



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

HULEVESIEN KÄSITTELYMENETELMIÄ KADMIUMILLE, LYIJYLLE, NIKKELILLE JA SINKILLE

Case: Kuusakoski Oy Heinola

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikka
Ympäristöteknologia
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Anna Perttola

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristöteknologia

PERTTOLA, ANNA:

Hulevesien käsittelymenetelmiä kadmiumille, lyijylle, nikkelle ja sinkille
Case: Kuusakoski Oy Heinola

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 37 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2012

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on pohtia menetelmiä ja keinoja, joilla voidaan tehostaa Kuusakoski Oy Heinolan hulevesien käsittelyä. Kuusakoski Oy Heinolassa hulevesien raja-arvot astuivat voimaan 14.10.2011. Aiempien tarkkailutulosten perusteella muutamien parametrien osalta raja-arvoihin ei päästä nykyisellä hulevesien käsittelyllä, joten hulevesien käsittelyä on tehostettava. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan hulevesien puhdistusta kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin osalta.

Opinnäytetyössä käsitellään Heinolan tehtaiden tämänhetkistä hulevesien tilaa: nykyistä käsittelyä, laatua, sen tarkkailua ja raskasmetallipitoisuuksia sekä asetettuja raja-arvoja. Raskasmetallien osalta tarkastellaan myös kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin ominaisuuksia sekä sitä mihin kyseisiä metalleja käytetään.

Hulevesien käsittelymenetelmäratkaisuiksi esitellään käänteisosmoosikalvoja sekä kemiallista saostusta. Molemmista ratkaisuista on aikaisempaa kokemusta myös Kuusakoski Oy:llä; käänteisosmoosikalvojen puhdistustehokkuutta on testattu Kuusakoski Oy Heinolan oman Rajavuoren kaatopaikan suotovesillä ja Kuusakoski Oy Airakselassa käytetään hule- ja suotovesien käsittelyssä kemiallista saostusta.

Tässä opinnäytetyössä hulevesien käsittelymenetelmiä käsitellään teoreettisella tasolla ja tulokset puhdistustehoista ovat siksi suuntaa antavia. Teoreettisten laskelmien perusteella käänteisosmoosikalvomenetelmällä saavutettaisiin asetetut raja-arvot kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin kohdalla, mutta näiden tietojen perusteella kemiallisella saostusmenetelmällä ei saataisi kaikkia pitoisuuksia pienennettyä alle asetettujen raja-arvojen. Käänteisosmoosikalvomenetelmä olisi kuitenkin käyttökustannuksiltaan huomattavasti kalliimpi näiden laskemien ja tietojen perusteella. Lisäksi työssä on pohdittu, voidaanko muilla keinoilla vaikuttaa hulevesien laatuun ja onko muita menetelmiä puhdistaa Heinolan hulevesiä.

Avainsanat: hulevesi, ympäristölupa, kadmium, lyijy, nikkeli, sinkki, käänteisosmoosikalvo, kemiallinen saostus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

PERTTOLA, ANNA: Stormwater processing methods for cadmium, lead, nickel and zinc
Case: Kuusakoski Oy Heinola

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 37 pages, 4 appendices

Spring 2012

ABSTRACT

The objective of this Bachelor's Thesis was to explore the methods and ways to improve the stormwater processing at Kuusakoski Oy Heinola. The limits for the stormwater at the factory came into force on 14 October 2011. The current stormwater process does not reach the limits in some parameters, and therefore it should be improved. This study explores the purification of stormwater for cadmium, lead, nickel and zinc.

The study deals with the factory's present treatment of the stormwater, the quality of the stormwater, limits of heavy metals and how to observe stormwater. The study also investigates features of cadmium, lead, nickel and zinc and how to use these heavy metals.

Methods of reverse osmosis and chemical precipitation are presented as a solution for stormwater treatment. Kuusakoski Oy Heinola has previous experience of both methods. They have tested in their own landfill how the reverse osmosis plants improve the seepage water of the landfill. Chemical precipitation is used as a treatment for stormwater and landfill water at Kuusakoski Oy Airaksela.

In this thesis stormwater treatment methods are only investigated in theory, so the results are only preliminary. These theoretical results indicate that the method of reverse osmosis plant has reached the limits for cadmium, lead, nickel and zinc where the method of chemical precipitation has not reached all of them. Based on all the collected information and these theoretical results, the method of reverse osmosis plant would be more expensive to use. There has also been discussed if there are any other good ways to affect the quality of stormwater.

Key words: stormwater, cadmium, lead, nickel, zinc, reverse osmosis plant, chemical desposition

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	2
2	KUUSAKOSKI OY HEINOLA	4
2.1	Heinolan tehdasalueen toiminta	4
2.2	Kierrätysmateriaalin käsittely ja varastointi	5
2.3	Kuusakoski Oy Heinolan ympäristölupa	6
3	KUUSAKOSKI OY HEINOLAN HULEVEDET	8
3.1	Hulevesien käsittelyn nykytilanne	8
3.2	Hulevesien laatu ja seuranta	9
3.3	Hulevesien metallipitoisuudet ja raja-arvot	10
3.3.1	Kadmiumpitoisuudet	11
3.3.2	Lyijypitoisuudet	12
3.3.3	Nikkelipitoisuudet	13
3.3.4	Sinkkipitoisuudet	14
4	KÄSITELTÄVÄT RASKASMETALLIT JA NIIDEN OMINAISUUDET	15
4.1	Kadmium, Cd	16
4.2	Lyijy, Pb	17
4.3	Nikkeli, Ni	18
4.4	Sinkki, Zn	19
5	HULEVESIEN KÄSITTELY- JA TEHOSTUSMENETELMIÄ	21
5.1	Käänteisosmoosikalvomenetelmä	21
5.1.1	Osmoosi ja käänteisosmoosi	21
5.1.2	Käänteisosmoosikalvolaitteiston toimintaperiaate	22
5.1.3	Puhdistustehot ja teoreettiset puhdistustulokset	25
5.2	Kemiallinen saostusmenetelmä	28
5.3	Muita hulevesien käsittelymenetelmiä ja tehostuskeinoja	32
5.3.1	Ioninvaihto	32
5.3.2	Kierrätysmateriaalin varastointi	32
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	34
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksinantajana on Kuuskoski Oy Heinola. Työn tarkoituksena on selvittää, millaisilla menetelmillä voidaan parantaa Heinolan tehtaiden hulevesien laatua. Käsittelymenetelmän avulla pitäisi saada raskasmetallipitoisuudet pienennettyä alle asetettujen raja-arvojen. Raskasmetallien osalta tässä työssä tarkastellaan kadmiumia, lyijyä, nikkeliä ja sinkkiä.

Ympäristönsuojelulain (86/2000) 28. pykälän mukaan Kuuskoski Oy Heinolan toiminta vaatii ympäristöluvan. Kuuskoski Oy Heinolan ympäristöluvassa on määritetty raja-arvot erilaisille päästöille ja pitoisuuksille sekä se miten usein eri näytteitä tulisi ottaa. Hulevesien osalta raja-arvot tulivat voimaan lokakuussa 2011. Aiempien tarkkailutulosten perusteella muutamien parametrien osalta raja-arvoihin ei päästä nykyisellä hulevesien käsittelyllä, joten hulevesien käsittely vaatii tehostusta. Pitoisuudet ylittyisivät muun muassa lyijyn, nikkelin ja sinkin osalta.

Käsittelen työssä tämänhetkistä hulevesien laatua Heinolan tehdas- ja kierrätyspalvelualueella, sen käsittelyä, viime vuosien tarkkailutuloksia raskasmetallien osalta sekä niille asetettuja raja-arvoja. Samalla selvitän raskasmetallien ominaisuuksia ja niille tyypillisiä käyttökohteita.

Hulevesien käsittelymenetelminä esittelen käänteisosmoosikalvon sekä kemiallisen saostuksen. Käänteisosmoosikalvolaitteiston toimivuutta ja sen puhdistustehokkuutta on testattu Kuuskoski Oy Heinolan oman Rajavuoren kaatopaikan suotovesillä. Kuuskoski Oy Airakselan kierrätyslaitoksella puolestaan on käsitelty vuodesta 2010 asti hule- ja suotovesiä kemiallisella saostusmenetelmällä.

Käsittelen hulevesien käsittelymenetelmiä teoreettisella tasolla. Tulokset puhdistustehoista on laskettu annettujen materiaalien pohjalta. Esimerkiksi käänteisosmoosikalvomenetelmän puhdistustehot on Rajavuoren suotovesien testaustuloksista ja kemiallisen saostusmenetelmän puhdistustehoja on laskettu Airakselan kierrätyslaitoksen tarkkailutuloksien pohjalta, siksi puhdistustulokset eivät ole täysin luotettavia vaan suuntaa antavia. Lisäksi tarkastelen, onko teoreettisesti mahdollista päästä asetettuihin raja-arvoihin näillä menetelmillä lyijyn, nikkelin ja sinkin osalta. Käänteisosmoosikalvolaitteiston ja kemiallisen saostuksen lisäksi

pohdin, voisiko muilla keinoilla parantaa hulevesien laatua ja vähentää raskasmetallipitoisuuksia Kuusakoski Oy Heinolan hulevesissä.

2 KUUSAKOSKI OY HEINOLA

Kuusakosken liikeideana on säästää luonnonvaroja kierrättämällä käytöstäpoistettuja materiaaleja ja jalostaa tarpeeton materiaali uudelleen uusiksi raaka-aineiksi. Kuusakoski Oy tunnetaan yhtenä maailman suurimpana metallien toimittajana ja jalostajana. Kuusakoski Oy onkin Itämeren alueen johtava teollisen kierrättämisen yhtiö, jonka toiminta on alkanut viipurilaisena romuliikkeenä. (Kuusakoski Oy 2012.) Kuusakoski Oy:n liikevaihto oli vuonna 2010 713,3 miljoonaa euroa, josta liikevoittoa 56,6 miljoonaa euroa (Tilinpäätös 2010).

Kuusakoskella on yli 100 toimipistettä, joista noin 20 sijaitsee Suomessa. Kuusakosken toimipisteitä on muun muassa Skandinaviassa, Baltiassa, Venäjällä, Kiinassa ja Taiwanissa. Suomessa toimipisteitä on muun muassa Espoossa, Turussa, Laihialla, Kajaanissa ja Heinolassa. (Kuusakoski Oy 2012.)

2.1 Heinolan tehdasalueen toiminta

Heinolan tehtaat on Kuusakoski Oy:n merkittävin kierrätyslaitos. Laitokseen kuuluu muun muassa autojen sekä sähkö- ja elektroniikkaromun esikäsittely, kaksi murskauslaitosta, erottelulaitos, alumiinisulatto sekä rakennusjätteen käsittelyä. Tehtaan raaka-aineita ovat kierrätysmetallit ja käytöstä poistetut laitteet (ajoneuvot, sähkö- ja elektroniikkalaitteet), rakennusjäte sekä puu, paperi, pahvi ja muovi. Tämän lisäksi Heinolan tehdasalueella vastaanotetaan, välivarastoidaan ja toimitetaan edelleen käsiteltäväksi akkuja, paristoja ja pieniä eriä muita ongelmajätteitä. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.)

Tehtaan metallijätteen kierrätysprosessiin kuuluu materiaalien vastaanotto, esikäsittely, murskaus, erottelu sekä metallien jalostus raaka-aineeksi takaisin teollisuuden käyttöön. Hyötykäyttökelvottomat jätejakeet loppusijoitetaan yhtiön Rajavuoren kaatopaikalle. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.)

2.2 Kierrätysmateriaalin käsittely ja varastointi

Heinolan tehdasalueella kierrätysmateriaalia varastoidaan ja käsitellään pääasiassa ulkona, mutta esimerkiksi akut, paristot ja ongelmajätteet varastoidaan sisätiloihin. Kierrätysmateriaalien käsittely, kuten esimerkiksi auto- tai sähkö- ja elektroniikkaromun, murskaus tapahtuu ulkona, ja toiminta on säästä riippumatonta, joten sade- ja sulamisvesien mukana kulkeutuu murskauksessa irronneita partikkeleita kuten öljyä ja metalleja. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.)

Tehdasalueella ulkona sijaitsevat murskain, leikkuri ja autopaloittamo. Kierrätyspalvelualueella autojen sekä sähkö- ja elektroniikkalaitteiden esikäsittely tapahtuu sisätiloissa, mutta sähkö-, elektroniikka- ja autoromuja varastoidaan ulkona. Myös muu metallijäte varastoidaan pääasiassa ulkona. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.) Kuviossa 1 on kartta Heinolan tehdas- ja palvelualueesta, ja siitä selviää eri toimintojen sijainnit.



KUVIO 1. Heinolan tehdas- ja kierrätyspalvelualueen toiminnot (Kuusakoski Oy Heinola 2006; Kuusakoski Oy Heinola 2009)

2.3 Kuusakoski Oy Heinolan ympäristölupa

Kuusakoski Oy Heinolan toiminta vaatii ympäristöluvan ympäristönsuojelulain (86/2000) 28. pykälän mukaan ”ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava ympäristölupa”. Ympäristönsuojelulain 28. pykälän 1. ja 2. momentissa on tarkennettu luvan tarvetta ”Ympäristölupa on lisäksi oltava: 1) toimintaan, josta saattaa aiheutua vesistön pilaantumista eikä kyse ole vesilain

mukaan luvanvaraisesta hankkeesta, 2) jätevesien johtamiseen, josta saattaa aiheutua ojan, lähteen tai vesilain 1. luvun 3. pykälän 1. momentin 6. kohdassa tarkoitun noron pilaantumista”. (Ympäristösuojelulaki 86/2000, 28. pykälä.)

Kuusakoski Oy Heinolalle on myönnetty ympäristölupa maaliskuussa 2006. Ympäristölupa velvoittaa Kuusakoski Oy Heinolan tehtaita tarkkailemaan päästöjä niin ilmaan kuin veteen. Ympäristöluvassa on määritetty muun muassa raja-arvot hulevesien metallipitoisuuksille ja ympäristölupapäätöksessä sanotaan:

”Maastoon johdettavan veden haitta-aineiden raja-arvot ovat talousveden laatuvaatimustasoa. Jos maastoon johdettavien hulevesien sisältämien haitta-aineiden pitoisuudet ylittävät em. ympäristöön johdotettavalle vedelle asetetut raja-arvot, toiminnanharjoittajan on ryhdyttävä toimenpiteisiin veden puhdistuksen tehostamiseksi tai hulevesien johtamiseksi pohjavesialueen ulkopuolelle.”

Hulevesien raja-arvot tulivat voimaan lokakuussa 2011, ja raja-arvot lasketaan vuosikeskiarvoina. Ympäristöluvassa annetut hulevesien raja-arvot ylittyvät metalleista lyijyn, nikkelin ja sinkin osalta. (Kuusakoski Oy Heinola 2010.)

3 KUUSAKOSKI OY HEINOLAN HULEVEDET

Heinolan tehdasalue sijaitsee kokonaisuudessaan Myllynojan I-luokan pohjavesialueella ja sen muodostumisalueella. Ala-Musterin vedenottamo, joka tuottaa lähes puolet Heinolan kaupungin tarvitsemasta vedestä, sijaitsee 1,8 kilometriä teollisuusalueesta etelään. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.) Pohjavesi sijaitsee tehtaiden kohdalla noin 3 - 5 metrin syvyydessä maanpinnasta (Esko Rossi Oy 2009). Ympäristösuojelulain 8. pykälän pohjaveden pilaamiskiellon mukaan pohjavesialueelle ei saa johtaa vettä, jonka johdosta pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti heikkenee.

3.1 Hulevesien käsittelyn nykytilanne

Tehdas- ja varastoalueiden hulevedet sekä tuotantolaitosten kattovedet kerätään sadevesiviemäriverkoston avulla yhteen. Tarvittaessa vedet on ensin johdettu paikallisten öljynerottimien kautta verkostoon. Verkostossa on kaksi hulevesipumppaamaa, joista toisella vedet pumpataan tasausaltaaseen. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.)

Kaikki vedet johdetaan samaan tasausaltaaseen, josta veden laatua voidaan tarkkailla ennen vesien johtamista maastoon. Tasausallas toimii samalla öljynerotusaltaana, kiintoaineen laskeutusaltaana ja tarvittaessa varoaltaana. Tasausallas tyhjenee painovoimaisesti purkuviemäriin kahden vuorokauden viipymäajalla ja vedet johdetaan tehdasalueen ulkopuolelle. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.)

Kierrätyspalvelualueen sade- ja hulevedet johdetaan hiekan- ja öljynerotusjärjestelmän kautta maastoon kierrätyspalvelualueen lounaispuolelle. Hiekan- ja öljynerotusjärjestelmän jälkeisestä tarkkailukaivosta voidaan ottaa näyte ja näin voidaan tarkkailla maastoon johdettavan veden laatua. (Kuusakoski Oy Heinola 2006.)

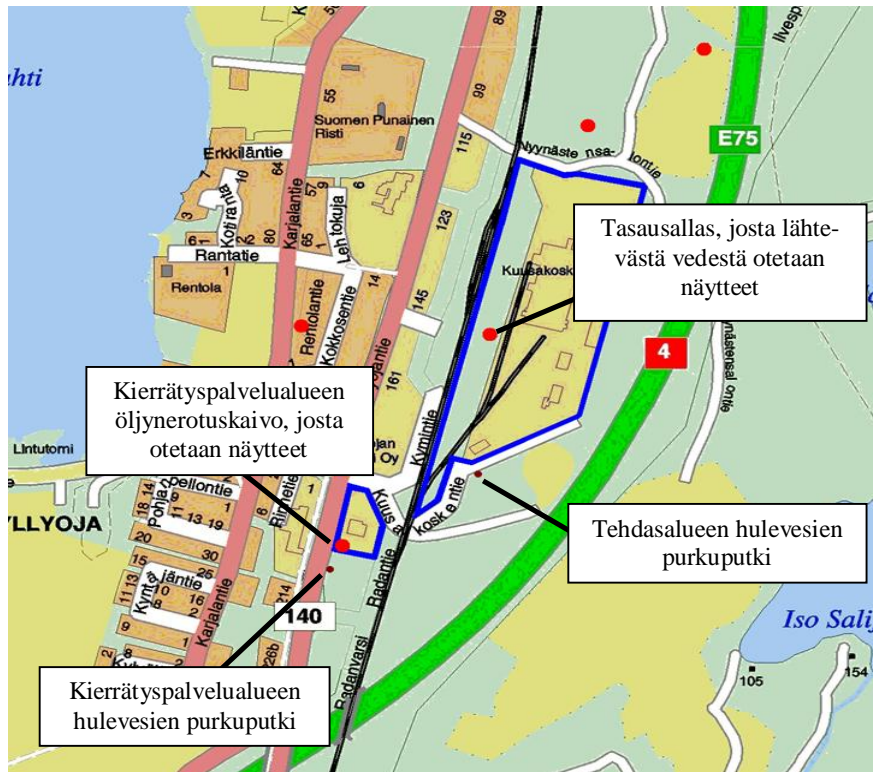
3.2 Hulevesien laatu ja seuranta

Heinolan tehtaiden hulevesien haitta-aineista on tehty riskiarvio vuonna 2009, jota varten Esko Rossi Oy teki selvityksen, missä tutkittiin myös metallien olomuotoja. Selvityksessä ilmeni muun muassa, että lyijy esiintyy hulevesissä kiinteässä muodossa ja nikkeli ja sinkki ovat pääosin liukoisina suoloina. Esko Rossi Oy:n tekemässä riskiarviossa selviää myös, että hulevesien imeytysalueella maaperän pintakerrokseen on kertynyt metalleja, kuten sinkkiä ja nikkeliä, mikä osoittaa haitta-aineiden tehokasta sitoutumista maa-ainekseen. (Esko Rossi Oy 2009.) Hulevesien tarkkailutuloksista puolestaan selviää, että hulevesien pH on noin 7,4 (Kuusakoski Oy Heinola 2009).

Tehdasalueen tasausaltaaseen johdettavien hulevesien laatua seurataan altaasta lähtevästä vedestä. Näyte otetaan neljästi vuodessa, esimerkiksi huhti-, kesä-, elokuu- ja lokakuussa. Näytteestä määritetään seuraavat parametrit: virtaama, ulkonäkö, haju, lämpötila, sähkönjohtavuus, pH, COD_{Cr}, kloridi, mineraaliöljyt, ammoniumtyppi, sinkki, nikkeli, bromi, kadmium, kromi (VI), lyijy, elohopea, arseeni ja alumiini. (Kuusakoski Oy Heinola 2009.)

Kierrätyspalvelualueen hulevesiä seurataan hiekan- ja öljynerotusjärjestelmän jälkeisestä tarkkailukaivosta ja näyte otetaan kahdesti vuodessa. Näytteistä tehdään seuraavat määritykset: ulkonäkö, haju, lämpötila, mineraaliöljyt, kadmium, kupari, lyijy ja sinkki. (Kuusakoski Oy Heinola 2009.)

Kuviossa 2 on esitetty hulevesien kannalta tärkeimmät pisteet kuten tasausallas, tehdas- ja kierrätyspalvelualueiden hulevesien purkupuutki sekä kierrätyspalvelualueen öljynerotuskaivo.



KUVIO 2. Kuusakoski Oy Heinolan tehdas- ja kierrätyspalvelualue (Kuusakoski Oy Heinola 2006; Kuusakoski Oy Heinola 2009)

3.3 Hulevesien metallipitoisuudet ja raja-arvot

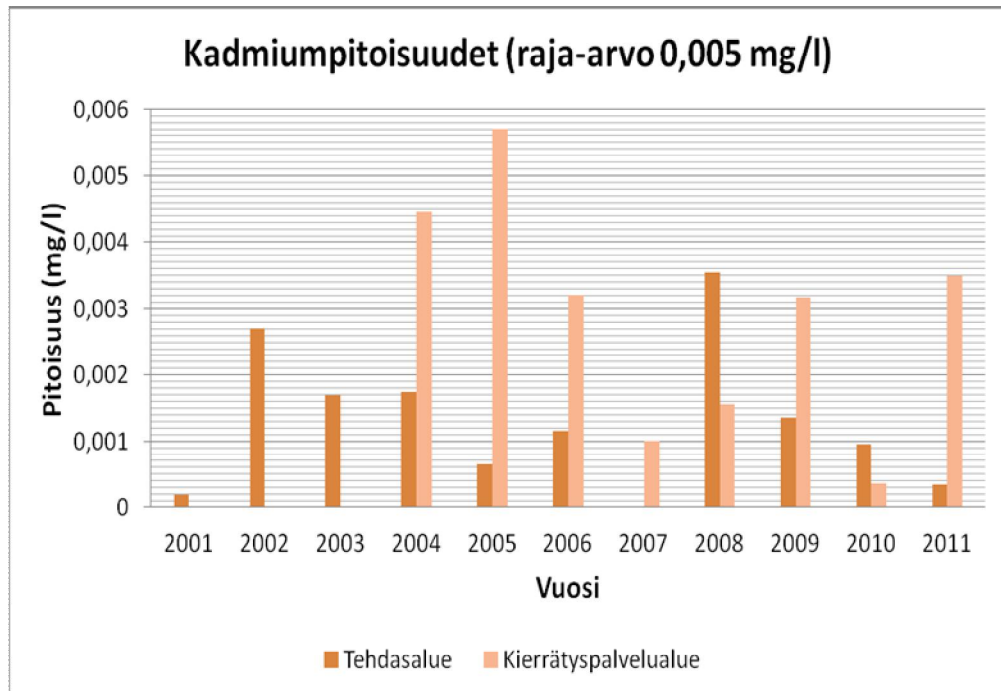
Heinolan tehdasalueella vuosittaiset hulevesimäärät ovat vaihdelleet vuosien 1999–2011 välillä noin 21500 m³ - 74700 m³ kuten kuviossa 3 on esitetty. Keskimääräinen hulevesimäärä vuodessa on noin 37610 m³ ja hulevesien määrä vuorokaudessa on noin 103 m³. Tehdasalueen tasausaltaasta otetaan näyte neljästi vuodessa ja kierrätyspalvelualueelta kahdesti vuodessa. Ympäristöluvassa asetetut raja-arvot Heinolan tehdasalueelle on asetettu niin, että pitoisuusraja-arvot laskeetaan vuosikeskiarvoina, ja raja-arvot ovat astuneet voimaan 14.10.2011.



KUVIO 3. Kuusakoski Oy Heinolan hulevesimäärät vuosina 1999–2011 (Kuusakoski Oy Heinola 2011)

3.3.1 Kadmiumpitoisuudet

Kadmiumille asetettu raja-arvo on 0,005 mg/l. Kuviossa 4 esitettyjä tuloksia tarkastelemalla huomataan, että kadmiumpitoisuudet olisivat alittaneet asetetun raja-arvon viime vuosina. Vuoden 2011 vuosikeskiarvo tehdasalueelta oli 0,00035 mg/l ja kierrätyspalvelualueella 0,0035 mg/l. Kadmiumia on tarkkailtu tehdasalueen hulevesistä vuodesta 1997 lähtien ja kierrätyspalvelualueella vuodesta 2004 lähtien. (Liite 1.)



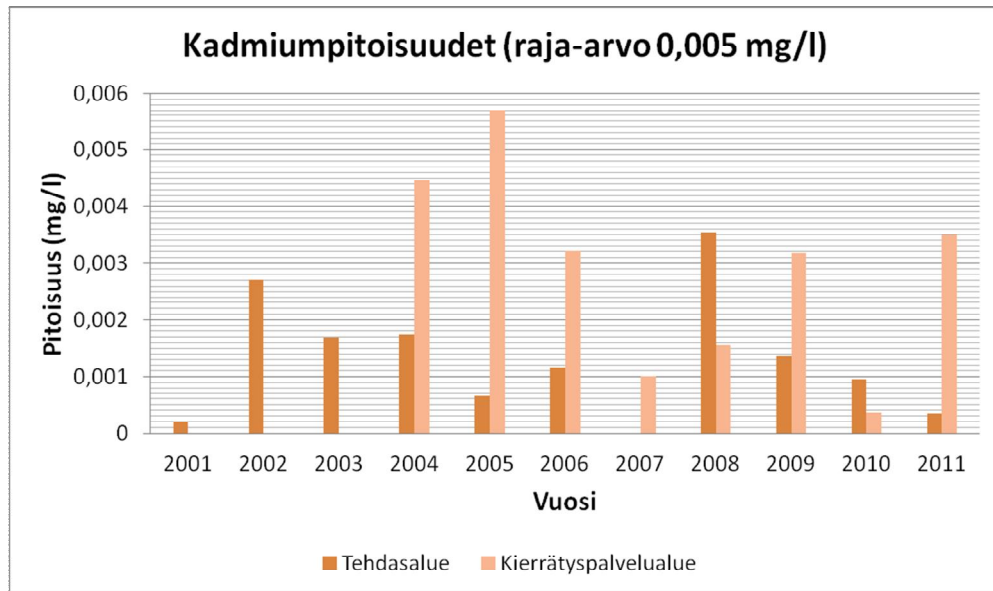
KUVIO 4. Heinolan tehdas- ja kierrätyspalvelualueen hulevesien kadmiumpitoisuudet (liite 1)

3.3.2 Lyijypitoisuudet

Lyijypitoisuudet ylittyvät kierrätyspalvelualueen hulevesien osalta, mutta ne alittavat tehdasalueella (kuvio 5), sillä lyijylle asetettu raja-arvo on 0,01 mg/l. Vuodesta 2008 eteenpäin tehdasalueen hulevesien lyijypitoisuudet ovat pienentyneet ja ne alittavat vuoden 2011 asetetun raja-arvon. Lyijypitoisuuksia on tarkkailtu tehdasalueen hulevesissä vuodesta 1997 lähtien ja kierrätyspalvelualueen lyijypitoisuuksia on tarkkailtu vuodesta 2004 lähtien. (Liite 1.)

Liitteestä 1 selviää, että vuonna 2011 tehdasalueen hulevesien lyijypitoisuus oli 0,0085 mg/l ja vuonna 2010 pitoisuus oli vain 0,0015 mg/l. Kierrätyspalvelualueen hulevesien lyijypitoisuus vuonna 2011 oli 0,08 mg/l, mikä ylittää asetetun raja-arvon, mutta vuonna 2010 lyijypitoisuus kierrätyspalvelualueen hulevesissä oli 0,017 mg/l, mikä on lähellä annettua raja-arvoa. Kierrätyspalvelualueen hulevesien lyijypitoisuudet ovat myös pienentyneet, vaikka ylittävätkin vielä asetetut

raja-arvot, sillä vuonna 2004 lyijypitoisuus oli 0,292 mg/l, jolloin ylitys olisi ollut kaksikymmentäkertainen tämän päivän raja-arvoihin verrattuna. (Liite 1.)



KUVIO 5. Heinolan tehdas- ja kierrätyspalvelualueen hulevesien lyijypitoisuudet (liite 1)

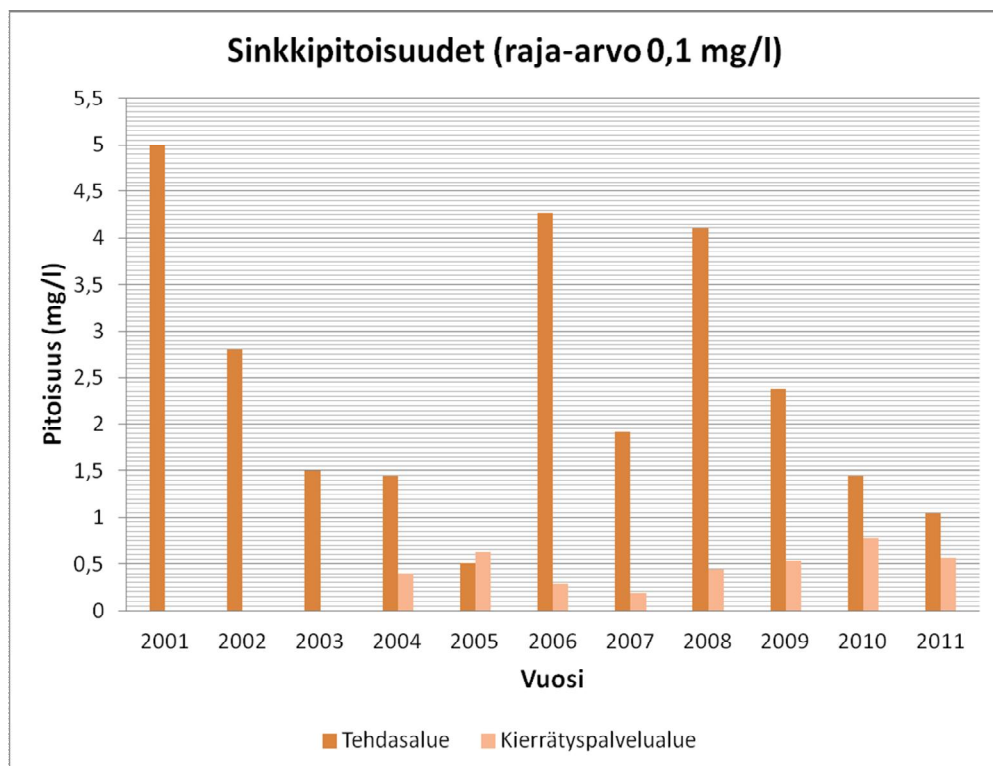
3.3.3 Nikkelipitoisuudet

Nikkelipitoisuuksia on tarkkailtu tehdasalueella vuodesta 2010 ja kierrätyspalvelualueella vuodesta 2011 lähtien, joten tarkkailutuloksia nikkelpitoisuuksista ei ole juurikaan. Nikkelille asetettu raja-arvo on 0,02 mg/l. Liitteen 1 tuloksia tarkastellessa huomataan, että nikkelpitoisuudet hulevesissä ylittyvät niin tehdasalueella kuin kierrätyspalvelualueellakin. Vaikka pitoisuudet ylittyvät nikkelin osalta, niin pitoisuudet ovat molemmilla alueilla lähellä asetettua raja-arvoa. Tehdasalueen hulevesien nikkelpitoisuudet olivat 0,027 mg/l vuonna 2010 ja vuonna 2011 0,035 mg/l. Kierrätyspalvelualueen hulevesien nikkelpitoisuuksia on mitattu vain vuonna 2011 ja silloin se oli 0,024 mg/l. (Liite 1.)

3.3.4 Sinkkipitoisuudet

Sinkkipitoisuudet ylittyvät molempien alueiden hulevesien osalta (kuvio 6). Sinkkille asetettu raja-arvo on 0,1 mg/l. Sinkkipitoisuuksia on tarkkailtu vuodesta 1997 lähtien tehdasalueen osalta ja kierrätyspalvelualueella vuodesta 2004 lähtien. (Liite 1.)

Vuonna 2011 tehdasalueen hulevesien sinkkipitoisuus oli 1,04 mg/l sekä kierrätyspalvelualueen 0,57 mg/l. Sinkkipitoisuudet ovat siis huomattavia. Tehdasalueen hulevesien sinkkipitoisuudet ovat olleet pahimmillaan 5,0 mg/l vuonna 2001 ja pienimmillään 0,51 mg/l vuonna 2005 ja vuoden 2005 jälkeen pitoisuudet tehdasalueella ovat olleet yli 1 mg/l. Kierrätyspalvelualueella sinkkipitoisuudet ovat tehdasaluetta huomattavasti pienempiä, mutta pitoisuudet olisivat ylittäneet asetetun raja-arvon kaikkina mittausvuosina. Pienimmillään sinkkipitoisuus kierrätyspalvelualueen hulevesissä on ollut vuonna 2007, jolloin se oli 0,18 mg/l ja tämä pitoisuus olisi ollut jo todella lähellä sallittua raja-arvoa. (Liite 1.)



KUVIO 6. Heinolan tehdas- ja kierrätyspalvelualueen hulevesien sinkkipitoisuudet (liite 1)

4 KÄSITELTÄVÄT RASKASMETALLIT JA NIIDEN OMINAISUUDET

Raskasmetalleiksi luokitellaan metallit, joiden tiheys on suurempi kuin 5 g/cm³. Osa raskasmetalleista on myrkyllisiä jo pieninä pitoisuuksina, mutta ympäristön kannalta haitallisimpia raskasmetalleja ovat elohopea, lyijy ja kadmium. Osa raskasmetalleista on puolestaan pieninä annoksina välttämättömiä hivenaineita, tällaisia raskasmetalleja on esimerkiksi kupari, sinkki ja rauta. (Suomen ympäristökeskus 2009.)

Tässä työssä käsitellään raskasmetalleista kadmiumia, lyijyä, nikkeliä ja sinkkiä, koska niiden pitoisuudet olivat huomattavia Kuusakoski Oy Heinolan hulevesissä. Tosin kadmiumpitoisuudet alittavat tämänhetkisen asetetun raja-arvon, mutta se on valittu tutkimukseen sen myrkyllisyyden vuoksi. Taulukossa 1 on esitetty kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin kemiallisia ominaisuuksia ja liitteessä 2 on käsiteltävien raskasmetallien liukoisuuksia veteen.

TAULUKKO 1. Kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin ominaisuuksia (Seppänen ym. 2000)

	Tiheys	Sulamispiste	Kiehumispiste	Hapetusluku
Metallit	10³ kg/m³	°C	°C	
Lyijy, Pb	11,35	328	1740	+II, +IV
Kadmium, Cd	8,65	321	765	+II
Nikkeli, Ni	8,9	1455	2730	+II, +III
Sinkki, Zn	7,13	419	907	+II

4.1 Kadmium, Cd

Kadmium on sinertävän valkoinen metalli, jolla on alhainen sulamispiste ja se on helposti haihtuva. Se liukenee helposti laimeisiin happoihin, mutta ilmassa kadmium on kestävä ja sen pintaan muodostuu oksidikerros, joka suojelee metallia enemmältä hapettumiselta. Sen hapetusluku on +2. (Anttila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2007, 220, 222; Laitinen & Toivonen 1997, 315; Cotton, Wilkinson & Gaus 1987, 419–420.) Suomen terveysministeriö on asettanut talousveden laatuvaatimuksessa (STMa 461/2000) kadmiumille raja-arvoksi 5 µg/l. Kadmiumin talousvesiraja-arvo on sama kuin Heinolan hulevesille asetettu raja-arvo.

Kadmium yhdisteet ovat myrkyllisiä, siksi kadmiumin käyttöä on pyritty vähentämään. Kadmium kuuluu sinkin ja elohopean kanssa samaan alkuaineryhmään ja kadmium pääsee kehoon matkimalla sinkin kemiallista olomuotoa. Kadmium kertyy munuaisiin aiheuttaen vaurioita munuaisissa. Kadmium kertyminen kehoon myös heikentää luita ja niveliä. (Hamilo & Niinistö 2007.)

Kadmiumia valmistetaan vuosittain 14 000 tonnia ja sen kaupallisesti hyödynnettävä muoto saadaan sivutuotteena sinkkimalmeista. Vuosittain ilmakehään pääsee 8000 tonnia kadmiumia, josta 90 % on ihmisten aiheuttamia päästöjä. Osa kadmiumpäästöistä päätyy maaperän kautta viljelykasveihin ja lopulta niitä syöviin eläimiin ja eliöihin. (Hamilo & Niinistö 2007.)

Kadmiumia on käytetty metallipinnoitteiden valmistuksessa, joten siksi sitä esiintyy metalliromuissa (Karjalainen 2004, 10), etenkin teräksen galvanoinnissa on käytetty kadmiumia, sillä se antaa hyvän suojan merivettä vastaan (Hamilo & Niinistö 2007). Nykyään kadmiumia käytetään jonkin verran paristoissa (Ni-Cd), sekä PVC- muovin stabilisaattorina eristämään valon ja lämmön haitallisia vaikutuksia (Anttila ym. 2007, 222). Maalien, kumien ja muovien tuotannossa on käytetty kadmiumsulfaattia (Hamilo & Niinistö 2007).

4.2 Lyijy, Pb

Lyijy on sinertävän harmaa, pehmeä raskasmetalli. Lyijy on maailman yleisimmin käytettyjä metalleja, koska sitä on helppo muovailta. Tuore lyijypinta on kiiltävä, metallinhohtoinen, mutta pinta tummuu nopeasti ilmassa oksidikerroksella. Lyijyn yleinen hapetusluku on + 2, mutta sitä esiintyy luonnossa myös hapetusluvulla +4. Lyijyllä on alhainen sulamispiste ja sillä on huonompi sähkönjohtavuus kuin useimmilla muilla metalleilla. (Anttila ym. 2007, 202; Laitinen & Toivonen 1997, 211; Talvitie 1969, 408.)

Lyijy ei liukene helposti happoihin, ja se kestää hyvin suola- ja rikkihapon vaikutusta. Suola- ja rikkihappo eivät liuota lyijyä, koska vastaavat suolat, lyijykloridi ja -sulfaatti, ovat vähäliukoisia ja ne muodostavat sellaisina lyijyn pinnalle tiiviin, suojelevan, passivoivan kerroksen, joka estää lyijyä syvemmmälle syöpymästä. Lyijy liukenee kuitenkin nitraatiksi typpihappoon, ja väkevä rikkihappo syövyttää lyijyä. (Anttila ym. 2007, 202; Talvitie 1969, 408.)

Lyijyä voidaan käyttää esimerkiksi kemianteollisuuden reaktioastioiden pinnoittamisessa, koska lyijy kestää hyvin vetykloridihapon ja rikkihapon vaikutusta. Samasta syystä lyijyä käytetään erityisesti akuissa, koska niissä lyijyelektrodit ovat kosketuksissa rikkihapon kanssa. (Anttila ym. 2007, 202; Talvitie, 1969, 408.) Lyijyä käytetään myös luodeissa, sinkkiteollisuudessa, rauta- ja terästeollisuudessa, maali- ja muoviteollisuudessa (Karjalainen 2004, 8) sekä nykyään sitä käytetään paljon kaapeleiden suojaamiseen ja meluneristykseen. Lisäksi lyijy suojaa röntgensäteeltä, siksi sitä käytetäänkin sairaaloissa. (Hamilo & Niinistö 2007.)

Lyijy on kuitenkin erittäin myrkyllinen raskasmetalli, jonka käyttöä on pyritty vähentämään, eikä se hajoa luonnossa, siksi lyijy onkin vaaraksi pieneliöille. Lyijy kasaantuu hitaasti elimistöön, etenkin luustoon aiheuttaen kihtiä. (Hamilo & Niinistö 2007.) Lyijypitoisuudelle on asetettu talousveden laatuvaatimuksissa ja -suosituksissa raja-arvoksi 10 µg/l (STMa 461/2000) ja raja-arvo on sama kuin Heinolan hulevesille asetettu lyijypitoisuus.

4.3 Nikkeli, Ni

Nikkeli on kova, kellertävän valkoinen, puhtaana harmaa metalli. Se on magneettinen, mutta menettää magneettisuutensa melko alhaisessa lämpötilassa. Yhdisteissään nikkeli esiintyy hapetusluvulla +2. Nikkeli kestää hyvin veden ja ilman vaikutusta säilyttäen pintansa kirkkaana, siksi nikkeliä käytetään esineiden päällystämiseen eli galvaaniseen päällystämiseen sekä metalliseoksiin. (Anttila ym. 2007, 218; Laitinen & Toivonen 1997, 311; Cotton yms. 1987, 502.) Nikkelipitoisuudelle on asetettu talousveden laatuvaatimuksissa raja-arvoksi 20 µg/l (STMa 461/2000), joka vastaa Heinolaan asetettua nikkelpitoisuuden raja-arvoa.

Nikkeli on teollisesti erittäin käytetty raskasmetalli, jota elimistö tarvitsee hyvin pieniä määriä, 5µg päivässä, mutta suuremmat määrät nikkeliä aiheuttavat terveydellisiä haittoja. Nikkeli-allergia on yleisin terveystahaitta, mutta nikkelin uskotaan aiheuttavan myös syöpää. (Hamilo & Niinistö 2007.)

Nikkeliä tuotetaan vuodessa 500 000 tonnia, josta puolet päätyy ruostumattoman teräksen valmistukseen, mikä onkin sen tärkein käyttökohde (Hamilo & Niinistö 2007). Nikkeliä käytetään myös paljon sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa ja metalliesineiden pinnoittamisessa, sekä Ni-Cd-akuissa elektrodimateriaalina. (Anttila ym. 2007, 218; Karjalainen 2004, 10).

4.4 Sinkki, Zn

Sinkki on kadmiumin kaltainen metalli, sillä sinkillä on myös alhainen sulamispiste, sekä se haihtuu helposti. Sinkki on epäjalo metalli, ja siksi se liukenee helposti laimeisiin happoihin. Sinkin pinnalle muodostuu tiivis oksidikerros suojaamaan hapettumiselta, siksi esimerkiksi rautaa suojataan sinkillä ruostumiselta joko kuumasinkityksellä tai galvanoidimalla. Sinkillä on useita metalliseoksia, yksi yleisempiä seoksia on kuparin kanssa syntyvä messinki (Cu-Zn), jota hyödynnetään erilaisissa soittimissa. (Anttila ym. 2007, 220, 222; Laitinen & Toivonen 1997, 315; Cotton yms. 1987, 419–420.)

Sinkki on maailman neljänneksi käytetyin metalli sen monikäyttöisyyden vuoksi (Karjalainen 2004, 9) ja sitä tuotetaan maailmassa seitsemän miljoonaa tonnia vuodessa (Hamilo & Niinistö 2007). Suuret sinkkipitoisuudet hulevesissä selittyvät sinkin monikäyttöisyydellä, sillä sitä käytetään paljon erilaisissa metallipinnoitteissa ja tällaista kierrätysmateriaalia käsitellään paljon Kuusakoski Oy Heinolassa. Kierrätysmateriaaleissa sinkkiä on muun muassa autoissa ja television osissa ja ylipäättään terästuotteissa. Kumiteollisuudessa ja pigmentin valmistuksessa käytetään puolestaan sinkkioksidia (Hamilo & Niinistö 2007).

Talousveden laatuvaatimuksissa Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä vuonna 1994 (STMp 74/94) sinkin raja-arvo oli 3 mg/l ja nykyään talousveden laatuvaatimuksissa tai suosituksissa ei ole asetettu sinkille raja-arvoa (Keinänen-Toivola, Ahonen & Kaunisto 2007, 16–17). Kuusakoski Oy Heinolan teettämässä riskiarviossa on myös todettu, että hulevesien sinkistä ei aiheudu terveyshaittojen vaaraa pohjavettä käytettäessä ja sinkki on elimistölle välttämätön hivenaine, eikä siksi sitä pidetä talousveden terveydellisen laadun kannalta merkityksellisenä aineena (Esko Rossi Oy 2009).

Kuusakoski Oy Heinolan hulevesien sinkkipitoisuuden raja-arvoksi on asetettu 0,1 mg/l, mikä on huomattavasti alhaisempi kuin vuoden 1994 talousveden laatuvaatimus (STMp 74/94) sinkille, joka silloin oli 3 mg/l. Kuusakoski Oy Heinolaa koskevissa ympäristölupapäätöksissä ei ole kuitenkaan tarkempaa selitystä, miksi sinkin raja-arvo on asetettu niin alhaiseksi verrattuna muihin raja-arvoihin (Kuusakoski Oy Heinola 2006; Kuusakoski Oy Heinola 2010).

Kuusakosken riskiarviossakin todetaan myös, että sinkkipitoisuuden kasvaessa maaperässä, sinkin kulkeutuminen pohjaveteen lisääntyy. Riskiarvioon tehtyjen laskelmien perusteella kestää kuitenkin noin 100 vuotta ennen kuin pohjaveden yläpuolisen maakerroksen kyky rajoittaa sinkin kulkutumista alkaa loppua, mutta sinkkipitoisuudet eivät nouse pohja- tai pintavedessä niin suureksi, että ne aiheuttaisivat haittaa terveydelle tai ekologiselle. (Esko Rossi Oy 2009). Riskiarvion perusteella sinkin raja-arvo Kuusakoski Oy Heinolan hulevesissä voisi talousveden laatuvaatimusten mukainen, sillä kadmiumille, lyijylle ja nikkeliille raja-arvot on asetettu talousveden laatuvaatimusten mukaisiksi.

5 HULEVESIEN KÄSITTELY- JA TEHOSTUSMENETELMIÄ

Hulevesien käsittelyyn on vasta viime aikoina alettu kiinnittää enemmän huomiota. Hulevesien käsittelyssä käytetään paljon biologista puhdistusta, kuten maansuodatusta. Tätä menetelmää käytetään esimerkiksi kaupunkialueella hulevesien puhdistukseen, koska se on yksinkertainen ja edullinen ratkaisu. Kuusakoski Oy Heinolan tapauksessa maansuodatusta ei voida ajatella, koska on kyse pohjavesialueesta ja raskasmetallipitoisuudet ovat huomattavia.

Raskasmetallisten hulevesien käsittelyä ei ole tehty paljon Suomessa. Mutta esimerkiksi jätevesiä, joissa on raskasmetallipitoisuuksia, käsitellään muun muassa kemiallisella saostuksella tai ioninvaihdolla.

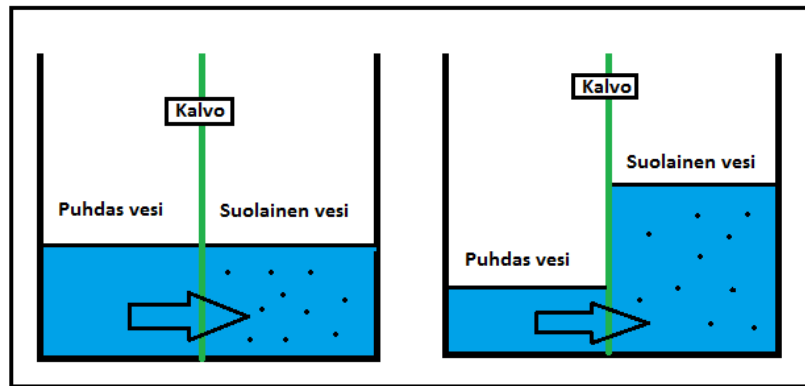
Kuuskoski Oy:llä on muitakin toimipisteitä, joissa on tehostettu hule- tai suoto-vesien tai molempien vesien puhdistusta. Kuusakoski Oy Heinola on teettänyt testauksia Rajavuoren kaatopaikan suoto-vesien puhdistuksen suhteen. Suoto-vesien puhdistusta testattiin muun muassa käänteisosmoosikalvoilla. Kuusakoski Oy Airakselan kierrätyslaitoksella puolestaan on käytetty suoto- ja hulevesien käsittelyyn kemiallista saostusta.

Käänteisosmoosikalvomenetelmä valittiin tähän tarkasteluun sen hyvien puhdistustehojen perusteella. Kemiallinen saostusmenetelmä on puolestaan arkipäiväisempi ratkaisu, jonka toiminnasta on enemmän tutkimustietoa.

5.1 Käänteisosmoosikalvomenetelmä

5.1.1 Osmoosi ja käänteisosmoosi

Osmoosi tapahtuu esimerkiksi kasvien soluissa; soluseinämän puoliläpäisevät kalvot päästävät veden läpi, mutta eivät suoloja. Vesi virtaa siihen suuntaan, kummalla puolella on väkevämpää liuosta, sillä liuosten pitoisuudet pyrkivät tasoittumaan (kuvio 7). Lopulta puhtaan veden puolen veden pinta laskee ja suolaisen veden puolella pinta nousee. (Auvinen & Haverinen 2011.)



KUVIO 7. Osmoosi-ilmio

Käänteisosmoosi on osmoosi-ilmion käänteistapahtuma, jossa esimerkiksi suolaliuoksesta vesi saadaan virtaamaan paineen avulla puoliläpäisevän kalvon läpi, mutta paineen on oltava paljon suurempi kuin luonnollisen osmoottisen paineen. Käänteisosmoosissa käytetään orgaanisia kalvoja, jotka läpäisevät vesimolekyylit. Kalvossa on vesimolekyylin kokoisia reikiä, joista vesi kulkee läpi paineen avulla. Käänteisosmoosin avulla saadaan juomavettä merivedestä sekä sillä on puhdistettu jäte- ja prosessivesiä. Käänteisosmoosi on tehokkain fysikaalinen suodatusmenetelmä, jolla esimerkiksi saadaan poistettua merivedestä 95–99 % liuenneista suoloista. (Auvinen & Haverinen 2011). Käänteisosmoosi on englanniksi reverse osmosis ja lyhennetään RO ja tässä työssä käytetään termiä käänteisosmoosikalvo tai RO-kalvot.

5.1.2 Käänteisosmoosikalvolaitteiston toimintaperiaate

Kaatopaikan suotovesiä ei voida täysin verrata tehtaiden hulevesiin, mutta molemmissa vesissä on samoja parametreja kuten kadmiumia, lyijyä ja sinkkiä. Tosin kaatopaikan suotovesien kadmium-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät kuin Heinolan tehtaiden hulevesien metallipitoisuudet. Vuosien 2002–2011 kaatopaikan suotovesien pitoisuuskeskiarvot olivat kadmiumin osalta $0,75\mu\text{g/l}$, lyijyn osalta $8,9\mu\text{g/l}$ ja sinkin osalta $377\mu\text{g/l}$ ja Heinolan tehdasalueen hulevesien pitoisuuskeskiarvot samalta ajalta olivat kadmiumin osalta $1,4\mu\text{g/l}$, lyijyn osalta $41,3\mu\text{g/l}$ ja sinkin osalta $2140,7\mu\text{g/l}$. Koska metallipitoisuudet ovat suotovesissä todella pieniä ja ne eivät ole suotovesien pääasiallisia haitta-aineita,

niin suotovesien käsittelykokeissa ei edes pyritty ensisijaisesti pienentämään metallipitoisuuksia.

GEL S.P.A:n käänteisosmoosikalvolaitteessa (kuviot 8 ja 9) on aina mukana karkea esisuodatuspatruuna (huokoskoko 5 μm), jonka läpi tuleva neste esisuodataan ennen kalvoille johtamista. Laitteessa on kolmessa vaiheessa RO-kalvot. Eli ensimmäisestä kalvosta mennyt filtraatti ajetaan toisen vaiheen RO-kalvojen läpi ja kolmannen vaiheen kalvot poistavat loputkin epäpuhtaudet, jolloin päästään yli 90 %:n saantoon. (Finnish Consulting Group 2008b; GEL 2012.) Filtraatilla tarkoitetaan siis sitä vesi massaa, joka on mennyt käänteisosmoosikalvon läpi ja on puhdistunut.

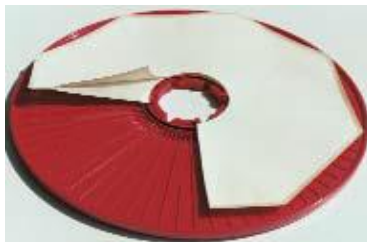


KUVIO 8. GEL S.P.A:n käänteisosmoosikalvolaitteisto (Kellokumpu 2012b)



KUVIO 9. GEL S.P.A:n käänteisosmoosikalvolaitteisto ylhäältä päin (Kellokumpu 2012a)

GEL S.P.A:n käänteisosmoosikalvot (kuvio 10) voidaan räätälöidä asiakkaiden tarpeiden mukaan, sillä niitä on saatavana eri puhdistuskapasiteeteilla: $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ – $15 \text{ m}^3/\text{h}$. Käänteisosmoosikalvojen puhdistusteho riittää Kuusakoski Oy Heinolan hulevesille, sillä Heinolan tehdasalueen keskimääräinen hulevesimäärä vuodessa on noin 37610 m^3 ja vuorokaudessa on noin 103 m^3 eli noin $4 \text{ m}^3/\text{h}$. (GEL 2009.)



KUVIO 10. Käänteisosmoosikalvo (Kellokumpu 2012a)

Käänteisosmoosikalvopuhdistuksessa vesimäärästä syntyy noin 75 % puhdistettua vettä ja noin 25 % rejektiä eli konsentraattia, mutta syntyvän konsentraatin määrä riippuu puhdistettavan veden likaisuudesta ja todelliset määrät selviävät tarkemmillä testauksilla (Kellokumpu 2012b).

Jos keskimääräinen vuosittainen hulevesimäärä on 37610 m^3 , tällöin konsentraattia syntyisi 9402 m^3 vuodessa. Konsentraatti vaatii jatkokäsittelyä, joka puolestaan lisää puhdistukselle kustannuksia. Ekokem veloittaa konsentraatin puhdistuksesta noin 260–440 €/tonnilta ja todellinen hinta selviää, kun on tarkempia selvityksiä konsentraatin määrästä ja sen pitoisuuksista (Kiema 2012). Eli 9400 m^3 olisi 9 400 000 litraa hulevettä vuodessa.

Lähin Ekokemin käsittelylaitos sijaitsee Riihimäellä, jonne konsentraatti pitää kuljettaa säiliöautolla. Viemäriverkoston rakentaminen Heinolan tehtailta Ekokemille Riihimäelle on mahdoton ajatus, sillä välimatka on niin pitkä. Konsentraatin kuljettaminen säiliöautolla lisäisi ympäristövaikutuksia huomattavasti. Jos konsentraattia syntyisi keskimäärin 9400 m^3 vuodessa eli 9 400 000 l/a, niin tätä määrää konsentraattia kuljetettaisiin täysperävaunullisilla säiliöautoilla noin 235 kertaa vuodessa eli periaatteessa 1,5 vuorokauden välein. Konsentraatin jatkokäsittelyn lisäksi sen kuljettaminen Ekokemille lisäisi huomattavasti kustannuksia.

5.1.3 Puhdistustehot ja teoreettiset puhdistustulokset

Suotovesien testauksissa käänteisosmoosikalvomenetelmällä saavutettiin $>90 \%$:n reduktio lähes kaikkien tutkittujen parametrien osalta ja suuremmalla syöttöpainella käänteisosmoosin tuottoa olisi voitu parantaa. Testauksien perusteella käänteisosmoosikalvon avulla suotovedestä tulee noin 95% :n reduktio kadmiumille, lyijylle noin 98% :n, nikkelille noin 97% :n, sinkille noin 96% :n sekä ammoniumille noin 98% :n reduktio. Testauksessa käytetyn suotoveden määrä oli $100 \text{ m}^3/\text{d}$. Puhdistustehokkuuteen voidaan vaikuttaa kalvojen määrällä. Testauksissa havaittiin, että käänteisosmoosikalvokäsittelyn jälkeen jätevesien laatu oli niin hyvä, että vedet voitaisiin johtaa suoraan vesistöön ilman jatkokäsittelyä. Konsentraatti vaatisi kuitenkin jatkokäsittelyä. (Finnish Consulting Group 2008a; GEL 2012.)

Liitteessä 3 on Rajavuoren suotovesitestausten perusteella laskettu, kuinka paljon Kuusakoski Oy Heinolan hulevesien raskasmetallipitoisuuksia saataisiin pienennettyä näillä puhdistustehoilla. Puhdistustehoja on laskettu vuosien 2009–2011

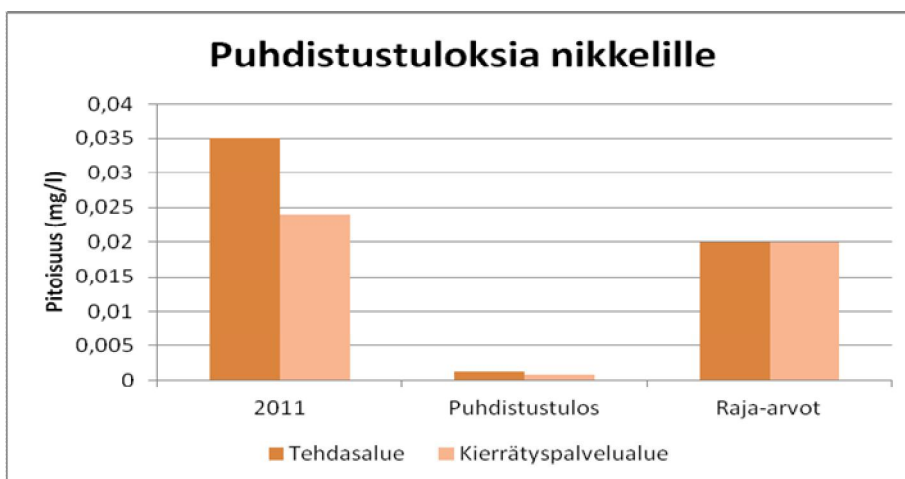
Heinolan tehdasalueen (TA) ja kierrätyspalvelualueen (KPA) tarkkailutulosten kadmium-, lyijy-, nikkeli- ja sinkkipitoisuuksille. Kadmiuminpitoisuudet ovat jo tällä hetkellä alle asetettujen raja-arvojen, mutta käänteisosmoosikalvotekniikalla kadmiumpitoisuudet olisivat lähes olemattomia.

Käänteisosmoosikalvoilla puhdistettaessa hulevettä, teoriassa puhdistuksen jälkeen lyijypitoisuudet olisivat alle asetettujen raja-arvojen, sillä esimerkiksi vuonna 2011 kierrätyspalvelualueen lyijypitoisuus oli 0,08 mg/l ja asetettu raja-arvo on 0,01 mg/l, niin puhdistuksen jälkeen lyijypitoisuus on vain 0,0018 mg/l. Kuviossa 11 on esitetty lyijyn puhdistustuloksia RO-kalvomenetelmällä.



KUVIO 11. Teoreettisten laskelmien perusteella RO-kalvomenetelmän puhdistuloksia lyijylle (liite 3)

Samoin nikkelpitoisuudet pienentyisivät teoriassa alle asetettujen raja-arvojen niin tehdas- kuin kierrätyspalvelualueen osalta, sillä esimerkiksi vuonna 2011 tehdasalueen nikkelpitoisuus oli 0,035 mg/l ja puhdistuksen jälkeen pitoisuus olisi 0,0012 mg/l ja asetettu raja-arvo on 0,02 mg/l. Kuviossa 12 on esitetty nikkelin puhdistustuloksia teoreettisten laskelmien pohjalta käänteisosmoosikalvomenetelmälle.



KUVIO 12. Teoreettisten laskelmien perusteella RO-kalvomenetelmän puhdistuloksia nikkeliä (liite 3)

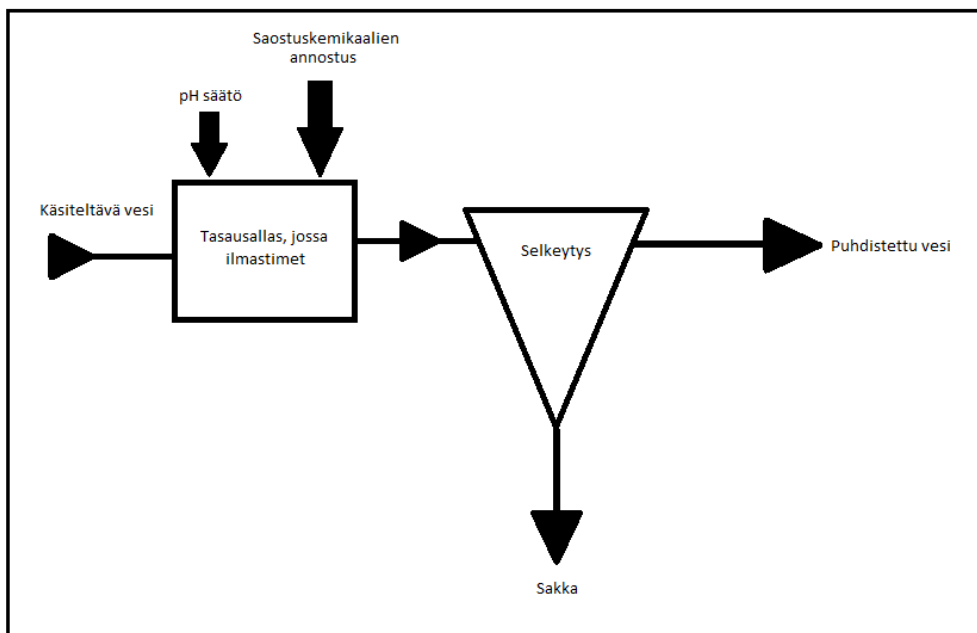
Vaikka sinkkipitoisuudet ovat todella suuria, niin käänteisosmoosikalvomenetelmällä sinkkipitoisuudet saataisiin laskettua tarpeeksi alas, jolloin pitoisuudet alittavat asetetut raja-arvot. Sinkkipitoisuudet pienentyisivät huomattavasti puhdistuksen jälkeen, sillä esimerkiksi vuonna 2011 tehdasalueen hulevesien sinkkipitoisuus oli 1,04 mg/l, kun asetettu raja-arvo on 0,1 mg/l ja puhdistuksen jälkeen sinkkipitoisuus olisi 0,04 mg/l. Kuviossa 13 on esitetty sinkin puhdistustuloksia teoreettisten laskelmien pohjalta käänteisosmoosikalvomenetelmälle.



KUVIO 13. Teoreettisten laskelmien perusteella RO-kalvomenetelmän puhdistuloksia sinkille (liite 3)

5.2 Kemiallinen saostusmenetelmä

Kemiallisessa saostuksessa puhdistettavan nesteen pH säädetään ensin kohdilleen. Esimerkiksi hulevesi, jonka pH on 7,4, niin sen pH saadaan nostettua 8-10 lisäämällä lipeää (NaOH), sillä osa saostuskemikaaleista on tarkkoja veden happamuuden suhteen, ja näin saadaan saostettua raskasmetallit (kuvio 14). Saostuksen jälkeen vesi selkeytetään. Puhdistusta voidaan tehostaa suodattamalla selkeytetty vesi hiekan tai jonkin muun vastaavan suodatusmateriaalin läpi. Saostuskemikaaleina käytetään joko rauta- tai alumiinipohjaisia yhdisteitä kuten ferrisulfaattia. Kemiallista saostusta on käytetty paljon esimerkiksi jätevesien puhdistuksessa, fosforin poistossa ja se on myös varsin halpa ratkaisu. (Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012; Savolainen 2011, 11).



KUVIO 14. Kemiallinen saostus

Kemiallista saostusta on käytetty Kuusakoski Oy:n Airakselan kierrätyslaitoksella. Siellä kemiallisen saostuksen ansiosta suoto- ja hulevesien metallipitoisuudet ovat pysyneet alle annettujen raja-arvojen. Airakselan kierrätyslaitoksella raskasmetallien pitoisuudet eivät ole olleet se suurin ongelma, ja kemiallisella saostusmenetelmällä on tarkoitus puhdistaa pääasiassa muuta kuin raskasmetalleja. Kemiallinen saostus otettiin käyttöön vuoden 2010 lopussa ja ensimmäiset tulokset ovat

vasta vuodelta 2011. Vuoden 2011 tulokset eivät ole täysin luotettavia, sillä aluksi oli ongelmia kemikaalien annostelun kanssa.

Airakselan kierrätyslaitoksella suoto- ja hulevedet johdetaan ensin tasausaltaaseen, joka on varustettu ilmastimilla. Ilmastuksella vesi hapetetaan, jolloin helposti haihtuvat epäpuhtaudet poistuvat jätevedestä ilmakehään. Ilmastus vähentää jäteveden mahdollisia öljypitoisuuksia ja muuttaa myös orgaanisen aineksen koostumusta. Tasausaltaaseen lisätään kemikaalia, ferrisulfaattia, jolloin saostuksella saadaan tehostettua orgaanisen aineksen, fosforin ja metallien sakkautumista. Tasausaltaan perään on rakennettu U-muotoinen selkeytysallas, jossa sakka laskeutetaan. Selkeytys tasaa samalla jäteveden laatua. Selkeytysaltaasta Airakselan tapauksessa vesi johdetaan ojaan. Altaan pohjalle muodostunut sakka poistetaan ajoittain loka-autolla tai kaivinkoneella ja viedään muualle loppusijoitettavaksi. (Finnish Consulting Group 2008b.)

Heinolan tehdasalueella kemiallisessa saostuksessa voitaisiin hyödyntää olemassa olevaa tasausallasta, joka varustettaisiin pinta- tai pohjailmastimella. Altaan yhteyteen tarvitsisi rakentaa kemikaaliasema, josta kemikaaleja pumpattaisiin esimerkiksi kalvopumppujen avulla tasausaltaaseen. Tasausaltaan perään tulisi rakentaa selkeytysallas, josta puhdistettu vesi johdettaisiin maastoon. Selkeytysaltaasta olisi mahdollisuus ottaa näytteet.

Liitteessä 4 on teoreettisia puhdistustuloksia, jotka on laskettu Airakselan tarkkailutulosten pohjalta. Puhdistustulokset on laskettu Kuusakoski Oy Heinolan tehdasalueen (TA) ja kierrätyspalvelualueen (KPA) vuosien 2009–2011 kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin tarkkailutuloksille.

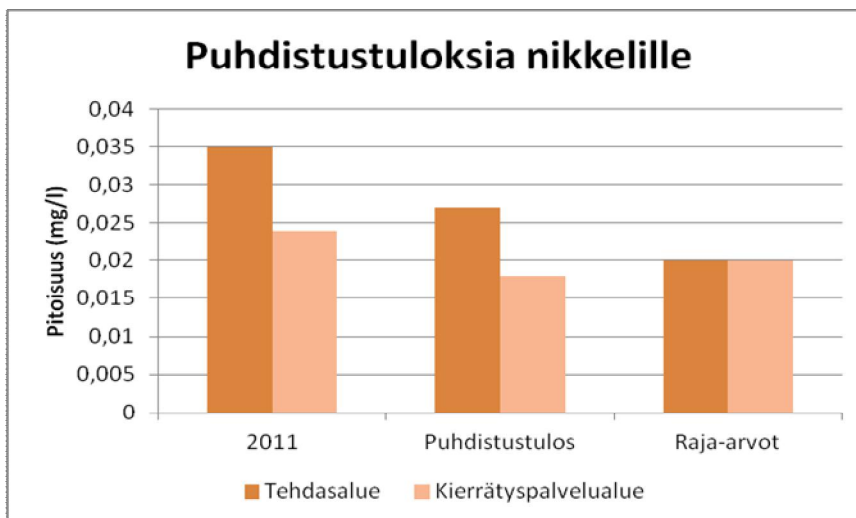
Airakselan tulosten perusteella kemiallisella saostuksella saisi puhdistettua lyijyä n. 62 %, joka ei täysin riittäisi puhdistamaan lyijyä kierrätyspalvelualueiden hulevesistä. Lyijypitoisuudet olisivat kuitenkin huomattavasti pienemmät puhdistuksen jälkeen. Mahdollisella kemikaalien säädöllä ja oikealla kemikaalin valinnalla päästäisiin varmasti haluttuihin pitoisuuksiin, sillä esimerkiksi vuonna 2011 lyijypitoisuus kierrätyspalvelualueella oli 0,08 mg/l ja puhdistuksen jälkeen se olisi teoriassa 0,03 mg/l, mikä on jo lähempänä lyijylle asetettua raja-arvoa 0,01 mg/l.

Kuviossa 15 on esitetty lyijyn puhdistustuloksia teoreettisten laskelmien pohjalta kemiallisella saostusmenetelmällä.



KUVIO 15. Teoreettisten laskelmien perusteella kemiallisen saostusmenetelmän puhdistuloksia lyijylle (liite 4)

Teoreettisten laskelmien perusteella kemiallisella saostuksella saisi puhdistettua nikkeliä vain 23 %, mutta todennäköisesti puhdistusprosenttia voisi nostaa helposti kemikaalisäädöillä. Tällä puhdistusprosentilla päästäisiin kuitenkin lähelle asetettuja raja-arvoja nikkelin osalta, sillä ylitykset nikkelin osalta eivät ole kovin suuria. Vuonna 2011 kierrätyspalvelualueen nikkelpitoisuus oli 0,024 mg/l ja puhdistuksen jälkeen se olisi teoriassa 0,018 mg/l eli alle asetetun raja-arvon 0,02 mg/l. Kuviossa 16 on esitetty nikkelin puhdistustuloksia teoreettisten laskelmien pohjalta kemiallisella saostusmenetelmällä.



KUVIO 16. Teoreettisten laskelmien perusteella kemiallisen saostusmenetelmän puhdistuloksia nikkelle (liite 4)

Airaxselan tulosten perusteella kemiallinen saostus puhdistaisi sinkkiä noin 63 %, mikä ei riitä pääsemään asetettuihin raja-arvoihin, joka sinkillä on 0,1 mg/l. Kemiallisella puhdistuksella päästäisiin kuitenkin huomattavasti pienempiin sinkkipitoisuuksiin, sillä esimerkiksi vuonna 2011 tehdasalueen sinkkipitoisuus oli 1,043 mg/l ja puhdistuksen jälkeen se olisi 0,39 mg/l. Kuviossa 17 on esitetty sinkille puhdistustuloksia teoreettisten laskelmien pohjalta kemiallisella saostusmenetelmällä.



KUVIO 17. Teoreettisten laskelmien perusteella kemiallisen saostusmenetelmän puhdistuloksia sinkille (liite 4)

5.3 Muita hulevesien käsittelymenetelmiä ja tehostuskeinoja

5.3.1 Ioninvaihto

Ioninvaihto on fysikaalinen menetelmä, joka on kemiallista saostusta tehokkaampi, mutta kalliimpi menetelmä. Ioninvaihtoa voidaan käyttää kemiallisen saostuksen jälkeen, jolloin pitoisuudet olisivat huomattavasti alhaisempia. Hulevesien puhdistus voidaan tehdä myös pelkästään ioninvaihdolla, ilman saostusta ja suodatusta, mutta tällöin puhdistus maksaisi enemmän kuin toimenpiteet yhteensä. (Savolainen 2011.)

5.3.2 Kierrätysmateriaalin varastointi

Yleisesti voidaan todeta, että pääsääntöinen kierrätysmateriaalien varastointi ja käsittely ulkona vaikuttaa hulevesien metallipitoisuuksiin. Nikkelin ja sinkin monikäyttöisyys selittää niiden korkeat pitoisuudet hulevesissä. Molempia metalleja käytetään sähkö- ja elektroniikkaromussa sekä metallien päällystyksessä. Sinkin yleisempi käyttö saattaa selittää sen, miksi pitoisuudet ovat muita pitoisuuksia huomattavasti korkeampia. Tehdasalueella tapahtuva murskaus ja esimerkiksi ruostumattoman teräksen leikkaus selittävät suuret sinkkipitoisuudet tehdasalueen hulevesissä, sillä kierrätyspalvelualueeseen verrattuna sinkkipitoisuudet ovat selvästi suurempia. Tehdasalueella murskataan myös sähkö- ja elektroniikkalaitteita, mikä selittää osaksi suuria sinkkipitoisuuksia.

Kierrätyspalvelualueella esikäsitellään ja varastoidaan autoja sekä sähkö- ja elektroniikkaromua, joten sen takia nikkeli- ja sinkkipitoisuudet ovat tällä alueella huomattavia. Lyijy- ja kadmiumpitoisuudet puolestaan ovat kierrätyspalvelualueella tehdasaluetta suuremmat. Toisaalta kadmium- ja lyijypitoisuudet ovat pienentyneet molemmilla alueilla ja kadmiumpitoisuudet alittavat annetun raja-arvon. Kadmium- ja lyijypitoisuuksiin on vaikuttanut niiden käytön vähentäminen sekä se, että nykyään akkuja ja paristoja ei saa varastoida ulkona.

Hulevesien laatuun voidaan vaikuttaa suuresti sillä, miten kierrätysmateriaaleja varastoidaan. Varsinkin paljon sinkkiä sisältävät materiaalit pitäisi säilyttää kate- tussa tilassa, kuten kontissa, jotta kierrätysmateriaaleista ei irtoaisi sään vaikutuk-

sesta partikkeleita. Hulevesien metallipitoisuuksia voitaisiin pienentää huomattavasti varastointiratkaisuilla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Teoreettisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että molemmilla hulevesien käsittelymenetelmillä, niin käänteisosmoosikalvoilla kuin kemiallisella saostuksella saataisiin raskasmetallipitoisuuksia pienennettyä Kuusakoski Oy Heinolan hulevesissä. Näiden tietojen perusteella käänteisosmoosikalvoimenetelmällä päästäisiin huomattavasti parempiin puhdistustuloksiin, sillä teoreettisten laskemien perusteella sen avulla saavutettaisiin asetetut raja-arvot kadmiumin, lyijyn, nikkelin ja sinkin kohdalla. Mutta laskemien perusteella kemiallisella saostuksella ei saataisi kaikkia pitoisuuksia pienennettyä alle asetettujen raja-arvojen, mutta pitoisuudet olisivat huomattavasti lähempänä kyseisiä raja-arvoja. Kemiallisen saostuksen puhdistustehoja voitaisiin varmasti nostaa oikealla kemikaalivalinnalla ja oikealla kemikaaliannostuksella.

Käänteisosmoosikalvomenetelmän puhdistustehoista on tutkittuja tuloksia, niin valmistajalta kuin Rajavuoren kaatopaikan suotovesien osalta. Käänteisosmoosikalvoja käytettäessä hulevedet vaatisivat todennäköisesti kemiallisen esikäsittelyn ja kalvojen kemiallinen pesu ja konsentraatin käsittely lisäävät käyttökustannuksia. RO-kalvosuodatus vaatisi todennäköisesti jatkuvaa huoltoa ja ohjausta.

Myös kemiallisessa saostusmenetelmässä hulevedet vaatisivat esikäsittelyä. Samoin menetelmä vaatisi jonkin verran investointeja, kuten pohja- tai pintailmastimia, kemikaalipumpun, ja kemikaaliaseman, sekä selkeytysallas pitäisi rakentaa. Kemiallinen saostus on yksinkertainen menetelmä ja melko halpa ratkaisu, joka ei vaadi juurikaan huoltoa tai ohjausta. Saostuksessa syntyvä sakka pitäisi loppusijoittaa tai viedä jatkokäsittelyyn. Kemialliseen saostukseen liittyvissä ongelmissa ja muissa asioissa voitaisiin hyödyntää Airakselan kierrätyslaitokselta saatuja kokemuksia.

Molempien ratkaisujen kohdalla tarvitaan lisää testauksia, jotta voitaisiin saada selville todelliset puhdistustehot ja sitä kautta pystyttäisiin laskemaan paremmin menetelmien käyttökustannuksia. Kemiallinen saostus olisi varmasti halvempi ratkaisu kuin käänteisosmoosikalvomenetelmä. Kemiallisen saostusmenetelmän puhdistustehojen nostamisessa voitaisiin miettiä ioninvaihdon hyödyntämistä, sillä ioninvaihdolla voidaan tehostaa puhdistusta. Näiden tietojen perusteella

käänteisosmoosikalvomenetelmällä saavutettaisiin asetetut raja-arvot tutkittujen parametrien kohdalla. Ja jos käyttökustannuksia saataisiin pienettyä esimerkiksi konsentraatin määrällä, käänteisosmoosikalvomenetelmä olisi ehdottomasti paras ratkaisu Kuusakoski Oy Heinolan hulevesien puhdistukseen.

Toisaalta hulevesien laatuun voidaan vaikuttaa lisäksi sillä, miten kierrätysmateriaaleja varastoidaan. Varsinkin paljon sinkkiä sisältävät materiaalit pitäisi säilyttää katetussa tilassa, kuten kontissa tai peittää pressulla, jotta kierrätysmateriaaleista ei irtoaisi sään vaikutuksesta partikkeleita huleveteen. Kierrätysmateriaalien varastointiratkaisuilla on suuri merkitys hulevesien laatuun ja hulevesien raskasmetallipitoisuuksiin.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Anttila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2007. Tekniikan kemia. 7.-9. painos. Edita prima Oy.

Auvinen, I. & Haverinen, T. 2011. Ionin vaihto- ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. AMK-opinnäytetyö.

Cotton, F. A., Wilkinson, G., Gaus P. L. 1987. Basic inorganic chemistry. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.

Hamilo, M. & Niinistö, L. 2007. Alkuaineet. Helsinki: Gummerus.

Laitinen, R. & Toivonen, J. 1997. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. 11. painos. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Karjalainen, M. 2004. Maaperän pilaantuneisuuden arviointi metallikierrätystoiminnassa. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos. Progradu-tutkielma.

Savolainen, M. 2001. Lyijyn, kadmium ja sinkin poisto jätteenpolton tuhkavedestä liukenemattoman metallikelaattorin avulla. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. AMK-opinnäytetyö.

Seppänen, R., Tiihonen, S., Wuolijoki, H., Kervinen, M., Smolander, J., Haavisto, A., Karkeala, L. & Varvo, K. 2000. Maol- taulukot 1.-2. uudistettu painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Talvitie, A. 1969. Epäorgaaninen kemia. 7.painos. Werner Söderström osakeyhtiön kirjapaino.

Sähköiset lähteet:

Keinänen-Toivola, M. M., Ahonen, M. H. & Kaunisto, T. 2007. Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984–2006 [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa:

<http://prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=2&id=344&sid=671>

Kuusakoski Oy. 2012. Kuusakoski Recycling, Kierrättämisen koko kuva [viitattu 3.4.2012]. Saatavissa:

[http://www.kuusakoski.fi/inet/Kuusakoski/FI4/AKPMedia.nsf/Resources/kuusakoski_yleisesite.pdf/\\$file/kuusakoski_yleisesite.pdf](http://www.kuusakoski.fi/inet/Kuusakoski/FI4/AKPMedia.nsf/Resources/kuusakoski_yleisesite.pdf/$file/kuusakoski_yleisesite.pdf)

Kuusakoski Oy Heinola. 2010. Kuusakoski Oy Heinolan ympäristölupapäätös 2010 [viitattu 2.4.2012]. Saatavissa:

[http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvat/Ymparistolu-
vat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202010/esavi_paatos_65_2010_2-2010-10-20.pdf](http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvat/Ymparistolu-
vat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202010/esavi_paatos_65_2010_2-2010-10-20.pdf)

Kuusakoski Oy Heinola. 2006. Kuusakoski Oy Heinolan ympäristölupapäätös 2006 [viitattu 2.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=49431>

Suomen Ympäristökeskus. 2009. Raskasmetallit [viitattu 6.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=344073&lan=FI>

Tilinpäätös 2010. 2012. Kuusakoski Oy [viitattu 3.4.2012]. Saatavissa:

[http://www.kuusakoski.fi/inet/Kuusakoski/Fi4/akpmedia.nsf/Resources/Tilinpaatos%202010/\\$file/KKTilinpaatos2010.pdf](http://www.kuusakoski.fi/inet/Kuusakoski/Fi4/akpmedia.nsf/Resources/Tilinpaatos%202010/$file/KKTilinpaatos2010.pdf)

Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2012. Fosforinpoistomenetelmät [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6572&lan=fi>

Lait ja asetukset:

Suomen terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461>

Ympäristösuojelulaki 86/2000. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

Kuusakoski Oy Heinolan materiaali:

Esko Rossi Oy. 2009. Kuusakoski Oy, Riskinarvio Heinolan tehtaan haitta-aineista.

Finnish Consulting Group. 2008a. Kuusakoski Oy Airakselan kierrätyslaitos, soutu- ja hulevesien käsittelyn esisuunnitelma.

Finnish Consulting Group. 2008b. Kuusakoski Oy Rajavuoren kaatopaikan soutuvesien käsittely, esisuunnitelma.

Kuusakoski Oy Heinola. 2009. Kuusakoski Oy Heinolan tehtaat, vesien tarkkailuohjelma.

Kuusakoski Oy Heinola. 2011. Heinolan hulevesimäärät.

Muut lähteet:

GEL. 2009. Leachate treatment plant: Technical description. Esite.

GEL. 2012. GEL, Leachete Treatment Plant on site by R.O. and RCDDT modules technology. Esite.

Kellokumpu, M. 2012a. Re: KÄÄNTEISOSMOOSIKALVOJA [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Perttola, A. Lähetetty 12.3.2012.

Kellokumpu, M. 2012b. Re: KÄÄNTEISOSMOOSIKALVOJA [sähköpostivies-

ti]. Vastaanottaja Perttola, A. Lähetetty 3.4.2012

Kiema, M. 2012. Re: Raskasmetallisten vesien käsittely [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Perttola, A. Lähetetty 14.3.2012.

LIITTEET

LIITE 1. Kuusakoski Oy Heinolan tehdasalueen (TA) ja kierrätyspalvelualueen (KPA) hulevesien raskasmetallien tarkkailutuloksia ja niille asetetut raja-arvot

LIITE 2. Suolojen liukoisuus veteen

LIITE 3. Käänteisosmoosikalvon teoreettiset puhdistustehot

LIITE 4. Kemiallisen saostuksen teoreettisen puhdistustulokset

LIITE 1. Kuusakoski Oy Heinolan tehdasalueen (TA) ja kierrätyspalvelualueen (KPA) hulevesien raskasmetallien tarkkailutuloksia ja niille asetetut raja-arvot

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Raja-arvot
Kadmium (mg/l)	TA 0,0002	0,0027	0,0017	0,0018	0,00065	0,0012	<0,001	0,0036	0,0014	0,00095	0,00035	0,005
Kadmium (mg/l)	KPA			0,0045	0,0057	0,0032	0,001	0,0016	0,0032	0,00036	0,00035	0,005
Lyijy (mg/l)	TA	0,061	0,051	0,073	0,096	0,12	<0,010	0,0016	0,0043	0,0015	0,0085	0,01
Lyijy (mg/l)	KPA			0,29	0,076	0,35	0,033	0,05	0,068	0,017	0,08	0,01
Nikkeli (mg/l)	TA									0,027	0,035	0,02
Nikkeli (mg/l)	KPA										0,024	0,02
Sinkki (mg/l)	TA	5	1,5	1,45	0,51	4,26	1,92	4,1	2,38	1,45	1,04	0,1
Sinkki (mg/l)	KPA			0,4	0,63	0,29	0,18	0,45	0,53	0,79	0,57	0,1

LIITE 2. Suolojen liukoisuus veteen (Seppänen yms. 2000)

	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	S ₂ O ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₄ ³⁻	CO ₃ ²⁻	CH ₃ COO ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻
Lyijy, Pb ²⁺	v	v	v	h	l	l	h	h	h	h	v	v	v	l	v
Kadmium, Cd ²⁺	v	v	l	l	l	l	v	l	l	l	v	v	v	l	v
Nikkeli, Ni ²⁺	h	v	l	l	l	l	v	l	l	l	v	v	v	l	v
Sinkki, Zn ²⁺	v	v	l	l	l	l	v	l	l	l	v	v	v	l	v

LIITE 3. Käänteisosmoosikalvomenetelmän teoreettiset puhdistustehot

		Puhdistus %	2009	Puhdistustulos	2010	Puhdistustulos	2011	Puhdistustulos	Raja-arvot
	Hulevesimäärät m ³ /d		96,02		73,53		104,9		
	Kadmium (mg/l)	95,00	0,0014	0,000068	0,00095	0,000047	0,00035	0,000017	0,005
	Kadmium (mg/l)	95,00	0,0032	0,00016	0,00036	0,000018	0,0035	0,00018	0,005
	Lyijy (mg/l)	97,70	0,0043	0,000099	0,0015	0,000035	0,0085	0,00019	0,01
	Lyijy (mg/l)	97,70	0,068	0,0016	0,017	0,0004	0,08	0,0018	0,01
	Nikkeli (mg/l)	96,60	-	-	0,0267	0,0009	0,035	0,0012	0,02
	Nikkeli (mg/l)	96,60	-	-	-	-	0,024	0,00082	0,02
	Sinkki (mg/l)	95,87	2,38	0,098	1,45	0,06	1,043	0,043	0,1
	Sinkki (mg/l)	95,87	0,53	0,022	0,79	0,032	0,57	0,024	0,1

LIITE 4. Kemiällisen saostusmenetelmän teoreettisen puhdistustulokset

		Puhdistus %	2009	Puhdistustulos	2010	Puhdistustulos	2011	Puhdistustulos	Raja-arvot
Hulevesimäärät m ³ /d			96,02		73,53		104,9		
Kadmium (mg/l)	TA	60,00	0,0014	0,00054	0,00095	0,00038	0,00035	0,00014	0,005
Kadmium (mg/l)	KPA	60,00	0,0032	0,0013	0,00036	0,00014	0,00035	0,0014	0,005
Lyijy (mg/l)	TA	61,68	0,0043	0,0017	0,0015	0,00059	0,0085	0,0032	0,01
Lyijy (mg/l)	KPA	61,68	0,068	0,026	0,017	0,0067	0,08	0,03	0,01
Nikkeli (mg/l)	TA	23,33	-	-	0,0267	0,02	0,035	0,027	0,02
Nikkeli (mg/l)	KPA	23,33	-	-	-	-	0,024	0,018	0,02
Sinkki (mg/l)	TA	62,91	2,38	0,88	1,45	0,54	1,043	0,39	0,1
Sinkki mg/l	KPA	62,91	0,53	0,2	0,79	0,29	0,57	0,21	0,1