savea, mutta lopputulos jää vajaaksi tavoitellusta puhtaasta hiekkapatjasta. Tämä puolestaan kerryttää savikerrosta ajan myötä, joka koaguloituu hiekkapatjan sekaan eikä poistu sieltä tämän jälkeen vajaatehoisella huuhtelulla. Vaarana on myös, että tiivistyneet savikappaleet kulkevat kohti välipohjaa, jolloin ne lopulta päästävät epäpuhtaudet puhdasvesisäiliöön, kuormittavat tätä kautta ioninvaihtimia, sekä tukkivat hiekkasuodattimen välipohjan imusäleikköjä. Hiekkapatjan uusinta, hiekkapatjan rakenteen muuttaminen, huuhteluaikojen optimointi, apuilman käyttö sekä huuhteluohjelman mahdolliset muutokset parantavat hiekkasuodattimen toimintaa, sekä lisäävät vesilaitoksen tehokkuutta. Näin saadaan myös vähennettyä kemikaalien kulutusta ja säästettyä energiaa. Lukkarinsannan vedenpuhdistamon hiekkasuodatukseen verrattuna Aittaluodon voimalaitoksen hiekkasuodatus toimii hyvin samalla periaatteella. Laitteisto eroaa välipohjan rakenteen ja rakenteellisten ominaisuuksien puolesta, mutta siitä huolimatta ne ovat vertailukelpoisia keskenään.

Huuhtelun toimintaa tulee muuttaa, mutta yhtä selkeää toimintatapaa ei ole olemassa. Ilman käyttö on yleinen käytäntö ympäri maailmaa, mutta se ei ole aina välttämätön. Lukkarinsannan vedenpuhdistamossa ilmaa käytetään harvoin, sillä suodatinainesta poistuu tällöin huuhteluveden mukana. Huuhtelun tulos on tästä huolimatta hyvä. Aittaluodon voimalaitoksessa ilma voi olla ratkaiseva tekijä onnistuneelle huuhtelulle, sillä koeajojen aikana ilmalla saatiin aikaiseksi selkeää eroa tuloksiin, jolloin ilmaa ei käytetty.



Huuhtelutavalle ei ole määritelty kansainvälisesti parasta mahdollista käytäntöä. Aittaluodon voimalaitoksen ja Lukkarinsannan vedenpuhdistamon väliset käytännön erot tukevat tätä, sillä Lukkarinsannan vedenpuhdistamossa ilmaa ei käytetä vaikka siihen olisi mahdollisuus. Tästä syystä jokaiselle suodattimelle on etsittävä optimaalisin ja tehokkain menetelmä käytännön testien avulla.

## LÄHTEET

1. Hendricks, D. Water Treatment Unit Processes Physical and Chemical. Taylor and Francis Group. 2006
2. Pori Energia Oy. Koulutusaineisto. Vedenkäsittelyn perusteet. 2003
3. PLV Oy. Voimalaitoskoulutus materiaali. 1999
4. YIT Environment Oy. Vesilaitoksen käyttöohjeet. 2002
5. Nyqvist, K. Käyttömestari Pori Energia. Henkilökohtainen tiedonanto. 10.12.2012
6. Kurkela, S. Keskipainelaitosten syöttöveden käsittely- ja analyysiohjeet. Oy Tilgmann Ab. 1978
7. Isomäki, E, Valve, M., Kivimäki, A-L & Lahti, K. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Suomen Ympäristökeskus. 2007
8. Aittaluodon voimalaitoksen energia-analyysi. Empower. 2009
9. Asiakirjat. Aittaluodon vesilaitosprojekti. YIT ja Pori Energia Oy. 2002
10. Euroopan Unionin www-sivut. 2013. Water Treatment Industries. Viitattu 26.2.2013. [http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/wt\\_bref\\_0806.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/wt_bref_0806.pdf)
11. Keskustelut käyttömestari Teppo Tapiaisen kanssa. Porin Vesi. 28.3.2013
12. Vaasan Veden www-sivut. 2013. Flotaatio. Viitattu 28.2.2013. [http://www.vaasanvesi.fi/Suomeksi/Esittely/Pattin\\_puhdistamo/Flotaatio](http://www.vaasanvesi.fi/Suomeksi/Esittely/Pattin_puhdistamo/Flotaatio)
13. Klärwerk Markt Bruckmühl www-sivut. 2013. Hiekkasuodatus. Viitattu 15.3.2013 <http://www.klaerwerk-markt-bruckmuehl.de/Abwasser/abwasser.html>
14. Leopold hiekkasuodattimet www-sivut. 2012. Hiekkasuodatus. Viitattu 15.3.2013. <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/finland/Documents/hiekkasuodatus.pdf>
15. Hyxo Oy vedenkäsittelyjärjestelmät www-sivut. 2012. Triton suodatuspohja. Viitattu 10.3.2013. <http://www.hyxo.fi/products/documents/4fe031b23c8df/Triton-suodatuspohjaFIN.pdf>
16. Hyxo Oy vedenkäsittelyjärjestelmät www-sivut. 2012. DynaSand hiekkasuodattimet. Viitattu 7.3.2013. <http://www.hyxo.fi/products/fin/dynasand-p-112-4/>

## Mittauspöytäkirja 24 tunnin huuhteluvälillä

24h sykli	H savi ennen huuhtelua mm	H savi jälkeen huuhtelun mm	Erotus	H huuhteluvesisäiliö m	Pinnankorkeus m
Mittaus 1 14.3.2013	1. 10	1. 10	0	3,14	0,9
	2. 20	2. 25	5		
	3. 40	3. 30	-10		
	4. 15	4. 15	0		
Mittaus 2 15.3.2013	1. 20	1. 15	-5	2,4	0,5
	2. 30	2. 20	-10		
	3. 35	3. 30	-5		
	4. 20	4. 10	-10		
Mittaus 3 16.3.2013	1. 30	1. 10	-20	3,14	0,035
	2. 35	2. 25	-10		
	3. 30	3. 25	-5		
	4. 25	4. 30	5		

## Mittauspöytäkirja 48 tunnin huuhteluvälillä

48h sykli	H savi ennen huuhtelua mm	H savi jälkeen huuhtelun mm	Erotus	H huuhteluväisäiliö m	Pinnankorkeus m
Mittaus 1 5.3.2013	1. 35	1. 35	0	3,14	0,035
	2. 45	2. 20	-25		
	3. 40	3. 50	10		
	4. 25	4. 20	-5		
Mittaus 2 7.3.2013	1. 45	1. 40	-5	3,14	0,5
	2. 35	2. 50	15		
	3. 55	3. 40	-15		
	4. 45	4. 15	-30		
Mittaus 3 9.3.2013	1. 45	1. 10	-35	3,14	0
	2. 40	2. 15	-25		
	3. 50	3. 40	-10		
	4. 30	4. 20	-10		
Mittaus 4 11.3.2013	1. 25	1. 25	0	3,14	1
	2. 25	2. 5	-20		
	3. 40	3. 20	-20		
	4. 30	4. 10	-20		

## Nykyisen huuhtelupumpun asennusraportti

		<b>Asennusraportti</b>		Päiväys 2.5.2008		Sivu 1	
Asiakas Pori Energia							
Osoite				Hoitopäivä 30.4.2008			
Aittaluoto							
Postinumero 28100		Postitoimipaikka Pori		Asentaja Poikselkä Tomi KSB Partners			
Työmaa Pori Energia				Tilausnumero 08703016 / Jokinen			
Yhteyshenkilö Timo Jokinen / PLV				<b>Pumpun tyypikilven tiedot:</b>			
Osasto / puhelinnumero				Tyyppi / - koko Etanorm G 150-250 G10 SP			
KSB tekninen toimisto				Valmistusnumero 6-917-108853/1			
<b>Käyttötiedot:</b>				Valmistusvuosi 2001			
Pumpattava neste ja lämpötila Huuhteluvesipumppu 20				Q=331,20 m <sup>3</sup> /h		H= 12,00 bar/ m	
Viskositeetti 0		pH-arvo		n= 1460 1/min		P= 18,5 kW	
Imupaine bar		Geodeettinen korkeus H <sub>geo</sub> m		t= 20°C		γ= kg / dm <sup>3</sup>	
Loppupaine 12,00 bar		Kevennyksesipaine bar		<b>Moottorin tyypikilven tiedot:</b>			
Pöyrimisnopeus n= 1465 1/min		Öljynpaine - bar		Tyyppi Ksb 1LC4 183-4AA60-Z			
Ensimmäinen käyttöönotto 05.03.2002		Käyttötunnit ?		U= 400 V		J= 35,00 A	
Edellinen revisio		Öljy- / rasvanlaatu -		cos φ = 0,84			
Todellinen virranotto J <sub>ph</sub> = A		J= A		<input type="checkbox"/> Y Δ käynnistys <input checked="" type="checkbox"/> Suorakäynnistys			
Huuhteluvesipumppu UD 51 D 001							
30.4.2008							
Pumpun tehon nosto							
Pumppuun vaihdettiin juoksupyörä halk.268 mm							
Pumpun kytkin vaihdettiin type Flender N 125							
Moottori vaihdettiin Siemens 30 kw 1465 rpm							
Petimuutos tehtiin uusilla moottorin korotuspaloilla rakenne hitsattu.							
Kytkin linjattu josta pöytäkirja							
Uudet tuotto arvot pumpulle							
Q = 549 m <sup>3</sup> /h							
H = 15,00 m							
Moottorin ottoteho 27,40 kw							
Asiakirjat liitteenä							
Tomi Poikselkä							

## LIITE 4

Aittaluodon voimalaitoksen vesianalyysi vuodelta 2012, kemiallisesti puhdistettu vesi

		Suori- tus	Ohjea- vo	4.1.	10.1.	11.1.	18.1.	24.1.	25.1.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		6,6		6,5	6,1		6,4
	johtoky- ky	kk			167				
	KMnO4	w	<12	15,1		16,9	15,0		13,8
	alumiini	w	<0.15	0,161		0,255	0,181		0,139
	kovuus dH	v			2,0			1,6	
	SiO2	v			5,683			3,915	
	rauta	w	<0.05	0,248		0,239	0,181		0,120

		Suori- tus	Ohjea- vo	1.2.	2.2.	8.2.	15.2.	21.2.	22.2.	29.2.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		6,4		6,4	6,3		6,2	6,0
	johtoky- ky	kk			140					
	KMnO4	w	<12	13,7		13,6	15,7		17,6	11,0
	alumiini	w	<0.15	0,118		0,171	0,163		0,211	0,111
	kovuus dH	v			1,4			1,7		
	SiO2	v			4,925			4,069		
	rauta	w	<0.05	0,099		0,092	0,154		0,180	0,081

		Suori- tus	Ohjea- vo	6.3.	7.3.	14.3.	20.3.	21.3.	28.3.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w			6,8	6,3		6,3	6,0
	johtoky- ky	kk		152					
	KMnO4	w	<12		16,1	13,3		14,9	12,9
	alumiini	w	<0.15		0,312	0,136		0,135	0,108
	kovuus dH	v		1,8			1,7		
	SiO2	v		4,445			5,062		
	rauta	w	<0.05		0,101	0,073		0,060	0,196

		Suori- tus	Ohjea- vo	3.4.	4.4.	11.4.	16.4.	19.4.	25.4.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w			6,4	6,3		7,7	6,1
	johtoky- ky	kk		158					
	KMnO4	w	<12		18,3	16,9		11,8	18,0
	alumiini	w	<0.15		0,258	0,174		0,131	0,117
	kovuus dH	v		2,0			2,0		
	SiO2	v		6,317			6,524		
	rauta	w	<0.05		0,549	0,191		0,220	0,265

		Suori- tus	Ohjear- vo	2.5.	3.5.	8.5.	15.5.	16.5.	23.5.	29.5.	30.5.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w			6,1	6,3		6,3	6,0		6,3
	johtoky- ky	kk		144							
	KMnO4	w	<12		14,4	14,1		15,4	13,2		12,1
	alumiini	w	<0.15		0,121	0,147		0,101	0,083		0,177
	kovuus dH	v		1,8			1,6			1,2	
	SiO2	v		5,104			5,520			3,211	
	rauta	w	<0.05		0,165	0,108		0,151	0,091		0,075

		Suori- tus	Ohjear- vo	6.6.	12.6.	13.6.	20.6.	26.6.	27.6.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		6,1		6,2	5,8		6,7
	johtoky- ky	kk				131			
	KMnO4	w	<12	11,9		12,5	9,7		12,7
	alumiini	w	<0.15	0,089		0,110	0,065		0,140
	kovuus dH	v			1,5			1,6	
	SiO2	v			3,111			2,128	
	rauta	w	<0.05	0,053		0,058	0,035		0,061
		Suori- tus	Ohjear- vo	4.7.	10.7.	11.7.	18.7.	24.7.	25.7.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		5,9		6,2	5,7		5,9
	johtoky- ky	kk			141				
	KMnO4	w	<12	11,8		16,7	11,8		10,0
	alumiini	w	<0.15	0,057		0,087	0,061		0,064
	kovuus dH	v			1,8			1,6	
	SiO2	v			1,440			0,875	
	rauta	w	<0.05	0,033		0,050	0,022		0,025

		Suori- tus	Ohjear- vo	1.8.	7.8.	8.8.	15.8.	21.8.	22.8.	29.8.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		5,9		5,8	5,6		6,3	5,8
	johtoky- ky	kk			136					
	KMnO4	w	<12	11,4		8,9	10,1		10,5	9,6
	alumiini	w	<0.15	0,047		0,053	0,070		0,068	0,050
	kovuus dH	v			1,7			1,4		
	SiO2	v			0,816			0,746		
	rauta	w	<0.05	0,023		0,033	0,033		0,025	0,016

		Suori- tus	Ohjear- vo	4.9.	5.9.	12.9.	18.9.	19.9.	26.9.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w			5,4	5,9		5,4	5,5
	johtoky- ky	kk		139					
	KMnO4	w	<12		10,0	9,3		7,3	9,2

	alumiini	w	<0.15		0,086	0,069		0,188	0,113
	kovuus dH	v		1,5			1,8		
	SiO2	v		1,065			1,309		
	rauta	w	<0.05		0,021	0,005		0,028	0,019

		Suori- tus	Ohjea- vo	2.10.	3.10.	9.10.	16.10.	17.10.	23.10.	30.10.	31.10.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w			5,6	5,7		5,5	5,6		5,4
	johtoky- ky	kk		123							
	KMnO4	w	<12		10,6	12,8		11,1	13,3		12,0
	alumiini	w	<0.15		0,102	0,087		0,180	0,134		0,198
	kovuus dH	v		1,8			2,0			1,6	
	SiO2	v		3,532			4,273			5,558	
	rauta	w	<0.05		0,050	0,070		0,047	0,087		0,080

		Suori- tus	Ohjea- vo	7.11.	14.11.	15.11.	20.11.	27.11.	28.11.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		8,4		5,5	5,2		5,2
	johtoky- ky	kk			131				
	KMnO4	w	<12	7,2		10,3	12,5		12,3
	alumiini	w	<0.15	0,126		0,201	0,212		0,246
	kovuus dH	v			2,0			1,7	
	SiO2	v			4,519			5,516	
	rauta	w	<0.05	0,521		0,052	0,124		0,091

		Suori- tus	Ohjea- vo	5.12.	11.12.	12.12.	19.12.	27.12.
Hiekkasuoda- tettu	pH	w		5,4		5,4	5,2	6,5
	johtoky- ky	kk			122			
	KMnO4	w	<12	12,8		12,8	13,3	18,7
	alumiini	w	<0.15	0,210		0,238	0,271	0,170
	kovuus dH	v			1,8			
	SiO2	v			4,514			
	rauta	w	<0.05	0,097		0,085	0,067	0,125